



La biodiversidad en

# Veracruz

estudio de estado

volumen I





La biodiversidad en  
**Veracruz**  
estudio de estado

volumen I







volumen I

**CONTEXTO ACTUAL DEL ESTADO Y PERSPECTIVAS  
DE CONSERVACIÓN DE SU BIODIVERSIDAD**

*Coordinador y Editor General*

Andrea Cruz Angón

*Compilación y Edición científica*

Margarita Soto Esparza

Hipólito Rodríguez Herrero

Eckart Boege Schmidt

Elisa E. de Jesús Sedas Larios

Wilfrido Márquez Ramírez

Martha E. Primo Castro

Gonzalo Castillo Campos

Ana Laura Lara Domínguez

Eugenia J. Olguín Palacios

Cesáreo Landeros Sánchez

La biodiversidad en  
**Veracruz**  
estudio de estado

Primera edición, 2011

D.R. © 2011 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Liga Periférico – Insurgentes Sur 4903 Parques del Pedregal, Tlalpan, 14010 México, D. F. <http://www.conabio.gob.mx>

D.R. © 2011 Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Palacio de Gobierno, Av. Enríquez s/n. Col. Centro, CP 91000, Xalapa, Ver. Tel. (228) 841-8800. <http://portal.veracruz.gob.mx>

D.R. © 2011 Universidad Veracruzana, Dirección General Editorial, Hidalgo 9, Centro, Xalapa, Veracruz Apartado postal 97, CP 91000, Tel/fax (228) 818 59 80; 818 13 88, Xalapa, Ver., 91000, México. [diredit@uv.mx](mailto:diredit@uv.mx)

D.R. © 2011 Instituto de Ecología, A. C., Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, México. Teléfono (228) 841801. <http://www.inecol.edu.mx/>

ISBN: 978-607-7607-49-6 (obra completa)

ISBN: 978-607-7607-50-2 (volumen I)

**Forma de citar:**

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2011. *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

**Coordinación y Edición General:**

Andrea Cruz Angón

**Compilación y Edición Técnica y Científica:**

Volumen I.- MEDIO FÍSICO: Margarita Soto Esparza; CONTEXTO SOCIOECONÓMICO: Hipólito Rodríguez Herrero y Eckart Boege Schmidt; CONTEXTO NORMATIVO E INSTITUCIONAL: Elisa E. de Jesús Sadas Larios, Wilfrido Márquez Ramírez, Martha E. Primo Castro; DIVERSIDAD DE AMBIENTES: Terrestres: Gonzalo Castillo Campos, Acuáticos: Ana Laura Lara Domínguez; LA BIODIVERSIDAD Y ALGUNAS DE SUS AMENAZAS: Eugenia J. Olguín Palacios; TRANSFORMAR LAS AMENAZAS EN OPORTUNIDADES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD: Eugenia J. Olguín Palacios; SISTEMAS PRODUCTIVOS EN VERACRUZ Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS SUSTENTABLES: Cesáreo Landeros Sánchez; Volumen II.- DIVERSIDAD DE ESPECIES, Hongos y plantas: Francisco G. Lorea Hernández; Invertebrados: Vicente Hernández Ortiz; Vertebrados: Jorge E. Morales Mavil.

**Seguimiento editorial:**

Fernando Camacho Rico

**Maquetación:**

Aída Pozos Villanueva

**Corrección de estilo:**

Ana Bertha García Sepúlveda

**Cuidado de la edición:**

Aída Pozos Villanueva

Juan Corral Aguirre

Fernando Camacho Rico

**Diseño:**

Juan Arturo Piña Martínez (portada e interiores)

Enriqueta López Andrade (interiores)

**Cartografía:**

Capas originales proporcionadas por los autores

Diseño final: Fernando Camacho Rico

**Revisión técnica de textos, listados de especies y mapas por parte de la Conabio:**

Erika Daniela Melgarejo, Fernando Camacho Rico, María Eugenia González Díaz, Mariana Zareth Nava López, Verónica Aguilar Sierra, Cecilia Fernández Pumar, Ana Isabel González Martínez, Diana Hernández Robles, Ariadna Ivonne Marín Sánchez, Juan Manuel Martínez Vargas, Eduardo Morales Guillaumin, Elizabeth Moreno Gutiérrez, Susana Ocegueda Cruz, Rocío Villalón Calderón y Norma G. Moreno Díaz.

**Cartografía:**

Modelo Digital del Terreno: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) 1997. "Modelo Digital del Terreno de México". Escala 1:250,000. México.

**Agradecimientos:**

El Gobierno del Estado de Veracruz, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, la Universidad Veracruzana y el Instituto de Ecología, A.C. expresan su reconocimiento a todas aquellas instituciones y personas que colaboraron en la elaboración del presente Estudio de Estado, particularmente a Miguel Equihua, Ernesto Rodríguez Luna, Jaime Claudio Torres Nachón y Eivin San Roman, quienes participaron en el inicio de este proceso.

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico



---

## Presentación

Dr. Javier Duarte de Ochoa  
*Gobernador del Estado de Veracruz*

**E**n 1992 se celebró en Río de Janeiro, Brasil, la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo. A esta reunión se le conoce mejor como la Cumbre de la Tierra. En ella se firmaron dos acuerdos jurídicamente vinculantes de gran importancia ambiental: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el cual es el primer acuerdo mundial enfocado en la conservación y en el uso sostenible de la biodiversidad. El CDB ganó con rapidez una aceptación generalizada: más de 150 gobiernos firmaron el convenio en el marco de la Cumbre de la Tierra y actualmente 193 países lo han ratificado. Tiene tres objetivos: la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica y la participación justa y equitativa de los beneficios en la utilización de los recursos genéticos.

Esta obra de dos volúmenes, que presenta el Gobierno del Estado y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, en

estrecha colaboración con la Universidad Veracruzana, el Instituto de Ecología, A.C. y otras 25 instituciones, reúne por primera vez y de forma accesible para todo público los resultados del Estudio sobre Biodiversidad de Veracruz. Constituye un esfuerzo notable para establecer el estado del arte de la gran diversidad natural de la entidad y para atender parte de los compromisos que ha asumido nuestro país en la Estrategia Nacional de la Biodiversidad con la que da cumplimiento a los acuerdos del CDB.

En ese sentido, este material busca sumarse a los instrumentos que hemos puesto al alcance de los veracruzanos para revertir el deterioro ambiental ocasionado por el uso desmedido de los recursos naturales, el cual ha dejado visibles marcas en el territorio veracruzano. El manejo sustentable de los recursos naturales sólo puede hacerse a través del conocimiento de los mismos con el propósito de ofrecer, a nuestras futuras generaciones, las condiciones de bienestar y oportunidades de desarrollo para lograr un Veracruz naturalmente próspero.





Dr. José Sarukhán Kermez  
*Coordinador Nacional de la Conabio*

**E**l libro *La Biodiversidad en el estado de Veracruz: Estudio de Estado*, representa un avance significativo para la difusión del conocimiento sobre la diversidad biológica y su importancia para el desarrollo ecológicamente sostenible del estado de Veracruz.

Esta obra es un eslabón en la elaboración e instrumentación de la Estrategia Estatal sobre Biodiversidad, que tiene como objetivo fundamental conservar y hacer uso racional del capital natural, incluidos los servicios ambientales que ese capital provee en beneficio de la sociedad veracruzana. Asimismo, contribuye al cumplimiento de las actividades de instrumentación de la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad del País, como parte de los compromisos adquiridos por México ante el Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD).

Para Conabio ha sido un privilegio colaborar con el Gobierno del Estado de Veracruz, tanto con la extinta Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, específicamente la Coordinación Gene-

ral de Medio Ambiente como con la recién creada Secretaría de Medio Ambiente, quien dio seguimiento puntual a esta iniciativa.

De manera especial resaltamos la participación de la Universidad Veracruzana y el Instituto de Ecología, A.C., quienes no sólo participaron en el diseño y edición final de esta obra, sino además destacados investigadores de ambas instituciones realizaron la compilación y edición técnica y científica de las distintas secciones que constituyen el estudio.

Agradecemos el compromiso y dedicación de los 220 autores pertenecientes a más de 25 instituciones, sin los cuales no hubiera sido posible la elaboración de este libro y los felicitamos por la cristalización de este gran esfuerzo. Asimismo, los invitamos a participar en la futura elaboración e implementación de la Estrategia Estatal sobre Biodiversidad del Estado de Veracruz.

El apoyo de la Agencia Española para la Cooperación y el Desarrollo (AECID), a través del proyecto Estudios y estrategias de biodiversidad de Chiapas,

Puebla y Veracruz, fue fundamental para lograr la publicación de esta obra y seguirá siendo muy importante para la siguiente etapa de formulación de la Estrategia Estatal de Conservación y Uso de la Biodiversidad de Veracruz.

Esta publicación, es indudablemente, una contribución con información confiable acerca de la situación actual del estado de la biodiversidad en el Estado de Veracruz que las autoridades, académicos, comunidades locales, grupos indígenas y la sociedad en general, podrán consultar y utilizar como elemento base para la toma de decisiones y en el diseño de estrategias de planeación, en beneficio del desarrollo integral de nuestra sociedad.

Si bien el Estudio de Estado es una “fotografía instantánea” del conocimiento y estado de conservación de la biodiversidad en Veracruz, como línea de base para visualizar el proceso de cambio y modi-

ficación de los ecosistemas, es necesario mantener los esfuerzos para continuar desarrollando la formulación de la estrategia estatal de biodiversidad que ya ha dado inicio y posteriormente su implementación con diversas acciones, entre las que esperamos y deseamos que den constitución a una comisión estatal de biodiversidad, a semejanza de Conabio.

El conocimiento integrado dista de estar completo y es necesario se vaya incrementando. Tengo la seguridad que instituciones locales asegurarán la continuidad de los esfuerzos en ampliar el conocimiento de la biodiversidad, identificar y registrar los cambios que experimenta y apoyarán la difusión de esta obra; solo de esta manera se logrará su aplicación y utilidad para las instituciones gubernamentales y para la sociedad del estado de Veracruz, lo que asegure la conservación y uso sustentable de la biodiversidad.



---

# Contenido

- 5      **Presentación del C. Gobernador del Estado de Veracruz**  
         Dr. Javier Duarte de Ochoa
- 7      **Presentación del Coordinador Nacional de la Conabio**  
         Dr. José Sarukhán Kermez
- 17     **Introducción**  
         Andrea Cruz Angón

**VOLUMEN I**  
**CONTEXTO, DIVERSIDAD DE AMBIENTES,**  
**DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA CONSERVACIÓN**

**SECCIÓN I**

**CONTEXTO FÍSICO**

- 29     **Resumen Ejecutivo**  
         Margarita Soto Esparza
- 31     **Geografía**  
         Margarita Soto Esparza  
         Daniel Geissert Kientz
- 35     **Clima**  
         Margarita Soto Esparza  
         Lorrain Eugene Giddings Berger
- 53     **Geomorfología**  
         Daniel Geissert Kientz  
         Estela Enríquez Fernández
- 69     **Distribución y caracterización del suelo**  
         Adolfo Campos Cascardó

- 85 **Cambio climático y biodiversidad**  
Miguel E. Equihua Zamora  
Griselda Benítez Badillo  
Adalberto Tejeda-Martínez  
Beatriz Elena Palma Grayeb
- 97 **Estudio de caso: ¿podemos culpar a El Niño de las lluvias?**  
Lorrain Eugene Giddings Berger  
Margarita Soto Esparza

## SECCIÓN II

### CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

- 99 **Resumen Ejecutivo**  
Hipólito Rodríguez Herrero  
Eckart Boege Schmidt
- 101 **Una visión socioeconómica al comenzar el siglo XXI**  
Hipólito Rodríguez Herrero  
Eckart Boege Schmidt

## SECCIÓN III

### CONTEXTO NORMATIVO E INSTITUCIONAL

- 127 **Resumen Ejecutivo**  
Elisa E. de J. Sedas Larios  
Wilfrido Márquez Ramírez  
Martha E. Primo Castro
- 129 **Instrumentos legales e institucionales para la conservación de la biodiversidad: diagnóstico, desafíos y oportunidades**  
Elisa E. de J. Sedas Larios  
Wilfrido Márquez Ramírez  
Martha E. Primo Castro
- 147 **Áreas naturales protegidas**  
Jorge E. Morales-Mávil  
Robert Manson  
Wilfrido Márquez Ramírez

## SECCIÓN IV

### DIVERSIDAD DE AMBIENTES

#### AMBIENTES TERRESTRES

- 161 **Resumen Ejecutivo**  
Gonzalo Castillo-Campos

- 163 **Flora y vegetación**  
Gonzalo Castillo-Campos  
Sergio Avendaño Reyes  
María Elena Medina Abreo
- 181 **Los bosques de oyamel (*Abies*)**  
Carlos H. Ávila Bello
- 195 **El bosque tropical perennifolio**  
Mario Vázquez Torres
- 207 **Distribución, estructura y perspectivas de conservación de los manglares**  
Jorge A. López-Portillo  
Víctor M. Vázquez Reyes  
León R. Gómez Aguilar  
Ana Laura Lara-Domínguez
- 217 **La biodiversidad de los humedales**  
Patricia Moreno-Casasola  
Dulce María Infante Mata  
Hugo López-Rosas  
Luis Alberto Peralta Peláez  
Gonzalo Castillo-Campos  
Ana Cecilia Travieso-Bello  
Wendy Ariana Méndez Cortina  
Graciela Sánchez-Ríos
- 229 **Flora de las playas y los ambientes arenosos (dunas) de las costas**  
Patricia Moreno-Casasola  
Silvia Castillo Argüero  
María Luisa Martínez Vázquez
- 239 **Diversidad y estructura de la vegetación en fragmentos de selva de Los Tuxtlas**  
Víctor Arroyo-Rodríguez  
Salvador Mandujano  
Julieta Benítez-Malvido
- 247 **Diversidad florística en potreros de Los Tuxtlas**  
Francisco Javier Laborde Dovalí  
Sergio A. Guevara Sada  
Graciela Sánchez-Ríos
- 261 **Biodiversidad en ecosistemas modificados por actividades agropecuarias**  
Ana Cecilia Travieso-Bello  
Ana Victoria Ros Torres

**271 La biodiversidad en el suelo: estudio de caso en la Sierra de Santa Marta (Reserva de la Biosfera, Los Tuxtlas)**

Isabelle Barois Boullard  
Simoneta Negrete-Yankelevich  
José Antonio García Pérez  
Martín de los Santos Bailón  
Francisco Javier Álvarez Sánchez  
Gonzalo Castillo-Campos  
Silke Cram Heydrich  
Carlos Enrique Fragoso González  
Francisco Franco-Navarro  
Esperanza Martínez-Romero  
Enrique Meza Pérez  
Miguel Ángel Morón Ríos  
María del Pilar Rodríguez Guzmán  
Patricia Rojas Fernández  
Vinicio de J. Sosa Fernández  
Dora Trejo  
Lucía Varela Fregoso  
Julián Bueno-Villegas  
José Antonio Gómez  
Carlo Sormani

**RECURSOS HÍDRICOS**

**285 Resumen Ejecutivo**

Ana Laura Lara-Domínguez

**289 Hidrología**

Octavio Miguel Pérez-Maqueo  
Lyssette Muñoz-Villers  
Gabriela Vázquez  
Miguel E. Equihua Zamora  
Pedro León Romero

**293 La zona marina**

Carlos González-Gándara

**301 Lagunas costeras y estuarios**

Ana Laura Lara-Domínguez  
Francisco Contreras Espinosa  
Ofelia Castañeda-López  
Everardo Barba-Macías  
Marco Aurelio Pérez-Hernández

- 319 **Ecología y productividad primaria de microalgas marinas y mixohalinas**  
Yuri B. Okolodkov  
Roberto Blanco-Pérez
- 327 **Amenazas a los recursos hídricos**  
Octavio Pérez-Maqueo  
Lyssette Muñoz-Villers  
Gabriela Vázquez  
Miguel E. Equihua Zamora  
Pedro León Romero
- 339 **Estudio de caso. La biodiversidad es clave en las funciones de los ecosistemas**  
Octavio Pérez-Maqueo
- 341 **Amenazas al ambiente marino veracruzano**  
Carlos González-Gándara

## SECCIÓN V

### LA BIODIVERSIDAD DEL ESTADO Y ALGUNAS DE SUS AMENAZAS

- 349 **Resumen Ejecutivo**  
Eugenia J. Olguín
- 351 **Focos rojos para la conservación de la biodiversidad**  
Edward Alan Ellis  
Marisol Martínez Bello  
Roberto Monroy Ibarra
- 369 **La contaminación del agua**  
Eugenia J. Olguín  
Gabriel Mercado Vidal  
María Elizabeth Hernández
- 381 **Amenazas a la biodiversidad asociadas a la producción de azúcar y etanol**  
Eugenia J. Olguín  
Gabriel Mercado Vidal  
Gloria Sánchez-Galván
- 391 **La producción de café como amenaza a la biodiversidad**  
Eugenia J. Olguín  
Gloria Sánchez-Galván  
Gabriel Mercado Vidal

## SECCIÓN VI

### TRANSFORMAR LAS AMENAZAS EN OPORTUNIDADES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

399 **Resumen Ejecutivo**

Eugenia J. Olguín

401 **Uso sustentable de los bosques de montaña: la meta**

Lázaro R. Sánchez-Velásquez

María del Rosario Pineda-López

José Luis Zúñiga-González

415 **Oportunidades para la producción sustentable de azúcar y etanol**

Eugenia J. Olguín

Gabriel Mercado Vidal

Gloria Sánchez-Galván

425 **Estrategias para la producción sustentable de café**

Eugenia J. Olguín

Gloria Sánchez-Galván

Gabriel Mercado Vidal

439 **Hongos comestibles: una alternativa sustentable de aprovechamiento de los recursos genéticos y agroforestales**

Dulce Salmenes Blásques

Rosario Medel Ortiz

Rigoberto Gaitán-Hernández

Gerardo Mata Montes de Oca

## SECCIÓN VII

### SISTEMAS PRODUCTIVOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS SUSTENTABLES

451 **Resumen Ejecutivo**

Cesáreo Landeros Sánchez

453 **El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola**

Juan Pablo Martínez Dávila

Felipe Gallardo López

Lissette C. Bustillo García

Arturo Pérez Vázquez

463 **Diversificación de cultivos**

Cesáreo Landeros-Sánchez

Juan Carlos Moreno-Seceña

Esteban Escamilla-Prado

Romeo Ruiz-Bello

- 477 **Impacto de la agricultura sobre la biodiversidad**  
Cesáreo Landeros-Sánchez  
Juan Carlos Moreno-Seceña  
Lourii Nikolskii Gavrilov  
Oktiabrina Bakhlaeva Egorova
- 492 **Estudio de caso: Pérdida de suelo y nutrientes en un entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México**  
Sergio Uribe-Gómez  
Néstor Francisco-Nicolás  
Antonio Turrent-Fernández
- 493 **Diversidad y conservación de plantas epífitas vasculares en el centro del estado**  
Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco  
Susana Valencia-Díaz  
Lislie Solís-Montero  
Andrea Cruz-Angón
- 502 **Estudio de caso 1: Diversidad de epífitas en un paisaje originado por la fragmentación del bosque mesófilo de montaña**  
Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco
- 503 **Estudio de caso 2: Relaciones de riqueza de especies de epífitas con el tamaño de los árboles**  
Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco
- 504 **Estudio de caso 3: Estructura de la comunidad de epífitas en árboles remanentes aislados**  
Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco
- 505 **Ecohidrología**  
Cesáreo Landeros-Sánchez  
Juan Carlos Moreno-Seceña  
Juan Pablo Martínez-Dávila  
Óscar L. Palacios-Vélez
- 516 **Estudio de caso: Estudio de calidad del agua del río La Antigua, Veracruz**  
Octavio Ruiz Rosado
- 517 **La biodiversidad pesquera y acuícola: Su preservación a través de sistemas de calidad**  
Fabiola Lango Reynoso  
María del Refugio Castañeda Chávez

- 529 **Estudio de caso: Determinación de buenas prácticas en producción de tilapia en granjas acuícolas**  
María del Refugio Castañeda Chávez  
Fabiola Lango Reynoso
- 531 **Turismo alternativo y uso sustentable de la biodiversidad**  
Martha Elena Nava Tablada  
Felipe Gallardo López  
Itzel Díaz Juárez  
Pernilla Fajersson
- 541 **Estudio de caso: Ecoturismo campesino selva El Marinero**  
Gustavo López Pardo



# Introducción

Andrea Cruz Angón

## DEFINICIÓN DE BIODIVERSIDAD

La biodiversidad o diversidad biológica no es un concepto fácil de asimilar, comúnmente la entendemos como “la variedad de especies de animales y plantas observables a simple vista”. No obstante, el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) de las Naciones Unidas la define en un sentido más amplio y complejo, como la variedad de las especies vivientes, los ecosistemas donde éstas habitan e interactúan y la variabilidad genética que poseen (figura 1; CDB, 1992; Conabio, 1998). Un enfoque más moderno de este concepto incluye, además, a la variedad de plantas domesticadas por el hombre y sus parientes silvestres (agro-biodiversidad), a la diversidad de grupos funcionales en el ecosistema (herbívoros, carnívoros, parásitos, saprófitos, entre otros), y a la diversidad cultural humana (costumbres, lenguas y cosmovisiones).



FIGURA 1. Niveles de organización incluidos en el concepto de biodiversidad ejemplificados con flora y fauna de Veracruz (Modificado de Conabio, 1998). Ecosistemas: Selva inundable dominada por *Annona glabra*, y la libre flotadora *Pistia stratiotes* (Foto: Gerardo Sánchez Vigil); Especies: *Agalychnis callidryas*, una de las ranas arbóreas más llamativas de las selvas (Foto: Eduardo Pineda); Genes: *Ipomoea purpurea*, planta común en la vegetación secundaria derivada de bosques caducifolios, pinares y encinares (Foto: Eleazar Carranza González).

## IMPORTANCIA DE LA BIODIVERSIDAD

La diversidad biológica es valorada por los seres humanos a partir de tres enfoques principales: biológico, ya que cada uno de sus componentes es un reservorio de información evolutiva irremplazable; económico, como suministro imprescindible de bienes esenciales para la sociedad, por ejemplo, las variedades de especies vegetales y animales domesticadas, las materias primas de uso industrial (resinas, maderas, fibras, celulosa, entre otras), o los compuestos activos para la industria farmacéutica (anticoagulantes, antivenenos, anticonceptivos, antibióticos, entre otros); y cultural, como fuente de inspiración de creencias, mitos y cosmovisiones humanas (Alba y Reyes, 1998).

Por otro lado, independientemente del tipo de valor que pueda dársele a la biodiversidad, es muy importante reconocer que, de manera específica los ecosistemas otorgan servicios esenciales para el desarrollo y bienestar de la sociedad (servicios ecosistémicos, figura 2) que pueden ser: 1) de soporte, como en la formación de suelos y reciclado de nutrientes, 2) de regulación, como en el caso del clima, de enfermedades o en el control de la erosión; 3) de provisión, a través de las materias primas usadas como fibras, madera, agua y alimentos; 4. culturales, como fuente de inspiración artística o espiritual y sitios recreativos, entre otros (Sarukhán *et al.*, 2009).



FIGURA 2. Servicios ambientales que las sociedades humanas reciben de los ecosistemas y ejemplos de cada uno de ellos (Modificado de Sarukhán *et al.*, 2009).

## MÉXICO, PAÍS MEGADIVERSO

La biodiversidad no se distribuye de manera uniforme en el planeta. En general, en las regiones tropicales habitan un mayor número de especies. México se ubica entre los cinco primeros de los 17 países llamados “megadiversos”, que albergan alrededor del 70 % de la diversidad biológica conocida del planeta (Mittermeier y Mittermeier, 1992). Pese a tener una superficie que representa únicamente 1.5 % de la superficie del planeta, en México se encuentran 12 de cada 100 especies conocidas en el mundo, es decir, el país contiene entre 10 y 12 % de las especies (Conabio, 2006). Además, una alta proporción de estas especies solo existen en nuestro país (especies endémicas), lo que da una mayor valía a su diversidad biológica (Sarukhán *et al.*, 2009).

## LA EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO

En el año 2000, la Organización de las Naciones Unidas solicitó realizar la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2005); un esfuerzo internacional que contó con la participación de 1 360 expertos científicos de 95 países con el objetivo de evaluar las consecuencias del cambio en los ecosistemas para el bienestar humano, y cuyas principales conclusiones se resumen así:

- 1) Durante los últimos 50 años los humanos hemos modificado los ecosistemas para satisfacer nuestras necesidades, lo hemos hecho más rápidamente que en cualquier otro periodo comparable de nuestra historia. Esto ha derivado en la pérdida irremediable de la diversidad biológica sobre la Tierra.
- 2) Muchas personas se han beneficiado de la utilización y transformación de los ecosistemas naturales y de la explotación de la diversidad biológica. Sin embargo, estos beneficios tienen cada vez

costos mayores y han llevado a la pérdida de ecosistemas y especies, degradación de los servicios ambientales de los ecosistemas e incremento de la pobreza de otros pueblos.

- 3) Las cinco causas directas más importantes de pérdida de biodiversidad y de cambio y deterioro en los servicios de los ecosistemas son: la pérdida de los hábitats, el cambio climático, las especies exóticas invasoras, la sobreexplotación y la contaminación.
- 4) Para alcanzar un progreso mayor en la conservación de la diversidad biológica, que al mismo tiempo permita mejorar el bienestar humano y reducir la pobreza, será necesario intensificar los esfuerzos de conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica y de los servicios de los ecosistemas. Estos esfuerzos no serán suficientes mientras no existan las condiciones favorables para atacar tanto las causas indirectas, como directas de la pérdida de biodiversidad.
- 5) Una mejor capacidad para predecir las consecuencias de la pérdida de biodiversidad, el funcionamiento de los ecosistemas y sus servicios, junto con mediciones mejoradas de la diversidad biológica, ayudarían en la adopción de decisiones a todos los niveles.
- 6) La ciencia puede ayudarnos a asegurar que se adopten decisiones basadas en información confiable, pero en última instancia será la sociedad quien determine el futuro de nuestra diversidad biológica.

## LA SITUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO

Desafortunadamente la realidad ambiental de México no es distinta a las tendencias identificadas a nivel mundial a través de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Conabio, 2006), esto se debe en gran medida a factores relacionados con los modos de producción y la obtención de bienes y servicios. En particular, en México encontramos la ineficiencia y la baja rentabili-

dad de actividades productivas como la agricultura y la ganadería, el aprovechamiento no sustentable de las zonas forestales maderables y su conversión hacia actividades agropecuarias, la erosión y pérdida del suelo, la sobreexplotación y la contaminación de los mantos freáticos, la contaminación con agroquímicos y residuos sólidos, la sobreexplotación de los recursos pesqueros, la introducción sin vigilancia de especies exóticas<sup>1</sup> invasoras, el comercio ilegal y no regulado de especies silvestres, entre otros problemas ambientales (figura 3, Conabio, 2006).

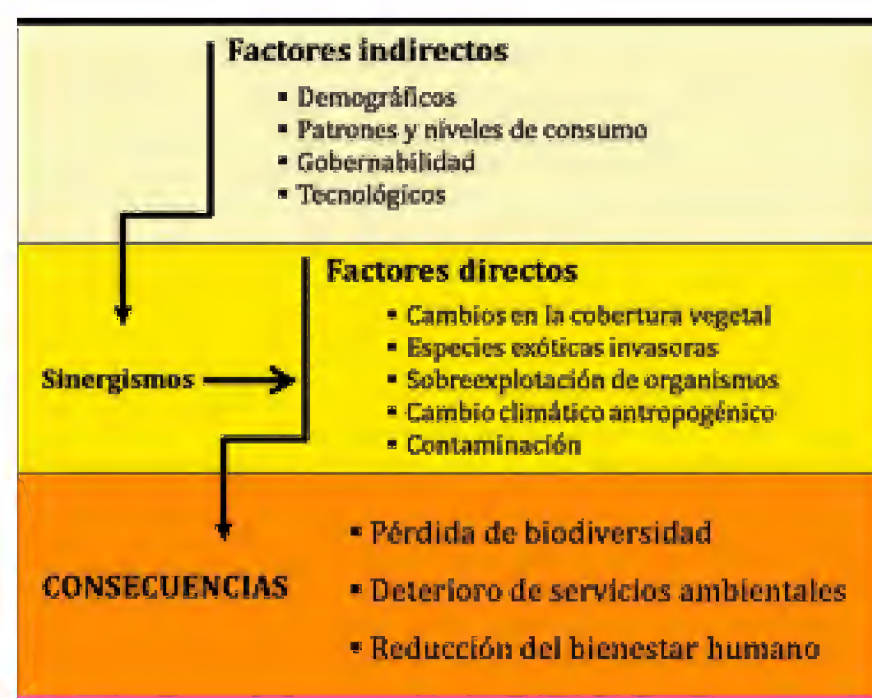


FIGURA 3. Factores directos e indirectos responsables de los cambios en la biodiversidad, sus servicios ambientales y las consecuencias para el bienestar humano (Modificado de Conabio, 2006).

La biodiversidad representa el capital natural de nuestro país, es, incluso, tanto o más importante que otros capitales como el financiero o el manufacturado (Sarukhán *et al.*, 2009). La pérdida o degra-

<sup>1</sup> Se entiende por especie invasora aquella que se encuentra fuera de su área de distribución original o nativa (histórica o actual), no acorde con su potencial de dispersión natural. Por su parte, una especie exótica invasora es aquella cuyo establecimiento y dispersión es una amenaza ambiental o económica para los ecosistemas, hábitats o para otras especies.

dación de los ecosistemas tiene efectos negativos sobre la calidad y disponibilidad de los servicios ambientales que prestan y de los cuales depende directamente nuestro bienestar (Conabio, 2006).

#### LAS AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD Y LOS ACUERDOS MULTILATERALES PARA PROTEGERLA

La preocupación por el deterioro y pérdida de diversidad biológica, así como el reconocimiento de la función fundamental que desempeña para el desarrollo de la vida humana, determinaron que en 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, se firmaran tres convenios que sentaron un precedente importante para la conservación del medio ambiente: el Convenio Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC), el Convenio de Lucha contra la Desertificación (CNULCD) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Este último es un tratado mundial, jurídicamente vinculante que persigue tres objetivos fundamentales: 1) La conservación de la diversidad biológica, 2) El uso sostenible de sus componentes y 3) La distribución justa y equitativa de los beneficios provenientes de la utilización de los recursos genéticos. El CDB ha sido suscrito por más de 190 países, México fue el doceavo país en ratificarlo en 1993.

En 2002, durante la Sexta Conferencia de las Partes del CDB, se aprobó un plan estratégico con la misión de “lograr, para el año 2010, una reducción significativa del ritmo actual de pérdida de la diversidad biológica a nivel mundial, regional y nacional, como contribución a la mitigación de la pobreza y en beneficio de todas las formas de vida en la Tierra” (UNEP/CBD/COP/6/26, 2002). Posteriormente, en 2005, durante la Cumbre Mundial de las Naciones Unidas, se reiteró el compromiso de las naciones de cumplir la meta al 2010, declarado por la ONU, Año Internacional de la Biodiversidad.

#### MÉXICO Y EL CONVENIO DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Como resultado del cumplimiento de los compromisos adquiridos ante el Convenio, en 1998 nuestro país publicó *La diversidad biológica de México: Estudio de país*, el primer diagnóstico de la situación general de la biodiversidad en el país, mediante el cual se identificaron sus principales usos, amenazas, necesidades y oportunidades para su conservación (Conabio, 1998).

Posterior a la publicación de ese primer Estudio de País, se formuló la Estrategia Nacional de Biodiversidad de México (ENBM; Conabio, 2000) que resultó de una serie de talleres y reuniones sectoriales y de expertos. La ENBM plantea una visión a 50 años en donde se concibe a México como un país que ha logrado obtener un mayor conocimiento de su diversidad biológica, así como detener y revertir los procesos de deterioro ambiental. Para lograr esta visión se planteó la instrumentación de cuatro líneas estratégicas: 1. Protección y conservación; 2. Valoración de la biodiversidad; 3. Conocimiento y manejo de la información y 4. Diversificación del uso.

El Cuarto Informe Nacional de México al Convenio de Diversidad Biológica (Conabio y Semarnat, 2009), que es la comunicación más reciente con respecto al cumplimiento de este Convenio, resalta en sus conclusiones la necesidad de evaluar, revisar y actualizar esta estrategia, con la finalidad de que éste sea un instrumento eficaz de planeación en materia de conservación y uso sustentable de la biodiversidad.

Actualmente, México realiza la actualización de su Estudio de País. Esta obra, con el nombre de *Capital Natural de México*, utiliza el enfoque metodológico de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2005) y consta de cinco volúmenes: I. *Conocimiento actual de la biodiversidad*; II. *Estado de conservación y tendencias de cambio*; III. *Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*; IV. *Capaci-*

*dades humanas, institucionales y financieras, y V. Escenarios futuros.* Con ellos se busca diseñar soluciones en materia ambiental con base en la definición actualizada de los problemas. Los tres primeros volúmenes de esta obra, así como una síntesis ejecutiva fueron publicados en 2009, tras un esfuerzo sin precedentes de varios años, con la participación de 648 autores y 96 revisores externos de 227 instituciones (Sarukhán *et al.*, 2009).

#### LA INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA NACIONAL SOBRE BIODIVERSIDAD DE MÉXICO (ENBM): LAS ESTRATEGIAS ESTATALES DE BIODIVERSIDAD

Para alcanzar los objetivos planteados en el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) y realizar las acciones trazadas en la ENBM desde una perspectiva federalista, la Conabio, en colaboración con gobiernos estatales y representantes de los diversos sectores de la sociedad, inició los trabajos de elaboración de las Estrategias Estatales sobre Biodiversidad (EEB), un proceso de planeación participativa que toma en cuenta la diversidad cultural, geográfica, social y biológica de México. Cuyos objetivos a largo plazo persiguen:

1. Mejorar las capacidades de planeación y ejecución de las entidades federativas con respecto a la gestión de los recursos biológicos.
  - Contar con herramientas de planificación a escala adecuada para la toma de decisiones (estudios, estrategias y planes de acción).
  - Establecer sistemas estatales de información sobre biodiversidad (como parte del Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad –SNIB–).
2. Institucionalizar políticas públicas en materia de biodiversidad.
  - Consolidar los sistemas estatales de Áreas Naturales Protegidas (ANP).
  - Establecer programas permanentes de educación ambiental y difusión sobre la importancia de la biodiversidad.
  - Integrar y armonizar iniciativas de conservación y uso sustentable.
3. Promover la elaboración y aplicación local de leyes sobre biodiversidad, así como el reparto equitativo de los beneficios derivados del aprovechamiento y conservación de la biodiversidad.
4. Facilitar el intercambio científico, cultural y político referente a la biodiversidad, a distintas escalas y en el marco del CDB.

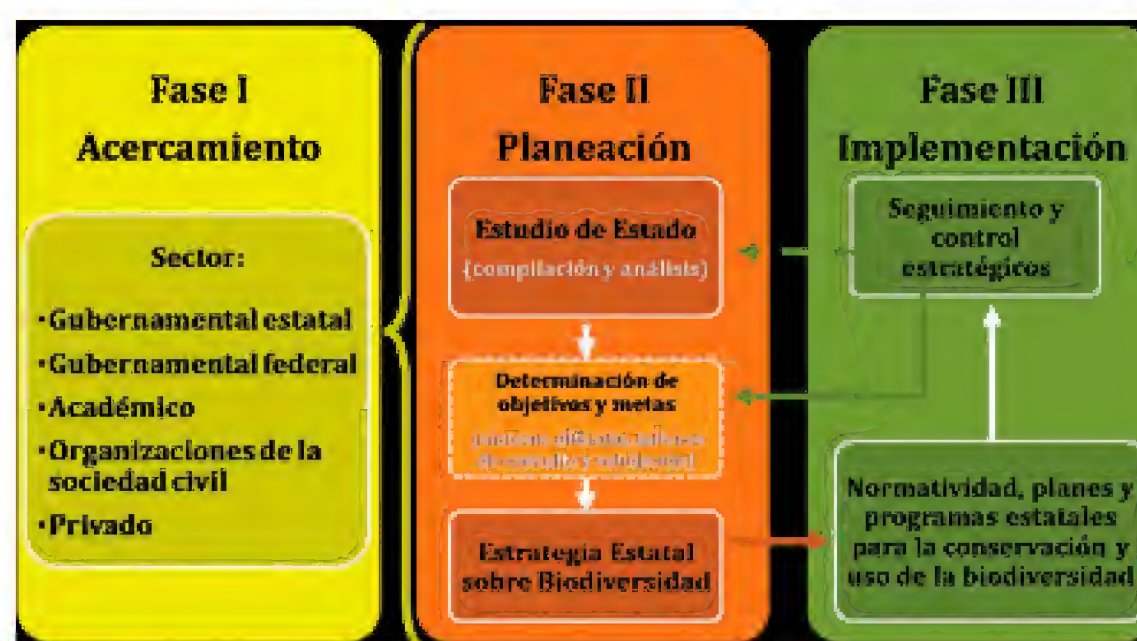


FIGURA 4. El proceso de elaboración de documentos de planeación estratégica e instrumentación de acciones en el marco del programa de Estrategias Estatales de Biodiversidad coordinado por la Conabio.

De forma análoga a la ENBM, el proceso de las EEB busca completar dos documentos de planificación estratégica importantes (figura 4): 1. *Estudio de Estado*, que es un diagnóstico de línea base sobre la biodiversidad del estado en sus diferentes niveles, y 2. *Estrategia Estatal sobre Biodiversidad*, que es un documento de planificación estratégica que establece los objetivos, metas, acciones, actores y recursos que cada entidad necesita para conservar y aprovechar sustentablemente su diversidad biológica. La formulación de estos dos documentos requiere de la amplia participación de diversos sectores de la sociedad para la identificación de prioridades y la implementación de una estrategia integral.

#### LA ESTRATEGIA ESTATAL PARA LA CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD DEL ESTADO DE VERACRUZ (EEB-VER): ESTUDIO DE ESTADO

Veracruz es un estado que se caracteriza por la abundancia de recursos naturales que han sido aprovechados ampliamente a lo largo de su historia. Gracias a su ubicación estratégica, como puerta al Golfo de México, se han desarrollado importantes actividades productivas entre las que destacan la pesquería, la ganadería, el cultivo de café y caña de azúcar y el desarrollo de actividades en el sector de producción y refinación de hidrocarburos, entre otras. Lo anterior ha permitido que hoy la sociedad veracruzana cuente con cinco zonas metropolitanas que concentran gran parte de la población urbana, dos de ellas con infraestructura portuaria de gran envergadura, lo que le confiere una gran capacidad para integrar al país en el mercado mundial (Rodríguez y Boege, este volumen).

No obstante, de manera paralela a su desarrollo, las amenazas a la diversidad biológica en Veracruz se han incrementado. La perturbación de la vegetación prístina ha avanzado en más del 85 %. Aproximadamente más de 400 especies de plantas están amena-

zadas, de las cuales más del 25 % son endémicas al estado (Castillo-Campos *et al.*, este volumen). Aunque no existen evaluaciones formales al respecto, es posible que la perturbación y el deterioro de los ecosistemas del estado estén afectando la calidad y disponibilidad de los servicios ambientales que prestan a la población.

Consciente de la problemática ambiental que enfrenta el estado y de los retos que suponen el mantener un balance entre el desarrollo económico y social del estado y la conservación y aprovechamiento sustentable de su biodiversidad, el Gobierno del Estado de Veracruz (2004-2010) a través del entonces Consejo Estatal de Protección al Ambiente (Coepa) y posteriormente por medio de la Coordinación General de Medio Ambiente (CGMA) de la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (Sedesma) en colaboración con la Conabio, la Universidad Veracruzana y el Instituto de Ecología, A.C., convocaron a toda la comunidad académica y de investigación a un foro para dar inicio al proceso de elaboración de documentos en el marco de la Estrategia Estatal para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Veracruz (EEB-VER). Con esta iniciativa, la entidad se adhirió al esfuerzo nacional de cumplimiento de los objetivos del Convenio de Diversidad Biológica.

Finalmente, tras un esfuerzo de colaboración sin precedentes para el estado, en el que participaron más de un centenar de autores de cerca de treinta instituciones (cuadro 1), estatales, nacionales y extranjeras, Veracruz publica *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, obra que constituye el compendio más completo y actualizado de información sobre la diversidad biológica del estado.

La elaboración de esta obra inició en 2004 con reuniones informativas sobre el proceso de las Estrategias Estatales de Biodiversidad ante el Coepa, la CGMA y diversos sectores de la sociedad veracruzana, especialmente el académico, quien ha sido el principal actor en el desarrollo de esta obra. Posteriormente, una convocatoria abierta, dirigida a las instituciones

CUADRO 1. Instituciones participantes en la elaboración del *Estudio de Estado de Veracruz*. (FUENTE: elaboración propia).

INSTITUCIONES ACADÉMICAS Y DE INVESTIGACIÓN	
Universidad Autónoma de México	Centro de Ciencias Genómicas Centro de Investigaciones en Ecosistemas Facultad de Ciencias Facultad de Estudios Superiores Iztacala Instituto de Biología Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Instituto de Ecología Instituto de Geografía Herbario Metropolitano
Universidad Autónoma Metropolitana	Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro	Escuela de Biología
Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas	Centro de Investigaciones Biológicas
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)	Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León	Agronomía y Ciencias
Universidad Autónoma de Tamaulipas	
Universidad Autónoma de Chapingo	
Universidad de Guadalajara	
Universidad Veracruzana	Centro de Ecología y Pesquerías Centro de Investigaciones Tropicales Facultad de Biología Facultad de Ciencias Agrícolas Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Grupo de climatología aplicada Instituto de Investigaciones Biológicas Instituto de Neuroetología Laboratorio de Biotecnología y Ecología Aplicada (Labioteca).
Universidad de la Habana, Cuba	Centro de Investigaciones Marinas
Universidad de Alicante, España	Instituto de Biodiversidad
Instituto de Ecología, A.C.	Departamento de Ecología Funcional División de Posgrado Unidad de Micología Departamento de Biología de Suelos Departamento de Biología Evolutiva Departamento de Entomología Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal Departamento de Ecología Aplicada Unidad de Biotecnología Ambiental Departamento de Ecología y Comportamiento Animal Departamento de Biodiversidad y Sistemática
Instituto Politécnico Nacional	Centro de Desarrollo de Productos Bióticos Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz	
Instituto de Antropología e Historia, Veracruz	
Colegio de Posgraduados (Campus Veracruz y Montecillo)	Programa de entomología Instituto de Fitosanidad Programa de Fitopatología
El Colegio de la Frontera Sur	
Centro de Educación Ambiental e Investigación	
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)	
OTRAS INSTITUCIONES	
Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (Conabio)	Dirección de Enlace y Asuntos Internacionales (DEAI) Dirección Técnica de Análisis y Prioridades (DTAP)
Museo de la Fauna, Veracruz	Parque Ecológico Macuiltépetl
Servicios de Salud de Veracruz	Departamento de Control de Enfermedades Transmitidas por Vector
American Museum of Natural History (AMNH) NY	
Hongos y Derivados, S.A.	
Pronatura, Veracruz	
Bufete de Ingeniería y Gestión Ambiental S.A. de C.V.	

académicas y de investigación que contaran con información sobre los recursos biológicos del estado, permitió ampliar la participación de expertos.

Como el lector podrá percatarse, esta obra no sólo da cuenta de los recursos biológicos del estado, como la diversidad de ambientes y especies, al igual que el primer Estudio de País de México (Conabio, 1998), en *La biodiversidad de Veracruz: Estudio de Estado* se incluyen aspectos que van más allá de la mera descripción de los recursos biológicos del estado, ofreciendo elementos de análisis útiles para la toma de decisiones. El volumen I, comprendido por siete secciones (figura 5) y 39 capítulos, incluye una revisión de la situación actual de la entidad en su contexto físico y socioeconómico, así como los contextos normativo e institucional mediante los cuales se tutela a la biodiversidad; la descripción de la diversidad de ambientes o tipos de vegetación presentes en Veracruz, como una aproximación al

conocimiento de los ecosistemas del estado y algunas de las amenazas y oportunidades de conservación del estado de Veracruz. El volumen II (figura 6) incluye el vasto conocimiento de la diversidad biológica del estado en su nivel de especies con 59 capítulos sobre hongos, plantas, animales invertebrados y vertebrados.

En ambos volúmenes, cada sección o subsección, como en el caso de la Diversidad de Especies, cuenta con un resumen elaborado por un editor técnico y científico o autor responsable de su compilación y elaboración. Además, en algunos capítulos se presentan diversos estudios de caso, cartografía e imágenes que ayudan al lector a tener una comprensión integral de la obra. Los anexos, incorporados en un CD, permiten complementar el conocimiento, proporcionando información técnica y científica a detalle, así como imágenes y cartografía adicional. Las fuentes de información sobre la biodiversidad de

<b>Volumen I</b>	<b>Contexto físico del estado</b> Margarita Soto Esparta
	<b>Contexto socioeconómico</b> Hipólito Rodríguez Herrero y Eckart Boege Schmidt
	<b>Contexto normativo e institucional</b> Elisa E. de Jesús Sotelo Larios, Wilfredo Márquez Ramírez y Martha E. Primo Castro
	<b>Diversidad de ambientes</b> Tereza González Castillo Campos, Assa (2002) Ana Laura Lara Domínguez
	<b>La biodiversidad del estado y algunas de sus amenazas</b> Eugenia J. Ojeda Palacios
	<b>Transformar las amenazas en oportunidades para la conservación de la biodiversidad</b> Eugenia J. Ojeda Palacios
	<b>Sistemas productivos y alternativas económicas sustentables</b> Cesáreo Landeros Sánchez

FIGURA 5. Secciones comprendidas en el Volumen I de *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Se señalan los editores técnico-científicos responsables de compilar cada una de las secciones. Las correspondientes a los contextos socioeconómico y normativo e institucional fueron en su totalidad realizadas por los autores que se indica.



FIGURA 6. El Volumen II de *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, comprende la sección de Especies y las subsecciones de Hongos y plantas, Invertebrados y Vertebrados. Sólo se anotan los editores técnico-científicos responsables de compilar cada subsección.

Veracruz utilizadas fueron los registros de especies del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB) de la Conabio y, sobre todo, los datos recabados por los investigadores de las diferentes instituciones que colaboraron en la presente obra. En el cuadro 2 se anota el número de especies reportadas para algunos grupos biológicos tratados en los distintos capítulos que conforman el Volumen II de esta obra. Dependiendo del grupo biológico que se trate, la diversidad de especies en el

estado comprende entre 27 % y 65 % del total reportado para el país en el *Capital Natural de México* (Conabio, 2008).

Se incluyen también los resúmenes curriculares de todos los autores que participaron en esta obra, así como sus datos de contacto y principales áreas de interés. Es importante señalar que *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado* representa un parteaguas en el conocimiento y conservación del enorme patrimonio natural del estado, que contó con una

CUADRO 2. Comparativo de la diversidad de vertebrados y plantas vasculares en Veracruz, respecto al total nacional.

GRUPO	CNM MÉXICO	CNM VERACRUZ	ESTA OBRA	PORCENTAJE EN VERACRUZ RESPECTO AL TOTAL NACIONAL
Peces	2 692	213	ND	ND
Anfibios	361	109	103	28.5
Reptiles	804	214	220	27.4
Aves	1 107	635	719	65
Mamíferos	533	190	191	35.8
Plantas vasculares	23 424	5 472	6 495	27.72
Total	28 524	1 996	7 948	

ND.- Información no disponible. CNM.- Capital Natural de México.

(FUENTE: Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008; diversas señaladas en los textos correspondientes de esta obra).

extraordinaria participación del sector académico y gracias al cual por primera vez se tiene un diagnóstico que sentará las bases para el diseño de las acciones y estrategias que aseguren la conservación y el uso sustentable de la diversidad biológica de Veracruz a través del desarrollo de una siguiente fase de este gran proyecto: la generación de la Estrategia Estatal para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Veracruz.

Por último, es importante reconocer que el conocimiento compilado en esta obra dista mucho de estar completo. Temas muy importantes como la diversidad genética de especies nativas del estado, el análisis exhaustivo de los diversos factores y causas que amenazan a la biodiversidad, los usos tradicionales de los recursos biológicos del estado; la relación entre el bienestar social y los servicios ecosistémicos, entre otros, no fueron incluidos ahora por diversas razones. Actualizaciones posteriores de este Estudio de Estado deberán encaminar sus esfuerzos en cubrir los vacíos del conocimiento en los temas antes mencionados.

## LITERATURA CITADA

- CASTILLO-CAMPOS, G., S. Avendaño y M.E. Medina, 2009, Flora y vegetación, en *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, vol. I, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CDB, 1992, *Convenio sobre la Diversidad Biológica*, <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-es.pdf>
- CONABIO, 1998, *La diversidad biológica de México: Estudio de país*, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- , 2000, *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- , 2006, *Capital natural y bienestar social*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- , 2008, *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO y SEMARNAT, 2009, *Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica* (CDB), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- DE ALBA, E. y M.E. Reyes, 1998, Valoración económica de los recursos biológicos del país, en *La diversidad biológica de México: Estudio de País*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 211-234.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC.

- MITTERMEIER, R.A., y C. Mittermeier, 1992, La importancia de la diversidad biológica de México, en J. Sarukhán y R. Dirzo (comp.), *México ante los retos de la biodiversidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 63-73.
- LLORENTE-BOUSQUETS, J., y S. Ocegueda, 2008, Estado del conocimiento de la biota, en *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 283-322.
- UNEP/CBD/COP/7/20/Add.3. 4 December 2003. Implementation of the strategic plan: evaluation of progress. Towards the 2010 biodiversity target: development of specific Targets, indicators and a reporting framework. <http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-07/official/cop-07-20-add3-en.pdf>
- RODRÍGUEZ H.H. y E. Boege, 2009, Veracruz: una visión socioeconómica al comenzar el siglo XXI, en *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, vol. I, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- SARUKHÁN, J. *et al.*, 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.



(Foto: Jorge Morales-Mávila)



---

# SECCIÓN I

## Contexto Físico

### RESUMEN EJECUTIVO

Margarita Soto Esparza

En la presente sección se tratan tres de los aspectos más relevantes que conforman el medio físico del estado de Veracruz: el clima, la geomorfología y el suelo. En la naturaleza éstos interactúan, tanto entre ellos como con el medio biótico y sobre las actividades del hombre. También se tratan el cambio climático y los episodios de sequía y humedad con relación a la presencia de eventos como El Niño y La Niña, actualmente temas motivo de preocupación a nivel mundial.

En relación con la geomorfología, la entidad veracruzana posee una gran diversidad de formas geológicas; seis de las catorce provincias de México están presentes, siendo por orden de extensión: la Planicie Costera del Golfo de México, el Cinturón Neovolcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur, las montañas de Chiapas, la Sierra Madre Oriental y la Mesa Central. Las provincias con mayor riqueza y diversidad de formas de relieve son la Sierra Madre del Sur, el Cinturón Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental, y debido a que en sus mon-

tañas se desarrollan los patrones climáticos, geológicos y geomorfológicos más complejos de todo el estado, es factible encontrar en ellas una importante biodiversidad.

El suelo representa el capital natural en el que se llevan a cabo numerosos procesos biofísicos y bioquímicos relacionados con el desarrollo de los ecosistemas naturales y actividades agrícolas y pecuarias. En el estado de Veracruz se presentan 16 diferentes tipos de suelos, siendo ellos, en orden de abundancia: Vertisol, Feozem, Luvisol, Regosol, Acrisol, Cambisol, Gleysol, Andosol, Litosol, Rendzina, Arenosol y, con proporciones menores al 1 %, están el Nitosol, Fluvisol, Solonchak, Castañozem y Planosol.

Se analizan algunas de las implicaciones ambientales y de interés socioeconómico que pueden derivar del cambio climático. Sólo es posible analizarlo como un juego de condiciones previsibles con distintas probabilidades de presentarse, lo que constituye diferentes escenarios futuros. Así, se examina

cómo se generan algunos de ellos y se discuten sus implicaciones. Se concluye que el cambio climático implica un complejo de incertidumbres entre lo que ocurrirá y las posibles acciones que puede tomar el ser humano para cambiar la posteridad.

Los análisis muestran que en Veracruz las lluvias no guardan relación con NINO34. Del examen visual de SPI-1 con los eventos más fuertes que han acontecido de El Niño y La Niña, se deduce que la presencia de estos fenómenos, aun los más fuertes, no guardan relación con los eventos de exceso de humedad o de sequía.

La gran variación que en la entidad presentan los componentes del medio físico, abordados en esta sección, está influenciada, entre otros, por su posición geográfica y su heterogéneo relieve. De ello resulta un mosaico rico en condiciones físicas y de interacciones entre ellas y con el medio biótico. De esta manera no es de extrañar la existencia de la alta biodiversidad biológica que posee el estado de Veracruz.

# Geografía



Margarita Soto Esparza  
Daniel Geissert Kientz

## LOCALIZACIÓN

En la entidad veracruzana concurren un conjunto de parámetros geográficos y físicos que propician una gran variedad de ambientes, lo que a su vez da origen a su alta biodiversidad biológica y riqueza de recursos naturales.

Veracruz se localiza en la parte este de la República Mexicana al sur del Trópico de Cáncer, ubicándose entre los paralelos 17° 10' al 22° 15' de latitud norte y los meridianos 93° 35' al 98° 34' de longitud oeste. Ello le imprime la forma de una franja de aproximadamente 790 km de largo y un ancho que, en su parte más angosta, alcanza 33 km y en la más ancha 183 km. Abarca una superficie de 72 410 km<sup>2</sup> (INEGI, 1988). Su litoral comprende una longitud aproximada de 745 kilómetros (INEGI, 2006), lo que representa el 29.3 % de la costa mexicana del Golfo de México y el 4.7 % del total de la cuenca del Golfo de México.

Limita al norte con el estado de Tamaulipas, al este con el Golfo de México y el estado de Tabasco,

al sureste con el de Chiapas, al sur con el de Oaxaca y al oeste con los estados de Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (figura 1). Veracruz surge como estado libre y soberano desde la Constitución de 1824, es decir, desde la primera constitución que se decreta en México como nación.

## CONFIGURACIÓN TERRITORIAL

La configuración del terreno de la entidad veracruzana está dada por dos extensas planicies, una situada al norte y otra al sur, y separadas por las estribaciones montañosas del Eje Neovolcánico, que en las inmediaciones del paralelo 20° N penetra prácticamente hasta la costa constituyendo una barrera climática muy importante. Tierra adentro, el terreno se eleva paulatinamente para formar los sistemas montañosos de la Sierra Madre Oriental hacia el noroeste, el Eje Neovolcánico hacia el oeste y la Sierra Madre del Sur y Sierra de Chiapas, hacia el sureste y sur, respectivamente. Las planicies coste-

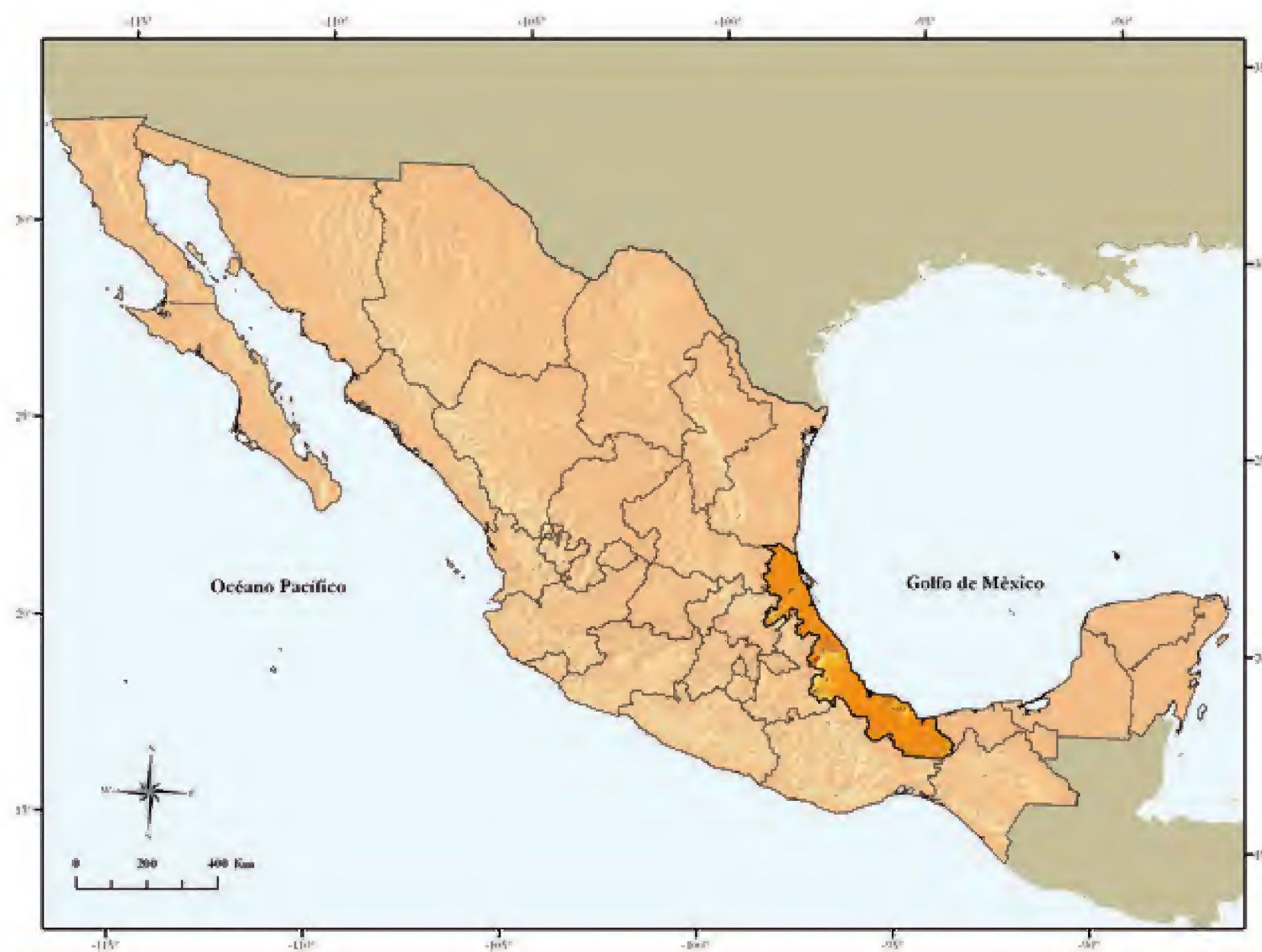


FIGURA 1. Localización del estado de Veracruz. Fuente: Conabio, 1997. Modelo digital del terreno de México. Escala 1:250 000.

ras ocupan el 73 % del territorio, mientras que las regiones montañosas conforman el 27 % restante (INEGI, 1987. Carta Fisiográfica, 1:1 000 000).

La planicie del norte se extiende desde el nivel del mar hasta los 350 m en la zona de lomeríos, pero localmente alcanza los 1 300 m en la sierra de Tantima o Sierra de Otontepec. Constituye la región del Totonacapan y gran parte de la Huasteca Veracruzana. La planicie del sur comprende las regiones Llanura de Sotavento (de Veracruz a Aca-yucan), la Sierra de Los Tuxtlas y el Istmo de Tehuantepec, que abarcan un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 350 m e, incluso, los 1 700 m en la Sierra de Los Tuxtlas.

De las zonas montañosas, la más extensa corresponde a la sierra Pico de Orizaba–Cofre de Perote, que marca el límite entre las planicies costeras y el altiplano mexicano, y se prolonga por la sierra de Chiconquiaco y el macizo de Palma Sola hasta la costa del Golfo de México. Estas sierras pertenecen al Eje Neovolcánico, sistema montañoso que atraviesa de oeste a este la República Mexicana, y que termina en dos grandes volcanes: el Cofre de Perote (4 250 msnm) y el Pico de Orizaba, el de mayor altura en el país (5 747 msnm).

Las otras zonas montañosas corresponden a la Sierra de Huayacocotla, al noroeste, parte de la Sierra Madre Oriental, cuya altitud sobre el nivel del

mar varía desde los 300 m hasta los 2 500 m. Al suroeste se erige la Sierra de Zongolica, formando el extremo nororiental de la Sierra Madre del Sur, cuyas altitudes son superiores a los 2 500 m. En el extremo sur se elevan sierras de 1 000 a 2 000 m de altitud y mesetas con cuevas, de 200 a 1 000 m de altitud, que corresponden al límite noroccidental de las Montañas de Chiapas. Finalmente, en la pla-

nicie sur, la Sierra de Los Tuxtlas se ubica entre los paralelos 18° 00' al 18° 43' norte y los meridianos 94° 40' al 95° 30' oeste. Su máxima altura se alcanza en el Volcán de San Martín con 1 700 msnm. También se hace referencia a que esta sierra está comprendida entre Roca Partida y Punta Varilla, ambas de gran influencia climática regional (Soto y Gama, 1997).

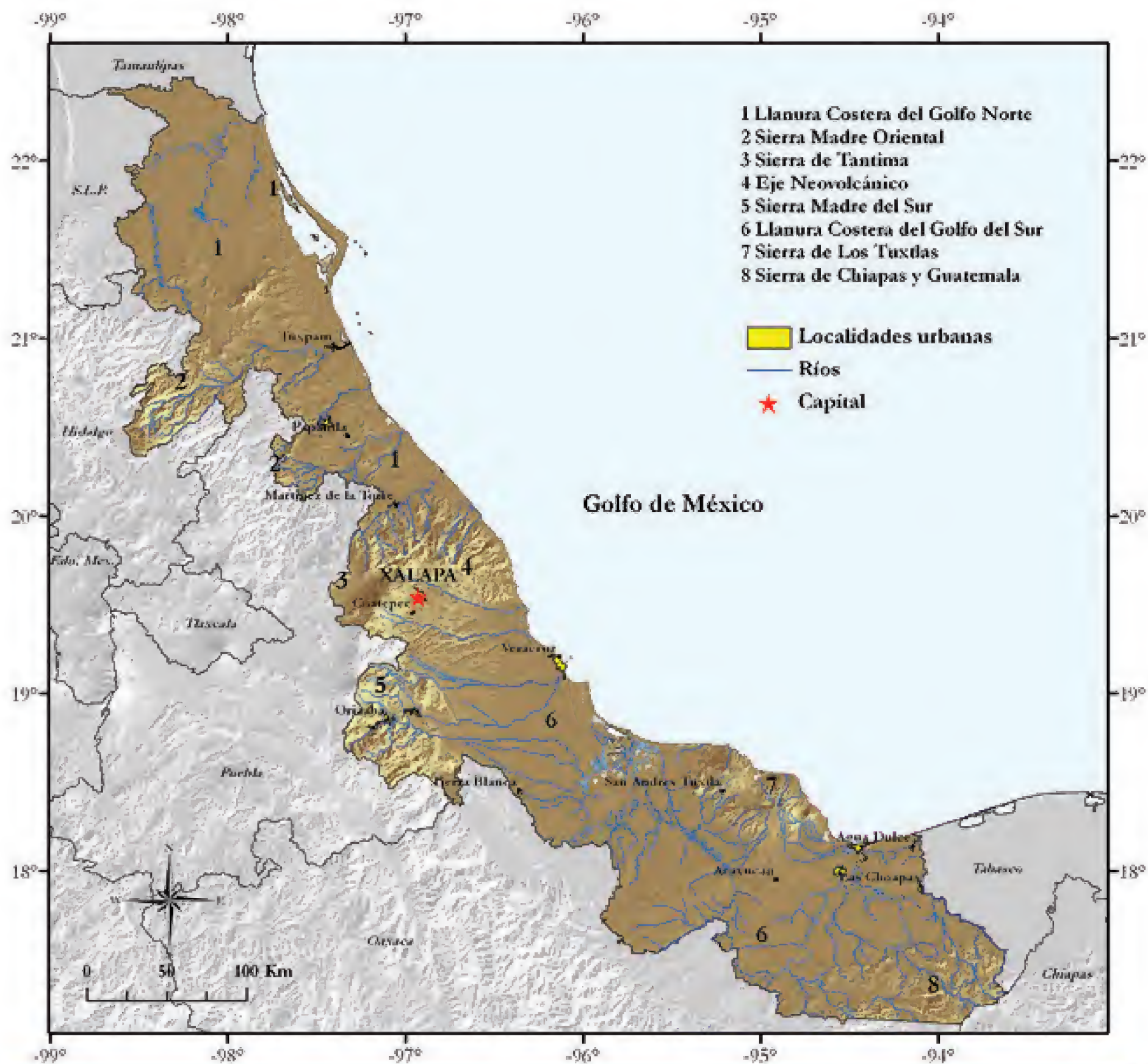


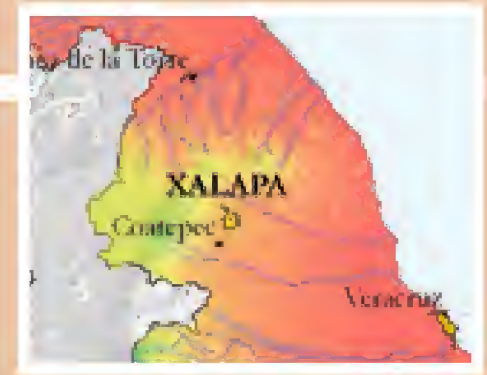
FIGURA 2. Imagen digital de la configuración del territorio veracruzano. Fuente: Conabio, 1997, *op. cit.*

En suma, la configuración del terreno, aunado al amplio intervalo de altitudes que van de 0 a más de 5 000 msnm, dan por resultado una gran variedad de condiciones ambientales. La imagen de terreno que se muestra en la figura 2, pone de manifiesto el relieve antes descrito.

#### LITERATURA CITADA

- INEGI, Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 1987. Carta Estatal de Regionalización Fisiográfica. Estado de Veracruz. Escala: 1:1 000 000. Aguascalientes, Ags., México.
- , 1988, Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz. 69 pp. Trece mapas anexos escala 1:1000000. Aguascalientes, Ags., México.
- , 1994, Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA). Disco compacto y disco flexible. Aguascalientes, Ags., México.
- , 2006, *Atlas*. Situación actual de la división política-administrativa interestatal Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes, Ags., México. 232 pp.
- Soto, M. y L. Gama, 1997, Climas, en E.R. Dirzo y R.C. Vogt (eds.), *Historia Natural de Los Tuxtlas*, UNAM/Conabio, México, pp. 7-23.

# Clima



Margarita Soto Esparza  
Lorrain E. Giddings Berger

## INTRODUCCIÓN

El escenario climático del estado de Veracruz es extraordinariamente diverso. Por ejemplo, en el trayecto de aproximadamente 100 kilómetros que va del Valle de Perote a la costa se encuentran prácticamente todos los tipos climáticos presentes en el país. El único clima que no se encuentra en el estado es el muy árido *BW*.

La geografía y la localización de la entidad hacen que las condiciones de temperatura y de humedad muestren una gama muy amplia. En consecuencia, la combinación de estos parámetros origina también una gran heterogeneidad en la conformación de los tipos y subtipos climáticos. Por ello, se consideró importante abordar por separado el comportamiento de algunos datos de temperatura y precipitación, para lo cual se usó el Sistema de Información Geográfica Bioclimas (Soto *et al.*, 1996).

Los climas se describen de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (2004). En el presente trabajo se identifican los

grandes grupos y subgrupos existentes, y en algunos casos relevantes se menciona la modificación con respecto a la clasificación de Köppen. También se dan algunos detalles de las características que se usan para definir los tipos y subtipos de climas, además se elaboran dos cuadros resumen de los mismos, que incluyen la superficie que cubren en la entidad.

En las condiciones climáticas que prevalecen en Veracruz, los vientos y las perturbaciones atmosféricas tienen un papel importante. Así, se hace una somera descripción de ellos, y en especial de la época del año en la que dejan sentir su efecto.

## TEMPERATURA

Los parámetros relacionados con la temperatura, tales como la media anual, la máxima y la mínima extremas, presentan un comportamiento peculiar (Soto *et al.*, 2001). Por ejemplo, en la zona montañosa de la parte central y del noroeste de la entidad, los tres parámetros guardan la relación conocida con

la altitud, es decir, la disminución de la temperatura con la altura. En la Planicie Costera del Golfo de México la temperatura se comporta diferente. En la porción norte de dicha planicie la temperatura media anual y la mínima extrema en promedio anual alcanzan valores menores de los que se presentan en la porción sur. En la zona norte, los valores de la temperatura media anual están entre 24 y 25 °C

(figura 1) y los valores de la temperatura mínima extrema (promedio anual) están en el intervalo 13 a 16 °C. En la planicie sur los valores son mayores: la temperatura media va de 25 a mayores de 26 °C y la mínima en promedio anual va de 16 a mayores de 17 °C (figura 2). Por lo que respecta a la temperatura máxima extrema su valor es similar al norte y al sur de la planicie, del orden de 27 a 28 °C (figura 3).

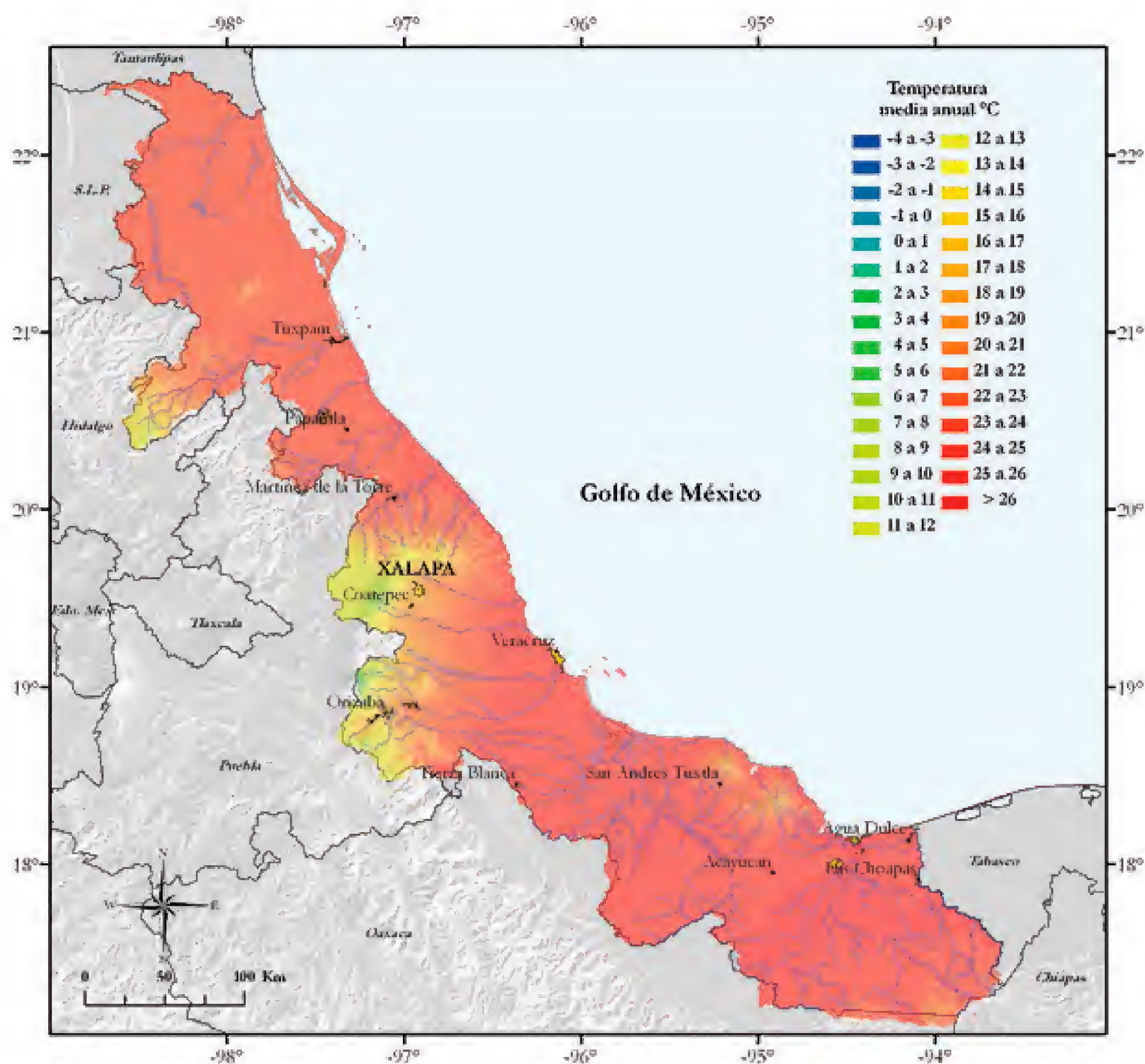


FIGURA 1. Valores y distribución de la temperatura media anual. Tomado de Soto *et al.* (1996).

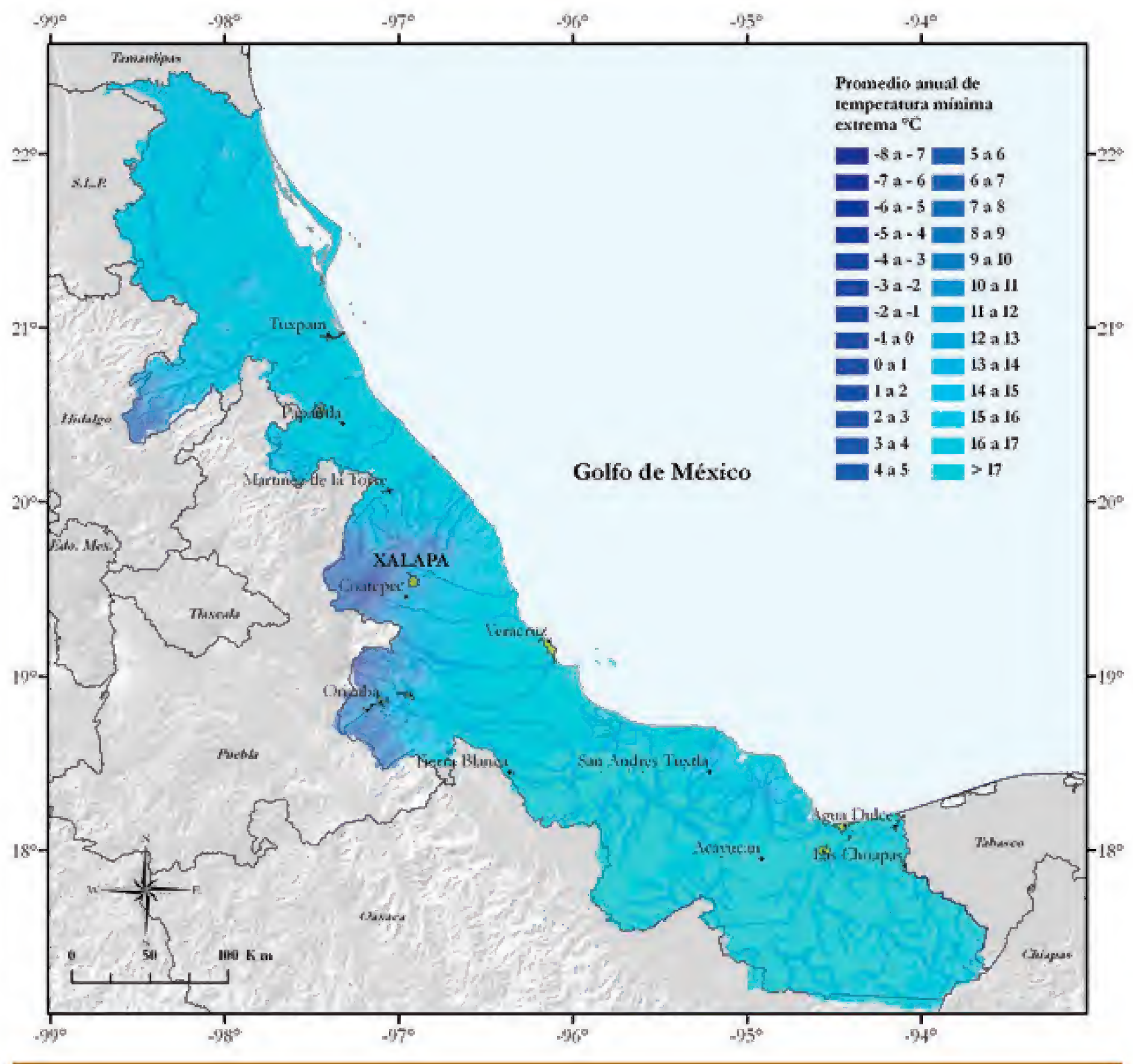


FIGURA 2. Promedio anual de la temperatura mínima extrema. Se observa que los valores alcanzados en la Llanura del Golfo de México situada al sur son mayores que los alcanzados en la del norte. Tomado de Soto *et al.* (1996).

En conclusión, la zona de la planicie norte es más fría que la del sur. Las causas de tal comportamiento no son bien conocidas, sin embargo, es muy posible que guarden relación con la posición y la forma alargada del estado, lo que hace que se extienda aproximadamente cinco grados de latitud norte,

con la invasión de masas de aire tropical y polar, con las perturbaciones atmosféricas (ciclones tropicales y nortes) que concurren en el Golfo de México y con la barrera climática que constituye el macizo montañoso que penetra prácticamente hasta la costa en las inmediaciones del paralelo 20° N.

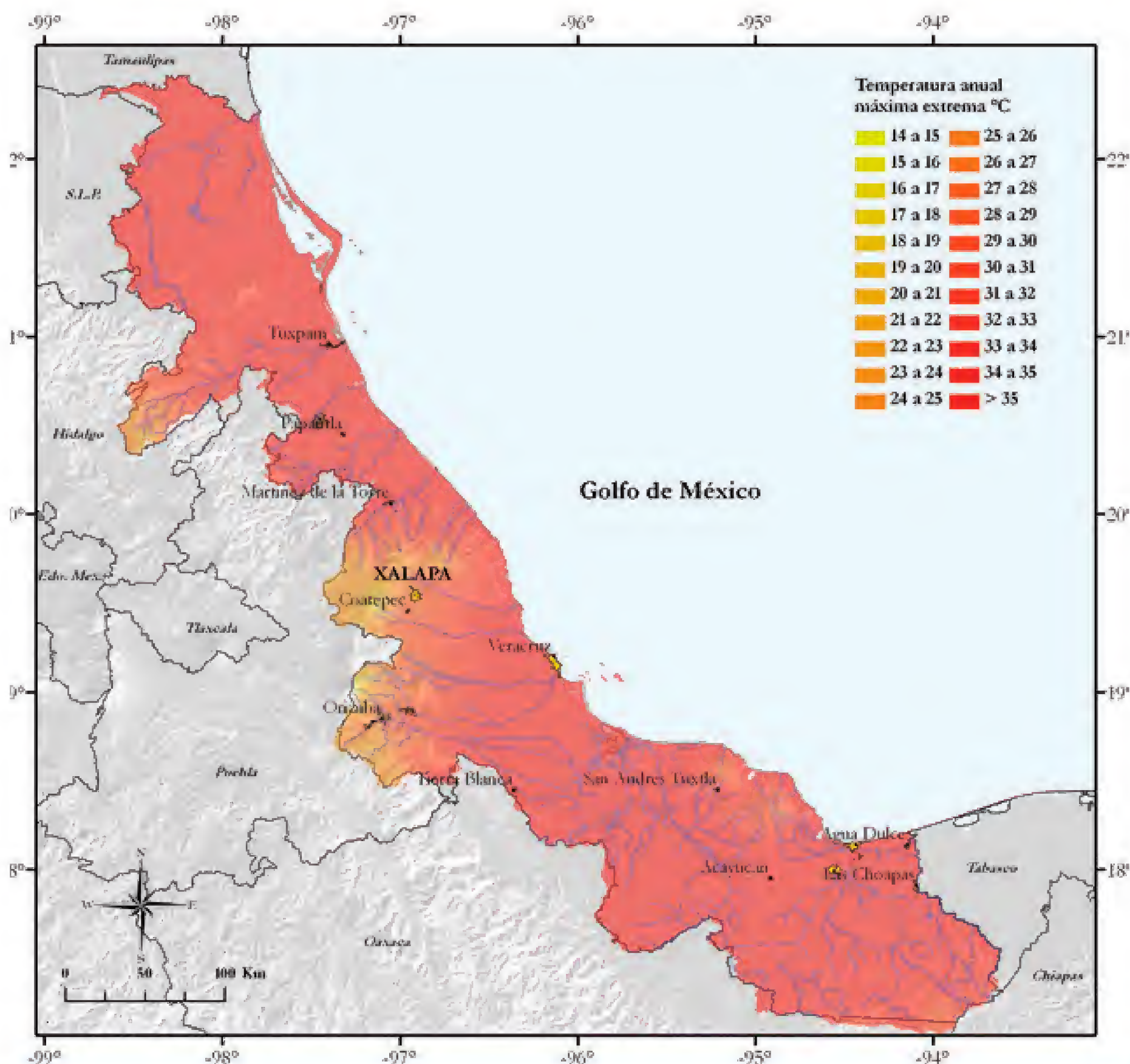


FIGURA 3. Promedio anual de la temperatura máxima extrema. Tomado de Soto *et al.* (1996).

Los cuadros 1, 2 y 3 muestran, respectivamente, los datos correspondientes a la temperatura media anual, mínima y máxima extremas que se presentan en la entidad veracruzana, la superficie en kilómetros y su porcentaje.

De acuerdo con los intervalos de la temperatura media anual que se consideran para delimitar las

diversas zonas térmicas en el estado de Veracruz, el 10 % de su superficie es muy cálida (mayor a 26 °C), el 76 % es cálida (22 a 26 °C), el 7 % es semicálida (18 a 22 °C), el 6 % es templada (12 a 18 °C), el 1 % es semifría (5 a 12 °C) y menos del 1 % es fría o muy fría (menor de -2 a 5 °C) (Soto y García, 1989).

CUADRO 1. Valores que alcanza la temperatura media anual, área que ocupan en kilómetros cuadrados y porcentajes correspondientes.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL		
INTERVALO (°C)	ÁREA EN Km <sup>2</sup>	PORCENTAJE
-4 a -3	0.2412	<0.001
-3 a -2	0.2412	<0.001
-2 a -1	0.7236	0.001
-1 a 0	1.3266	0.002
0 a 1	1.2060	0.002
1 a 2	2.0501	0.003
2 a 3	2.7737	0.004
3 a 4	6.2710	0.009
4 a 5	17.245	0.024
5 a 6	21.3456	0.030
6 a 7	27.0136	0.038
7 a 8	32.5610	0.046
8 a 9	53.5448	0.075
9 a 10	137.3593	0.193
10 a 11	214.7823	0.301
11 a 12	382.4113	0.537
12 a 13	901.3378	1.265
13 a 14	620.4687	0.871
14 a 15	551.3669	0.774
15 a 16	590.8019	0.829
16 a 17	650.1354	0.912
17 a 18	747.9391	1.049
18 a 19	897.5993	1.259
19 a 20	1 065.7107	1.495
20 a 21	1 272.5336	1.786
21 a 22	1 728.1470	2.425
22 a 23	2 439.9072	3.424
23 a 24	4 431.1953	6.218
24 a 25	22 073.4902	30.973
25 a 26	25 418.7148	35.666
>26	6 977.3481	9.790

Los datos fueron obtenidos del *Sistema Bioclimas* (Soto *et al.* 1996).

CUADRO 2. Promedio anual de la temperatura mínima extrema, área en kilómetros cuadrados y porcentaje que ocupan los distintos valores que se tienen en la entidad.

TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL		
INTERVALO (°C)	ÁREA EN Km <sup>2</sup>	PORCENTAJE
-12 a -11	0.1206	<0.002
-11 a -10	0.3618	<0.002
-10 a -9	0.4824	<0.002
-9 a -8	1.0854	0.002
-8 a -7	1.6884	0.002
-7 a -6	2.0501	0.003
-6 a -5	2.8943	0.004
-5 a -4	8.4418	0.012
-4 a -3	20.0190	0.028
-3 a -2	23.6369	0.033
-2 a -1	30.7521	0.043
-1 a 0	42.4499	0.060
0 a 1	98.4067	0.138
1 a 2	181.4976	0.255
2 a 3	321.6307	0.451
3 a 4	694.3943	0.974
4 a 5	815.4731	1.144
5 a 6	604.7911	0.849
6 a 7	640.3671	0.899
7 a 8	674.8577	0.947
8 a 9	748.4215	1.050
9 a 10	943.0641	1.323
10 a 11	1 125.6472	1.579
11 a 12	1 400.0040	1.964
12 a 13	1 813.7704	2.545
13 a 14	5 424.4277	7.611
14 a 15	17 381.5645	24.389
15 a 16	6 788.7354	9.526
16 a 17	9 856.8291	13.831
>17	21 619.9258	30.336

Los datos fueron obtenidos del *Sistema Bioclimas* (Soto *et al.*, 1996).

## HUMEDAD

La humedad de un lugar depende principalmente de la precipitación que recibe y, de manera secundaria, de su cercanía a cuerpos de agua, cuya brisa incrementa la humedad atmosférica, o de la presencia de fenómenos meteorológicos como la neblina. Con relación a esta última, desde hace ya varias décadas se sabe que existen especies de plantas que poseen mecanismos que les permiten aprovechar con gran eficiencia la humedad de la neblina

(Miranda y Sharp, 1950). No obstante, el indicador que se usa en climatología para determinar la humedad de un lugar es la cantidad de precipitación que recibe, relacionada fundamentalmente con otros parámetros tales como la época en que ocurre (régimen de lluvias) y la temperatura del lugar.

La cantidad de precipitación que cae en Veracruz varía en las diferentes zonas. Como se observa en la figura 5, el intervalo alcanza valores de más de 400 mm a 4 600 mm en total al año, en la zona del Valle de Perote y en las laderas orienta-

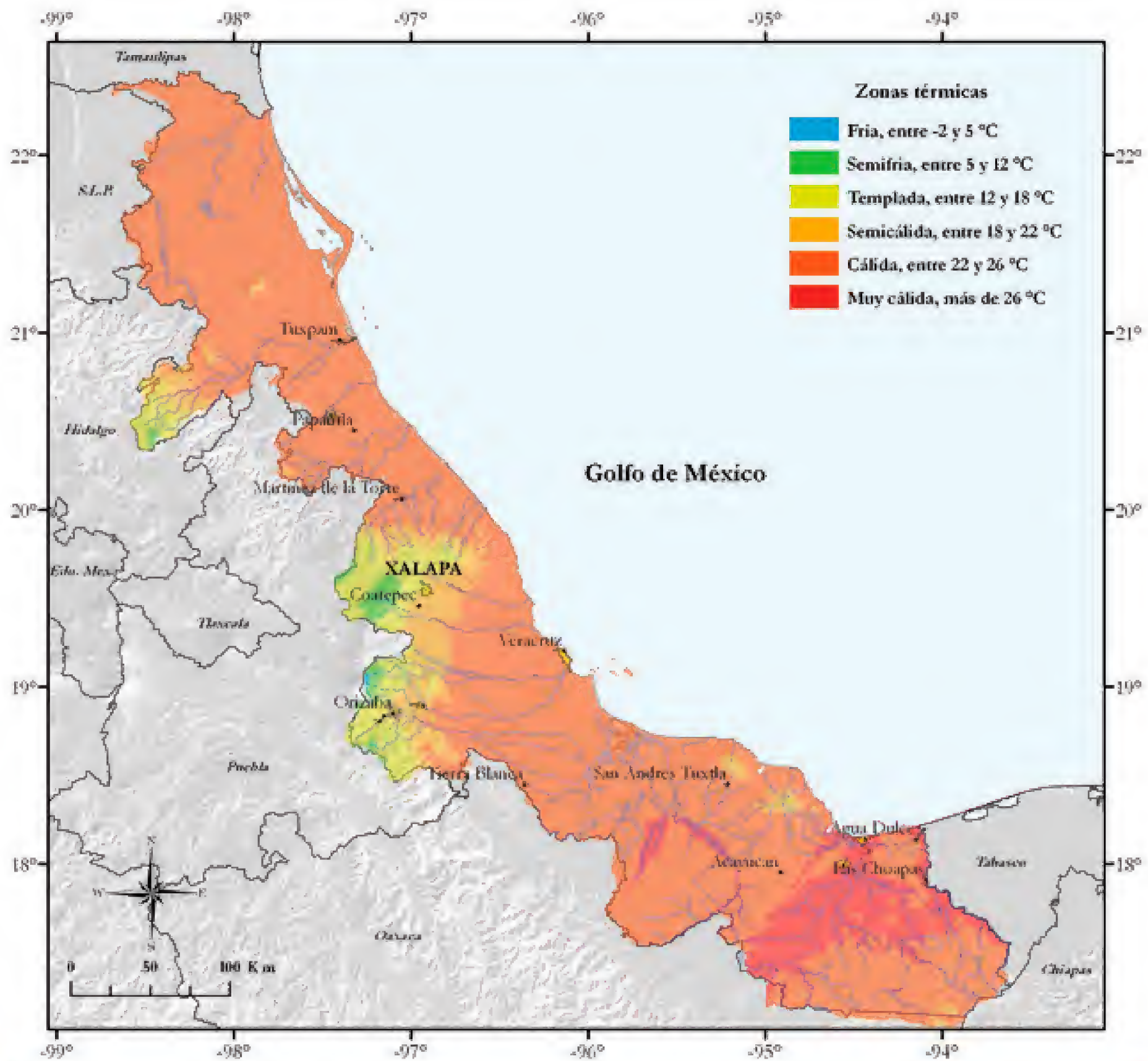


FIGURA 4. Temperatura media anual agrupada de acuerdo a los valores de zonas térmicas. Se observa que la entidad veracruzana es cálida en su mayor superficie. Tomado de Soto *et al.* (1996).

les de la Sierra de Los Tuxtlas, respectivamente. En el 46 % de la superficie de la entidad, la cantidad de lluvia es del orden de 1 200 mm a 1 600 mm (cuadro 4). Se debe recordar que la cantidad

de lluvia medida por el pluviómetro significa la altura del suelo que alcanzaría el agua en un metro cuadrado, si no hubiera escurrimiento, filtración y evaporación.

CUADRO 3. Promedio anual de la temperatura máxima extrema, área en kilómetros cuadrados y porcentaje. Los datos fueron obtenidos del Sistema Bioclimas (Soto *et al.*, 1996).

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA		
INTERVALO (°C)	ÁREA EN Km <sup>2</sup>	PORCENTAJE
8 a 9	0.3618	<0.002
9 a 10	0.6030	<0.002
10 a 11	1.0854	0.002
11 a 12	1.4472	0.002
12 a 13	2.1707	0.003
13 a 14	2.6531	0.004
14 a 15	6.6328	0.009
15 a 16	17.7277	0.025
16 a 17	23.7575	0.033
17 a 18	29.1843	0.041
18 a 19	39.4350	0.055
19 a 20	80.7996	0.113
20 a 21	188.3716	0.264
21 a 22	303.7824	0.426
22 a 23	682.9376	0.958
23 a 24	877.2185	1.231
24 a 25	589.7166	0.827
25 a 26	589.7166	1.038
26 a 27	680.8875	0.955
27 a 28	853.0992	1.197
28 a 29	1 041.4708	1.461
29 a 30	1 229.6013	1.725
30 a 31	1 640.3528	2.302
31 a 32	2 236.8228	3.139
32 a 33	3 412.7585	4.789
33 a 34	8 029.6729	11.267
34 a 35	4 8555.1406	68.131

Los datos fueron obtenidos del *Sistema Bioclimas* (Soto *et al.*, 1996).

CUADRO 4. Rangos de valores a que llega la precipitación total anual, área que abarcan y porcentaje de la misma.

PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL		
INTERVALO (MM)	ÁREA EN Km <sup>2</sup>	PORCENTAJE
200 a 400	257.8352	0.362
400 a 600	352.5034	0.495
600 a 800	302.9383	0.425
800 a 1000	2 963.6575	4.158
1000 a 1200	8 372.0459	11.747
1200 a 1400	12 777.7959	17.929
1400 a 1600	11 742.3545	16.476
1600 a 1800	5 854.3540	8.215
1800 a 2000	4 378.3745	6.144
2000 a 2200	4 713.5117	6.614
2200 a 2400	4 352.6875	6.108
2400 a 2600	4 468.5806	6.270
2600 a 2800	4 214.6045	5.914
2800 a 3000	2 329.9231	3.269
3000 a 3200	1 630.3433	2.288
3200 a 3400	1 158.3287	1.625
3400 a 3600	374.8137	0.526
3600 a 3800	289.5521	0.406
3800 a 4000	264.5886	0.371
4000 a 4200	276.7688	0.388
4200 a 4400	162.3228	0.228
4400 a 4600	29.9079	0.042

Los datos fueron obtenidos del *Sistema Bioclimas* (Soto *et al.*, 1996).

## GRUPOS Y SUBGRUPOS CLIMÁTICOS

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana (García, 2004), las características de los grupos y subgrupos climáticos están determinadas principalmente por el valor que alcanza la temperatura media anual y la del mes más frío. En los climas templados, semicálidos, semifríos y secos, se considera la temperatura del mes más caliente para establecer las condiciones de temperatura del verano. En la entidad veracruzana se encuentran cuatro grupos climáticos (todos los que existen en México) y uno

de los dos subgrupos semicálidos. Esto es un indicador de su riqueza climática.

### Climas Cálidos A

En este grupo, García (2004) reconoce los climas cálidos y muy cálidos mediante el valor que alcanza la temperatura media anual. En los primeros, dicho parámetro alcanza valores entre 22 y 26 °C y en los segundos es mayor a 26 °C. La temperatura media del mes más frío es mayor a 18 °C, en ambos casos. Presenta tipos y subtipos húmedos y subhúmedos. La mayor parte de la superficie del

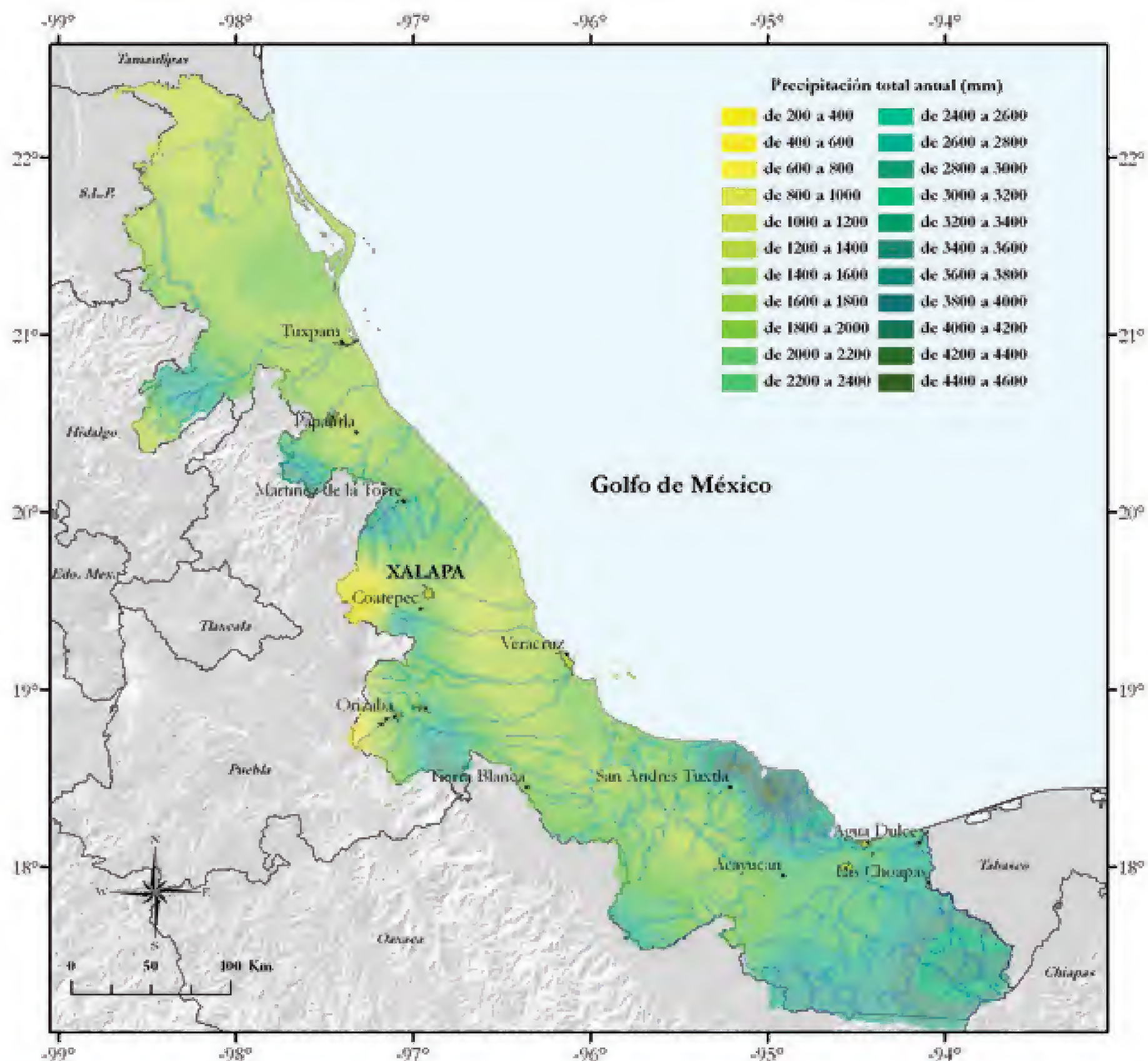


FIGURA 5. Cantidad y distribución de la precipitación total anual. Tomado de Soto *et al.* (1996).

estado está dentro de este grupo. De acuerdo con García (1970), los tipos y subtipos climáticos húmedos se localizan en toda la parte sur del estado hasta la parte baja de las montañas del norte de Chiapas, en altitudes menores de 900 msnm, en gran parte de la zona de Los Tuxtlas, en las laderas de la Sierra Madre Oriental comprendidas

entre los paralelos 20 a 21° 31' N en altitudes que van de 400 a 600 msnm. También se localizan al sur del paralelo 19° hacia la porción oeste del estado en altitudes de 100 a 300 msnm. Con respecto a los tipos subhúmedos, se distribuyen en la Llanura del Golfo de México tanto al norte como al sur de la entidad (figura 6).

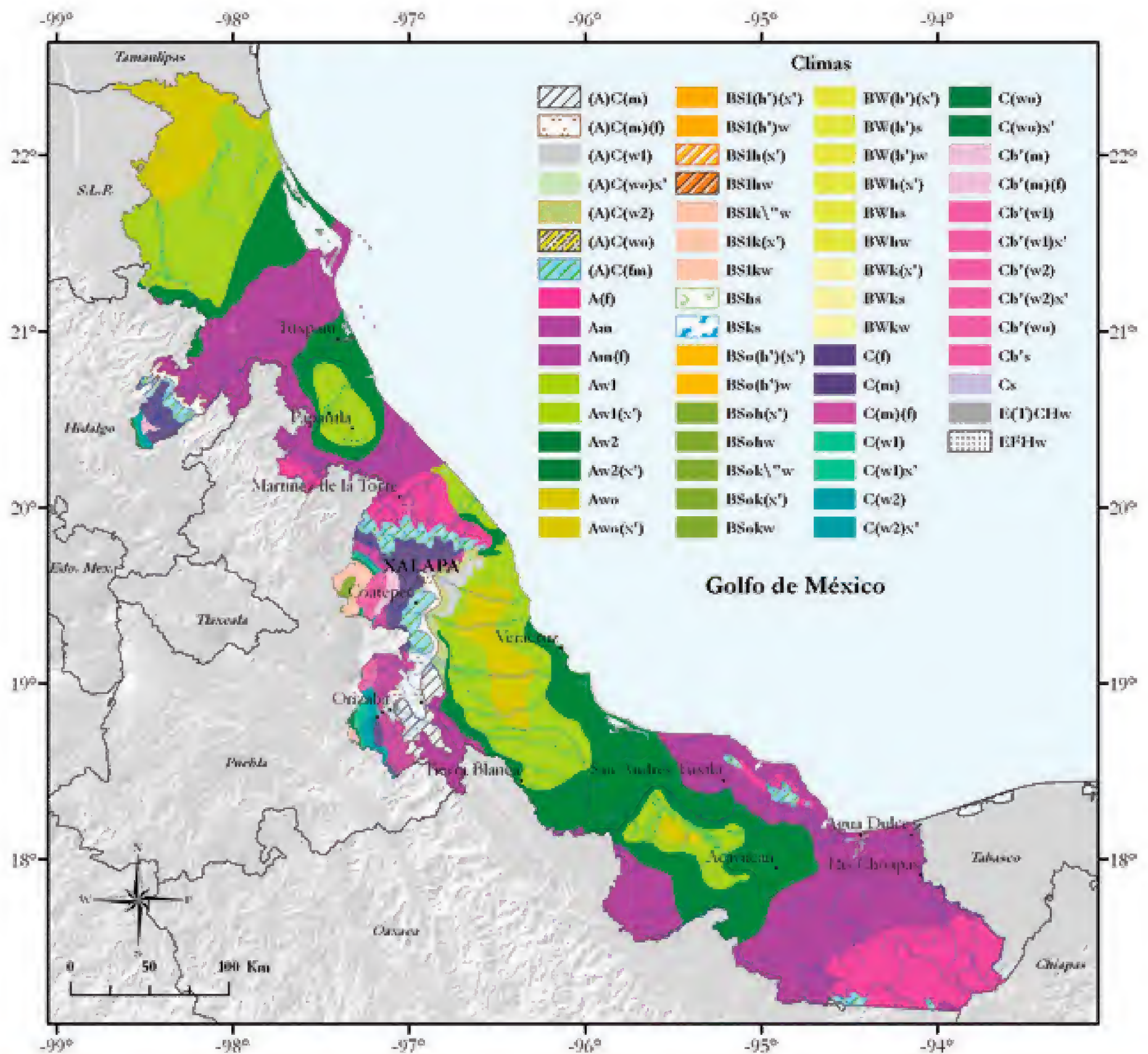


FIGURA 6. Mosaico climático presente en el estado (CONABIO, 1998).

### SEMICÁLIDOS (A)C

Entre las modificaciones más importantes que García (2004) hace a la clasificación climática de Köppen está la distinción del subgrupo semicálido, el cual integró a las estaciones climatológicas que quedaban dentro del grupo cálido A, pero eran frescas

comparadas con otras del mismo grupo, según el límite reconocido por Köppen (1948) de tener la temperatura media del mes más frío mayor a 18 °C. Algo semejante ocurría con estaciones climatológicas que por tener la temperatura media del mes más frío inferior a 18 °C, se ubicaban en el grupo templado C. Sin embargo, por la temperatura que se

alcanza en los otros meses del año, son relativamente más cálidas.

García (2004) introdujo la temperatura media anual y la temperatura media del mes más caliente como parámetros en la clasificación del clima a nivel de grupo y subgrupo. Con ello, determinó que las estaciones pertenecientes al grupo templado se caracterizan por tener su temperatura media anual mayor a 18 °C, la temperatura media del mes más frío entre -3 y 18 °C y la temperatura media del mes más caliente mayor a 6.5 °C. Los climas semicálidos que se encuentran en la entidad veracruzana son de este tipo, es decir, provienen del grupo de clima templado *C*, cuya expresión climática es *(A)C*. Estos climas de transición entre los climas cálidos *A* y los templados *C* se ubican en zonas situadas entre ambos climas en las laderas de la Sierra Madre Oriental, en altitudes comprendidas entre 600 a 1 300 msnm en el norte, y entre 800 a 1 500 msnm en la parte oeste (figura 6). Ejemplos de zonas con este clima son Córdoba, Orizaba y Coatepec, clima muy apropiado para producir café de alta calidad.

### Climas Templados C

Este grupo se distingue porque la temperatura media anual tiene valores entre 12 y 18 °C y la del mes más frío entre -3 y 18 °C. La temperatura del mes más caliente se considera para determinar las condiciones del verano. Así, en aquellas estaciones en las que la temperatura media anual del mes más caliente es mayor a 22 °C, los climas se denominan templados con veranos cálidos, se designan con la literal *a*, y la expresión climática es *Ca*. En los casos en que la temperatura media del mes más caliente está entre 6.5 y 22 °C, los climas son denominados templados con verano fresco y largo, y tienen como expresión *Cb*. En Veracruz se encuentran lugares con ambos tipos de estaciones.

El grupo templado en el estado de Veracruz ocupa las laderas de la Sierra Madre Oriental en alti-

tudes entre 1 300 a 2 800 msnm al noroeste, y de 1 500 a 2 800 msnm al oeste. Entre las ciudades que se localizan en zonas con climas templados están Xalapa, Jalacingo, Maltrata y Acultzingo, entre otras.

### Climas Semifríos

En estos climas la temperatura media anual alcanza valores entre 5 y 12 °C, en tanto que la temperatura media del mes más frío alcanza valores comprendidos entre -3 y 18 °C, y la del mes más caliente se ubica entre 6.2 y 22 °C. Por estas condiciones de temperatura, los climas son definidos con veranos frescos y largos, lo que se expresa con la literal *b'*. También se encuentran otras estaciones cuyo mes más caliente presenta los valores antes mencionados, pero además tienen menos de 4 meses con temperatura media mayor de 10 °C. En este caso, a los climas se les denomina con verano fresco y corto, y su expresión climática es *Cc*.

Es importante mencionar que aunque García les da el nombre de climas semifríos y determina límites de temperatura específicos, continúa usando la literal *C* correspondiente a los climas templados. En la entidad veracruzana estos climas se localizan en las laderas de la Sierra Madre Oriental en altitudes que van de los 2 800 a los 4 000 msnm, entorno que constituye el límite de la vegetación arbórea. En estas altitudes y condiciones climáticas las poblaciones son bastantes pequeñas, siendo una de las más grandes Las Vigas.

### Climas Fríos E

El clima *E* de México, al igual que en la clasificación de Köppen, tiene dos subgrupos. No obstante, en México, según García (2004), varían en cuanto a los límites de temperatura y de altitud. Así, el *E(T)H* o clima frío presenta la temperatura media anual entre

-2 y 5 °C y la del mes más caliente está entre 0 y 6.5 °C; en cuanto al límite de altitud se sitúa aproximadamente a los 4 000 msnm. En el clima *EFH*, denominado muy frío, la temperatura media anual es menor de -2 °C y la del mes más caliente es inferior a 0 °C. Su límite altitudinal se encuentra por encima de los 5 000 msnm. La literal *H* en ambos casos significa que son climas fríos situados en las partes altas de las montañas situadas en bajas latitudes.

Los climas fríos en México están restringidos a las partes de mayor altitud de los diversos sistemas montañosos del país. Por encontrarse localizados en la zona intertropical, los límites de la temperatura y de oscilación tienen diferencias con los que da Köppen. Sucede lo mismo con los límites de la vegetación arbórea, con los pastizales y el establecimiento de la zona de hielos perpetuos (García, 2004). En el estado de Veracruz, los climas fríos se localizan en las partes más altas del Pico de Orizaba y del Cofre de Perote.

### Climas Secos B

Como se sabe, el que un lugar sea seco o húmedo depende de la relación de temperatura y cantidad de lluvia que reciba. Tanto Köppen (1948) como García (2004) aplican fórmulas empíricas para determinar si un lugar es seco o húmedo. Dentro de los climas secos, a los más extremos se les denota con la expresión *BW* y García los denomina muy áridos en lugar de desérticos, como lo hace Köppen. En este caso, la *W* es mayúscula y no guarda relación con la *w* minúscula que se refiere al régimen de lluvias de verano, aunque los *BW* pueden presentar lluvias en verano.

También en este subgrupo están comprendidos los climas *BS*, que en el sistema modificado son denominados áridos y Köppen los llama esteparios. Los climas *BS* fueron estudiados por García, y con base en la relación que hace de ellos con la distribución de la especie de planta *Larrea* (García *et al.*,

1961), determina para México los límites de clima *BS* y *BW*.

Por otra parte, para los climas áridos *BS* cuyo régimen de lluvias es de verano *w*, (García, 2004) también aplica el índice de humedad de Lang o *P/T*, y con base en él distingue el *BS<sub>o</sub>* y el *BS<sub>l</sub>*. En el primero, el valor del *P/T* es menor de 22.4 y en el segundo es mayor que dicho valor. Estos climas se localizan en el Valle de Perote, el cual queda a la sombra de lluvia que produce el macizo montañoso en el que se encuentra el Cofre de Perote, cuya altitud, de 4 282 msnm, lo ubica entre los volcanes más altos del país.

### DIVERSIDAD DE TIPOS Y SUBTIPOS CLIMÁTICOS

En el estado de Veracruz existe un extenso mosaico de climas derivado de la multiplicidad de condiciones de temperatura y humedad. Éstas, entre otros factores, son debidas a la situación limítrofe del estado con el Trópico de Cáncer, lo que le imprime características especiales en cuanto a las oscilaciones de temperatura. Igualmente influye la variada altitud que alcanza valores de entre 0 a más de 5 000 msnm. La topografía también tiene un papel importante. Así, la región noroeste y oeste son sumamente accidentadas y aun las dos extensas planicies que conforman su topografía presentan una elevación importante, por lo que actúan como barreras climáticas: en la planicie norte se localiza la Sierra de Tantima u Otontepec y en la del sur se encuentra la Sierra de Los Tuxtlas.

En cuanto a los grupos y subgrupos climáticos que, como ya se indicó, se determinan con base en la temperatura, se encuentran todos los que hay en el resto del país, a excepción del subgrupo muy árido.

Con respecto a los tipos y subtipos climáticos también se encuentra una diversidad importante. Éstos se distinguen mediante aspectos relacionados con la humedad; uno de ellos es el régimen de lluvias,

CUADRO 5. Tipos y características de los subtipos del Grupo A (Cálidos).

GRUPO DE CLIMA	SUBTIPO DE CLIMA	RÉGIMEN DE LLUVIAS	MES MÁS SECO	PORCENTAJE DE LLUVIA INVERNAL	P/T	DENOMINACIÓN	ÁREA EN Km <sup>2</sup>
A Cálido temperatura media anual 22-24 °C o mayor. Temperatura media del mes más frío mayor de 18 °C	A(f)	Todo el año abundante con concentración en el verano	Precipitación de 60 mm o más	Mayor a 18	No específico	Húmedo	6 403
	Am(f)	Lluvias en verano e influencia de monzón	No específico	Mayor a 10.2	No específico	Húmedo	11 194
	Am	Verano con influencia de monzón	No específico	Entre 5 y 10.2	No específico	Húmedo	9 202
	Aw <sub>2</sub>	En verano	No específico	Menor a 5	Mayor a 55.3	Más húmedo de los subhúmedos	12 098
	Aw <sub>2</sub> (x')	Intermedias entre verano e invierno	No específico	Mayor a 10.2	Mayor de 55.3	Subhúmedo	2 822
	Aw <sub>1</sub>	En verano	No específico	Menor a 5	Entre 55.3 y 43.2	Intermedio	12 329
	Aw <sub>1</sub> (x')	Intermedio entre verano e invierno	No específico	Mayor a 10.2	Entre 55.3 y 43.2	Intermedio	1 708
Aw <sub>0</sub>	En verano	No específico	Menor a 5	Menor a 43.2	Más seco de los subhúmedos	5 047	
(A)C Semicálido proveniente del grupo Templado C Temperatura media anual mayor de 18 °C	(A)C(fm)	Todo el año con concentración en el verano	Mayor de 40 mm	Menor a 18	No específico	Húmedo	1 868
	(A)C(m)(f)	En verano con influencia de monzón	Menor de 40 mm	Mayor a 10.2	No específico	Húmedo	1 127
	(A)C(m)	En verano con influencia de monzón	Menor de 40 mm	Entre 5 y 10.2	No específico	Húmedo	824
	(A)C(w <sub>2</sub> )	En verano	No específico	No específico	Mayor a 55.0	Subhúmedo	451
	(A)C(w <sub>1</sub> )	En verano	No específico	No específico	Entre 55.0 y 43.2	Subhúmedo	341

Los datos fueron obtenidos del *Sistema Bioclimas* (Soto *et al.*, 1996).

CUADRO 6. Tipos y características de los subtipos del Grupo C (Templados).

GRUPO DE CLIMA	SUBTIPO DE CLIMA	RÉGIMEN DE LLUVIAS	MES MÁS SECO	PORCENTAJE DE LLUVIA INVERNAL	P/T	DENOMINACIÓN	ÁREA EN Km <sup>2</sup>
C Templado Temperatura media anual entre 12 y 18 °C Temperatura media del mes más frío menor de 18 °C	C(f)	Lluvias todo el año con concentración en el verano	Mayor a 40 mm	Menor a 18	No específico	Húmedo	1 476
	C(m)(f)	De verano con influencia de monzón	Menor de 40 mm	Menor a 18	No específico	Húmedo	1 218
	Cm	De verano con influencia de monzón	No específico	Entre 5 y 10.2	No específico	Húmedo	286
	C(w <sub>2</sub> )	De verano	No específico	No específico	Mayor a 55.0	Subhúmedos (más húmedo)	434
	C(w <sub>1</sub> )	De verano	No específico	No específico	Entre 55.0 y 43.2	Subhúmedo (intermedio)	175
	C(w <sub>0</sub> )	De verano	No específico	Menor a 43.2	Entre 55.3 y 43.2	Subhúmedo (más seco)	130
Cb' Semifrío Temperatura media anual entre 5 y 12 °C Temperatura media del mes más frío menor de 18 °C	Cb'(m)(f)	De verano con influencia de monzón	No específico	Entre 10 y 18	No específico	Húmedo	180
	Cb'(m)	De verano con influencia de monzón	No específico	Entre 5 y 10.2	No específico	Húmedo	57
	Cb'(w <sub>2</sub> )	De verano	No específico	No específico	Mayor a 55.0	Subhúmedo (más húmedo)	274
	Cb'(w <sub>1</sub> )	De verano	No específico	No específico	Entre 55.0 y 43.2	Subhúmedo (intermedio)	66
	Cb'(w <sub>0</sub> )	De verano	No específico	No específico	Menor de 43.2	Subhúmedo	76

Los datos fueron obtenidos del *Sistema Bioclimas* (Soto *et al.*, 1996).

es decir, en qué estación del año se presenta la precipitación. En la entidad veracruzana se encuentran tres regímenes de lluvia, siendo ellos: abundantes durante todo el año, de verano y de verano con influencia de monzón. Aunque en los primeros llueve todo el año se observa una concentración en el verano, considerándose la cantidad de precipitación que cae en el mes más seco. En las fórmulas climáticas este régimen se denota con la letra *f*. El régimen de lluvias de verano se presenta en la mayor parte de la entidad veracruzana, presentándose el mes más húmedo en la mitad caliente del año, y siendo su precipitación por lo menos 10 veces mayor a la del mes más seco (que puede estar en cualquier mes del año), lo que se expresa con la literal *w*. También en el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García, se considera el régimen de lluvias de verano con influencia de monzón; en éste hay un aumento de la precipitación en la época veraniega que en México se debe a perturbaciones atmosféricas como los ciclones y las tormentas tropicales. Para demarcar esta condición se usa la letra *m*.

Debido a las bajas temperaturas de la época invernal, los organismos, especialmente las plantas, están sometidos a un gran estrés. Por ello es especialmente importante la lluvia invernal ya que la existencia de humedad contribuye a mitigarlo. En la determinación de los tipos y subtipos climáticos de los grupos húmedos, en el sistema de clasificación de Köppen modificado por García, se emplea el porcentaje de lluvia invernal. Éste resulta de la suma de la precipitación de los meses invernales, enero, febrero y marzo, dividida entre la precipitación total anual y multiplicada por 100. Se debe recordar que el mes de diciembre es otoñal hasta el 21 de dicho mes, en tanto que marzo es invernal hasta el día 21, cuando inicia la primavera.

Otro elemento importante que se toma en cuenta para delimitar los subtipos climáticos subhúmedos y secos es el índice de humedad de Lang o  $P/T$ , cociente que resulta de dividir la precipitación total anual expresada en milímetros (P) entre la

temperatura media anual en grados centígrados (T). Este índice permite reconocer un gradiente de humedad de los tipos de clima que presentan régimen de lluvias de verano *w*.

La combinación y los valores que alcanzan los elementos arriba señalados originan en la entidad veracruzana un total de 28 diferentes tipos de clima. Del grupo cálido *A* se encuentran ocho, del subgrupo (*A*)*C* semicálido hay cinco, del grupo templado *C* existen seis, del templado semifrío cinco, del grupo *E* frío dos y del subgrupo árido *BS* dos (Conabio, 1998). La localización de éstos se observa en la figura 6. En los cuadros 5 y 6 se muestran los valores que alcanzan los diversos elementos que se consideran para delimitar los tipos y subtipos climáticos. Los tipos de grupo seco *B* y los del *E* frío se describen en el grupo de climas respectivo; sólo habría que agregar que en ambos grupos la precipitación se presenta en el verano.

## VIENTOS

De acuerdo a la posición que guarda Veracruz con relación al Sistema de Circulación Atmosférica, se sitúa a la entidad en la zona de dominio de los Vientos Alisios del Hemisferio Norte. Éstos provienen del Golfo de México y llegan a Veracruz con gran cantidad de humedad que se descarga en la planicie; la mayor parte asciende por las laderas del sistema montañoso, lo cual origina zonas cuyas precipitaciones son altas.

La gran extensión de continentes que se encuentran en el Hemisferio Norte favorece un mayor calentamiento durante el verano de dicho hemisferio, lo que provoca un desplazamiento al norte de las celdas de alta presión, Bermuda-Azores, y de todo el sistema de vientos en general. Durante el invierno, el sistema de circulación atmosférica se mueve hacia el sur, haciendo que el viento que domina en las diversas áreas se vea afectado. Así, se observa que durante el verano, y en general en la época cálida (abril-septiembre), los vientos alisios

son más vigorosos y dominan en altitudes mayores; no así durante la época fría (octubre-marzo), en la cual pierden potencia y profundidad. Estas condiciones de viento con frecuencia se ven afectadas por la presencia de perturbaciones atmosféricas, los “ciclones tropicales” en verano y los “nortes” en el invierno, los que veremos más adelante.

Las figuras 7 y 8 muestran las rosas de vientos para diversas estaciones en la entidad en dos meses; uno de ellos, enero, representativo de la época fría, y el otro, julio, de la caliente. En el mes de enero (figura 7) se observa, en general, que las rosas presentan un fuerte componente norte, lo cual refleja la influencia de los “nortes”. Este dominio sobre las direcciones noreste o este, que son las previstas puesto que Veracruz está en la zona donde dominan los vientos del noreste, muestra además la influencia citada del debilitamiento de los vientos alisios. No obstante, existen zonas en que la dirección del viento es del este. En la figura 8, que muestra las rosas de vientos del mes de julio, es notorio que en casi todo el estado los vientos dominantes son de dirección noreste, este o sureste; en suma, la componente es del este. Cabe notar que en la parte central del estado, que concuerda con la parte más accidentada, la dirección del viento no corresponde con los esquemas descritos en algunas localidades.

Como ya se mencionó, en el estado de Veracruz inciden dos perturbaciones atmosféricas: los nortes y los ciclones tropicales. Por una parte, los nortes son perturbaciones atmosféricas propias de la época fría y consisten en la invasión de grandes masas de aire provenientes del norte de Estados Unidos o sur de Canadá que, al pasar por las aguas relativamente cálidas del Golfo de México, modifican sus condiciones de humedad de temperatura. Afectan fundamentalmente la vertiente oriental del país, aportando una cantidad significativa de humedad en la época invernal, lo cual se refleja en las condiciones del clima. Como ya se indicó con anterioridad, García (2004) emplea el porcentaje de lluvia invernal para delimitar algunos subtipos climáticos.

Por otra parte, los ciclones tropicales son perturbaciones propias del verano cuya formación permite que se introduzca una gran cantidad de humedad a las capas superiores de la atmósfera, y son capaces de traspasar la Sierra Madre Oriental introduciendo humedad a la parte central y occidental del país.

Cuando los ciclones tropicales se desarrollan intensamente y se internan en el continente pueden causar daños de gran consideración. De acuerdo con la velocidad que llega a alcanzar el viento de estas perturbaciones, Zafiro-Simpson las clasifica en: Depresiones, menor de 39 mph; Tormenta tropical, 39-73 mph, y Huracanes de varias categorías: categoría 1, 74-95 mph; categoría 2, 96-110 mph; categoría 3, 111-130 mph; categoría 4, 131-155 mph; categoría 5, mayor de 155 mph. Con frecuencia una perturbación puede llegar a tener las tres categorías mencionadas, al igual que pasar por los diferentes niveles de huracán.

Según Jáuregui (1967), de los 96 ciclones tropicales que se produjeron entre 1901 y 1960, el 15 % afectó al estado de Veracruz. Por otra parte, Luna Bauza (1994) indica que la entidad veracruzana ha sido impactada por 41 ciclones tropicales, desde el más antiguo registrado el 2 de septiembre de 1552, que determinó el traslado del asentamiento de la antigua a la actual localización de la ciudad de Veracruz, debido a los daños que causó. El mismo autor menciona el número de ciclones que han afectado a las diversas zonas, dando los siguientes datos:

Diez, Cuenca del Tuxpan; nueve, Cuenca del Pánuco; siete Puerto de Veracruz; seis, Coatzacoalcos; cinco, Nautla; uno, Antón Lizardo; uno, Alvarado, y uno Los Tuxtlas.

En el cuadro 7 se compilan los ciclones registrados de 1866 a 2005, con base en los datos registrados en la página web de Unisys Weather: Hurricane/Tropical Data for Atlantic (Unisys, 2006). Con datos de la misma página web, en el cuadro 8 se hace un sumario de las tormentas tropicales y de las depresiones que han afectado al estado de Veracruz.

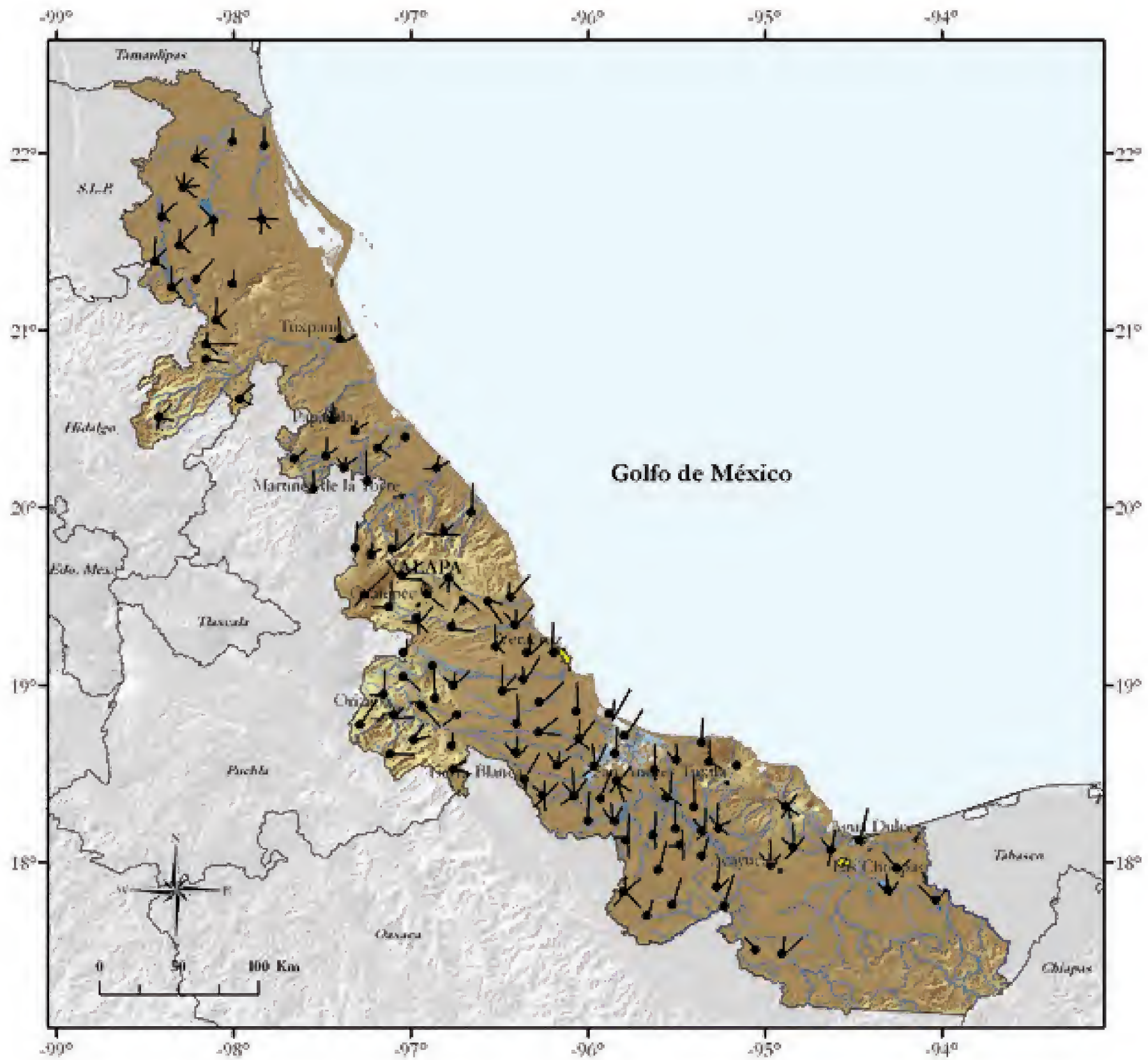


FIGURA 7. Rosas de Vientos de enero. Mes representativo del viento dominante en la época invernal. Tomado de Soto y García (1989).

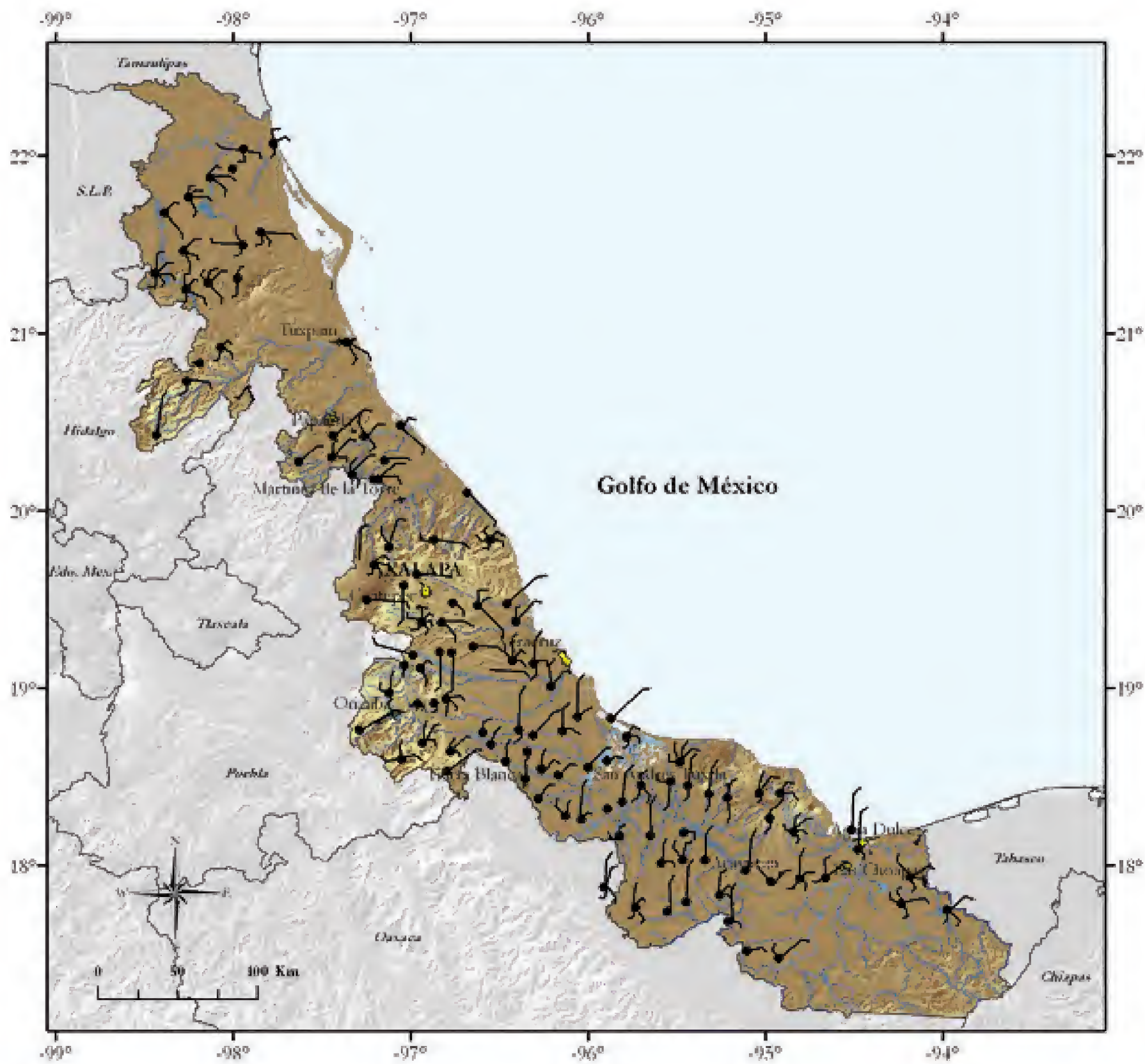


FIGURA 8. Rosas de Vientos de julio. Mes que representa las condiciones de viento prevalecientes en la estación del verano. Tomado de Soto y García (1989).

CUADRO 7. Huracanes originados en el Océano Atlántico entre 1866 y 2005, que afectaron el estado de Veracruz.

HURACANES			
FECHA	NOMBRE	VIENTO EN NUDOS	CATEGORÍA
17 - Ago. - 1866	Huracán No. 2	80	1
08 - Sep. - 1888	Huracán No. 4	75	1
14-15- Oct. - 1892	Huracán No. 7	85	2
06 - Oct. - 1902	Huracán No. 4	65	1
15 - Ago. - 1903	Huracán No. 2	70	1
06-07- Sep. - 1921	Huracán No. 2	70	1
15 - Oct. - 1923	Huracán No. 3	75	1
16 - Sep. - 1931	Huracán No. 6	75	1
15 - Sep. - 1933	Huracán No. 14	75	1
24 - Sep. - 1933	Huracán No.15	95	2
19 - Ago. - 1936	Huracán No. 8	65	1
29- 30- Ago.- 1936	Huracán No. 10	70	1
21 - Sep. - 1944	Huracán No. 8	70	1
15 - Ago. - 1947	Huracán No. 2	95	2
25 - Sep. - 1949	Huracán No. 8	85	2
10 - Oct. - 1950	ITEM	95	2
22 - Ago. - 1951	CHARLIE	115	4
12 - Sep. - 1954	FLORENCE	65	1
18 - Sep. - 1955	HILDA	110	3
29 - Sep. - 1955	JANET	95	2
27 - Jul. - 1956	ANNA	70	1
09 - Oct. - 1966	INEZ	120	4
19 - Sep. - 1967	BEULAH	105	3
03 - Sep. - 1988	DEBBY	65	1
07 - Ago. - 1990	DIANA	85	2
20 - Sep. - 1993	GERT	85	2
14 - Oct. - 1995	ROXANNE	65	1
23 - Ago. - 1996	DOLLY	70	1
05 - Oct. - 2000	KEITH	75	1
04 - Oct. - 2005	STAN	70	1

Aunque la perturbación pudo haber durado varios días, sólo anotamos la fecha en la que el viento alcanzó la mayor velocidad. Los datos fueron obtenidos de Unisys, 2006, *Hurricane/Tropical Data for Atlantic*.

CUADRO 8. Tormentas y Depresiones Tropicales, originadas en el Océano Atlántico entre 1902 y 2005 que afectaron el estado de Veracruz.

TORMENTAS Y DEPRESIONES TROPICALES			
FECHA	NOMBRE	VIENTO EN NUDOS	DENOMINACIÓN
05 - Oct. - 1902	Huracán No. 4	30	Depresión
06 - Oct. - 1902	Huracán No. 4	60	Tormenta
19 - Oct. - 1995	Huracán ROXANNE	30	Depresión
02 - Oct. - 2003	Tormenta LARRY	50	Tormenta
03 - Oct. - 2003	Tormenta LARRY	55	Tormenta
28 - Jun. - 2005	Tormenta BRET	30	Depresión
29 - Jun. - 2005	Tormenta BRET	35	Tormenta
25 - Jul. - 2005	Tormenta GERT	40	Tormenta
22 - Agos. - 2005	Tormenta JOSÉ	30	Depresión
23 - Agos. - 2005	Tormenta JOSÉ	45	Tormenta

Aunque las perturbaciones duraron varios días, solamente se anotó la fecha en la que el viento alcanzó la mayor velocidad. Los datos fueron obtenidos de Unisys, 2006, *Hurricane/Tropical Data for Atlantic*.

## CONCLUSIÓN

En el estado de Veracruz existe un diverso mosaico de climas. Ello pone de manifiesto las grandes variaciones que presentan la temperatura, la humedad y el viento, elementos que conforman el clima ya descrito en los diversos incisos de este trabajo. Por otra parte, dichas variaciones también están fuertemente influenciadas por los factores del clima que modifican a los elementos, como son la latitud, la altitud, el relieve y la distribución de mares y tierras. No es de extrañar la diversidad climática en la entidad veracruzana al estar presentes prácticamente todos los factores que modifican a los elementos.

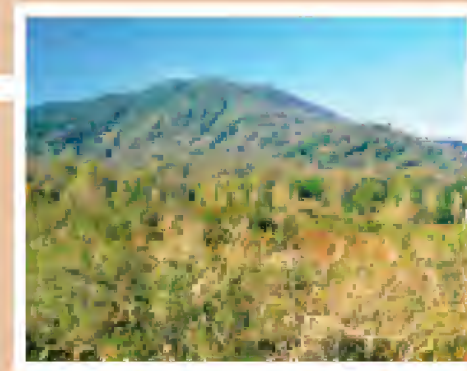
Por otra parte, siendo el clima un factor primario que influye sobre los demás componentes del medio ambiente, vemos como ha favorecido la presencia de una gran variedad de condiciones ecológicas que se reflejan en su riqueza de recursos naturales. Todo ello ha originado que el hombre lleve a cabo múltiples usos en este territorio, lo cual en muchos casos ha ocasionado una verdadera destrucción del medio ambiente.

## LITERATURA CITADA

- CONABIO, 1998, *Carta de Climas*. Sistema de Köppen modificado por E. García, Escala 1:1 000 000, Conabio/ESTADIGRAFÍA, México.
- GARCÍA, E., C. Soto y F. Miranda, 1961, Larrea y Clima, *Anales*, Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica 31:137-171.
- , 1970, Los climas del estado de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología*, UNAM, Serie Botánica, 41(1): 3-42.
- , 2004, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM, Serie Libros, núm. 6., México, 90 pp.
- JÁUREGUI, O.E., 1967, Las ondas del este y los ciclones tropicales en México, *Ingeniería Hidráulica en México*, 21(3):197-208.

- KÖPPEN, W., 1948, *Climatología*, Fondo de Cultura Económica, México, 204 pp.
- LUNA Bauza, C., 1994, *Crónica de los huracanes en el estado de Veracruz*, Testimonios 6, Editora del Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Ver., 132 pp.
- MIRANDA, F. y A.J. Sharp, 1950, Characteristics of the vegetation in certain regions of eastern Mexico, *Ecology* 31: 313-333.
- SOTO, M. y E. García, 1989 *Atlas climático del Estado de Veracruz*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., 125 pp.
- , L. Giddings y M. Gómez, 1996, Algunos usos de BIOCLIMAS: Un Sistema Especializado de Información Geográfica. Investigaciones Geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. especial 4, pp. 63-84.
- , L. Gama y M. Gómez, 2001, Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México, *Revista Foresta Veracruzana* 3(2): 31-40
- UNIVERSIDAD VERACRUZANA.UNISYS, 2006, Hurricane/Tropical Data for Atlantic, Unisys, en (<http://www.app2.unisys.com/locations/locator.asp>).

# Geomorfología



Daniel Geissert Kientz  
Estela Enríquez Fernández

## INTRODUCCIÓN

Los rasgos y procesos geomorfológicos de una región guían en gran medida el uso de los recursos naturales, la ubicación de los asentamientos humanos y las principales actividades de la población. La geodiversidad, entendida como la diversidad natural geológica, geomorfológica y edáfica, es un componente clave del legado natural e influye directamente en la diversidad de la vida biológica (Gray, 2004). Por esta razón, la geomorfología es de gran utilidad en estudios de: ordenamiento ecológico, impacto ambiental, manejo de cuencas hidrológicas, análisis de riesgo ambiental, biodiversidad y planeación agrícola y urbana, entre otros. El relieve tiene también un gran valor escénico por la belleza de los paisajes naturales y representa una interesante opción para el turismo

ecológico. En este sentido, tanto la geoconservación<sup>1</sup> como la bio-conservación,<sup>2</sup> son parte integral de todo esfuerzo encaminado al uso sustentable de los recursos naturales.

En el estado de Veracruz, la geomorfología ha tenido poco impulso, por lo que el relieve ha sido mencionado de forma general y descriptiva, a manera de complemento o de apoyo a trabajos enfocados hacia otros temas (Islas, 1990; Jiménez, 1979). Asimismo, se han utilizado los términos fisiografía y orografía pero, a pesar de formar parte de la geomorfología, sólo se ocupan de la descripción de las formas de relieve y de la sistematización de sus rasgos externos (forma, altura, inclinación, etc.), sin considerar su origen y dinámica. La Carta Estatal de Regionalización Fisiográfica a escala 1:1 000 000 (SPP-INEGI, 1988), representa unidades de relieve jerarquizadas, desde las “Provincias

<sup>1</sup> Conservación de los recursos abióticos y de la geodiversidad. Implica proteger los ejemplares significativos de tipos de rocas, de formas de relieve y de suelos, y conservar los procesos naturales que les dieron origen.

<sup>2</sup> Conservación de los recursos bióticos y de la biodiversidad.

fisiográficas” (unidad de orden mayor) hasta los “Sistemas de topoformas”.<sup>3</sup> Recientemente, los conocimientos sobre el relieve del estado de Veracruz fueron actualizados mediante la regionalización geomorfológica a escala 1:1 000 000, la cual

enfatisa la tipología de las unidades de relieve, caracterizadas por su morfometría<sup>4</sup> y su morfogénesis,<sup>5</sup> su zonificación y su relación con entidades territoriales taxonómicamente superiores (Geissert, 1999).

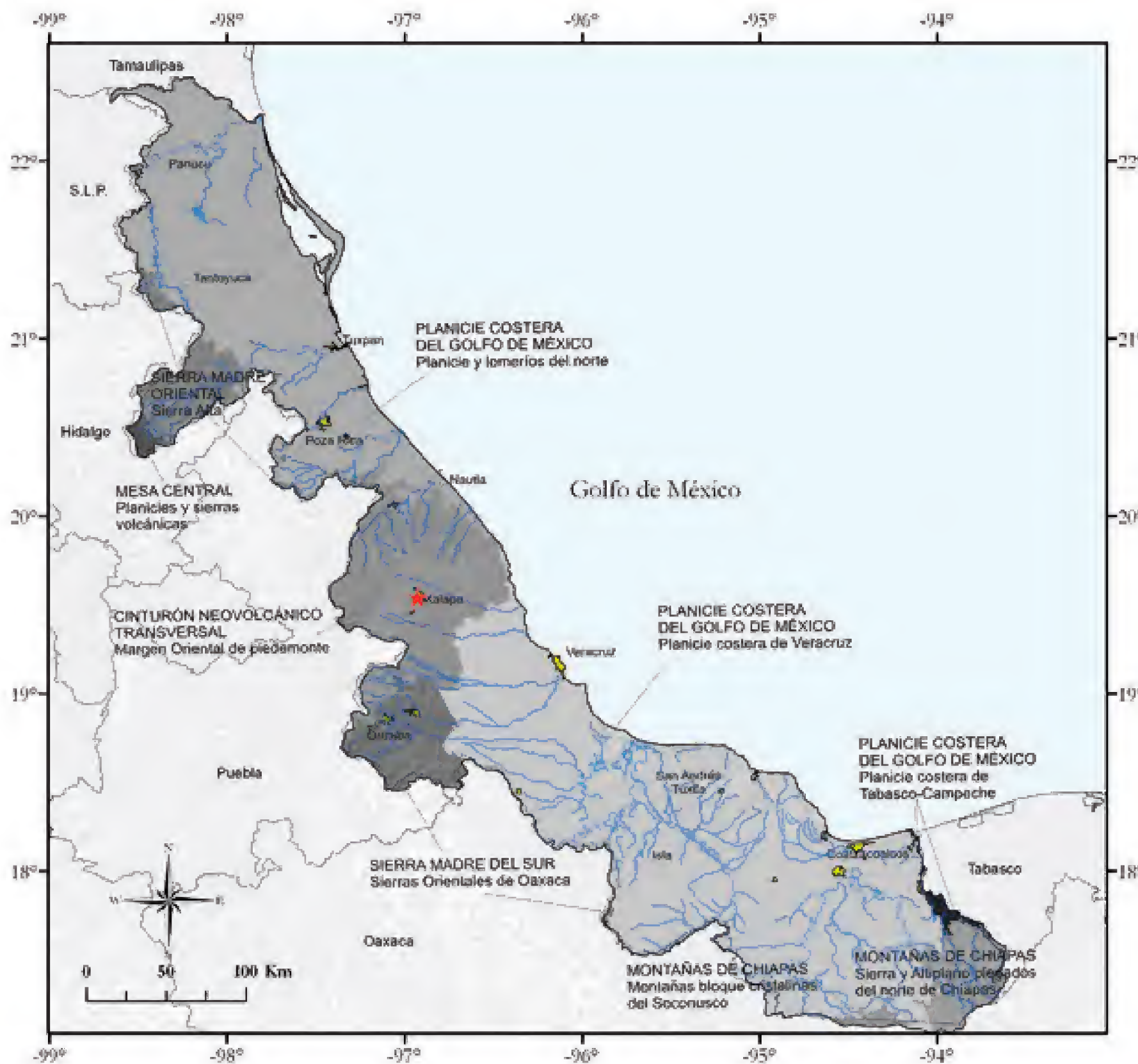


FIGURA 1. Mapa de las provincias y subprovincias geomorfológicas del estado de Veracruz.

El objetivo de este capítulo es presentar las unidades geomorfológicas que conforman el territorio veracruzano, de acuerdo a la regionalización de Geissert (1999), y proporcionar un marco espacial de referencia para el conocimiento y el inventario de la biodiversidad.

#### DIVISIÓN TERRITORIAL EN PROVINCIAS, SUBPROVINCIAS Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

De acuerdo con el sistema taxonómico de regionalización geomorfológico de México, el estado de Veracruz cuenta con seis provincias geomorfológicas de tierra firme y nueve subprovincias (Lugo y Córdova, 1992) (figura 1). Las provincias, unidades definidas por los factores del medio natural que ejercen una acción determinante sobre su fisonomía, pertenecen a una de las grandes divisiones de la geología estructural y su tamaño varía entre cientos y miles de km<sup>2</sup>. Las que se localizan en el estado de Veracruz son: Sierra Madre Oriental (SMO), Sierra Madre del Sur (SMS), Montañas de Chiapas (MCh), Mesa Central (MC), Cinturón Neovolcánico Transversal (CNT) y Planicie Costera del Golfo de México (PCGM) (cuadro 1). Las subprovincias son divisiones de las provincias de acuerdo a la morfología, la estructura geológica y la localización geográfica. Sus principales características se describen en el cuadro 2.

CUADRO 1. Superficie de las provincias y subprovincias geomorfológicas del estado de Veracruz.

PROVINCIA	SUBPROVINCIA	km <sup>2</sup>	%
Planicie costera del Golfo de México (PCGM)	Planicie costera de Veracruz	33 387	46.8
	Planicies y lomeríos del norte	20 125	28.2
	Planicie costera de Tabasco-Campeche	256	0.3
Sierra Madre Oriental (SMO)	Sierra Alta	2 584	3.6
Mesa Central (MC)	Planicies y sierras volcánicas	263	0.4
Cinturón Neovolcánico Transversal (CNT)	Margen oriental de pie demonte	8 870	12.4
Sierra Madre del Sur (SMS)	Sierras orientales de Oaxaca	3 216	4.5
Montañas de Chiapas (MCh)	Montañas bloque cristalinas del Soconusco	327	0.5
	Sierras y altiplanos plegados del norte de Chiapas	2 309	3.2

<sup>3</sup> Forma de relieve con dimensiones de hasta decenas de km<sup>2</sup>, geoméricamente reducible a un número pequeño de elementos topográficos individuales (por ejemplo: sierra, lomerío, planicie, valle, meseta, campo de duna y otras).

<sup>4</sup> Parte de la geomorfología que estudia las características cuantitativas de las formas del relieve (alturas, superficies, pendientes, volúmenes, etc.).

<sup>5</sup> Creación y evolución de las formas de la superficie terrestre bajo la acción de fuerzas internas y externas.

CUADRO 2. Características generales de las subprovincias geomorfológicas del estado de Veracruz.

SUBPROVINCIA	LOCALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Sierra Alta ( <i>Sa</i> )	Noroeste del estado, comprende el macizo de Huayacocotla y parte de la Huasteca Veracruzana (Ixhuatlán)	Relieve montañoso plegado, altitud sobre el nivel del mar desde los 300 m hasta los 2 500 m, rocas sedimentarias marinas del Jurásico y Cretácico, intrincado sistema de plegamiento.
Sierras orientales de Oaxaca ( <i>SoO</i> )	Centro-oeste del estado (Córdoba-Orizaba); corresponde al norte de la Sierra de Zongolica	Estrecha y compleja cadena montañosa de orientación norte-sur, altitudes superiores a los 2 500 m. Rocas sedimentarias mesozoicas plegadas y rocas volcánicas.
Sierras y altiplano plegados del norte de Chiapas ( <i>S-ApnCh</i> )	Sureste del estado, extremo noroeste de la provincia MCh procedente de Chiapas (Sierra Espinazo del Diablo)	Sierras plegadas y alargadas con cañones (altitud hasta 1 000 m), y lomeríos (altitud inferior a 150 m), formados por rocas sedimentarias e ígneas, mesozoicas y cenozoicas.
Montañas bloque cristalinas del Soconusco ( <i>MbcS</i> )	Extremo sur del estado, pertenece a la provincia MCh (corresponde a la Sierra Tres Picos).	Conjunto de mesas y cuevas (de 200 a 1 000 m de altitud), y sierra alta (de 1 000 a 2 000 m de altitud). Rocas metamórficas e intrusivas, atravesadas de noroeste a sureste por profundos cañones disecando el terreno en bloques.
Planicies y sierras volcánicas ( <i>P-SV</i> ).	Diminuta área al noroeste del estado (entre Huayacocotla, Ver. y Atotonilco, Hgo.); forma parte de la provincia MC procedente del estado de Hidalgo.	Altiplanicie y cumbres volcánicas que se elevan a 2 700 m de altitud. Rocas volcánicas del Terciario.
Margen oriental de piedemonte ( <i>MoP</i> )	Atraviesa la parte central del estado de Veracruz y forma parte del CNT (entre Perote y Palma Sola). Abarca la sierra Cofre de Perote-Pico de Orizaba, la cuenca de Oriental, la zona de piedemonte de la sierra Cofre-Pico y la sierra de Chiconquiaco, hasta la costa del Golfo de México.	Montañas y lomeríos de rocas volcánicas cenozoicas y rocas sedimentarias meso-cenozoicas. Abarca un rango altitudinal desde más de 5 000 m hasta el nivel del mar.
Planicies y lomeríos del norte ( <i>P-LN</i> )	Norte del Estado, desde Nautla hasta Tampico. Constituye la región del Totonacapan y gran parte de la Huasteca Veracruzana.	Planicies con sedimentos fluviales, lacustres y marinos, y lomeríos de rocas sedimentarias del Cenozoico. El rango altitudinal va desde el nivel del mar en la zona de planicies bajas, hasta los 350 m en la de lomeríos; localmente alcanza los 1 300 m (Sierra de Tantima). Es recorrida por el curso bajo de los ríos Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla y Nautla.
Planicie costera de Veracruz ( <i>PcV</i> )	Centro y sur del Estado, desde Punta La Mancha hasta Coatzacoalcos. Comprende la Llanura de Sotavento (de Veracruz a Acayucan), la Sierra de Los Tuxtlas y el Istmo de Tehuantepec.	Planicies bajas, lomeríos y sierras aisladas, que abarcan un rango altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 350 m, e incluso los 1 700 m en la sierra de Los Tuxtlas. Sedimentos fluviales, lacustres y marinos, rocas sedimentarias y volcánicas del Cenozoico. Es recorrida por el curso bajo de los ríos La Antigua, Papaloapan, Grijalva, Usumacinta y Tonalá, entre otros.
Planicie costera de Tabasco-Campeche ( <i>PcT-C</i> )	Sur del Estado. Se sitúa sobre la margen izquierda del río Tonalá, que separa a los estados de Veracruz y Tabasco.	Planicie de sedimentos fluviales y lacustres recientes. Morfológicamente, constituye el límite oeste del delta del río Mezcalapa (Tabasco). Altitud inferior a 10 m.

Las subprovincias se dividen a su vez en 37 unidades geomorfológicas (*cf.* lista completa en Apéndice I.1), que corresponden a relieves de montañas, lomeríos,<sup>6</sup> mesas,<sup>7</sup> valles, planicies bajas y márgenes montañosos. Dichas unidades se describen a continuación, y se ubican en un mapa (escala 1:1 000 000 aproximadamente) presentado en cuatro secciones (figuras 2 a 5).

### Las montañas

De acuerdo a su pendiente se dividen en montañas de laderas abruptas y de laderas tendidas. Esta categoría abarca una extensión aproximada de 12 400 km<sup>2</sup>, equivalente al 17.5 % de la superficie del estado (cuadro 3).

Las montañas de laderas abruptas son relieves de fuerte inclinación (>35°), de alturas (diferencia de altitud entre la parte más alta y la más baja) superiores a los 600 m y caracterizadas por un modelado de disección en barrancas, originado durante el periodo del Plioceno-Cuaternario.<sup>8</sup> Abarcan un rango altitudinal comprendido entre los 1 000 y los

5 600 m. Su origen estructural es por plegamiento<sup>9</sup> de rocas sedimentarias, por fracturación en bloque de rocas intrusivas<sup>10</sup> y por edificación de rocas extrusivas<sup>11</sup>. Este grupo comprende siete unidades geomorfológicas, originadas por procesos de erosión fluvial, de carsificación<sup>12</sup> superficial y subterránea, y por fenómenos periglaciales<sup>13</sup> y glaciales en las zonas más elevadas. Entre ellas, dominan las montañas de origen volcánico y las de rocas sedimentarias plegadas (Geissert, 1999).

Las montañas de laderas tendidas y elevaciones menores son relieves de menor inclinación que las abruptas (< 35 °), de altura inferior a 600 metros y caracterizados por un modelado de disección del Plioceno-Cuaternario. Su altitud oscila entre los 500 y los 2 000 metros y están constituidos por rocas sedimentarias plegadas mesozoicas,<sup>14</sup> por volcánicas y por sedimentarias de estructura monoclinas.<sup>15</sup> Este grupo comprende seis unidades geomorfológicas, de las cuales dominan en extensión las montañas de rocas sedimentarias mesocenoicas, las más recientes de las sedimentarias y las de origen volcánico. Su principal modo de formación es por erosión fluvial.

<sup>6</sup> Conjunto de lomas y colinas que se origina por la disección fluvial de una planicie inclinada, por la nivelación de montañas o por procesos acumulativos derivados de la actividad de los glaciares y del viento.

<sup>7</sup> Amplia elevación de cima plana, compuesta por rocas tabulares y limitada por pendientes escarpadas.

<sup>8</sup> Plioceno: última época del periodo Terciario que se extiende desde 5.3 millones hasta 1.8 millones de años en el pasado. Cuaternario: último de los grandes periodos geológicos. Se desarrolla entre el final del periodo terciario y el comienzo de las glaciaciones, es decir, hace 1.64 millones de años hasta nuestros días. Pertenece a la Era Cenozoica.

<sup>9</sup> Deformación de las rocas, generalmente sedimentarias, en la que elementos de carácter horizontal, como los estratos, quedan curvados formando ondulaciones alargadas y más o menos paralelas entre sí.

<sup>10</sup> Roca ígnea que se enfría bajo la superficie terrestre.

<sup>11</sup> Roca ígnea que se enfría sobre la superficie terrestre.

<sup>12</sup> También llamado karstificación. Conjunto de procesos de disolución de las rocas por el agua cargada de dióxido de carbono, que se expresan por la formación de cavidades superficiales y subterráneas. El relieve resultante se denomina carso (o karst).

<sup>13</sup> También periglaciario. Término que describe la influencia de las bajas temperaturas existentes alrededor de una masa de hielo, sobre el clima, la topografía y los procesos naturales, en los que la acción de las heladas es un factor principal.

<sup>14</sup> Mesozoico: también llamado Era Secundaria, fue un periodo de la Tierra que se inició hace 225 millones de años y finalizó hace unos 65.

<sup>15</sup> Porción de una estructura de capas de rocas horizontales o ligeramente inclinadas, que cambian bruscamente a una fuerte inclinación.

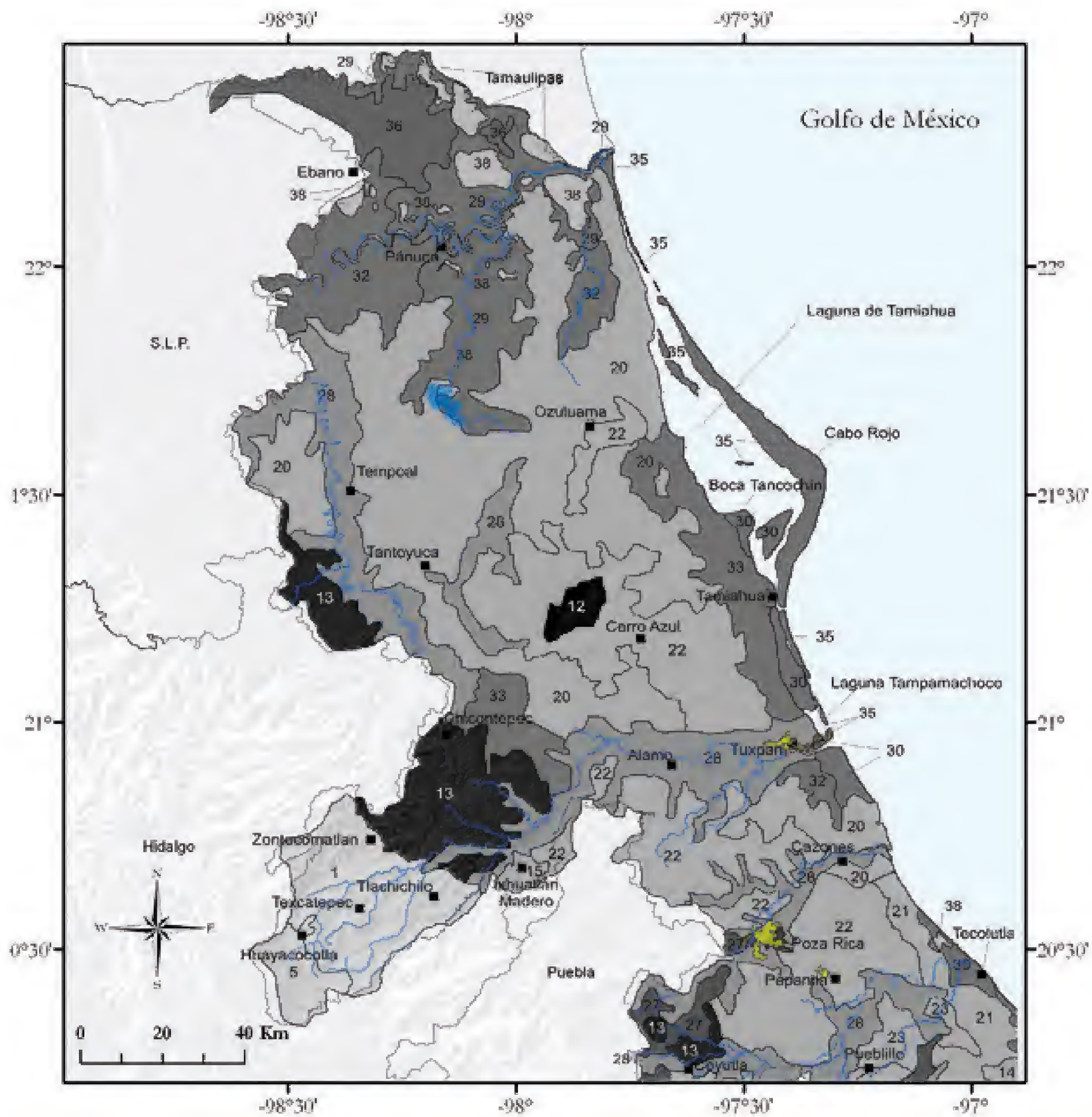


FIGURA 2. Unidades geomorfológicas del sector norte del estado de Veracruz (los números y nombres de las unidades se encuentran en el apéndice I.1).

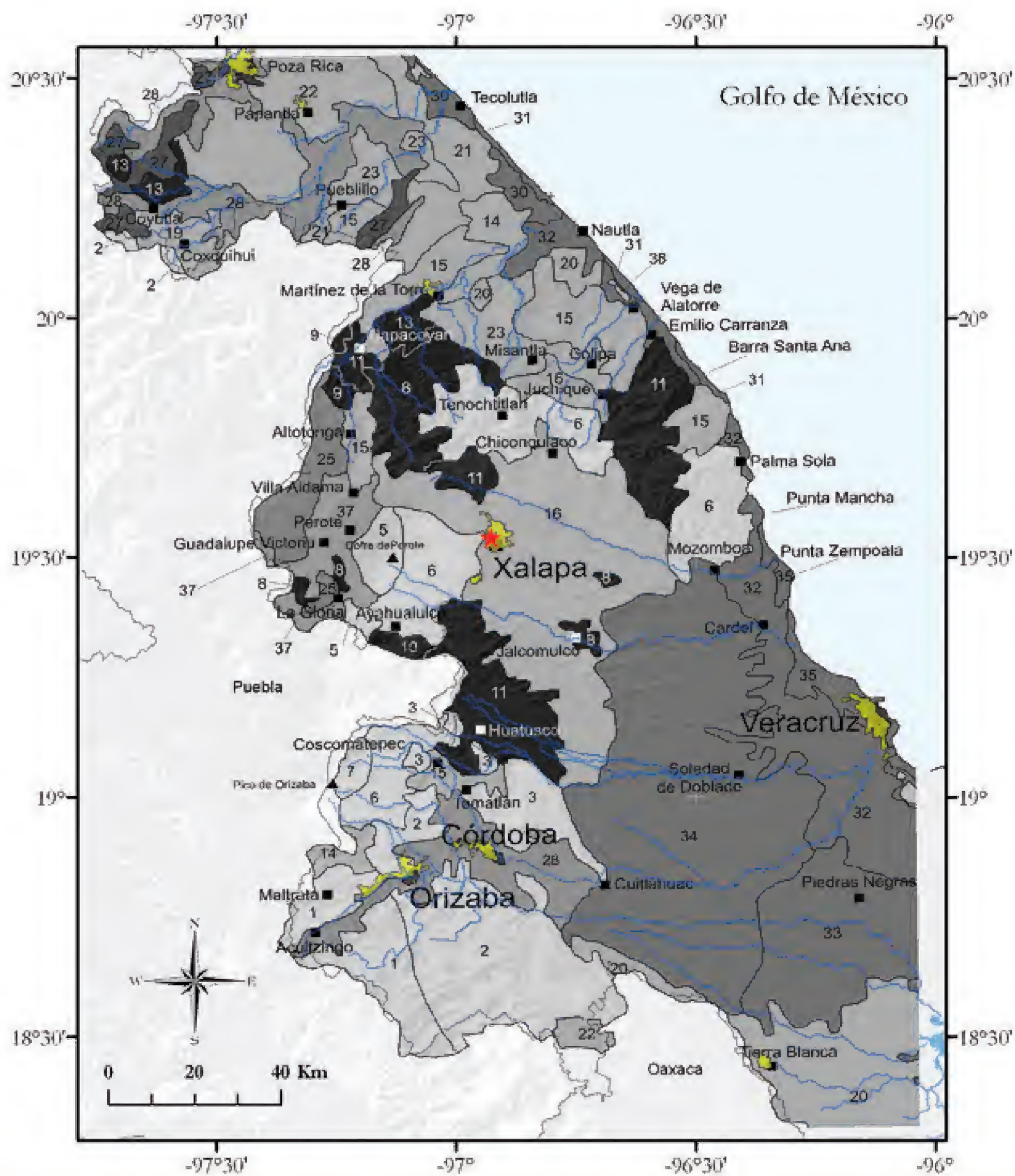


FIGURA 3. Unidades geomorfológicas del sector centro-norte del estado de Veracruz (los números y nombres de las unidades se encuentran en el apéndice I.1).

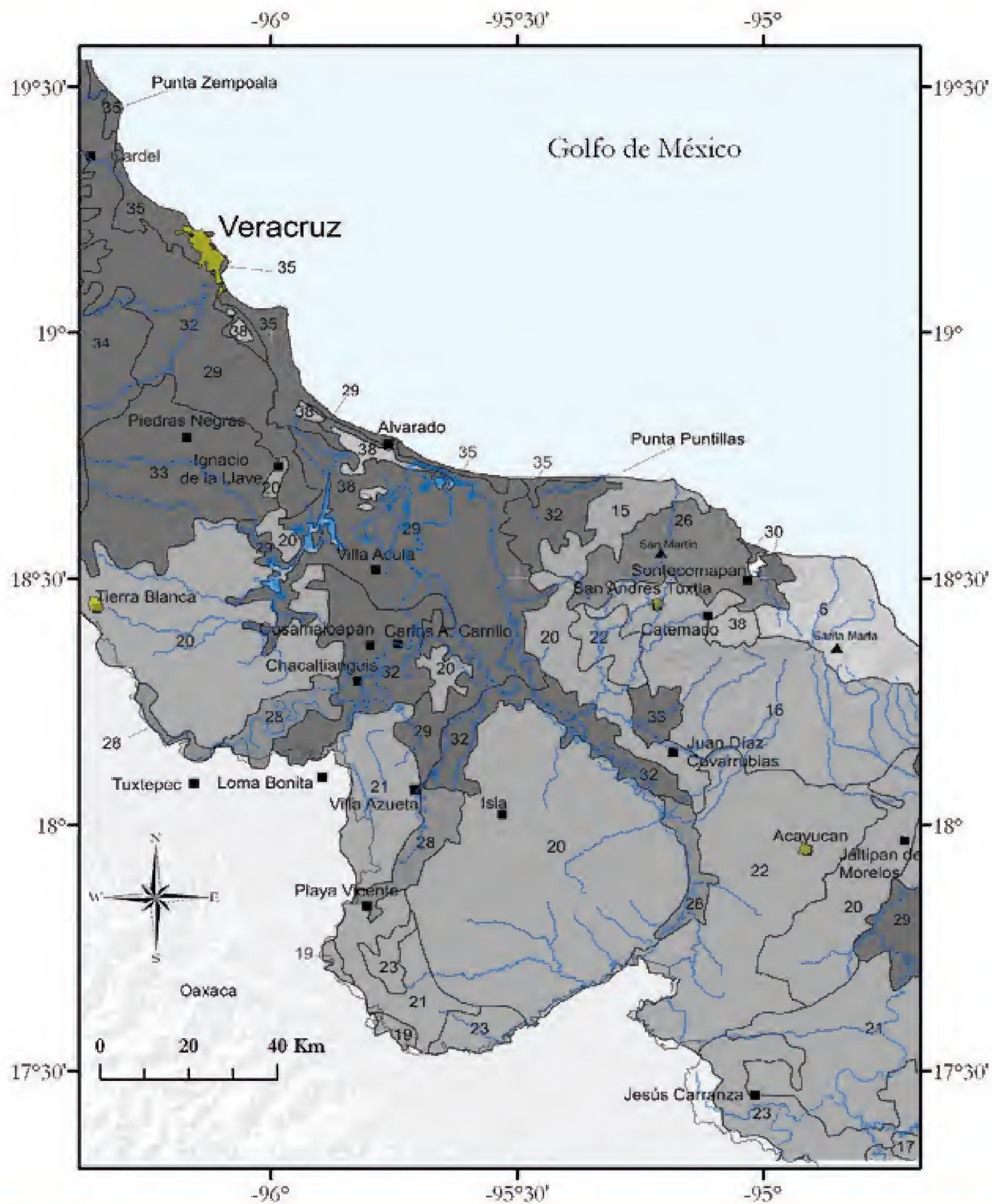


FIGURA 4. Unidades geomorfológicas del sector centro-sur del estado de Veracruz (los números y nombres de las unidades se encuentran en el apéndice I.1).

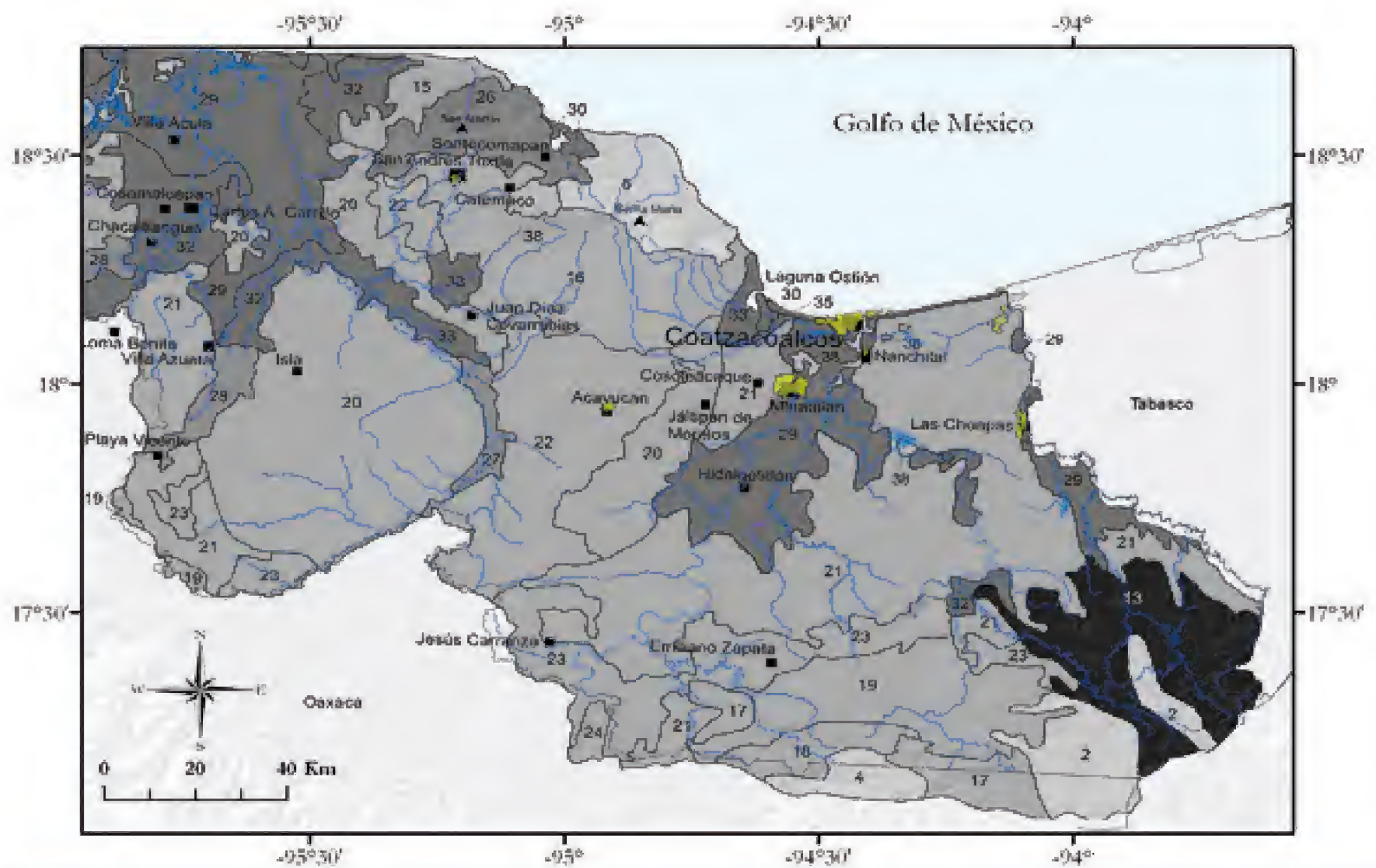


FIGURA 5. Unidades geomorfológicas del sector sur del estado de Veracruz (los números y nombres de las unidades se encuentran en el apéndice I.1).

Varios de los sistemas montañosos se constituyeron sobre sustratos geológicos de los más antiguos. La sierra de la subprovincia *MbcS* es un batolito<sup>16</sup> cuyo emplazamiento pudo estar asociado al cierre del Océano Proto-Atlántico por la unión de Sudamérica y África, con Norteamérica, lo que culminó durante la orogenia<sup>17</sup> Apalachiana (hace 230 millones de años).

Los flancos de la SMO y de la SMS están formados por gruesas secuencias calcáreas, originadas por

una transgresión marina<sup>18</sup> generalizada, relacionada con la apertura del Mar de Tethys durante la disgregación de la Pangea. A finales del Cretácico<sup>19</sup> y principios del Terciario, dichos estratos de sedimentos fueron deformados por la orogenia Larámide (hace 63 millones de años) (Morán, 1990).

Entre los relieves montañosos más recientes, se encuentran las sierras volcánicas del CNT y de la MC, y la Sierra de Los Tuxtlas, dentro de la *PcV*. Se trata de estratovolcanes<sup>20</sup> formados por lavas y pro-

<sup>16</sup> Masa rocosa profunda formada por rocas granitoides que en estado líquido alcanzó las capas superficiales de la Tierra y se solidificó.

<sup>17</sup> Conjunto de procesos geológicos que se producen en los bordes de las placas tectónicas y que dan lugar a la formación de una cadena montañosa (orógeno).

<sup>18</sup> Invasión de la tierra firme por el mar, como resultado de un hundimiento de la corteza terrestre por la influencia de movimientos tectónicos o por ascensos del nivel del océano mundial.

<sup>19</sup> Último periodo de la Era Mesozoica. Su extensión embarca entre los 146 y 65 millones de años atrás.

<sup>20</sup> Tipo de volcán cónico y de gran altura, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, piroclasto y cenizas volcánicas. Estos volcanes están caracterizados por un perfil escarpado y erupciones periódicas y explosivas.

ductos piroclásticos<sup>21</sup> del Terciario medio hasta el Cuaternario, y de conos monogenéticos<sup>22</sup> basálticos del Pleistoceno<sup>23</sup> superior y Holoceno (Geissert *et al.*, 1994; Martin-Del Pozzo, 1997; Negendank *et al.*, 1985). En estos relieves destacan las cimas del Cofre de Perote (4 250 m de altitud) y del Pico de Orizaba (5 747 m de altitud), siendo esta última la más alta del país.

La topografía actual de los relieves montañosos es el producto de un modelado de disección fluvial iniciado en el Plioceno y que alcanzó su máxima expresión durante el Cuaternario. Las montañas desarrolladas en calizas presentan la particularidad de asociar a los procesos de disección, los de carsificación, dando lugar a formas topográficas tanto superficiales como subterráneas.

### Los lomeríos

Se dividen en dos grandes categorías: los que resultaron de la disección fluvial y los formados por procesos acumulativos endógenos.

Los lomeríos formados por procesos de disección fluvial del Cuaternario son formas de relieve caracterizadas por una altura inferior a 300 metros y una topografía que varía de ondulada a escarpada. Cubre el 48 % de la superficie del estado, con 34 000 km<sup>2</sup> (cuadro 3). Se desarrollan sobre rocas volcánicas paleogénicas a cuaternarias, rocas sedimentarias mesozoicas, en estructura monoclinas o plegada y sobre rocas sedimentarias cenozoicas en estructura monocli-

nal. El único lugar del estado donde se encuentran lomeríos sobre rocas metamórficas<sup>24</sup> Mesozoicas, es el extremo suroeste de la *PcV*. Esta categoría comprende 11 unidades geomorfológicas localizadas en las subprovincias de *P-LN* y *PcV*, donde destacan los lomeríos asociados con llanos o con cañadas, sobre rocas sedimentarias cenozoicas, y disecadas por procesos de erosión fluvial (figuras 2, 3 y 4).

Los lomeríos formados por procesos acumulativos endógenos del Cuaternario son campos de conos volcánicos monogenéticos, modelados por procesos de erosión fluvial, y que cubren un área aproximada de 960 km<sup>2</sup>, que equivale al 1.3 % del territorio veracruzano. Dicho grupo sólo comprende dos unidades geomorfológicas: las de zona subhúmeda localizadas en el CNT, en el límite entre los estados de Veracruz y Puebla (figura 3) y las de zona húmeda, en la ladera noreste del volcán San Martín y noroeste del volcán Santa Marta, en la Sierra de Los Tuxtlas (figura 4).

La categoría de los lomeríos presenta la mayor variedad litológica<sup>25</sup> y morfológica de todas las formas de relieve. De las 13 unidades representadas, 11 son el resultado del desgaste por la disección fluvial y dos de la acumulación volcánica. Las primeras comprenden los lomeríos modelados por la erosión del Cuaternario, tanto sobre rocas sedimentarias, como sobre volcánicas y metamórficas. Se ubican generalmente sobre las laderas inferiores de las montañas o en la planicie costera, donde los materiales que los conforman fueron depositados por las corrientes fluviales que escurren hacia el

<sup>21</sup> Piroclastos: fragmentos rocosos, tales como cenizas, arenas, etc., arrojados durante las erupciones volcánicas explosivas.

<sup>22</sup> Aquellos formados por el ascenso prolongado hacia la superficie terrestre de una masa de lava proveniente de la cámara magmática, durante una sola etapa eruptiva.

<sup>23</sup> Penúltima época del periodo cuaternario. Precedida por el Plioceno y seguida del Holoceno (últimos 10 000 años), se encuentra comprendida entre los 1.8-1.6 millones y los 10 000 años antes del presente.

<sup>24</sup> La que resulta de un proceso de metamorfismo, el cual, durante un fenómeno de deformación de la corteza terrestre, transforma mineralógica, estructural y aun químicamente, tanto las rocas sedimentarias como las ígneas.

<sup>25</sup> Litología: parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas.

Golfo de México. Las segundas están constituidas por agrupamientos de volcanes monogenéticos y son testigos de la actividad y acumulación volcánicas recientes (Pleistoceno superior y Holoceno) de la Sierra de Los Tuxtlas.

### Las Mesas

Esta categoría incluye relieves planos, horizontales o inclinados, limitados en sus extremos por bordes generalmente abruptos. La unidad en su conjunto representa el 0.4 % de la superficie del estado, con 310 km<sup>2</sup>, aproximadamente.

Las mesas de dimensión regional presentes en el estado de Veracruz, están formadas por acumulaciones de lava basáltica del Oligoceno al Cuaternario y disecadas por procesos fluvio-erosivos, se localizan en la subprovincia *P-LN*, en su contacto con el CNT. Al oeste y suroeste de Poza Rica, en la margen izquierda del río Cazones, se ubica una pequeña meseta alargada de 200 metros de altitud (figura 2), constituida por basalto<sup>26</sup> del Terciario superior. Al noroeste de Martínez de la Torre, se extienden las denominadas Mesa Grande y Mesa Malpica, estrechas e inclinadas, y con gradiente altitudinal de 100 a 400 m. También están formadas por derrames de basalto del Terciario superior (figura 3).

CUADRO 3. Número y superficie de las unidades geomorfológicas del estado de Veracruz (significado de los números en apéndice I.1).

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA		km <sup>2</sup>	%
Montañas de laderas abruptas.	1	1 747	2.5
Relieve modelado de disección	2	2 205	3.1
Plioceno-Cuaternario	3	394	0.5
	4	253	0.3
	5	468	0.7
	6	2 315	3.3
	7	77	0.1
Montañas de laderas tendidas y elevaciones menores.	8	567	0.8
Relieve modelado de disección	9	57	0.1
Plioceno-Cuaternario.	10	57	0.1
	11	1 305	1.8
	12	126	0.2
	13	2 795	4.0
Lomeríos.	14	305	0.4
Relieve modelado de disección del Cuaternario	15	1 518	2.1
	16	3 971	5.6
	17	461	0.6
	18	737	1.0
	19	1 460	2.1
	20	11 419	16.2
	21	6 559	9.3
	22	5 715	8.1
	23	1 794	2.5
	24	80	0.1
Lomeríos formados por procesos endógenos del Cuaternario..	25	374	0.5
	26	590	0.8
Mesas	27	311	0.4
Valles	28	4,681	6.6
Planicies bajas acumulativas, formadas en el Cuaternario.	29	5,136	7.3
	30	524	0.7
	31	71	0.1
	32	4 446	6.3
	33	2 400	3.4
	34	3 531	5.1
	35	969	1.4
Planicies bajas estructurales del Cuaternario	36	681	1.0
Márgenes montañosas y zonas transicionales.	37	409	0.6

<sup>26</sup> Roca ígnea, de grano fino y de color oscuro. Se compone mayormente de piroxeno y olivino, conteniendo cantidades menores de feldespato y cuarzo. Es la roca más abundante en la corteza terrestre, formada por enfriamiento rápido del magma expulsado del manto por los volcanes.

## Los valles

Los grandes valles fluviales son depresiones estrechas y alargadas que comprenden un lecho dentro del cual se localizan el cauce y la llanura de inundación, así como laderas laterales tendidas o abruptas.

Las unidades geomorfológicas del valle son de un solo tipo y se caracterizan por la acumulación fluvial reciente en los lechos aluviales y por la erosión de las laderas, tanto en condiciones húmedas como en subhúmedas. En conjunto cubren el 6.6 % de la superficie del estado, con aproximadamente 4 680 km<sup>2</sup>.

En la SMO se localiza el valle superior del río Vinazco, de fondo aluvial estrecho y laderas tendidas (figura 2), y aguas abajo continúa en la subprovincia *P-LN* con los valles de los ríos Tuxpan y su afluente el Pantepec, relativamente estrechos en su recorrido superior, pero más anchos a partir de la población de Álamo.

En los alrededores de Poza Rica, el valle del río Cazonas, relleno de depósitos aluviales del Cuaternario y recientes, atraviesa lomeríos de pendiente variable (figura 2).

En la SMS, entre Acultzingo y Cuitláhuac, el valle del río Blanco, de laderas abruptas, fondo estrecho en la parte superior y más ancho aguas abajo, se abre paso entre las calizas del sector norte de la sierra de Zongolica (figura 3).

En la *PcV* y procedente de la subprovincia *SoO* se localiza el valle fluvial de laderas tendidas del río Papaloapan cuyo curso inicia, entre Tuxtepec (Oaxaca) y Chacaltianguis (Veracruz), un patrón meándrico<sup>27</sup> y forma terrazas aluviales<sup>28</sup> con brazos abandonados (figura 4).

## Las planicies bajas

Esta categoría comprende tanto las planicies bajas marginales a los sistemas montañosos, como las bajas estructurales de plataforma, ambas formadas durante el Cuaternario. Las primeras, representadas por siete unidades geomorfológicas, pertenecen a las subprovincias *P-LN* y *PcV*, mientras que las segundas, que sólo incluyen dos unidades geomorfológicas, se localizan únicamente en la *P-LN*. Ambos tipos cubren el 25.3 % de la superficie del estado, con 17 760 km<sup>2</sup>.

Las planicies bajas marginales a los sistemas montañosos se diferencian según el proceso geomorfológico que las originó. Las planicies de acumulación fluvio-lacustre se localizan en toda la planicie costera del Golfo de México y son las más extensas de las planicies bajas (figuras 4 y 5). Las planicies de acumulación fluvio-marina son de poca extensión, pero son particularmente notorias en la franja costera de la subprovincia *P-LN*, donde se asocian con la desembocadura de los ríos. Cada planicie está esculpida por las corrientes fluviales y el oleaje de la costa, lo cual se manifiesta por formas y materiales característicos. Las planicies de acumulación marina son de pequeñas dimensiones y formadas por depósitos arenosos acumulados por la acción del oleaje. Las planicies de acumulación fluvial son las formadas por los aluviones de los ríos procedentes de las montañas vecinas. En la región norte se extiende, por un lado, la planicie del río Tamacuil y, por otro, las anchas llanuras arcillo-arenosas de los ríos Pánuco y Moctezuma. A proximidad de la costa se ubica la planicie formada por los ríos Bobos, Colipa, Misantla y Juchique (figura 3). En la región centro-sur de la *PcV* se localizan, entre

<sup>27</sup> Estructuras en forma de meandros. Meandro: Sinuosidad formada por un río.

<sup>28</sup> Antigua planicie de inundación que ha sido levantada con respecto al cauce de un valle fluvial, por movimientos tectónicos o por un descenso brusco del nivel de base del río.

otras, la planicie del río Papaloapan al norte, y sur de Cosamaloapan, y la extensa planicie situada entre Cardel e Ignacio de la Llave formada por los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa (figura 4). Las planicies de acumulación-erosión, tipo fluvial-proluvial,<sup>29</sup> son horizontales o poco inclinadas con leves ondulaciones ocasionales, que resultan de la acción combinada de fenómenos de acumulación y erosión de sedimentos acarreados por corrientes fluviales y procesos proluviales de clima subhúmedo. En el CNT se localiza una extensa planicie de erosión-acumulación, tipo proluvial, inclinada y ondulada, constituida por pequeños lomeríos de pendiente suave y desarrollada sobre sedimentos continentales de conglomerado<sup>30</sup> y arenisca<sup>31</sup> (figura 3). Las planicies de acumulación eólica-marina se localizan en la subprovincia *P-LN* (figura 2), donde resultan de una acumulación marina predominante, a la cual se asocian dunas al norte de Cabo Rojo. Este rasgo geomorfológico constituye la parte terminal meridional de un extenso sistema de islas-barreras<sup>32</sup> del Golfo de México, que abarca toda la costa de los estados de Texas (EUA) y de Tamaulipas (México). En la subprovincia *PcV*, corresponden a dunas o campos de dunas costeras, asociados con playas (figuras 3 y 4). En su mayoría son de forma parabólica alargada, aunque en ciertos sitios, como en Punta Zempoala, se desarrollan dunas transversales (Geissert y Dubroeuq, 1995).

En la categoría de las planicies bajas estructurales de plataforma existe una sola en el extremo norte

del estado, ocupando una extensión reducida de 680 km<sup>2</sup>. Esta unidad constituye la parte meridional de una extensa planicie estructural<sup>33</sup> que se extiende por todo el estado de Tamaulipas y limita al oeste por la SMO.

Las planicies bajas son marginales a los sistemas montañosos y fueron formadas por procesos acumulativos fluviales, marinos y eólicos, durante el Cuaternario. Las planicies y lomeríos del norte (*P-LN*) constituyen, desde el punto de vista geodinámico,<sup>34</sup> una transición entre la planicie estructural de plataforma de Tamaulipas, en proceso de levantamiento, y la planicie costera de Veracruz (*PcV*), al sur, en proceso de hundimiento debido a la acumulación de sedimentos. La inestabilidad neotectónica<sup>35</sup> es relativamente débil, salvo en el contacto con el relieve montañoso del CNT, donde se encontraron indicios de deformaciones recientes en dunas, al sur de la sierra de Palma Sola (Geissert y Dubroeuq, 1995).

#### **Márgenes montañosos y zonas transicionales, de edad cuaternaria**

Están representadas por un relieve de piedemonte<sup>36</sup> de origen volcano-acumulativo, correspondiente a la parte baja de la ladera occidental de la sierra Cofre de Perote-Las Cumbres (figura 3). Es una zona de planicie y piedemonte situada entre los 2 400 y los 2 600 m de altitud, constituida por espesos depósitos de pómez<sup>37</sup> (*tepezil*) y cenizas vol-

<sup>29</sup> Proluvial: conjunto de fenómenos que depositan sedimentos (proluviación) en las desembocaduras de los valles montañosos en condiciones de tierra firme, dando lugar a un manto acumulativo de piedemonte.

<sup>30</sup> Roca sedimentaria consolidada formada por detritos grandes o medianos, redondeados, unidos por cementos calcáreos, silíceos u otros.

<sup>31</sup> Roca sedimentaria formada de granos de arena cementados por material arcilloso, calcáreo, por sílice y otros, de color y dureza variables.

<sup>32</sup> Alineación subaérea de sedimentos de arena separada de la línea costera y adelantada a un recinto acuoso (laguna) cerrado a semicerrado.

<sup>33</sup> Superficie de nivelación formada en rocas casi horizontales de una cobertura de plataforma.

<sup>34</sup> Geodinámica: disciplina científica que nació de la unión de la geotectónica y la geofísica, que tiene como objetivo explicar los procesos de la actividad interna de la Tierra.

<sup>35</sup> Procesos tectónicos modernos (del neógeno-cuaternario) a los que se debe fundamentalmente el relieve.

<sup>36</sup> Superficie marginal a las montañas, de las que se distingue por una pendiente y alturas considerablemente menores.

<sup>37</sup> También llamada pumita, es una roca magmática volcánica vítrea, de color gris claro, con baja densidad (flota en el agua) y muy porosa.

cánicas, remodelados por procesos erosivo- acumulativos. Su extensión es reducida (409 km<sup>2</sup>) y sólo cubre el 0.6 % del territorio.

#### DIVERSIDAD GEOMORFOLÓGICA

El estado de Veracruz posee gran diversidad geomorfológica, ya que del total de 14 provincias de tierra firme que abarcan al territorio mexicano, seis están representadas en él. Esta diversidad se manifiesta también en las 37 unidades geomorfológicas (de un total de 65 de tierra firme en toda la República Mexicana).

Los índices de diversidad tipológica IDT (número de unidades geomorfológicas por subprovincia) y de diversidad corológica IDC (número de polígonos de cada unidad geomorfológica por subprovincia) indican que las subprovincias *P-LN* y *PcV*, así como la *MoP*, son las de mayor diversidad geomorfológica (cuadro 4). Debido a que ambos indicadores varían directamente en función de la superficie, se agregaron dos índices que expresan la densidad de la diversidad geomorfológica: el de diversidad tipológica ponderada IDTP (número de unidades geomorfológicas por 1 000 km<sup>2</sup>) y el de diversidad corológica ponderada IDCP (número de polígonos de cada unidad geomorfológica por

1 000 km<sup>2</sup>). El IDTP revela que las provincias que poseen la mayor diversidad de unidades geomorfológicas son las montañosas de la Sierra Madre del Sur, del Cinturón Neovolcánico Transversal, de la Sierra Madre Oriental y, en menor grado, de las Montañas de Chiapas. La que tiene la menor riqueza es la Planicie Costera del Golfo de México. Por su parte, el IDCP indica una tendencia similar de diversidad en las provincias CNT, SMS y SMO (cuadro 4). Dicho análisis no se pudo aplicar a la “Planicies y Sierras Volcánicas” (*P-SV*), las “Montañas bloque cristalinas del Soconusco” (*MbcS*) y la “Planicie costera de Tabasco-Campeche” (*PcT-C*), ya que su limitada extensión impidió realizarlo.

A la escala 1:1 000 000, las provincias con mayor riqueza, complejidad y diversidad geomorfológicas del estado son la Sierra Madre del Sur, el Cinturón Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental. Esto se debe a la variedad de altitudes, desniveles y formas del relieve, así como a las condiciones de pendiente y de sustratos geológicos encontrados en estas regiones. Por el contrario, la diversidad geomorfológica es menor en las planicies costeras, debido a la mayor pobreza de unidades geomorfológicas y al terreno más uniforme. De manera global, la subprovincia “Planicie costera de Veracruz” es la de menor diversidad, a pesar de

CUADRO 4. Índices de diversidad geomorfológica en las subprovincias del estado de Veracruz

PROVINCIA	SUBPROVINCIA	km <sup>2</sup>	IDT	IDC	IDTP	IDCP
Planicie costera del Golfo de México	Planicie costera de Veracruz	33 387	20	57	0.6	1.7
	Planicie y lomeríos del norte	20 125	18	59	0.9	2.9
Sierra Madre Oriental	Sierra Alta	2 584	5	8	1.9	3.0
Cinturón Neovolcánico Transversal	Margen Oriental de Piedemonte	8 870	18	41	2.0	4.6
Sierra Madre del Sur	Sierras Orientales de Oaxaca	3 216	8	10	2.5	3.1
Montañas de Chiapas	Sierras y Altiplano plegados del norte de Chiapas	2 309	3	4	1.3	1.7

IDT = Número de unidades geomorfológicas por subprovincia; IDC = Número de polígonos de cada unidad geomorfológica por subprovincia; IDTP = Número de unidades geomorfológicas por 1 000 km<sup>2</sup>; IDCP = Número de polígonos de cada unidad geomorfológica por 1 000 km<sup>2</sup>.

incluir a la Sierra de Los Tuxtlas, cuyo origen volcánico agrega geodiversidad al conjunto.

Diversos estudios han mostrado que existe una relación entre la heterogeneidad del medio físico y la diversidad biológica a diferentes escalas (Burnett *et al.*, 1998; Priego-Santander *et al.*, 2003), lo cual refuerza el concepto de que la geodiversidad está directamente asociada con la biodiversidad y que las unidades territoriales tales como las geomorfológicas, pueden servir de referencia para estimar espacialmente la riqueza potencial de las especies (Priego-Santander *et al.*, 2004). Por lo antes expuesto, es factible esperar una mayor biodiversidad en los sistemas montañosos de la Sierra Madre del Sur, del Cinturón Neovolcánico Transversal, de la Sierra Madre Oriental y de las Montañas de Chiapas, que en la Planicie costera del Golfo de México.

## CONCLUSIONES

La regionalización geomorfológica del estado de Veracruz, a escala 1:1 000 000, comprende 37 unidades que pertenecen a seis de las 14 provincias geomorfológicas de tierra firme del país. Dichas unidades se caracterizan por variables morfométricas, estructurales y morfodinámicas; asimismo, proporcionan información sobre el origen y la edad de los procesos exógenos dominantes, la cual es, por consiguiente, descriptiva y explicativa de las formas del relieve.

Por orden de importancia, de acuerdo a la superficie que cubren, las principales unidades geomorfológicas encontradas son: los lomeríos modelados por procesos de disección fluvial del Cuaternario, las planicies bajas formadas por procesos acumulativos del Cuaternario y las montañas producto de la disección fluvial del Plioceno-Cuaternario. Las dos primeras categorías se localizan esencialmente en la provincia de la planicie costera del Golfo de México, mientras que la tercera se encuentra dise-

minada en las provincias Cinturón Neovolcánico Transversal, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Oriental y Montañas de Chiapas.

La Sierra Madre del Sur, el Cinturón Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental son las regiones con mayor riqueza y diversidad en formas de relieve debido a que en sus montañas se desarrollan los patrones climáticos, geológicos y geomorfológicos más complejos de todo el estado de Veracruz. La heterogeneidad ambiental resultante es fuente potencial de biodiversidad, aunque se traduce también en una alta sensibilidad ecológica. Globalmente, el estado posee una importante geodiversidad, ya que en su territorio se encuentra representado el 57 % de todas las unidades geomorfológicas de tierra firme de la República, identificables a la escala antes mencionada.

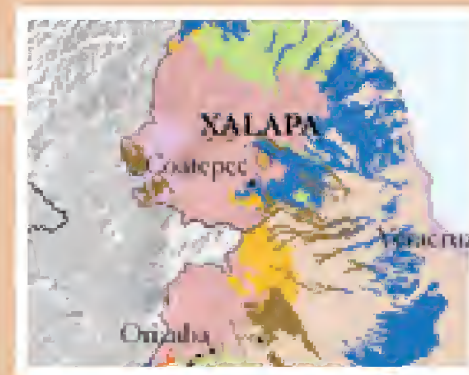
La información descriptiva y cartográfica proporcionada es de carácter exploratorio y resulta útil para orientar futuros estudios geomorfológicos de mayor detalle. Asimismo, brinda valiosos datos para respaldar estudios regionales sobre la flora y la fauna, y permite identificar áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad.

## LITERATURA CITADA

- BURNETT, M.R., P.V. August, J.H. Brown, K.T. Killinbeck, 1998, The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity, *Conservation Biology* 12 (2): 363-370.
- GEISSERT D., 1999, Regionalización geomorfológica del estado de Veracruz. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. 40, pp. 23-47.
- , D. Dubroeuq, A. Campos, E. Meza, 1994, *Carta de unidades geomorfo-edafológicas de la región natural Cofre de Perote*, Veracruz, México. Escala 1:75 000. Instituto de Ecología, A.C.-ORSTOM-Conacyt, Xalapa, Veracruz, México.

- , D. Dubroeuq, 1995, Influencia de la geomorfología en la evolución de suelos de dunas costeras en Veracruz, México. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. especial 3, pp. 37-52.
- GRAY, M., 2004, *Geodiversity, Valuing and conserving abiotic nature*, John Wiley & Sons Ltd, Inglaterra, 448 pp.
- ISLAS, O.R., 1990, *Aspectos físicos y recursos naturales del Estado de Veracruz I. Orografía*, Textos Universitarios, Universidad Veracruzana, pp. 21-26.
- JIMÉNEZ, R. A., 1979, Características hidrográficas de la vertiente del Golfo de México en el Estado de Veracruz. *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. 9, pp. 117-156.
- LUGO, H. J. y F. C. Córdova, 1992, Regionalización geomorfológica de la República Mexicana, Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. 25, pp. 25-63.
- MARTIN-DEL POZZO, A., 1997, Geología en: González E., Dirzo R. y Vogt R. C (eds.). *Historia Natural de Los Tuxtlas*, UNAM, México, pp. 25-31.
- MORÁN, D., 1990, *Geología de la República Mexicana*, 1ª reimpresión, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 88 pp.
- NEGENDANK, J.F.W., R. Emmermann, R. Krawczyk, F. Mooser, H. Tobschall y D. Werle, 1985, Geological and geochemical investigations on the eastern Transmexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, vol. 24(4): 477-575.
- PRIEGO-SANTANDER, A., J. Palacio P., P. Moreno-Casasola, J. López P. y D. Geissert, 2003, Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en una zona costera del este de México, Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, núm. 52, pp. 31-52.
- , 2004, Heterogeneidad del paisaje y riqueza de flora: su relación en el archipiélago de Camagüey, Cuba, *Interciencia*, 29(3): 138-144.
- SPP-INEGI, 1988, *Síntesis geográfica, Nomenclátor y Anexo Cartográfico del estado de Veracruz*, INEGI, Aguascalientes, México, 69 pp, 13 mapas.

# Distribución y caracterización del suelo



Adolfo Campos Cascaredo

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un material no consolidado situado sobre la superficie de la Tierra, formado de materiales minerales y orgánicos, que sirve como medio natural para el crecimiento de la vegetación y de los cultivos agrícolas. Es el producto de procesos de intemperismo físico y químico de las rocas y de procesos de mineralización biológica y bioquímica de residuos orgánicos de plantas y animales (Sumner, 2000). Por medio de dichos procesos, las partículas minerales y la materia orgánica se mezclan y se agrupan en unidades estructurales determinando un patrón de poros que, por un lado, permite la circulación, la retención del agua y la aireación del suelo y por otra establece canales de comunicación entre la pedósfera, la atmósfera y la biosfera (Frossard *et al.*, 2006). Además, el suelo realiza importantes servicios ambientales, como la circulación del agua y de sustancias disueltas, el reciclaje de nutrientes; y por las propiedades biogeoquímicas que posee, cumple funciones de geomembrana al proteger al

ambiente a través de la inmovilización o la destrucción de los contaminantes, favoreciendo así la purificación del agua y del aire (Doran y Jones, 1996).

El conocimiento de las características de los suelos en el estado de Veracruz adquiere gran importancia debido a que su uso inadecuado está teniendo efectos adversos sobre la biodiversidad, la productividad agrícola y la calidad del ambiente. Los procesos de degradación de la calidad del suelo como son la erosión, la pérdida de materia orgánica y la disminución de la capacidad de retención de agua están asociados al deterioro ambiental y a la baja sustentabilidad de muchos sistemas agrícolas, siendo la deforestación, la labranza convencional y el manejo pecuario las causas principales (Campos, 2002). Si bien el papel primario de la actividad agrícola y pecuaria en el estado de Veracruz es el de producir alimentos, también debe asumir el compromiso en muchas otras funciones como la conservación y el mejoramiento de la calidad del suelo, el manejo sustentable de los recursos naturales, la preservación de la biodiversidad y la viabilidad socio-

económica de las áreas rurales (Campos, 2002). El uso sensato del recurso suelo en el estado de Veracruz es de gran importancia para la conservación de la biodiversidad, para la obtención de buenos rendimientos agrícolas, pero también para el aprovechamiento de los servicios ambientales que realizan los suelos (Campos *et al.*, 2007). La falta de conocimiento de las propiedades de los suelos y de su fragilidad a la degradación por cambios de usos improcedentes, está poniendo en riesgo la sostenibilidad de este vital recurso no renovable. En ese sentido el entendimiento de las propiedades de los suelos, que sirven de sustento a los recursos naturales y a las actividades agrícolas, es determinante.

El estado de Veracruz presenta una diversidad muy alta de suelos, debido principalmente a las diferencias de altitud entre llanuras y serranías, que van desde el nivel del mar hasta 5 600 msnm. La alta diversidad de rocas, con características y orígenes distintos, y su interacción con el agua, el clima y la biota, es lo que en gran medida explica la diversidad de suelos que se desarrollan en el estado de Veracruz.

#### PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LOS GRUPOS DE SUELO EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Los Vertisoles son los suelos más dominantes y representan el 27.4 % del área total. Este grupo de suelo se encuentra en todo el estado, sin embargo, la mayor parte se sitúa en la porción norte y centro, sólo pequeñas áreas están presentes en el sur del estado (INEGI, 1984, 1987). Estos suelos generalmente se encuentran asociados con Feozem háplico, Planosol mólico y con Rendzina; sin embargo, en el sur del estado son frecuentes las asociaciones con Acrisol y Luvisol. En general los terrenos con esta clase de suelo sostienen pastizales y caña de azúcar, aunque también en menor proporción se encuentran sustentando al cultivo de maíz. Algunas áreas de Vertisol aún sostienen selva baja caducifolia,

selva alta subperennifolia, selva mediana subperennifolia y palmar inducido. Los Vertisoles son suelos que se expanden de manera significativa cuando están húmedos y se contraen y agrietan cuando están secos (Wilding y Puentes, 1988). Esto está ligado con la abundante cantidad de arcilla que tiene un coeficiente de contracción y expansión alto. La superficie de los terrenos con Vertisoles tiene microrrelieve de *gilgai* que consiste en pequeños montículos y depresiones que surgen como resultado de la contracción y expansión de la masa del suelo por las variaciones cíclicas de humedad (Wilding y Puentes, 1988). Los cambios de volumen de la masa del suelo que se presentan con los periodos húmedos y secos se traducen en movimientos de presión en los horizontes inferiores, que se manifiesta en superficies pulidas y brillantes de las unidades estructurales del suelo (Wilding y Puentes, 1988). Es importante señalar que la degradación del suelo en los Vertisoles es un problema que ha venido aumentando con el tiempo, generalmente sobre aquellos que sostienen pastizales como, por ejemplo, la disminución de la infiltración del agua de lluvia y el incremento del escurrimiento superficial y de la erosión laminar por efecto de la compactación debido al pisoteo del ganado. Ante este problema agropecuario y para revertir los efectos negativos que ha provocado la ganadería sobre la calidad del suelo es requisito que el manejo de praderas y la producción de forraje sea ambientalmente sustentables. El uso de forrajes y leguminosas en la recuperación de suelos erosionados y compactados es de gran utilidad para el mejoramiento de la fertilidad del suelo y de la productividad de la pradera. La práctica de manejo sustentable de las praderas puede alcanzarse a través del confinamiento del ganado y la reutilización de nutrientes de desechos animales para mejorar el ciclo de los nutrientes en los sistemas de pastoreo. En general, el manejo tradicional ganadero en el estado de Veracruz no ha puesto atención a los beneficios que brinda la incorporación de materia orgánica al suelo de la pradera,

por lo que es urgente que los productores ganaderos se interesen más en recibir entrenamiento para el manejo eficiente de praderas, para minimizar el impacto ambiental negativo. La figura 1 presenta la distribución espacial de los grupos de suelo y la figura 2 muestra la proporción relativa de cada grupo de suelo en el estado de Veracruz.

La caña de azúcar es otro cultivo que también ha provocado efectos nocivos a los Vertisoles del estado de Veracruz, principalmente por la compactación originada por el excesivo laboreo y pisoteo que ocurre durante la zafra. Además, el proceso de producción de la caña de azúcar se caracteriza por el uso de grandes volúmenes de insecticidas, herbicidas y fer-

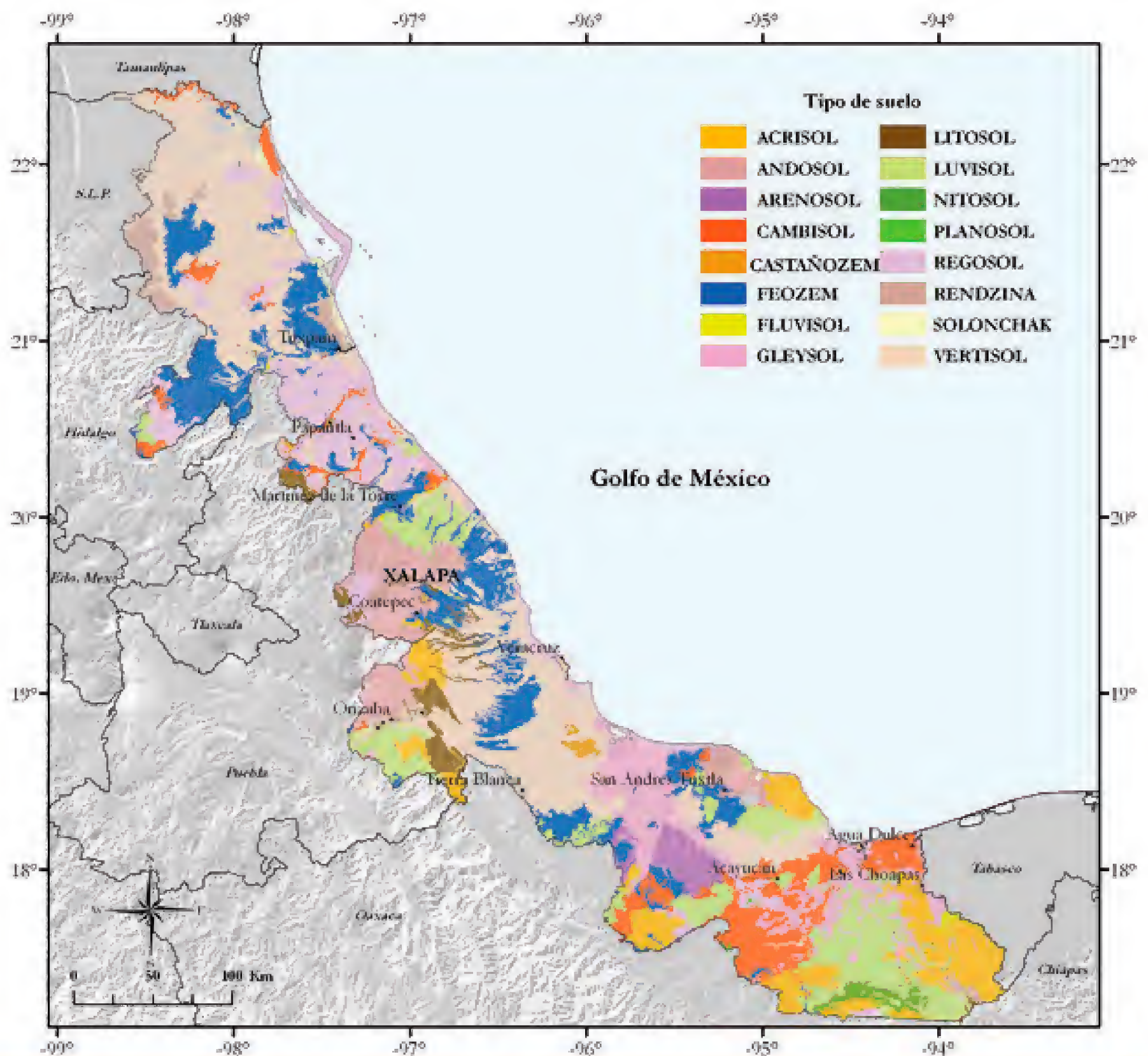


FIGURA 1. Distribución espacial de los grupos de suelos del estado. Mapa elaborado por Rosario Landgrave a partir de la cartografía de suelos de INEGI escala 1:250 000 y 1:1 000 000.

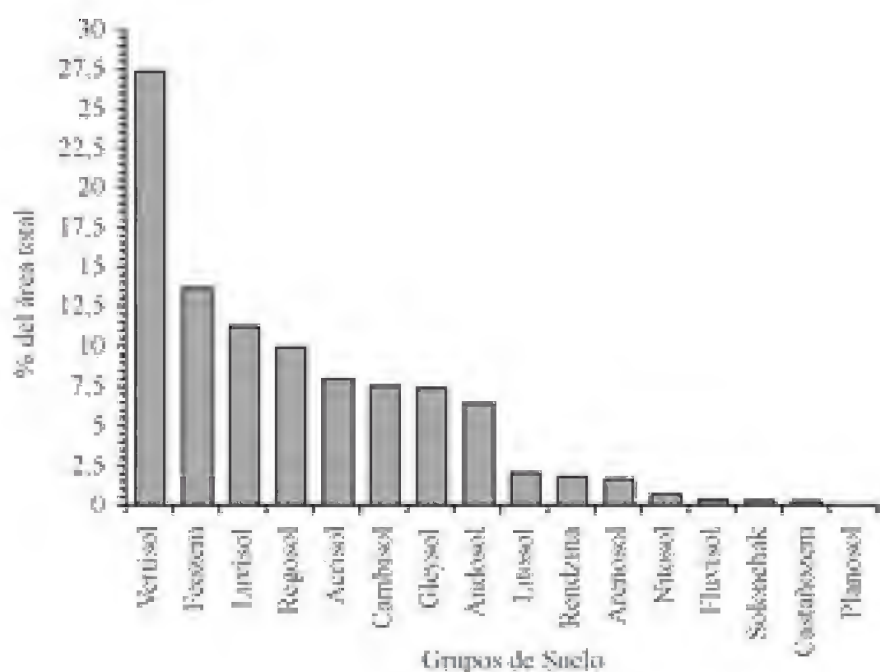


FIGURA 2. Distribución relativa de los principales grupos de suelo en el estado de Veracruz.

tilizantes inorgánicos que contaminan suelo y agua, ya que mucha superficie cañera del estado se encuentra adyacente a ríos y arroyos que desembocan en lagunas y esteros. Por otra parte, las quemas que se realizan para eliminar el follaje antes de la cosecha y para destruir los residuos de la misma tienen impactos negativos en la materia orgánica del suelo, en la salud humana y en el ambiente, incluyendo el cambio climático global (Landeros-Sánchez *et al.*, 2006). Ante esa problemática, se recomienda que en las prácticas de manejo se apliquen los principios de mínima labranza, incluyendo la incorporación de la materia orgánica al suelo.

El grupo de los Feozem, se distribuye fundamentalmente en la parte centro y centro-norte, y sólo pequeñas porciones se localizan en la parte centro-sur del estado. Estos suelos representan el 13.7 % de la superficie total (INEGI, 1984, 1987). Son comunes el Feozem háplico, el Feozem calcárico, el Feozem lúvico, que se encuentran asociados con Vertisoles, Regosoles, Cambisoles, Luvisoles y Andosoles. Los Feozem se reconocen porque tiene un horizonte mólico profundo que por lo general está sobre un horizonte cámbico o argílico (Spaargaren, 1994). Estos suelos tienen alto contenido de

materia orgánica y nutrientes disponibles, lo que les confiere una buena fertilidad y los hace adecuados para diversos cultivos, tanto de riego como de temporal. En estos suelos la producción de biomasa es alta, lo que se debe a la abundante actividad faunística, especialmente de lombrices y de pequeños mamíferos que constantemente mezclan el suelo. Las propiedades físicas y químicas de estos suelos son favorables para el desarrollo de los cultivos, especialmente debido a su estructura estable, porosidad alta y a su elevada capacidad de retención de agua disponible. En Veracruz, estos suelos sostienen principalmente al cultivo de maíz y algunos frutales, sin embargo, hay aún lugares con vegetación natural de bosque de encino, selva baja caducifolia y selva baja subperenifolia.

Los Luvisoles constituyen el 11.3 % del área total (INEGI, 1984, 1987). Se localizan principalmente en la parte centro y sur del estado. Son comunes el Luvisol órtico, el Luvisol crómico, el Luvisol férrico y el Luvisol gleyico, y con frecuencia están asociados con Andosol, Acrisol y Cambisol. Este grupo de suelo se identifica básicamente por que tiene un horizonte de acumulación de arcilla de iluviación y por la presencia de revestimientos de arcilla sobre la superficie de los agregados, en los poros y en las fisuras (Spaargaren, 1994). En el estado, estos suelos son moderadamente profundos y profundos, generalmente de color pardo, pardo amarillento, pardo rojizo y rojo amarillento y se localizan sobre sierras y lomeríos ocupados por bosque de pino-encino, bosque de pino y selva alta perennifolia. Una gran proporción de estos suelos sostiene cultivos de maíz y café. Por las características topográficas en que se encuentran y por las condiciones de manejo a las que están sometidos, estos suelos presentan una disminución importante de materia orgánica y una pérdida considerable de suelo por erosión. Ante este problema agrícola, se recomienda la introducción de leguminosas de cobertera al agro-ecosistema de maíz y de café para mantener o incrementar la materia orgánica y como

consecuencia la fertilidad del suelo. Está comprobado que esta práctica mejora las propiedades físicas y químicas del suelo y controla la erosión (Álvarez *et al.*, 1998).

El grupo de los Regosoles se distribuye en todo el estado, pero la mayor proporción se sitúa en la porción norte (INEGI, 1984, 1987). Una extensión importante se localiza en lugares contiguos a la costa, que realmente corresponden a Arenosoles en el sentido estricto de la clasificación de suelos. Este grupo de suelo representa el 9.9 % de la superficie total. Son frecuentes el Regosol calcárico, el Regosol éútrico y el Regosol dístrico, y generalmente están asociados con Vertisol pélico, Rendzina, Feozem calcárico, Andosol, Cambisol éútrico. Desde el punto de vista pedogenético, los Regosoles son suelos minerales que tienen un desarrollo muy débil, se derivan de materiales no consolidados y su drenaje es alto. Por lo general en estos suelos se encuentran selva alta perennifolia, subperennifolia y praderas de alta montaña; aunque también una gran proporción de su superficie está ocupada por cultivos de maíz, frutales y hortalizas. La capacidad de estos suelos para suministrar nutrientes, sobre todo a cultivos agrícolas, es muy baja, lo que es un indicador claro de una alta sensibilidad a la degradación. Para el manejo de estos suelos se requiere un efectivo entendimiento de la influencia de la incorporación de materia orgánica en el suministro de nutrientes y en la mejora en la calidad del suelo. Se concibe a la calidad del suelo como la capacidad que tiene un determinado suelo para llevar a cabo funciones dentro de los límites del agroecosistema, con el fin de sostener la productividad biológica, mantener o mejorar la calidad del ambiente y fomentar la salud vegetal y animal (Doran y Parkin, 1996; Karlen *et al.*, 2001). De tal manera que en los terrenos agrícolas con esta clase de suelos el manejo de la fertilidad deberá ser de tipo biológico, que beneficie la incorporación de materia orgánica, lo que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo y la productividad de cultivos.

Los Acrisoles constituyen el 8 % del área total (INEGI, 1984, 1987). Se ubican en la parte sur del

estado, sin embargo, también se halla una extensión importante en la porción centro. En su mayoría son derivados de material geológico sedimentario o de material volcánico. Son comunes el Acrisol órtico, el Acrisol férrico y el Acrisol húmico, y, por lo general, están asociados con Nitosol dístrico, Cambisol éútrico, Cambisol cálcico, Cambisol gleyico y Feozem háplico. Los Acrisoles son de regiones tropicales, que se caracterizan por tener un horizonte B de acumulación de arcilla (Spaargaren, 1994). Por la baja capacidad de intercambio de cationes y de saturación de bases bajas, presentan una estructura con desarrollo débil. Estos suelos comúnmente son restrictivos para las raíces de las plantas de los cultivos por presentar un pH muy ácido y una saturación de aluminio alta. En el estado de Veracruz estos suelos sostienen, por una parte, vegetación nativa de selva alta perennifolia, selva mediana subcaducifolia y bosque mesófilo de montaña y, por otra, cultivos agrícolas como café, maíz y piña, entre otros. En condiciones ecológicas tropicales los suelos conservan un proceso de descomposición y mineralización alto y constante todo el año, debido a las condiciones de alta temperatura y humedad que prevalecen en este ambiente. Esto favorece la producción de biomasa y el reciclaje de nutrientes por la considerable actividad microbológica que realiza la mineralización de la hojarasca, en vista de que la concentración de nutrientes en estos suelos es naturalmente muy baja. Los suelos de los ecosistemas tropicales son esencialmente frágiles y muy sensibles a cambios de uso. En estas condiciones, en los sistemas agrícolas de maíz y de café en los que el manejo es deficiente, la baja fertilidad y la degradación del suelo se manifiesta por la disminución de los contenidos de materia orgánica y pérdida de suelo por erosión, lo que afecta la sostenibilidad agrícola. En estos suelos los nutrientes disponibles para los cultivos, mediante procesos biológicos, dependen principalmente de los aportes de residuos orgánicos y de la regulación de la mineralización de la materia orgánica. En sistemas agrícolas sobre

Acrisoles, el uso de los cultivos de cobertera se consideran una opción para mantener la calidad del suelo, por protegerlo de la erosión y por los aportes de nutrientes que se liberan a través de la descomposición del follaje y, además, se mejoran diferentes propiedades del suelo como estructura, porosidad, infiltración y retención de agua, entre otras.

El grupo de los Cambisoles se localiza principalmente en la porción sur, aunque hay también pequeños lugares en la parte centro y centro norte del estado. Ocupa el 7.6 % del área total de la entidad y se distribuye en lomeríos y en serranías. Son comunes el Cambisol ferrálico, el Cambisol éutrico, el Cambisol gleyico y generalmente están asociados con Vertisol, Luvisol crómico, Feozem háplico, Gleysol vértico y Andosol órtico. Los Cambisoles son suelos moderadamente desarrollados que se caracterizan por presentar un intemperismo del material parental de ligero a moderado. Se caracterizan por no tener cantidades apreciables de arcilla iluvial ni de compuestos de aluminio ni de hierro (Spaargaren, 1994). Sostienen principalmente vegetación de bosque de encino, selva alta subperennifolia, selva baja caducifolia y perennifolia. En las prácticas agrícolas se utilizan para cultivar maíz y cítricos. Por las condiciones topográficas en que se localizan y por el grado de desarrollo que tienen son suelos altamente sensibles a la degradación por efecto del cambio de uso. Esta condición de degradación es grave debido a que las prácticas agrícolas se realizan en muchos lugares en sentido de la pendiente, activando de esta manera el proceso de erosión del suelo; además, es frecuente que se utilicen herbicidas para controlar las hierbas que compiten por el agua y nutrientes con la planta de maíz y cítricos, pero a largo plazo esta práctica agrícola afecta seriamente la calidad del suelo por disminuir la entrada de materia orgánica al sistema edáfico. Las leguminosas son las plantas más usadas como cultivos de cobertera, porque proporcionan una biomasa de alta calidad que libera nutrientes rápidamente durante la descomposición microbiana (Álvarez *et al.*, 1998; FAO, 2003). En este ambiente agrícola se recomienda hacer un uso eficiente de los

recursos existentes en el propio terreno, realizar el compostado de residuos orgánicos de alta y baja calidad para lograr mejor sincronización entre la liberación de nutrientes y la demanda del cultivo. Esta práctica asegura la disminución de la degradación y la recuperación de la calidad del suelo debido al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, tales como estabilidad estructural, aireación, retención de agua, entre otras.

Los Gleysoles se sitúan fundamentalmente en la parte sur del estado, allí se circunscriben a los valles aluviales de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá. Hay también una porción pequeña en la parte norte del estado que está próxima a la costa, sobre todo en Pánuco y Tuxpan. Este grupo constituye el 7.5 % de la superficie del estado y son frecuentes el Gleysol éutrico y el Gleysol vértico, que generalmente están asociados con Solonchak gleyico, Vertisol pélico, Acrisol órtico y Cambisol gleyico. Los materiales de origen son, por lo general, depósitos aluviales y su formación está controlada, en gran medida, por reacciones químicas de oxidación y de reducción que son consecuencia de las condiciones aeróbicas y anaeróbicas que ocurren por efecto de la saturación temporal o permanente del suelo. Esto se manifiesta en el perfil por un moteado que revela las condiciones de óxido-reducción (Richardson y Vepraskas, 2001). Esta clase de suelo tiene un papel importante en el ciclo geoquímico de elementos tales como el hierro y el azufre, ya que bajo estos ambientes es viable la formación y acumulación de sulfuros de hierro (FeS, FeS<sub>2</sub>, etc.) (Richardson y Vepraskas, 2001). Esto es posible por el alto suministro de sulfatos del agua de mar, de la materia orgánica proporcionada por la vegetación hidrófila y del hierro presente en el sistema edáfico. Los rasgos redoximórficos, visibles en campo, que se presentan en patrones de colores gris, amarillo y rojo son indicadores importantes para la identificación de estos suelos (Richardson y Vepraskas, 2001).

Los Gleysoles, que se desarrollan en ambientes sedimentarios costeros de Veracruz, sostienen esencialmente a los ecosistemas de humedales representa-

dos por las comunidades vegetales de manglar, popal, tular y selva baja perennifolia. Actualmente se reconoce cada vez más la trascendencia de la zona costera por su diversidad y función ecológica. Sin embargo, en las últimas décadas estos ecosistemas se han visto reducidos en extensión por la fuerte presión de la ganadería y de los proyectos de urbanización. Los humedales del estado de Veracruz poseen una alta riqueza en plantas y animales debido a la coexistencia de múltiples elementos geoambientales que se establecen en la zona costera. Los humedales tienen un valor económico muy alto para la población local por las pesquerías que se desarrollan; además, son ecosistemas muy importantes porque funcionan como amortiguadores acuáticos debido a la gran capacidad que tiene el suelo orgánico para absorber y suministrar agua, evitando que los ríos se desborden durante la época de lluvias y regulando la subida de las mareas. En el estado de Veracruz, la pérdida acelerada de los ecosistemas de humedales por el cambio de uso a pastizal es muy alarmante debido a que está poniendo en alto riesgo los servicios ambientales proporcionados por los suelos, que son altamente sensibles a los cambios en las condiciones hidrológicas de saturación periódicas o permanentes. En los humedales, rodeados durante todo el año por agua, los residuos vegetales muertos no se descomponen del todo debido a la falta de oxígeno, sino que se acumulan formando una capa orgánica. Después de miles de años, este proceso puede dar lugar a un suelo orgánico (Histosol) de varios metros de espesor, sin embargo, por efecto del cambio de uso y drenado arbitrario del humedal el aire penetra al suelo orgánico, contribuyendo a su rápida mineralización. Otro problema ambiental asociado al drenado de los humedales es que el suelo próximo a la costa tiene un horizonte sulfúrico, con altos contenidos de sulfuros de hierro ( $\text{FeS}_2$ ), que en contacto con el aire se oxida formando ácido sulfúrico, disminuyendo drásticamente el pH. Algunas necesidades y alternativas para estos sitios son el apoyo a esquemas de conservación y restauración de suelos de humedal.

El grupo Andosol representa el 6.5 % del área total y está restringido a las áreas volcánicas de Veracruz (SARH, 1982; INEGI, 1984). La extensión mayor está en la porción centro del estado y se circunscribe a las áreas próximas a los volcanes Cofre de Perote y Pico de Orizaba. También hay una proporción pequeña en la parte sur del estado que está delimitada por los volcanes San Martín y Santa Martha en la región de Los Tuxtlas. Son comunes el Andosol órtico, el Andosol mólico, el Andosol húmico y el Andosol vítrico que generalmente están asociados con Cambisol crómico, Acrisol, Luvisol crómico, Feozem háptico y Regosol éutrico. Las propiedades de los Andosoles están fuertemente determinadas por la naturaleza de la fracción coloidal (Campos *et al.*, 2001). Los minerales de la fracción coloidal que predominan son aluminosilicatos no cristalinos como alofano, imogolita, ferrihidrita y complejos de humus-aluminio (Shoji *et al.*, 1993). En condiciones naturales estos suelos tienen un volumen grande y poros pequeños que se traduce en alta capacidad para retener agua (Shoji *et al.*, 1993). La acumulación de carbono orgánico es otra propiedad de muchos Andosoles. Con frecuencia existe una gran heterogeneidad en los materiales piroclásticos. Estos suelos son profundos, limosos, de color oscuro y con frecuencia tienen un horizonte muy húmico de estructura suelta a harinosa o compuesta de agregados muy finos y muy friables (Spaargaren, 1994). La cantidad de raíces en el horizonte húmico es densa y penetran a gran profundidad. La actividad de la mesofauna es intensa. La densidad aparente es menor a  $0.9 \text{ g/cm}^3$ . El color cambia mucho cuando el suelo pasa de húmedo a seco. Algunos horizontes, sobre todo en los sitios de las serranías, son de color negro, muy húmicos y tienen en condiciones húmedas una consistencia grasosa. Los Andosoles son suelos altamente fértiles lo cual se deriva, por una parte, de su naturaleza reciente y abundancia de minerales primarios muy fragmentados, entre los que predomina el vidrio volcánico y, por otra, de sus propiedades físicas excepcionales. Estas condiciones favorecen su calidad, lo que le da un buen soporte al desarrollo de la vegeta-

ción y, sobre todo, al funcionamiento sustentable del ecosistema nativo. En el estado de Veracruz los Andosoles sostienen vegetación de bosque de oyamel, de bosque de pino, de bosque pino-encino, de bosque mesófilo, de selva mediana subcaducifolia, de pastizal inducido y de praderas de alta montaña. En las áreas de los Andosoles también están bien establecidos los cultivos de maíz, de papa y de café, entre otros. En estos suelos y principalmente en la montaña, se observa que la actividad agrícola no regulada, con respecto a la sustentabilidad del agroecosistema, tiene desenlaces negativos para la población, como lo es la pérdida del suelo por erosión, la disminución de la fertilidad del suelo, la reducción en la recarga de acuíferos, las grandes cantidades de materia orgánica en los escurrimientos de las primeras lluvias (constatado por el color negro del agua de algunos ríos) y el comportamiento violento en la descarga de los ríos en la época de lluvias.

Los Litosoles constituyen el 2.1 % del área total y son suelos que están restringidos a lugares montañosos que con frecuencia se asocian con Feozem háplico, Regosol éutrico y Andosol órtico. El grupo Litosol incluye suelos someros, muy pedregosos, con una cantidad reducida de material fino y están limitados por una roca dura que se encuentra a menos de 10 centímetros. Se presentan sobre las rocas que son resistentes al intemperismo o donde la erosión ha obstruido la formación del suelo. En la nueva nomenclatura, los Litosoles se han incorporado al grupo Leptosol. En el estado de Veracruz estos suelos sostienen vegetación de matorral desértico rosetófilo, selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia, y no son aptos para la agricultura.

El grupo Rendzina representa el 1.9 % del área total y se ubica fundamentalmente en la parte centro y norte del estado que aparece en porciones pequeñas y aisladas. Esos lugares corresponden a afloramientos de material calizo. Este grupo de suelo se identifica por la presencia de un horizonte mólico que contiene o está directamente sobre un material calizo que tiene más del 40 % de carbo-

nato de calcio. Se asocia con Feozem háplico, Regosol calcárico y Luvisol crómico. En el estado de Veracruz las Rendzinas sustentan al cultivo de maíz, algunos frutales y sostienen vegetación natural de selva mediana subperennifolia y palmar inducido.

El grupo Nitosol representa el 0.77 % del área total, se sitúa en la parte sur del estado y generalmente está asociado con Acrisoles órticos y húmicos. Los Nitosoles se desarrollan bajo un ambiente tropical, son profundos, arcillosos, con buen drenaje y con una estructura de bloques de tamaño fino bien desarrollada. Los elementos de la estructura de forma poliédrica tienen caras brillantes que a veces son completamente lisas o aparecen ligeramente estriadas en condiciones secas. Las caras brillantes no están asociadas con ferriargilanes iluviales o lo están sólo parcialmente (Spaargaren, 1994). Los Nitosoles tienen colores que van del pardo rojizo, rojo oscuro y rojo amarillento y no muestran moteado de naturaleza hidromórfica. Son duros cuando están secos, muy friables a firmes cuando están húmedos, pegajosos y plásticos cuando están muy húmedos. Los Nitosoles tienen una capacidad de retención de humedad disponible por unidad de volumen bastante buena. La permeabilidad es de moderada a moderadamente rápida. En el estado de Veracruz estos suelos están ocupados principalmente por selva alta perennifolia, además sostienen cultivos de maíz y café. En estos suelos el contenido de materia orgánica es bajo, por lo que los cultivos no disponen de nutrientes suficientes, por ello es indispensable el aporte de residuos orgánicos para elevar el contenido de nitrógeno en el suelo. En los agroecosistemas sobre Nitosoles, los cultivos de cobertera son una opción para mantener su calidad, protegerlo contra la erosión y aportarles nutrientes que se liberan de la descomposición de los materiales orgánicos. Además se mejoran diferentes propiedades del suelo como estructura, porosidad, infiltración y retención de agua, entre otras.

El grupo Solonchak representa el 0.39 % de la superficie total, se localiza sobre todo en la parte norte, en las cercanías del río Panuco y en la parte sur en las inmediaciones del río Coatzacoalcos. También se les encuentra en las proximidades de la costa (SARH, 1982; INEGI, 1984). El Solonchak gleyico es el mejor representado en el estado y por lo general está asociado con Gleysol vértico. Los Solonchak se caracterizan por tener un horizonte salino que se ubica en la parte superior del perfil o ligeramente en la parte inferior. Dicho horizonte contiene altas cantidades de sales más solubles que el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Los aniones que están presentes en los Solonchak son cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos (Spaargaren, 1994). Los nitratos existen cuando hay aplicaciones de fertilizantes. Los cationes principales son el sodio, el calcio, el magnesio y el potasio. La salinidad en estos suelos es de origen marino. Las capas del suelo afectadas por sales muestran una estructura inflada. Las sales se precipitan en la superficie o a cierta profundidad, después que el agua se evapora.

En el estado de Veracruz, estos suelos sostienen ecosistemas de humedal constituidos por las comunidades vegetales de pastizal halófilo, manglar y tular, que soportan la salinidad. En estos suelos el uso agrícola es difícil ya que se necesita eliminar, por lixiviación, el exceso de sales y también controlar el nivel freático. El problema ambiental grave asociado al drenado de estos humedales para fines agropecuarios es que el suelo próximo a la costa tiene un horizonte sulfúrico, con altos contenidos de sulfuros de hierro ( $\text{FeS}_2$ ), que en contacto con el aire se oxida formando ácido sulfúrico, lo que da por resultado una disminución drástica en el pH. Por este hecho se puede presentar mortandad de peces y corrosión en la infraestructura metálica y de concreto. Algunas necesidades y alternativas para estos sitios son el apoyo a esquemas de conservación y restauración de suelos de humedal.

## PROPIEDADES IMPORTANTES DEL SUELO

Las propiedades físicas y químicas de los suelos deben ser conocidas por los tomadores de decisiones, por los responsables de la planeación y por los productores agropecuarios, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos, la cantidad y calidad de las cosechas y el soporte de los ecosistemas naturales, están en relación directa con los nutrimentos y las características de los suelos. Desde este punto de vista, las propiedades más importantes a considerar en estrategias de manejo sustentable del suelo para mejorar la producción agrícola son: la textura, los contenidos de materia orgánica, la composición química y el pH de los suelos. De hecho, cuando se habla de textura del suelo se está haciendo referencia a las proporciones de arena (2.0 – 0.05 mm), limo (0.05 – 0.002 mm) y arcilla (< 0.002 mm) que forman la parte mineral del suelo, y que es recomendable conocer porque está relacionada con propiedades funcionales del suelo como son la capacidad de infiltración del agua, las condiciones de desarrollo de las raíces, la circulación del aire y del agua, la retención de agua y de nutrientes (Bernasconi-Gandoy, 1991). Con base en lo anterior, los suelos en el estado de Veracruz, según la distribución del tamaño de partículas (figuras 3 y 4), presentan un predominio de la textura arcillosa. Los suelos con esta clase de textura son los que manifiestan mayor potencial de escurrimiento y suelen tener un mal drenaje, es decir, se encharcan, incluso durante días si llueve mucho (Hillel, 2007). Este es un gran problema, sobre todo en la planicie costera del estado de Veracruz que es donde se acumula más agua y en la que existen grandes extensiones de terrenos arcillosos (Vertisoles, Acrisoles y Luvisoles) ocupados por praderas ganaderas y cultivos de caña de azúcar. En los pastizales, la compactación, asociada a las altas presiones ejercidas por el pisoteo del ganado, trae consigo la degradación de la estructura del suelo, que se traduce en un decremento en la producción e incrementa la incidencia de serios eventos de anegamiento. La compactación

en general, limita la capacidad del suelo para absorber agua y nutrientes. Uno de los problemas más reconocidos por el pisoteo del ganado es la disminución del oxígeno debido a la reducción en tamaño de los poros, que al llenarse de agua no permiten la circulación del oxígeno. El manejo sustentable de los pastizales y del pisoteo del ganado, en estos suelos, es muy importante porque así se evita la degradación de la calidad del suelo y se mantiene su productividad. En los suelos arcillosos, arcillo limosos, arcillo arenosos y franco arcillosos, que están sometidos a uso ganadero y a cultivo de caña de azúcar, es necesaria la aplicación de materia orgánica (estiércol, residuos de la cosecha, composta, etc.) para obtener una buena estructura que mejore la infiltración del agua. Los suelos deben tener suficiente espacio poroso que permita una adecuada aireación y asegure óptimas condiciones para el desarrollo de las raíces y el crecimiento de los microorganismos (Hillel, 2007). En contraste, los suelos con textura de arena y arenoso franco tienen bajo potencial de escurrimiento, buena permeabilidad, por lo que la infiltración del agua mantiene valores altos, aun cuando están húmedos (Bernasconi-Gandoy, 1991). Pertenecen a este grupo los suelos de la clase Arenosol y Regosol. Los suelos con esta clase de textura se secan muy pronto y hay que regar bastante en terrenos bajo cultivo, porque no almacenan el agua como sucede con los de textura arcillosa. Se recomienda regar con poca cantidad de agua pero con más frecuencia. El riego por goteo en esta clase de textura es ideal. Estos suelos tampoco retienen bien los nutrientes minerales que necesita la planta. Las lluvias y el riego lavan los nutrientes de la zona de raíces. En suelos con textura de arena y arenoso franco bajo cultivo, se recomienda que los residuos de la cosecha permanezcan encima de la superficie o se incorporen parcialmente en el suelo, así se logra por un lado disminuir la evaporación y por otro incrementar la humedad del suelo. Las aplicaciones de abonos orgánicos provenientes de compostas también se recomiendan porque ayudan a la formación de sustancias orgánicas estabilizadoras

de la estructura del suelo. En el último de los casos, se pueden usar fertilizantes de lenta liberación en lugar de los minerales solubles tradicionales, para que se vaya disolviendo poco a poco y se pierda lo menos posible. Los suelos con textura franco arcillo arenoso, franco, franco arenoso y franco limoso son ideales para el cultivo porque tienen buena permeabilidad, no son compactos y tienen buena capacidad para retener agua y nutrientes, aunque hay que tener en cuenta otros factores como el contenido de materia orgánica, el régimen de humedad del suelo y el clima. En estos suelos la elección de prácticas eficientes de labranza es importante y deben ser aquellas que aseguren mantener el ciclo de nutrición de las plantas y

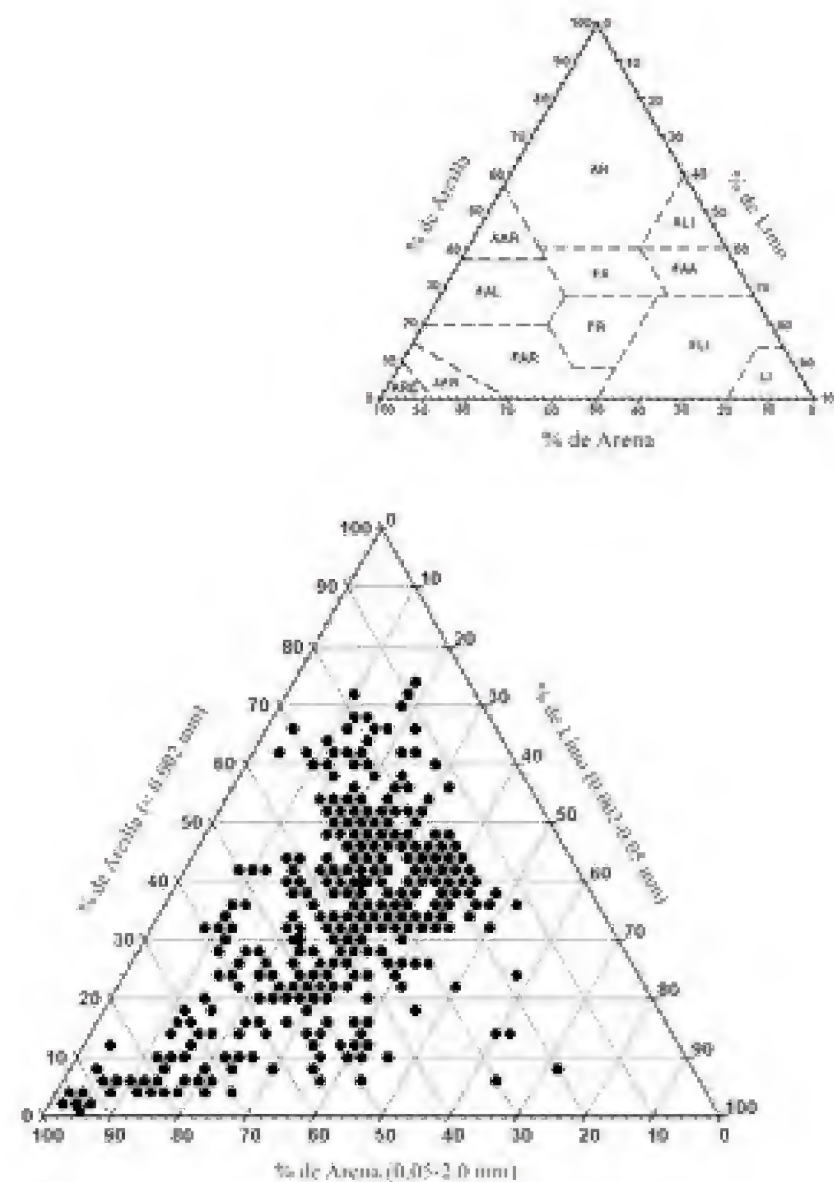


FIGURA 3. Distribución del tamaño de partículas en los suelos del estado de Veracruz (AR = arcilla, AAR = arcillo arenoso, ALI = arcillo limoso, FA = franco arcilloso, FAL = franco arcillo arenoso, FAA = franco arcillo limoso, FR = franco, FAR = franco arenoso, FLI = franco limoso, AFR = arenoso franco, ARE = arena, LI = limo).

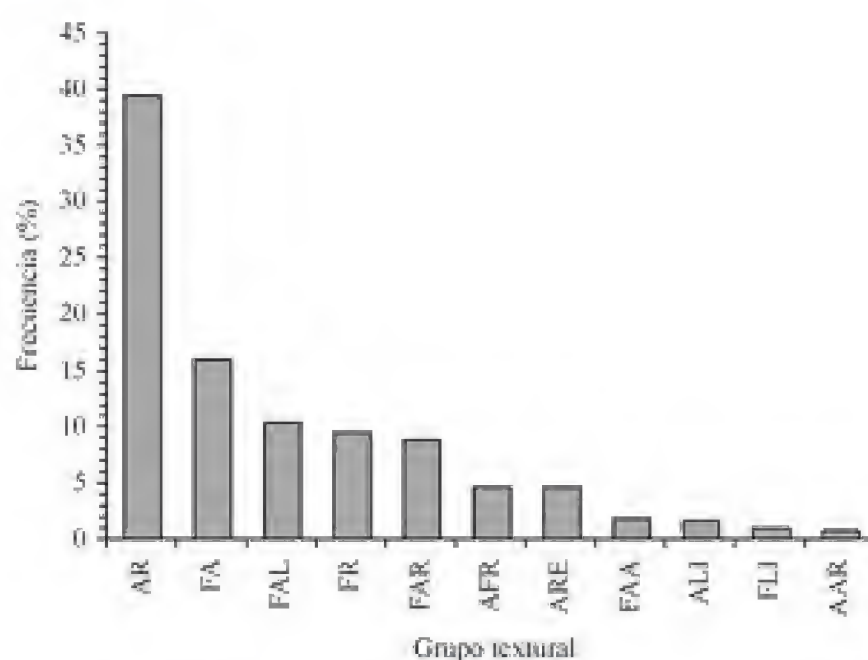


FIGURA 4. Distribución de frecuencias de los grupos texturales (AR = arcilla, AAR = arcillo arenoso, ALI = arcillo limoso, FA = franco arcilloso, FAL = franco arcillo arenoso, FAA = franco arcillo limoso, FR = franco, FAR = franco arenoso, FLI = franco limoso, AFR = arenoso franco, ARE = arena) en los suelos del estado de Veracruz.

fortalezcan la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo. La cobertura del suelo con residuos de cosecha y la aplicación de biofertilizantes son tecnologías que combinan efectos de conservación y de productividad.

La materia orgánica, por las funciones que realiza, tiene una gran importancia en la mejora de la fertilidad del suelo y del ambiente (figura 5). Los efectos producidos por la existencia de un nivel adecuado de materia orgánica en los suelos son observables por el desarrollo saludable de las especies vegetales y la producción sostenible en los sistemas agrícolas (Kimble *et al.*, 2007; Magdoff y Weil, 2004). En el estado de Veracruz, los suelos del grupo Andosol y Litosol presentan contenidos de carbono orgánico superiores a  $4.7 \text{ kg C m}^{-2}$  en el horizonte de la superficie, que se consideran altos (cuadro 1). Para el caso de los Litosoles, los contenidos de carbono se relacionan sobre todo con la presencia de mantillo proveniente de la vegetación natural, dado que estos suelos se localizan fundamentalmente en sitios no cultivados de mon-

taña. Los suelos con valores altos de materia orgánica son oscuros y eso provoca que absorban más la radiación procedente del sol, de tal forma que la oscilación de las temperaturas entre el día y la noche, o entre estaciones del año, sea más uniforme que para un suelo con menos contenido de materia orgánica, en donde la variación de la temperatura es notable (Feller y Beare, 1997). También, la materia orgánica, y especialmente las sustancias húmicas, tienen propiedades coloidales debido a su tamaño y carga eléctrica, por lo que protege al ambiente de la contaminación al absorber plaguicidas y otros contaminantes, evitando que estos se lixivien hacia los acuíferos (Sumner, 2000). En los suelos del grupo Feozem, Luvisol y Nitosol, la reserva de carbono orgánico es en promedio de  $3.4 \text{ kg C m}^{-2}$  en el horizonte de la superficie, lo que se considera un valor medio. Bajo estas condiciones de carbono orgánico en el suelo, se recomienda incrementar los contenidos de materia orgánica en los terrenos cultivados con caña de azúcar, maíz y cítricos, a través de prácticas apropiadas de manejo, tal como aportes de residuos de las cosechas o abonos generados de compostas. Está bien documentado que, incluso los residuos de la cosecha dejados en la superficie del suelo limitan la evaporación, incrementan la infiltración y reducen la erosión (Lal *et al.*, 2000). En cambio, la quema de residuos orgánicos o de rastrojos de las cosechas es reconocida como una práctica que afecta directamente propiedades particulares del suelo como nutrientes, humedad, microorganismos, estabilidad de agregados y propiedades hidráulicas. Entre los efectos indirectos de la quema de residuos orgánicos tenemos erosión, reducción de materia orgánica y baja estabilidad de los agregados que pueden ocurrir a largo plazo, cuando la superficie del suelo es expuesta a los efectos del viento y el agua. Es de destacar que el resto de los grupos de suelos (cuadro 1), mantienen contenidos de carbono orgánico que varían entre  $1.1$  a  $3.1 \text{ kg C m}^{-2}$  en el horizonte de la superficie, los cuales se consideran valores bajos a muy bajos. Ante esta situación, y especialmente en el grupo de suelos de los Vertisoles, que sostienen al cultivo de la caña de azú-

car y pastizales, es urgente que se establezca una política de recuperación de la fertilidad del suelo que contemple tanto conservación como capacidad productiva. Los suelos con contenidos adecuados de materia orgánica proporcionan un crecimiento productivo y sustentable de los cultivos con un mínimo impacto sobre el ambiente, gracias a su alta disponibilidad de nutrientes y aireación, buena infiltración y retención de agua, adecuada estabilidad estructural y alto nivel de actividad biológica.

Los fertilizantes químicos o minerales, lo único que aportan son nutrientes, no mejoran el suelo en otros aspectos como hacen los biofertilizantes (estiércol, compostas, etcétera). Las investigaciones realizadas en el estado de Veracruz con cultivos de cobertera, han demostrado ser eficientes para reducir la erosión del suelo y aumentar la fertilidad y la disponibilidad de agua para las plantas (Álvarez *et al.*, 1998). Este esquema de manejo se recomienda en los terrenos bajo cultivo de maíz, puesto que es ejemplo claro del manejo integral de los nutrimentos del suelo basado en la manipulación eficiente, tanto de las reservas como de los flujos de materia y de energía dentro del agroecosistema, con el fin de alcanzar un nivel provechoso y sustentable de la producción agrícola.

CUADRO 1. Contenido promedio de carbono orgánico ( $\text{kg C m}^{-2}$ ) en tres intervalos de profundidad en los grupos de suelo del estado de Veracruz.

GRUPO DE SUELO	0-10 cm $\text{kg C m}^{-2}$	0-20 cm $\text{kg C m}^{-2}$	0-100 cm $\text{kg C m}^{-2}$
Acrisol	3.13	5.49	14.18
Andosol	5.72	10.75	38.95
Arenosol	2.02	3.61	5.01
Cambisol	2.58	4.71	10.52
Castañozem	2.29	4.59	15.21
Feozem	3.44	6.74	15.52
Gleysol	2.71	4.80	12.69
Litosol	4.77		
Luvisol	3.49	6.32	16.29
Nitosol	3.59	5.75	13.14
Planosol	1.15	2.30	4.69
Regosol	1.58	3.05	8.57
Rendzina	3.02	5.99	
Solonchak	1.97	3.94	8.04
Vertisol	2.34	4.63	14.53

La oferta de nutrientes en el suelo es un componente importante de la fertilidad edáfica, porque tiene un papel vital en el desarrollo de los recursos naturales, en la protección del medio ambiente y en la sustentabilidad de la salud de los ecosistemas naturales y agrícolas (Roy *et al.*, 2003). Lo realmente importante referente a la composición química del suelo es brindarle a la planta una nutrición correcta que le permita una mayor resistencia a las

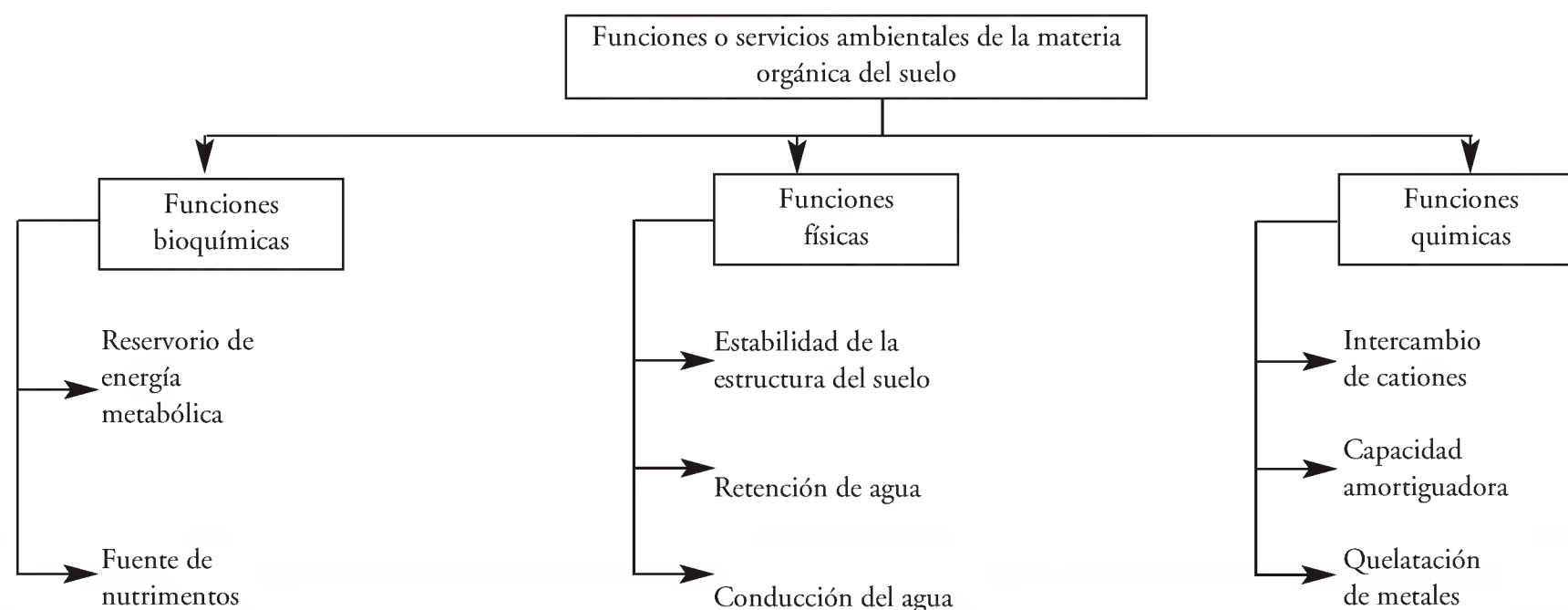


FIGURA 5. Diagrama que muestra las principales funciones de la materia orgánica del suelo (adaptado de Sumner, 2000).

enfermedades y una condición nutricional óptima para una producción de buena calidad (Frossard *et al.*, 2006; Schjonning *et al.*, 2004). En los suelos, los cationes que se encuentran disponibles para la nutrición de las plantas son las bases intercambiables de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . En el cuadro 2 se da la concentración promedio de los cationes básicos para los grupos de suelos del estado de Veracruz. La concentración de calcio en los Acrisoles, Nitosoles y Planosoles es menor que  $5 \text{ cmol kg}^{-1}$ . En estos suelos la lixiviación es un proceso común que explica la concentración baja de este elemento, la cual es más evidente en el horizonte B del Acrisol. Los Arenosoles también tienen concentraciones bajas de calcio, que en este caso más bien se relacionan con los contenidos bajos de arcilla y de materia orgánica, así que para elevar los niveles de calcio en el suelo se recomienda la aplicación de biofertilizantes procedentes de compostas. Los Andosoles de igual forma están sujetos a la lixiviación, pero la concentración de calcio que varía entre baja y media en los horizontes A y B está más relacionada a los contenidos de materia orgánica que presenta este grupo de suelo. En los Luvisoles se observa una disminución gradual en la concentración del calcio y los valores ligeramente altos, presentados en los horizontes A y B, se explican por los contenidos de materia orgánica y de arcilla. Las concentraciones de calcio altas y muy altas en Cambisol, Rendzina, Solonchak y Vertisol resultan de la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en el material parental. Igualmente, la mayoría de los suelos tienen concentraciones de magnesio que varían de bajas a medias. Las concentraciones altas se presentan en Feozem, Gleysol, Luvisol y Vertisol, y las muy altas en Solonchak. Las concentraciones de potasio, en casi todos los suelos, varían de bajas a muy bajas, y disminuyen con la profundidad del suelo. Las concentraciones bajas de bases intercambiables, que se registran en los suelos agrícolas, pueden incrementarse con la aplicación de residuos orgánicos de origen agro-industrial (caña de azúcar, café), mediante sistemas de compostaje. Las con-

centraciones de potasio altas sólo se presentan en Castañozem y Solonchak. Es de poner atención en la concentración alta de sodio que presentan los Vertisoles y los Solonchak. Las concentraciones de sodio altas se explican, sobre todo en los Solonchak, por la influencia del agua de mar, por localizarse cerca a la costa.

CUADRO 2. Concentración promedio de los elementos químicos en los grupos de suelo del estado de Veracruz.

GRUPO DE SUELO	HORIZONTE	CALCIO	MAGNESIO	POTASIO	SODIO
		$\text{cmol kg}^{-1}$			
Acrisol	A	5.33	2.16	0.23	0.26
	B	2.65	1.07	0.14	0.36
Andosol	A	5.01	1.77	0.31	0.23
	B	6.76	1.96	0.26	0.32
	C	3.36	1.43	0.10	0.53
Arenosol	A	2.52	1.10	0.20	0.40
	B	2.40	1.05	0.12	0.35
Cambisol	A	16.12	2.38	0.38	0.29
	B	13.55	2.22	0.20	0.35
	C	19.46	1.65	0.19	0.27
Castañozem	A	20.0	1.70	0.80	0.10
	B	20.53	1.83	0.33	0.10
	C	16.81	7.84	0.33	0.77
Feozem	A	19.42	5.21	0.36	0.30
	B	18.24	9.64	0.23	0.64
	C	16.81	7.84	0.33	0.77
Gleysol	A	9.73	4.47	0.23	0.5
	B	9.56	4.63	0.20	0.73
	C	13.33	5.64	0.18	0.95
Litosol	A	5.75	2.90	0.30	0.15
Luvisol	A	10.38	4.05	0.26	0.39
	B	9.34	3.99	0.17	0.45
	C	5.24	4.93	0.16	0.54
Nitosol	A	3.80	1.80	0.20	0.40
	B	3.78	1.38	0.10	0.44
Planosol	A	3.10	0.40	0.10	0.20
	E	2.2	0.30	0.10	0.20
	C	3.8	0.80	0.10	0.30
Regosol	A	20.42	1.83	0.27	0.19
	C	10.39	1.61	0.21	0.46
Rendzina	A	22.07	1.78	0.30	0.23
	C	21.07	0.72	0.12	0.20
Solonchak	A	22.93	12.39	0.69	7.35
	B	16.25	12.45	1.10	8.80
	C	15.85	10.87	0.57	5.45
Vertisol	A	23.31	5.85	0.32	1.30
	C	26.01	5.81	0.29	1.49

El pH es una medida de la intensidad de acidez y/o alcalinidad de los suelos. El valor de pH es probablemente la característica química más importante del suelo (Sumner, 2000). Éste se relaciona con la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, con la toxicidad de metales y con la respuesta negativa de muchas especies de plantas a la acidez o a la alcalinidad del suelo (Sumner, 2000). En el ambiente edáfico hay muchos procesos que producen acidez o alcalinidad. La acidificación es un proceso natural que es común en los suelos sujetos a lixiviación. Además, la actividad humana tiene un impacto muy significativo en la acidificación o alcalinización del suelo, por ejemplo con la aplicación de fertilizantes se puede producir acidez (Sumner, 2000). La lluvia ácida y otros contaminantes también acidifican el suelo. En la figura 6 están los valores promedio de pH para los grupos de suelo del estado de Veracruz. Los valores bajos de pH se presentan en el grupo de los Acrisoles y los Nitisoles, que son suelos que tienen un intemperismo fuerte, y los Arenosoles y Planosoles que derivan de materiales parentales pobres en cationes básicos. Estos suelos tienen una reacción muy ácida, con un promedio de pH menor de 5.1. El proceso natural de intemperismo de los Acrisoles y de los Nitisoles conduce a la lixiviación de los cationes básicos. Se sabe que los efectos perjudiciales de la acidez del suelo se manifiestan notablemente en valores de pH inferiores a 5.5, por la toxicidad del aluminio. El aumento de pH se logra mediante la práctica de encalado. El diagnóstico de las necesidades de encalado y su tecnología está completamente desarrollado en las regiones que poseen suelos ácidos, donde se practica una agricultura tecnificada. También se puede elevar el pH con la aplicación de abonos orgánicos que sean alcalinos, para neutralizar el efecto tóxico del aluminio. Los Andosoles, Litosoles y Luvisoles presentan una reacción moderadamente ácida, con un pH que varía entre 5.5 y 5.9. En estos suelos la materia orgánica es un componente valioso que ayuda a amortiguar el pH. Los Cambisoles y Gleysoles son de reacción ligeramente ácida, con un pH

entre 6.3 y 6.6. En tanto que las reacciones neutra y ligeramente alcalina estuvieron relacionadas a los Feozem, Regosol, Vertisol, Castañozem y Rendzina. En estos suelos los valores de pH entre 6.9 y 7.6 se explican por la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en el material parental. Por último, la reacción moderadamente alcalina la presentó el grupo de suelos Solonchak. En estos suelos el valor muy alto de pH (mayor de 7.7) se atribuye a las condiciones de salinidad.

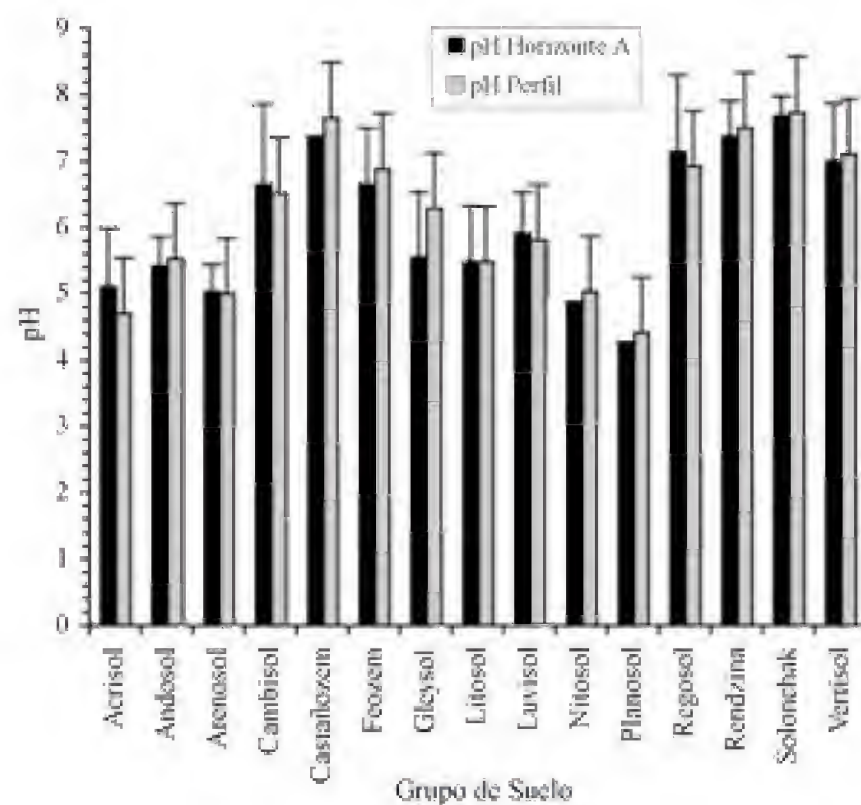


FIGURA 6. Valores promedio del pH en el horizonte A y en el perfil completo en los grupos de suelo del estado de Veracruz.

## CONCLUSIÓN

En el estado de Veracruz se encuentran 16 de los 25 grupos de suelo propuestos por la FAO. De acuerdo con este estudio, los grupos de suelo con mayor extensión son el Vertisol, Feozem, Luvisol, Acrisol, Andosol, que ocupan en conjunto el 67 % de la superficie del estado, destacándose el Vertisol con 27 %. Los suelos con textura arcillosa cubren el 46 % de la superficie del estado y están representados por los grupos Vertisol, Acrisol y Luvisol; éstos sostienen por lo general praderas ganaderas y cultivos de caña de azúcar. Los problemas más recurrentes

en estos suelos son la compactación por el pisoteo del ganado en los pastizales y la pérdida de materia orgánica por la quema de biomasa en los terrenos cultivados con caña de azúcar. Los suelos arenosos ocupan el 11.7 % de la superficie del estado y son los grupos Arenosol y Regosol que pueden considerarse como de baja capacidad para retener agua. Los grupos de suelo con contenidos altos de materia orgánica (mayor de  $4.7 \text{ kg C m}^{-2}$ ) en el horizonte de la superficie son el Andosol y Litosol y cubren el 8.7 % de la superficie del estado; y los que presentan contenidos medios de materia orgánica ( $3.4 \text{ kg C m}^{-2}$ ) son Feozem, Luvisol y Nitosol, que ocupan el 25.5 % de la superficie. El resto de los suelos, que cubren el 65.4 % de la superficie del estado, presentan bajos y muy bajos contenidos de materia orgánica ( $1.1 - 3.1 \text{ kg C m}^{-2}$ ) en el horizonte de la superficie. Los grupos de suelo con pH muy ácido (menor de 5.1) cubren el 8.8 % de la superficie del estado y son el Acrisol, Nitosol y Planosol. Los grupos de suelo con pH neutro a moderadamente alcalino ( $6.9 - 7.6$ ) ocupan el 51.9 % de la superficie del suelo y son, fundamentalmente, Feozem, Regosol, Vertisol, Castañozem, Rendzina y Solonchak.

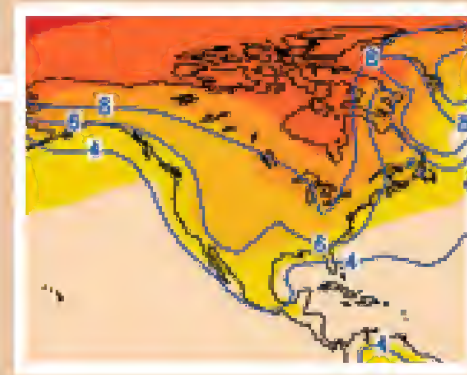
Con base en la información que se presenta en el documento se puede concluir que Veracruz tiene en sus suelos una de las fortalezas naturales más importantes, porque de sus condiciones depende el buen estado de los hábitats naturales, la actividad agrícola, ganadera y forestal, y hasta urbana. La aplicación de técnicas agrícolas convencionales está degradando la calidad del suelo y volviéndolo menos productivo. Por eso es importante que el agricultor y los responsables de la planeación agropecuaria tomen conciencia de esta situación y recuperen su relación con el suelo, practicando una agricultura de conservación que permita frenar la degradación del suelo, la erosión y la contaminación del agua. La producción sustentable es clave y debe basarse en sistemas conservacionistas que permitan controlar las principales causas de declinación de la fertilidad del suelo.

## LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, M.C., Asiain, A., Chávez, J.L., 1998, *Evaluación agronómica de Mucuna pruriens y Vigna umbellata, en monocultivo y asociada con maíz, Zea mays*, Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Avances de Investigación 1997-1998.
- BERNASCONI-GANDOY, W., 1991, *Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos*, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- CAMPOS, A., 2002, *Diagnóstico de la degradación de suelos de origen volcánico, región Cofre de Perote*, tesis de doctorado, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México.
- , 2006, Response of soil surface  $\text{CO}_2$ -C flux to land use changes in a tropical cloud forest (Mexico), *Forest Ecology and Management* 234: 305-312.
- CAMPOS, A., K. Oleschko, L. Cruz Huerta, B.J. Etchevers, M.C. Hidalgo, 2001, Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote, *Terra* 19 (2): 105-116.
- CAMPOS, A., L.K. Oleschko, B.J. Etchevers, M.C. Hidalgo, 2007, Exploring the effect of changes in land use on soil quality on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico), *Forest Ecology and Management* 248: 174-182.
- DORAN, J.W., Jones, A.J. (eds.), 1996, *Methods for assessing soil quality*, SSSA Special Publication Number 49, Madison, WI, EUA.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2003, *Biological management of soil ecosystems for sustainable agricultura*, World Soil Resources Reports 101, Rome.
- FELLER, C., M.H. Beare, 1997, Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics, *Geoderma* 79: 69-116.
- FROSSARD, E., W.E.H Blum, B.P. Warkentin, (eds.), 2006. *Function of soils for human societies and the environment*, Geological Society Special Publication 266. The Geological Society, London.

- HILLEL, D., 2007. *Soil in the environment: crucible of terrestrial life*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA, INEGI, 1984, *Cartas edafológicas del Estado de Veracruz*, escala 1:250 000.
- , 1987, *Carta edafológica del Estado de Veracruz*, escala 1:1000 000.
- , 2004, *Información Nacional sobre Perfiles de Suelos*, versión 1.2. Aguascalientes, Ags.
- JUO, A.S.R., K. Franzluebbbers, 2003, *Tropical soils: properties and management for sustainable agriculture*, Oxford University Press, Nueva York.
- KIMBLE, J.M., C.W. Rice, D. Reed, S. Mooney, R.F. Follett, R. Lal, (eds.), 2007, *Soil carbon management: economic, environmental and societal benefits*, CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA.
- LAL, R., J.M. Kimble, B.A. Sterwart, (eds.), 2000, *Global climate change and tropical ecosystems*, CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA.
- LANDEROS-SÁNCHEZ, C., J.C. Moreno-Saceña, I. Galaviz-Villa, S.C. Gallardo, D.R. Martínez Torres, M.R. Castañeda-Chávez, 2006, *Estrategias de producción de la caña de azúcar para mitigar los efectos del cambio climático global*, Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.
- MAGDOFF, F. y R.R. Weil, (eds.), 2004, *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*, CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA.
- RICHARDSON, J.L., M.J. Vepraskas, (eds.), 2001, *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, EUA.
- ROY, R. N., R.V. Misra, J.P. Lesschen, E.M. Smaling, 2003, *Assessment of Soil Nutrient Balance*, FAO, *Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 14.
- SCHJONNING, P., S. Elmholt, B.T. Christensen, (eds.), 2004, *Managing soil quality: challenges in modern agriculture*, CABI Publishing, UK.
- SHOJI, S., M. Nanzyo y R.A. Dahlgren, 1993, Volcanic Ash Soil: Genesis, properties and utilization, *Developments in Soil Science* 21, Amsterdam, Países Bajos.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH), Universidad Autónoma Chapingo, 1982, *Inventario de áreas erosionadas, rangos de pendiente y unidades de suelo del estado de Veracruz*, Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, México.
- SPAARGAREN, O.C. (ed.), 1994, *World Reference Base for Soil Resources*, FAO-ISRIC, Wageningen/Rome.
- SUMNER, M.E. (ed.), 2000, *Handbook of Soil Science*, CRC Press, Boca Raton Florida, EUA.
- WILDING, L.P. y R. Puentes, (eds.), 1988, Vertisols: Their distribution, properties, classification and management, *Technical Monograph* núm. 18, SMSS and Texas A & M University Systems.

# Cambio climático y biodiversidad



Miguel E. Equihua Zamora  
Griselda Benítez Badillo  
Adalberto Tejeda-Martínez  
Beatriz Elena Palma Grayeb

## LOS ELEMENTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático global, del que es frecuente hablar actualmente, se refiere al que posiblemente ocurra como consecuencia de la modificación en la composición química de la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre en su capa inferior o troposfera, la que está por debajo de los 25 km de elevación y que envuelve directamente a la biosfera. Dado que el ser humano aporta importantes cantidades de gases como el  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono),  $\text{CH}_4$  (metano o gas natural) y  $\text{N}_2\text{O}$  (óxido nitroso), principalmente a través de sus procesos agrícolas e industriales, se sugiere también que la modificación de los patrones de consumo podría atenuar esos cambios.

Los gases poliatómicos –cuyas moléculas están formadas por tres o más átomos– de la troposfera producen el efecto invernadero que ocurre en el planeta. Básicamente este efecto se refiere a la condición mediante la cual pasa luz visible a través de un “filtro cristalino” que, al chocar con materiales

opacos, es absorbida por éstos y se transforma en radiación infrarroja (que percibimos como calor), la que no puede atravesar el “filtro cristalino” escapa de regreso al espacio. El resultado de este proceso es la creación de un “invernadero”. Es precisamente este fenómeno el que hace posible que la Tierra tenga una temperatura apropiada para la vida (en promedio  $15\text{ }^\circ\text{C}$ ), a pesar del frío del espacio sideral que la rodea, (se estima que debería tener una temperatura promedio de  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ ). En el caso de la atmósfera, los gases que participan en este “filtro cristalino” son el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , que se ha incrementado más de 25 % en los últimos 300 años), el metano ( $\text{CH}_4$ , que de 1750 a la fecha se ha incrementado 140 %) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ , que crece a razón de entre 0.2 y 0.3 % anualmente). A esta lista de gases hay que añadir los clorofluorocarbonos (CFC) y algunos otros compuestos como el bromuro de metilo (usado para fumigar cultivos y bodegas) que no formaban parte de la composición original de la atmósfera (cuadro 1).

CUADRO 1. Gases componentes de la troposfera (Pidwirny, 2006).

NOMBRE DEL GAS	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE DEL VOLUMEN	POTENCIAL EQUIVALENTE A CO <sub>2</sub>
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.08	na*
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.95	na*
Agua*	H <sub>2</sub> O	0 to 4	na*
Argón	Ar	0.93	na*
Dióxido de Carbono*	CO <sub>2</sub>	0.036	1
Neón	Ne	0.0018	na*
Helio	He	0.0005	na*
Metano*	CH <sub>4</sub>	0.00017	21
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.00005	na*
Óxido Nitroso*	N <sub>2</sub> O	0.00003	310
Ozono*	O <sub>3</sub>	0.000004	na*
CFC*	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.00000005	6200-7100

\* Gases variables en la composición atmosférica.

na (no aplica): no se considera apropiado expresar un efecto equivalente al CO<sub>2</sub> como gas de efecto invernadero

## ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Desde 1988 científicos y dirigentes del mundo han constituido, en el seno de la ONU, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Es el reconocimiento científico y oficial de que los gases que se han emitido desde la Era Industrial por la combustión de hidrocarburos, leña, etc., se han acumulado en la atmósfera y son los principales responsables de lo que se ha llamado el “calentamiento global”: se estima que podría incrementarse la temperatura media del planeta de 1 a 6 °C en los próximos cien años (IPCC, 2007).

Para explorar futuros posibles del clima planetario se usan modelos basados en escenarios climáticos previsible. Estas herramientas permiten llevar a cabo evaluaciones de las posibles consecuencias de los cambios climáticos antrópicos sobre los recursos energéticos, hídricos, agropecuarios y forestales, aún cuando “se considere remota la posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal y como se describe en los escenarios” (IPCC, 2006).

La figura 1a ilustra uno de los escenarios que sugiere para México cambios en la temperatura

anual media de entre 4.0 y 6.0 °C. Se observa en este y otros escenarios que los incrementos mayores se darían en la parte norte del país y los menores en la sur. En la figura 1b se muestran las tendencias mundiales de calentamiento con los diversos escenarios que tienen que ver con hipótesis derivadas de distintos patrones de crecimiento poblacional y económico para los próximos cien años. Las conjeturas anteriores se empiezan a confirmar, pues ya está probado que en el siglo XX ocurrió una elevación de medio grado en la temperatura promedio del aire de la biosfera (figura 2).

El Cuarto Reporte del IPCC (2007) resalta tres conclusiones, anticipadas desde el segundo reporte de hace diez años: 1) Desde la época preindustrial las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se han incrementando entre 280 y 360 partes por millón (ppm); 2) tal incremento está relacionado con las emisiones producidas por cambios en el uso del suelo, por las prácticas agropecuarias (como el cultivo de arroz y el ganado, que emiten metano) y con las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, y 3) se prevé –con base en esos escenarios– que para el año 2100 la temperatura global promedio del aire en la superficie podría incrementarse entre 1 y 4 °C y que podría darse un aumento en el nivel del mar de entre 15 y 95 cm respecto a los niveles promedio del año 2000. Ese incremento del nivel del mar significaría la desaparición de la mitad de Bangladesh.

La mayoría de las costas mexicanas del Golfo de México resultarían también amenazadas por este peligro. La fracción más vulnerable de territorio veracruzano son las tierras bajas, arenosas, con extensos humedales adyacentes y a menos de un metro sobre el nivel del mar. Las implicaciones de la elevación del nivel del mar son la posibilidad de que se afecten los poblados costeros, que el agua salina se infiltre hasta los mantos freáticos y que las centrales eléctricas costeras (Tuxpan y Laguna Verde) resulten dañadas directamente, si aún siguen en operación dentro de media centuria. Las lagunas de

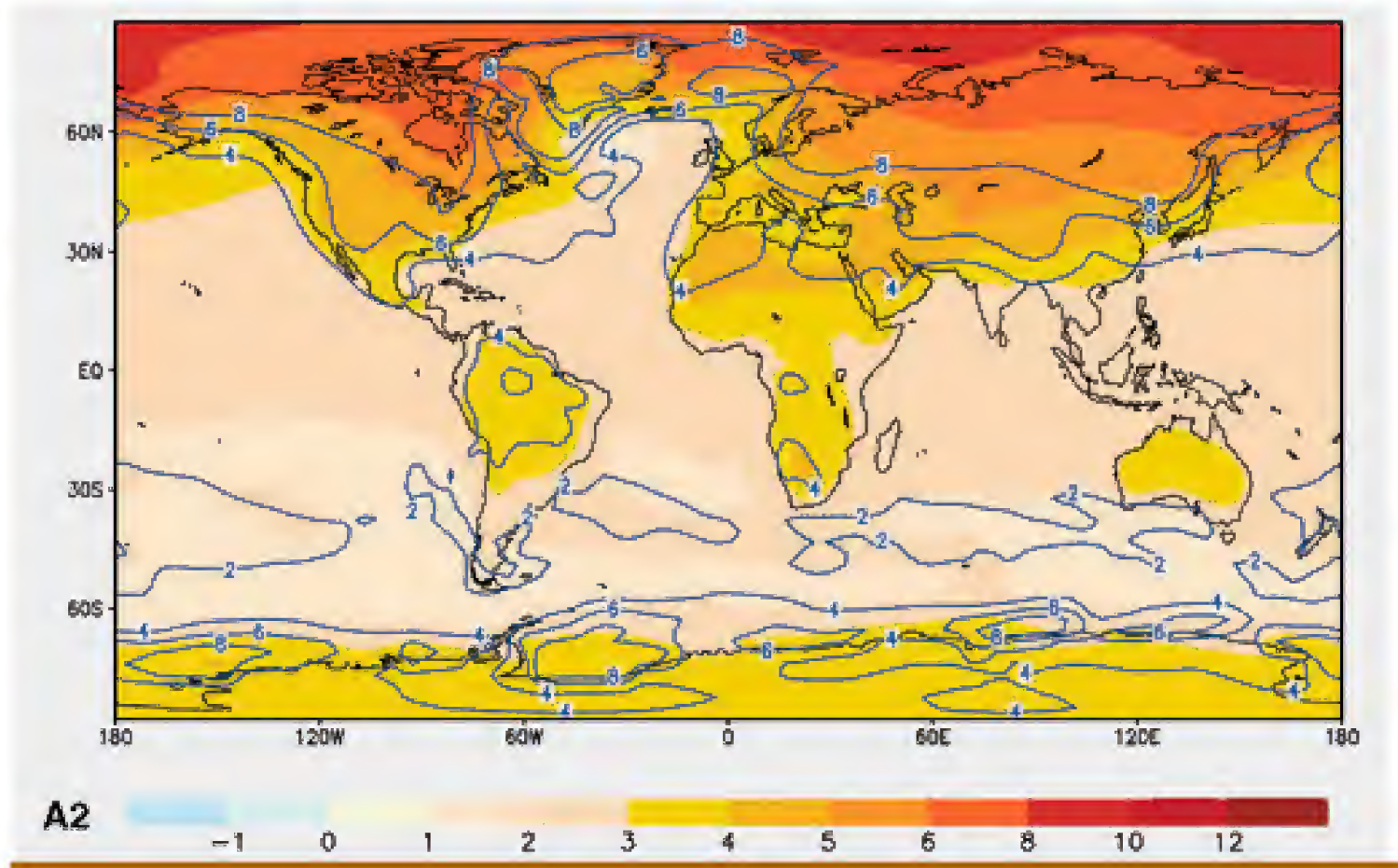


FIGURA 1a. Cambio anual medio de la temperatura y su margen de variación (isolínea en °C) para dos escenarios de desarrollo socioeconómico distintos (A2 y B2), simulados con modelos de circulación general. Periodos de comparación 2071 – 2100 con 1961-1990 (IPCC, 2006).

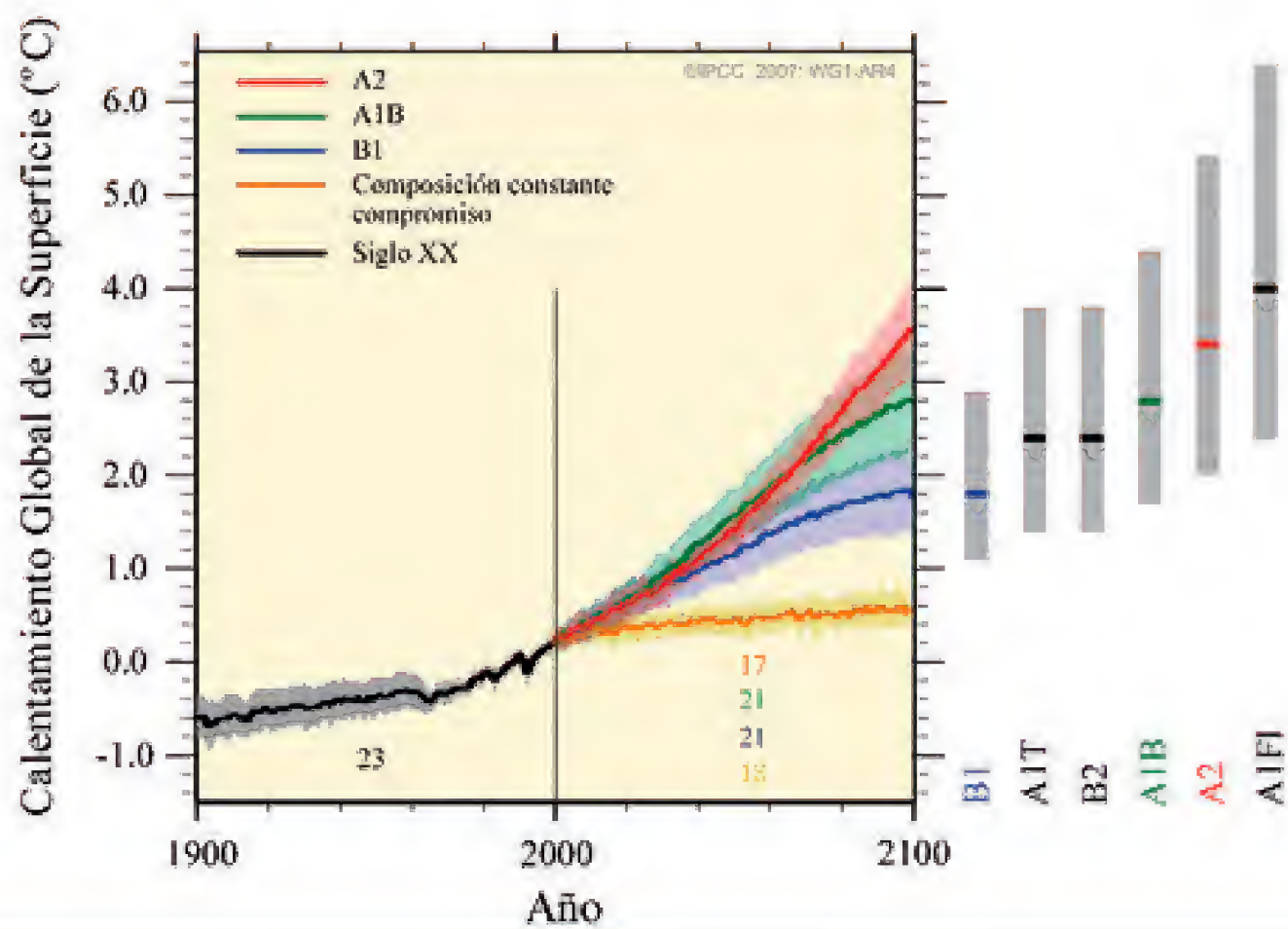


FIGURA 1b. Tendencias de la temperatura media global para distintos escenarios. Los mayores incrementos corresponden a mayores crecimientos poblacionales con mayor desarrollo económico (IPCC, 2006).

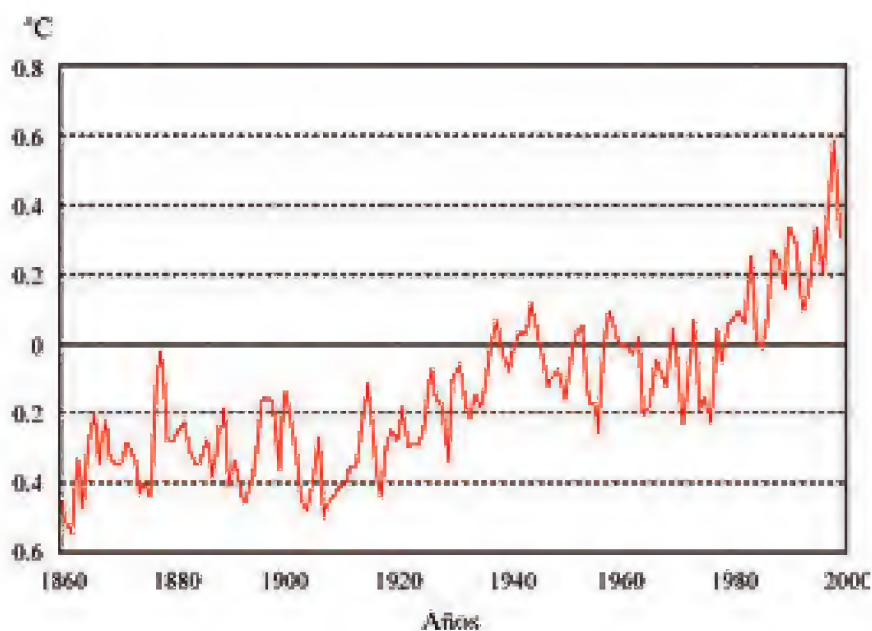


FIGURA 2. Tendencia de la temperatura media planetaria (IPCC, 2006).

Alvarado y de Tamiahua pasarían a formar parte del mar. De volverse realidad este escenario, en dicha costa quedarían bajo las aguas 250 000 ha de pastizales, otras 250 000 ha agrícolas y 8 000 ha de poblados actuales. Se perderían más de 600 km de playas y, desde luego, buena parte de la hoy creciente infraestructura turística, incluidas Costa Esmeralda y Veracruz-Boca del Río, por ejemplo (Gallegos-García, 1994; Ortiz-Pérez, 1994; Ortiz-Pérez y Méndez-Linares, 2001).

## CLIMA Y PROCESOS ECOLÓGICOS

El cambio en la composición química de la atmósfera tiene tres aspectos principales que impactan sobre la biodiversidad. El primero es su efecto generalizado de calentamiento sobre el clima terráqueo, que se describió anteriormente. El segundo es un riesgo de exposición a formas de luz destructivas, como la radiación ultravioleta (UV-B). El tercero es un efecto “fertilizador” dado que, como sabemos, las plantas se alimentan de sol, agua y CO<sub>2</sub>.

Los climas del mundo se suelen caracterizar a partir de la combinación de dos ingredientes fundamentales: temperatura y precipitación, sobre todo si

se considera a la primera como un indicador de la cantidad de energía que regula el balance de agua. El clima se define como el promedio del estado de la atmósfera en un lugar determinado y considera sus fluctuaciones más importantes en periodos de observación del orden de décadas. Sin embargo, el clima depende en realidad de un gran número de factores que se afectan unos a otros de manera intrincada. Por eso puede considerarse que al clima también lo caracteriza una variabilidad derivada de los estados cambiantes de la atmósfera, cuya dinámica proviene de interacciones de los cuerpos continentales con el mar y la tierra en una cascada de escalas de tiempo y espacio. Además, pueden intervenir los cambios que ocurren en la intensidad de la radiación solar recibida o, incluso, cambios en las características del planeta (concentración de gases de efecto invernadero, cambios amplios en el uso de suelo, erupciones volcánicas que oscurecen el cielo con sus cenizas, variaciones en la inclinación del geoide terráqueo, etc.). Las formas de variabilidad del clima son muchas y, por tanto, pronosticarlo a largo plazo no es fácil. Es por ello que distinguir qué produce cambios en el clima de un año a otro o en escalas mayores de tiempo, constituye un reto científico.

El clima es algo que se desarrolla en forma más o menos cíclica y por tanto predecible, con un desenvolvimiento típico a lo largo de un periodo anual. En general, tanto las actividades humanas como las de muchos de los organismos del planeta muestran importantes grados de sincronización con estos ritmos naturales. La distribución de los climas sobre la superficie de la Tierra ofrece condiciones y desafíos contrastantes para las diversas formas de vida que habitan en ellas. Así, es posible hablar en términos generales de grandes zonas de vida diferentes, precisamente las ocupadas por los grandes biomas.

En México es posible ver esta zonificación no sólo horizontalmente a lo largo del territorio, sino también verticalmente en los grandes macizos montañosos que son parte de la complejidad geo-

gráfica de nuestro país. Es así que encontramos manglares, palmares y sabanas en las llanuras costeras, selvas húmedas y secas en las tierras calientes, bosques y praderas alpinas en las montañas, así como matorrales y pastizales en las zonas áridas y semiáridas. Una forma de explicar esta relación entre plantas y clima deriva de apreciar que las plantas deben transpirar para sobrevivir (es parte de la maquinaria de intercambio de gases necesario para la fotosíntesis). En un terreno cualquiera la aportación total de agua a la masa atmosférica es la suma de la evaporación directa del agua del suelo más la transpiración de las plantas (y animales), por lo que es conveniente hablar de evapotranspiración (ET). La capacidad del aire para absorber vapor de agua se comporta como una función de la temperatura y de la cantidad de agua que ya contiene. En general, a mayor temperatura del aire mayor capacidad de absorber humedad, es decir, mayor potencial de evapotranspiración. Debido a esto, un promedio de lluvia de 1 200 mm en Nueva York, EUA (con temperatura promedio de 12 °C) mantiene más humedad en el suelo que lo que ocurre en Managua, Nicaragua (con temperatura promedio de 28.1 °C).

Una forma un tanto imprecisa pero ilustrativa de calcular esta relación fue propuesta por Thornthwaite (1948) mediante su fórmula para el cálculo de evapotranspiración potencial (ETP), es decir, la que ocurriría si el agua no faltara nunca. La ventaja de esta ecuación es que prácticamente sólo requiere de datos de temperatura y se presta para hacer ejercicios interesantes. Como ejemplo se hizo el cálculo para el caso de Martínez de la Torre, Veracruz. Se contrastaron tres posibles escenarios. Todos suponen que la precipitación no cambia, sino sólo la temperatura. En el primer caso tenemos las condiciones “normales”, otro caso supone un incremento de 2 °C y el último considera un incremento de 5 °C. El resultado se puede ver en la figura 3. La línea continua es el aporte de agua por la lluvia, de manera que cuando esta línea está por arriba de la

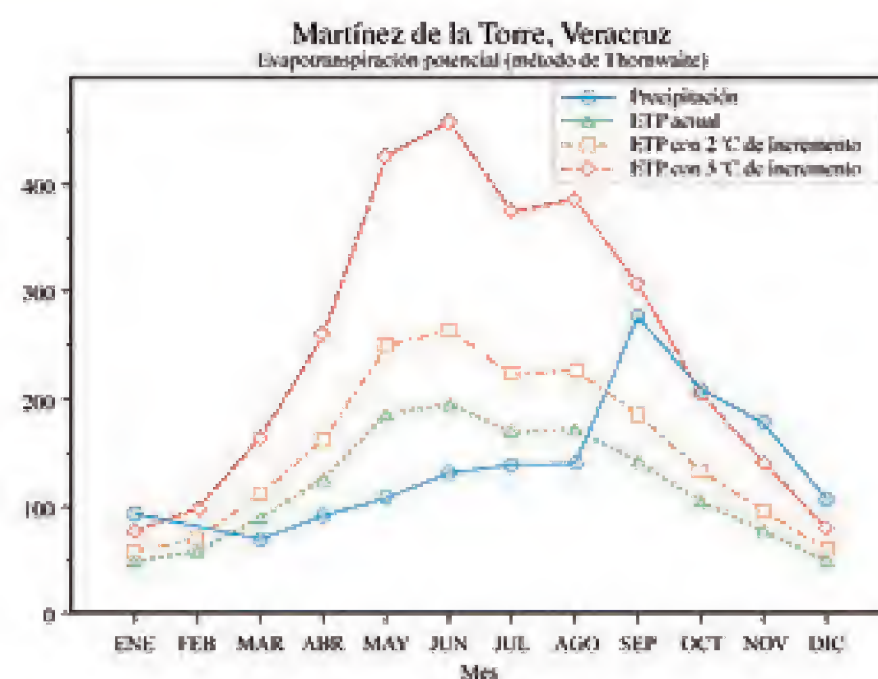


FIGURA 3. Marcha mensual de la precipitación y evapotranspiración potencial con diferentes incrementos de temperatura.

evapotranspiración sugiere que hay más humedad en el entorno que la que se pierde hacia la atmósfera. Obviamente esta situación es la ideal para realizar actividades agrícolas sin recurrir a fuentes externas de agua, y eso, según esta gráfica, ocurre en Martínez de la Torre durante medio año, en un periodo que va de septiembre a febrero. Además, se aprecia un buen superávit de agua, pues la diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial deja 12 % de excedente. Bajo estas condiciones no es de extrañar que el clima actual se considere cálido húmedo. Este clima es propicio para el establecimiento de selvas altas siempre verdes, que era la vegetación original de la zona. Actualmente no se ve así el paisaje porque con el paso de los años la vegetación original ha sido sustituida por campos agrícolas de temporal, como de cultivos perennes (sobre todo de cítricos). En gran parte esto es posible en las condiciones actuales sin un mayor desarrollo de infraestructura de riego. Según datos de SAGARPA (2003) menos de 1 % de la agricultura es de riego en esta zona (véase el cuadro 2).

Una de las preguntas más frecuentes ante el cambio climático es, qué ocurriría si la temperatura media se incrementara un par de grados centígrados

CUADRO 2. Superficie cultivada con riego y de temporal en la zona de Martínez de la Torre, Veracruz (SAGARPA, 2003).

CULTIVO	SUPERFICIE (HA)
Maíz	26 089.00
Frijol	1 002.00
Caña de azúcar	4 523.41
Naranja	59 409.00
Limón	21 088.05
Toronja	570.75
Tangerina	7 118.50
Mandarina	570.25
Vainilla	563.07
Pimienta	2 043.00
Café	24 973.00
Plátano	6 919.00
Total	154 869.03

sin que cambiara la cantidad promedio de lluvia en la localidad. Aparentemente, las condiciones generales se mantendrían más o menos en la misma situación, unos seis meses de superávit de humedad. Sin embargo, como se ve en la figura 3 para el caso de Martínez de la Torre, el balance hídrico ya no sería favorable pues podría estar perdiendo más agua por evapotranspiración de la que recibe por lluvia (cabría esperar un déficit de un 13 % de humedad). Esto puede conducir a una paulatina conversión del sitio a condiciones más secas, con ríos y manantiales que disminuirían su flujo de agua en la época seca del año, lo cual podría inducir al aumento en la perforación de pozos y tomas de agua de los ríos, lo que poco a poco agravaría la situación, pues la recarga de los acuíferos también podría tener un balance negativo. Las estaciones del año se tornarían más contrastantes entre la época de lluvias y la de secas. En términos de la vegetación natural, ocurriría una sustitución de plantas siempre verdes por otras que pierden el follaje durante el estiaje. Esto, a su vez, conduciría al reemplazo de la fauna por organismos menos dependientes del refugio que ofrece el follaje y seguramente más tolerantes a temperaturas elevadas o capaces de excavar madrigueras en el suelo. Estas condiciones son probablemente las que se conocen para las selvas medianas subpe-

rennifolias (que son aquellas con abundantes árboles que pierden todas las hojas en la temporada seca). También se puede prever que en estas condiciones más secas la propensión a incendios forestales comience a crecer marcadamente.

Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (2000) encontraron que los tipos de vegetación de México que se verán más afectados por el cambio climático global serán los bosques de coníferas y encinos, seguidos de los matorrales de clima árido, el bosque de niebla, la vegetación acuática y subacuática y los pastizales. Usando modelos matemáticos predicen una disminución en la superficie actual de los tipos de vegetación antes mencionados, por lo que las especies que se desarrollan en éstos seguramente corren el riesgo de ser afectadas. Es interesante notar que, a pesar de que en lo individual los bosques tropicales son más ricos en número de especies, la gran heterogeneidad topográfica, fisiográfica y climática en la que se desarrollan los bosques de coníferas y encinos de México, hace que este tipo de vegetación en su conjunto sea el más diverso del país. El hecho de que los bosques de este tipo estén en riesgo de perder superficie con el cambio climático sugiere que el impacto sobre la riqueza biológica de México puede ser importante. Los tipos de vegetación que el modelo predice aumentarán su superficie respecto a la actual, son el bosque tropical perennifolio, el bosque tropical caducifolio y subcaducifolio así como el bosque espinoso, precisamente los tipos de vegetación más importantes por su cobertura, originalmente, en Veracruz. Para esta entidad Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (*op. cit.*) prevén que, ante condiciones de cambio climático, los ecosistemas forestales que serán más afectados incluyen los bosques húmedos y templados de la sierra de Zongolica, y las planicies costeras se verán sujetas a una gradual aridización.

Por otro lado, como resultado de la puesta en marcha del protocolo de Kyoto, en febrero de 2005, la captura de carbono mediante la silvicultura –para atenuar la contaminación emitida por la quema de

combustibles— en el futuro será un negocio atractivo. Es decir, que para un agricultor, en un mercado especulativo mundial alrededor de “bonos de carbono” o “bonos ecológicos”, puede llegar a ser más rentable reforestar que desmontar para la producción agropecuaria. Esto sugiere el surgimiento de una oportunidad para la restauración ambiental de vastas regiones de Veracruz. No es posible abundar aquí sobre los contras del protocolo y el porqué se ha dificultado su implementación, ni sobre las razones que han impedido que países como EU se hayan resistido a ratificarlo.

#### REACCIONES FISIOLÓGICAS Y RIESGO DE DAÑOS ORGÁNICOS POR CAMBIO CLIMÁTICO

La concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  ha aumentado considerablemente en el siglo XX por lo que las plantas son más productivas gracias a éste, según se ha documentado a través del verdor detectado por estudios de satélite (Zhou *et al.*, 2001). Si se duplica la concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférico se estima que las tasas de crecimiento se incrementen entre un 30 y un 50 % (Idso y Idso, 1994), aunque este pronóstico es difícil de precisar, pues el incremento anual de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es muy diferente de un año a otro (Quay, 2002), y muchos factores intervienen en el desarrollo de la vegetación y en los procesos biológicos, por ejemplo, anomalías en la temperatura del suelo, diferencias de espesor y extensión de la nieve invernal, mayor o menor aridez durante la época vegetativa, etc. Se ha encontrado que la variabilidad del efecto puede ser mayor de lo previsto de modo que algunas plantas pueden, incluso, no responder apreciablemente a un enriquecimiento. Esta respuesta depende de que otros factores, como la disponibilidad de agua, no sean limitantes.

En las dos últimas décadas el  $\text{CO}_2$  se ha incrementado en 9 %, para el que Running y Nemani (2004) han estimado, a escala global, un aumento en la productividad vegetal de poco más de 6 %. El

incremento no es igual en todas las latitudes, pero en todas hay un incremento y es máxima en la franja intertropical de ambos hemisferios (7.4 %).

A pesar de que este aumento en la actividad metabólica implica una mayor absorción de  $\text{CO}_2$ , hay que señalar que la deforestación, junto con la erosión de los suelos, ocasionan la pérdida de biomasa y, por lo tanto, la liberación de  $\text{CO}_2$  con el carbono previamente captado en la fotosíntesis. En consecuencia, sólo si se regenera la cubierta vegetal se recuperaría carbono contenido en el  $\text{CO}_2$  y, de esta manera, se reduciría la concentración atmosférica de este gas. Los procesos de pérdida de vegetación y de suelos son variados, aunque no fáciles de cuantificar en un desagregado causal.

Como puede apreciarse en el cuadro 1, el nitrógeno y el oxígeno son los principales componentes de la atmósfera. Obviamente ambos tienen mucho que ver con los procesos biológicos y por tanto con la biodiversidad del planeta. Las plantas requieren como uno de sus principales nutrientes al nitrógeno, que les es accesible una vez que un conjunto especializado de bacterias lo convierte en alguna forma susceptible de ser absorbido en solución acuosa (amonio o nitrato). Casi todo el nitrógeno que utilizan las plantas para vivir (grandes y pequeñas, terrestres y acuáticas) proviene de la atmósfera o de la descomposición de materia orgánica muerta, pues el aprovisionamiento mediante la intemperización de las rocas es muy lento y por tanto limitado. Este proceso es tan importante que ha dado pie a la evolución de relaciones simbióticas fundamentales entre bacterias y plantas, como es el conocido caso de las leguminosas con *Rhizobium* (las bacterias nitrificantes más conocidas). Por lo tanto, desde el punto de vista de la biodiversidad, es interesante seguir el rastro de las modificaciones a la composición atmosférica en relación con el nitrógeno.

Particularmente importantes, en este sentido, son los cambios en la concentración de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que si bien es producido naturalmente, en la actualidad las actividades humanas han

incrementado sustancialmente su emisión (el cultivo de los suelos, los fertilizantes nitrogenados y el manejo de estiércol, por ejemplo) hasta llegar a cerca del 12 % del total planetario (EPA, 2006). Este gas, como puede verse en la tabla 1, es un potente factor para el efecto invernadero, además de intervenir en la destrucción de la capa de ozono estratosférico. De los gases que tienen estas consecuencias, el óxido nitroso es el principal regulador natural en la formación de esta capa. Veracruz, como uno de los principales productores agropecuarios del país, tiene importantes oportunidades para incorporar estrategias de reducción en la emisión de este gas y contribuir así a la disminución del cambio climático y, al mismo tiempo, del deterioro de la capa de ozono.

Por otro lado hay que considerar también, en relación con el funcionamiento de los seres vivos, los efectos derivados del deterioro del filtro de ozono a la radiación ultravioleta (UV-B específicamente). El ozono estratosférico, por su función protectora, es muy importante para toda la vida en la Tierra. Al disminuir la concentración de ozono en la capa alta de la atmósfera, la radiación UV-B puede alcanzar la superficie de la Tierra. Esta radiación es capaz, en casos extremos, de dañar el ADN de los seres vivos y provocar cáncer de piel en los seres humanos. Esta forma de radiación también puede dañar el sistema inmune humano, lo que nos haría más susceptibles a infecciones. La radiación UV-B también puede provocar la formación de cataratas en los ojos y el desarrollo de miopía. Asimismo, puede disminuir la actividad fotosintética y, en consecuencia, la tasa de crecimiento de una serie de plantas, efecto que podría ser compensado por el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>. Los cultivos primarios de la humanidad tales como el arroz, el maíz y los girasoles son muy susceptibles al efecto de la UV-B. Muchos árboles también son susceptibles a este tipo de daños.

La radiación UV-B puede afectar a la vida acuática hasta los 20 m por debajo de la superficie del

agua. Es perjudicial para especies de plancton, larvas de peces, camarones, cangrejos y algas. Dado que el fitoplancton es la base de la cadena trófica acuática, cuando la radiación hace disminuir su cantidad afecta a todo el ecosistema. Aunque no está perfectamente esclarecido, el blanqueo de los corales, que puede conducir a su muerte, es posible que se deba a una combinación de factores que incluyen la elevación de la temperatura del mar, la exposición a la radiación ultravioleta y la presencia de contaminantes diversos en los litorales.

#### CLIMA Y CIVILIZACIÓN: VARIABILIDAD Y CAMBIO

Otro efecto del posible cambio climático en la biodiversidad lo constituyen los impactos de las tormentas, que posiblemente se verán incrementadas por dicho fenómeno. Particularmente vale la pena recapitular lo que ocurrió el año 2005, cuando Veracruz fue afectado por diversas perturbaciones –pero principalmente por el huracán Stan, que tocó tierra en Los Tuxtlas el 4 de octubre. Las temperaturas de la superficie del Atlántico tropical estaban, en junio de 2005, entre 1 y 2 °C arriba del promedio de los últimos 30 años, y en septiembre se incrementaron al menos un grado más. ¿Ese calentamiento oceánico anómalo es indicativo del calentamiento global? Es cierto que desde que se tienen registros sistemáticos –un poco más de un siglo–, la temporada 2005 fue la más larga en tormentas tropicales en el Atlántico (27 con vientos superiores a 62 km/h), la más cuantiosa en huracanes (14 con vientos mayores a 119 km/h) y la única con tres huracanes categoría cinco (vientos mayores a 240 km/h). El huracán Wilma, antes de avanzar sobre Cancún, desarrolló la menor presión atmosférica medida hasta ahora al nivel del mar (882 hPa) a causa de la alta temperatura del océano y la circulación centrífuga de sus vientos. Portilla-Ochoa *et al.* (2006) hacen un recuento de los impactos del huracán

cán Stan en la vida silvestre veracruzana y sugieren que, por lo que se pudo apreciar, en ciertos casos las tormentas podrían ser benéficas para la biodiversidad al propiciar la restitución de selvas y ecosistemas. En contraste, Katrina causó destrozos por 200 mil millones de dólares en Nueva Orleans y alrededores (Anthes *et al.*, 2006).

Los autores anteriormente mencionados consideran que los incrementos térmicos, a su vez, aumentan la evaporación con la consecuente liberación de energía y generación de más huracanes. Sin embargo, sería incorrecto tanto atribuir la intensa temporada de 2005 al cambio climático global, como también negar tajantemente esa relación. Por su parte, Pielke Jr. *et al.* (2005) no aceptan que haya evidencias de relación entre los incrementos de gases de efecto invernadero y los huracanes categorías 3, 4 y 5 que se han vuelto más frecuentes recientemente, pero alertan en que si esta relación existiera, los niveles de riesgo de ocurrencia de huracanes aumentarían ligeramente. Sin embargo, el Reporte Cuatro del IPPCC (2007) estima, con un 90 % de confianza, que el incremento en años recientes de la intensidad y frecuencia de los huracanes está asociado al calentamiento global antropogénico. Además, debido al crecimiento poblacional y el aumento de asentamientos humanos, el riesgo de impacto sobre la infraestructura humana y sus habitantes será 40 veces mayor para la segunda mitad del siglo XXI.

Debido a la desvinculación de los científicos sociales y de los climatólogos puros en el análisis del binomio clima y civilización, el resultado de la comprensión integral de este complejo tema tiene actualmente mucho terreno por cubrir. Huntington (1945) –en un libro publicado dos años antes de su muerte– revisó la distribución geográfica de las civilizaciones y concluyó que las zonas de contrastes meteorológicos fuertes entre verano e invierno –es decir, las latitudes subtropicales y medias– son las más propicias para el florecimiento de las grandes civilizaciones. Además, entre otras propuestas, rela-

ciona la frecuencia de homicidios en Estados Unidos con las regiones de más altas temperaturas; ubica geográficamente zonas de mayores decesos por enfermedades degenerativas; las de mayor eficiencia en las fábricas que también relaciona con el clima (desde luego, eran los tiempos en que todavía no se popularizaban los sistemas de aire acondicionado). Los hallazgos y sobre todo las conclusiones de Huntington dieron pie a que sus seguidores y detractores profesaran con fe o negaran con ahínco la simplificación del *determinismo geográfico*. El resultado fue el rompimiento de relaciones entre climatólogos y sociólogos, restauradas apenas en los ochenta cuando, principalmente en la *Internacional Journal of Biometeorology*, se recuperaba el tema a la luz de la renaciente paleoclimatología y la preocupación por el cambio climático global.

Más recientemente, Fagan (2004) propone una correlación entre las condiciones climáticas y la historia de la humanidad durante los últimos 15 mil años. Sin tecnología la vida del hombre dependía fuertemente de las condiciones atmosféricas. La pregunta obligada es si la tecnología actual podrá contrarrestar las modificaciones del clima que la humanidad misma, de manera intensiva desde la Revolución Industrial, ha propiciado.

En un trabajo anterior Fagan (1999) asoció para la era presente inundaciones, hambrunas y florecimientos de imperios con la corriente de El Niño. Magaña-Rueda (1999) ha encontrado que para México en inviernos de años con Niño aumenta la frecuencia de frentes fríos –que se traducen en los nortes en la vertiente veracruzana–, pero que en el verano en general disminuyen los huracanes del Atlántico y con ellos las lluvias, mientras que en los años de Niña éstas se incrementan y también aumentan los ciclones del Atlántico, pero no se ha podido precisar una región específica. En cambio, Pereyra *et al.* (1994) afirman que durante El Niño la sequía relativa –o canícula– en el estado de Veracruz se abate. Las inundaciones de 2005 en Veracruz ocurrieron en una fase casi de neutralidad, es

decir, sin Niño ni Niña claramente establecidos (NOAA-CIRES, 2006). Es decir, que al cambio climático hay que agregar la variabilidad propia del clima en el orden de años o décadas, para tratar de comprender los impactos climáticos en la biodiversidad.

#### EL CAMBIO CLIMÁTICO: UN JUEGO DE ESCENARIOS DE FUTUROS PROBABLES

El análisis de las perspectivas de cambio climático tiene en gran medida un valor prospectivo. En realidad no sabemos con exactitud cuál será la trayectoria futura que seguirán los climas del planeta. Lo que sí podemos hacer es evaluar los distintos escenarios posibles e intentar valorar sus consecuencias y la probabilidad de que ocurran. Con estas piezas de información deberíamos estar en una buena posición para planificar nuestras acciones, de modo tal que los efectos adversos puedan ser minimizados y aprovechar las oportunidades que surjan.

El Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés), a través de su programa de análisis de los prospectos de cambio climático global ha ideado una forma interesante de plantear los escenarios futuros de calentamiento generalizado. Los representa mediante una ruleta que tiene gajos de tamaño tal que corresponden con la probabilidad de que el escenario indicado ocurra (figura 4, MIT, 2001). La idea es que no se sabe actualmente con toda precisión qué ocurrirá en los años por venir, de tal manera que lo que se haga ahora, la resolución que se tome, es una especie de apuesta sobre cómo se espera encontrar el mundo en el futuro. Este es un planteamiento en el que no se prevé ninguna política particular para evitar las causas del calentamiento global. Entonces, como podemos imaginar, es un tanto más ambicioso el proponernos intervenir sobre esas causas para “conducir” la marcha del clima planetario. Un ejercicio con este último propósito también lo han hecho los investigadores del MIT (MIT, 2001). Hay que enfa-

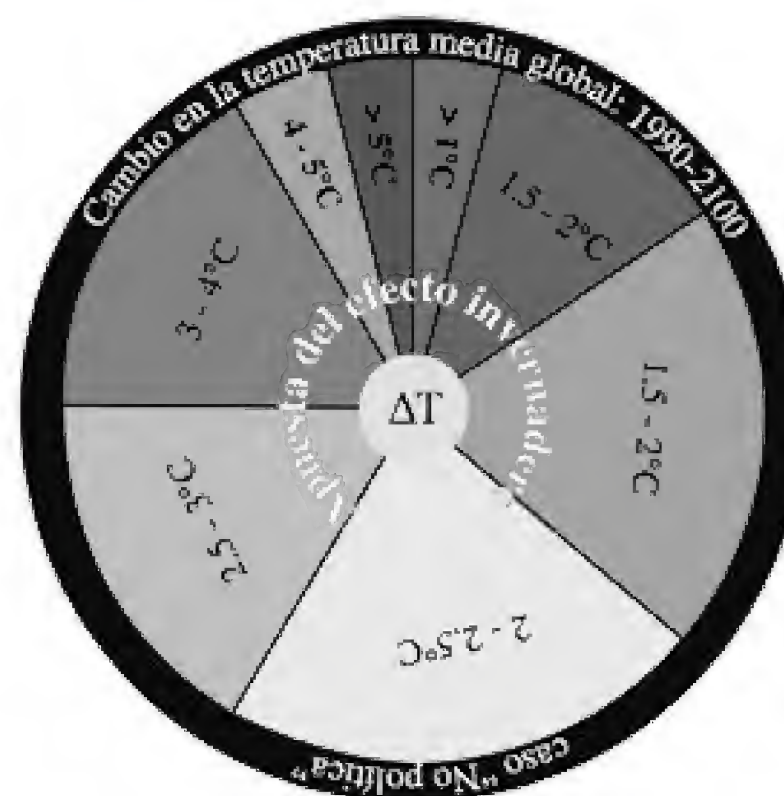


FIGURA 4. La ruleta muestra la estimación, según el programa conjunto del MIT (MIT, 2001) en relación con la gama de probabilidades que se estima tienen distintos escenarios de calentamiento global, en una previsión que alcanza al año 2100. Las estimaciones suponen un marco general de acción humana de “no política” para modificar emisiones de efecto invernadero. El tamaño de las “rebanadas” de la ruleta es proporcional a la probabilidad estimada de que ocurra el cambio en la temperatura media terrestre que indica.

tizar que usualmente los enfoques preventivos son ventajosos económicamente y además, cuando la certidumbre científica aún no es definitiva como es el caso del cambio climático, el principio precautorio –actuar como si el peligro se fuera a materializar– debería aplicarse. Un par de ejercicios como “juego de roles” que se ponen a la consideración de los lectores son: 1) generar grupos de “tomadores de decisiones” que ideen acciones apropiadas para vivir bajo las condiciones que consideren se presentarán en el futuro, las que serán según donde caiga el dardo que arrojen hacia la ruleta en movimiento, 2) constituir “grupos de tarea” que propondrán políticas conducentes a modificar las probabilidades de los distintos escenarios ilustrados en la ruleta. Las discusiones y reflexiones que se motiven sin duda serán altamente estimulantes, sobre todo al conside-

rar que a nivel regional apenas se empiezan a diseñar las estrategias para enfrentar el cambio climático. Por último, y mientras tanto, todos observamos expectantes como gira la ruleta del juego del Calentamiento Climático Global.

#### LITERATURA CITADA

- ANTHES, R.A., R.W. Corell, G. Holland, J.W. Hurrell, M.C. MacCracken, K.E. Trenverth, 2006, Hurricane and global warming: Potential linkages and consequences, *Bulletin of the American Meteorological Society* 88:623-628.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2006, Global Anthropogenic Emissions of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases 1990-2020 (EPA REPORT 430-R-06-003). (<http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>)
- FAGAN, B., 1999, *Floods, famines and emperors. El Niño and the fate civilization*, Basic Books, Nueva York, 284 pp.
- , 2004, *The long summer. How climate changed civilization*, Basic Books, Nueva York, 284 pp.
- GALLEGOS-GARCÍA, A., 1994, Cambio del nivel del mar: un problema de vulnerabilidad, en Primer Taller de Estudio de País: México. *México ante el cambio climático. Memorias*. INE, U.S. Country Studies Program, UNAM, México, pp. 191-197.
- HUNTINGTON, E., 1945, *Mainsprings of civilization*. Mentor Books, Nueva York, 669 pp.
- IDSO, K.E. e Idso, S.B., 1994, Plant responses to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment in the face of environmental constraints: A review of the past 10 years' research. *Agricultural and Forest Meteorology* 69:153-203.
- INE/SEMARNAT, 2006, Escenarios de cambio climático para temperatura y precipitación en México, en Tercera Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC).
- IPCC, 2007, Climate change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. WMO y UNEP, Ginebra, Suiza. 21 pp.
- MAGAÑA-RUEDA, V.M., 1999, *Los impactos de El Niño en México*, UNAM y Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, México, 229 pp.
- MERCADO, Jesús M., Ecofisiología y bomba biológica en el océano, INCI [online], oct. 2002, vol.27, núm.10 [citado 17 Octubre 2007], pp. 537-543. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-1844200201000005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-1844200201000005&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0378-1844.
- MIT 2001. The Greenhouse Gamble ("No Policy" Reference Case). <http://web.mit.edu/globalchange/www/wheel.degC.html>
- NOAA-CIRES 2006. Multivariate ENSO Index (MEI). Climate Diagnostics Center NOAA-CIRES, [www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/anomalies](http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/anomalies)
- ORTIZ-PÉREZ, M.A., 1994, Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México: un enfoque geográfico de los problemas del cambio global, en: Primer Taller de Estudio de País: México. *México ante el cambio climático. Memorias*. INE, U.S. Country Studies Program, UNAM, México. pp. 191-197.
- ORTIZ-PÉREZ, M.A. y A.P. Méndez-Linares, 2001, Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México, en C. Gay, (ed.). *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. INE, U.S. Country Studies Program, UNAM, México. pp. 73-85.
- PEREYRA, D., Q. Angulo y B.E. Palma, 1994, Effect of ENSO on the mid-summer drought in Veracruz State Mexico. *Atmósfera*, 32: 211-219.
- PIDWIRNY, M., 2006, *Fundamentals of Physical Geography, Chapter 7: Introduction to the Atmosphere, 2<sup>a</sup>*

- edition*, Date Viewed. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/contents.html>
- PIELKE Jr., R. A., C. Landesa, M. Mayfield, J. Laver y R. Pasch, 2005, Hurricane and global warming. *Bulletin of the American Meteorological Society* 86:1571-1575.
- PORTILLA-OCHOA, E., A. I. Sánchez-Hernández y D. Hernández-Meza, 2006, El impacto de los huracanes en la biodiversidad en el estado de Veracruz, en Tejeda-Martínez, A. y C. Welsh-Rodríguez (comp.), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*. Universidad Veracruzana y Covecyt. [www.covecyt.gob.mx](http://www.covecyt.gob.mx)
- QUAY, P., 2002, Ups and Downs of CO<sub>2</sub> uptake, *Science* 298, p. 2344
- RUNNING, S. W. y R. R. Nemani 2004. Regional hydrologic and carbon balance responses of forests resulting from potential climate change, *Climatic Change* 19:349-368.
- SAGARPA, 2003, Datos de agricultura de riego y agricultura de temporal. <http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/>
- ZHOU, L., Tucker, C.J., Kaufmann, R.K., Slayback, D., Shabanov, N.V. and Myneni, R.B., 2001, Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research* 106: 20,069-20,083.
- THORNTHWAITE, C.W., 1948, An approach toward a rational clasification of climate, *The Geographical Review* 38:55.
- VILLERS-RUIZ, L.E.I. Trejo-Vázquez, 2000, El cambio climático y la vegetación en México, en C. Gay (comp.), *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, Semarnat, UNAM y US Country Studies Programm, pp. 63-82.

## ESTUDIO DE CASO

### ¿PODEMOS CULPAR A EL NIÑO DE LAS LLUVIAS?\*

---

Lorrain Giddings Berger  
Margarita Soto Esparza

La erosión y la variación de la lluvia en el estado de Veracruz, México, muestra poca relación con los fenómenos conocidos como El Niño y La Niña. Para el análisis usamos la serie de tiempo de la temperatura superficial del Océano Pacífico llamada NINO34, y los datos de la precipitación mensual obtenidos de los registros de diversas estaciones meteorológicas que existen en la entidad veracruzana, con los cuales se calcula el Índice Estandarizado de la Precipitación (SPI: Standardized Precipitation Index). Los resultados del trabajo indicaron que hay una falta de correlación en Veracruz, como en Guatemala, con El Niño, a diferencia de California y otras áreas que tienen una correlación positiva. Con los datos de precipitación (SPI-48) de cuatro años se observa una periodicidad en los datos, pero sin relación con la incidencia de El Niño y La Niña. Finalmente, en las imágenes de Veracruz (SPI-1) en las fechas en las que dichos fenómenos fueron más fuertes se observa que no hay una correlación evidente. En el CD anexo, se muestran animaciones de dichas imágenes (SPI-1, SPI-6 Invierno –época seca–, SPI-6 Verano –época húmeda–, SPI-12 y SPI-48). Dichas animaciones permiten examinar el desarrollo, maduración y desaparición de episodios de sequía y de exceso de lluvia en el estado; además se incluyen los datos originales completos y los que se derivaron. En los resultados obtenidos en este trabajo, es evidente que el conocimiento de las posibilidades de presencia de episodios de El Niño o La Niña no ayudan a predecir la incidencia de sequía ni de exceso de lluvia en el estado de Veracruz.

---

\* Este artículo en versión completa se encuentra en el CD anexo de este libro.

[Ver artículo completo](#)



Pescadores. Banco de imágenes, Conabio (Foto: Carlos Sánchez Pereyra)



---

## SECCIÓN II

# Contexto Socioeconómico

### RESUMEN EJECUTIVO

Hipólito Rodríguez Herrero  
Eckart Boege Schmidt

En el curso del siglo XX, Veracruz se configuró como un espacio regional donde la abundancia de recursos hídricos, la presencia de importantes yacimientos de hidrocarburos y su peculiar ubicación geográfica, permitieron el desarrollo de importantes actividades productivas. Al concluir el siglo XX, la sociedad veracruzana cuenta con un sistema de ciudades con rasgos excepcionales si se le compara con los sistemas urbanos de otras entidades federativas del país: cinco zonas metropolitanas concentran gran parte de la población urbana y dos de ellas cuentan con infraestructura portuaria de gran envergadura por su capacidad para integrar al país en el mercado mundial.

La economía veracruzana cuenta con dos regiones donde en alguna época se desarrolló la industria petrolera y donde en la actualidad se despliega una importante actividad petroquímica. El Puerto de Veracruz es el principal puerto de entrada y salida de mercancías con que cuenta el país en el Atlántico. Diversos tipos de agroindustrias se han desple-

gado en la entidad en virtud precisamente de la diversidad de sistemas de producción agrícola que han prosperado sobre sus tierras. El café, la caña de azúcar, la ganadería, la fruticultura, absorbieron durante largos años gran parte del esfuerzo productivo de la población trabajadora veracruzana. Sobre sus sierras se encuentra un notable recurso forestal donde también se alberga parte sustancial de la biodiversidad con que cuenta Veracruz y habita una importante población indígena que conserva un conocimiento significativo del medio, a pesar de la enorme pobreza en que se encuentra. Un largo litoral de casi 800 kilómetros y cinco grandes cuencas hidrológicas, han propiciado una notable riqueza de paisajes que enfrenta grandes retos por el cambio climático global, el desarrollo urbano e industrial, las pesquerías, principalmente ribereñas, y la expansión del turismo.

Al empezar el siglo XXI, Veracruz enfrenta un nuevo escenario económico, fruto de las medidas de apertura comercial que se empezaron a aplicar en



# Una visión socioeconómica al comenzar el siglo XXI



Hipólito Rodríguez Herrero  
Eckart Boege Schmidt

## ORGANIZACIÓN POLÍTICA

Veracruz posee la forma de un gran anfiteatro con cara al Golfo. El mar, las lagunas costeras, los meandros de los ríos, los humedales, las planicies surcadas por una diversidad de flujos de agua, son la contraparte de paisajes serranos que por su vegetación captan la humedad recogida en el mar por los vientos de tipo monzónico en verano y por los “nortes” en invierno. Todo lo que ocurre en las partes altas repercute en las partes bajas. A lo largo de la historia, los grupos humanos han desplegado una intensa movilidad sobre el paisaje veracruzano. La riqueza de cuerpos de agua y la multiplicidad de ecosistemas que el gradiente altitudinal hace posible, han propiciado una variada e importante historia económica.

El estado posee una posición geoestratégica dentro del conjunto nacional. Su extensión territorial es de 71 699 km<sup>2</sup> y está dividido en 212 municipios, agrupados en 10 regiones administrativas: Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca, de Nautla, Capital,

Sotavento, de las Montañas, Papaloapan, de los Tuxtlas y Olmeca. Es el único estado que por su situación geográfica colinda con dos entidades fronterizas (Tamaulipas en el norte y Tabasco en el sur), lo cual lo convierte en un corredor natural para la comunicación entre ambas fronteras. Asimismo, por su peculiar y alargada figura, es un estado que extiende gran parte de su territorio como una frontera frente al mar. Ello explica su importancia a lo largo de la historia nacional, ya que ha sido precisamente a través del Golfo de México que la conexión del país con el mercado mundial se ha llevado a cabo. En este sentido, Veracruz ha sido durante siglos la principal puerta de entrada de influencias de todo tipo. La amplitud y diversidad de su territorio han permitido el despliegue de diversas culturas, las cuales han marcado de modo perdurable el paisaje, suscitando la formación de importantes símbolos de identidad. El mismo nombre que reciben sus regiones, denota la huella que han dejado las diversas culturas indígenas en la modelación del mundo natural y social.

## CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO Y DINÁMICA ECONÓMICA EN LA OCUPACIÓN DEL TERRITORIO

Para comprender el impacto que tienen las actividades humanas sobre los sistemas naturales, es preciso examinar en primer término la forma en que se ha dado el crecimiento de la población y, en segundo término, los factores económicos que han orientado su distribución sobre el territorio. En este texto concentramos nuestra atención en los procesos que se han desplegado a partir del siglo XX.

Al empezar el siglo XX, Veracruz contaba con cerca de un millón de habitantes (véase cuadro 1). En los primeros años de la centuria, el crecimiento demográfico en la entidad fue relativamente moderado. De ahí que debieran pasar casi cinco décadas para que la población se duplicara.

CUADRO 1. Crecimiento demográfico del estado de Veracruz, 1900-2005.

AÑO	POBLACIÓN	TASA DE CRECIMIENTO %
1900	981 035	
1910	1 132 850	1.4
1920	1 159 936	0.2
1930	1 377 293	1.7
1940	1 619 338	1.6
1950	2 040 231	2.3
1960	2 727 899	2.9
1970	3 815 422	3.4
1980	5 387 680	3.5
1990	6 228 239	1.5
2000	6 908 975	1.0
2005	7 110 214	0.5

FUENTE: Censos de Población, INEGI.

Sin embargo, a partir de los años cincuenta la dinámica demográfica experimenta una importante aceleración, registrándose en las siguientes tres décadas tasas de crecimiento relativamente altas. En virtud de ello, para 1970 la población casi se ha duplicado y alcanza ya una cifra cercana a los cuatro millones de habitantes. A partir de los años ochenta el incremento demográfico comienza a perder celeridad y al final del siglo XX la población se acerca a los siete

millones. En el umbral del siglo XXI, el descenso en las tasas de crecimiento demográfico es notable: Veracruz ha dejado de ser una entidad con incrementos significativos y se ha convertido en un estado que, más que atraer, expulsa población.

Desde nuestra perspectiva, las oscilaciones en la dinámica demográfica se encuentran asociadas a una historia económica peculiar. Es la historia de los procesos productivos y comerciales la que explica asimismo la forma en que se reparte la población sobre el territorio. El proceso de poblamiento de la geografía veracruzana ha dado origen a una singular situación: de un lado, una alta dispersión de la población sobre el territorio y, del otro, un sistema de ciudades medias que articula el centro, el norte y el sur de la entidad en torno a cinco zonas metropolitanas.

Se atribuye a tres hechos fundamentales la conformación y distribución de la población en el espacio de Veracruz. El primero se asocia a la ruta comercial que liga al centro del país con el principal puerto del Golfo de México desde la época colonial; el segundo obedece a la explotación de los recursos petroleros, y el tercero tiene que ver con los repartos agrarios en el siglo XX.

Mientras que el sistema urbano central conformado por Xalapa, Córdoba, Orizaba y Veracruz tiene su origen en la época colonial, los demás centros urbanos encuentran su formación y desarrollo de modo más tardío. La industria del petróleo conformó los centros productivos en los extremos del territorio: en el norte Poza Rica subordina a antiguos asentamientos, como Papantla y el puerto de Tuxpan, conformando polos de población y servicios muy importantes; ahí se concentran las actividades comerciales y productivas no agropecuarias que atienden a una amplia región con el concurso de habitantes de ciudades medias y pequeñas de la Sierra Norte de Puebla y del estado de Hidalgo. También explicable por la misma actividad petrolera es el desarrollo de las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán en el extremo sureste del estado, las cuales se constituyen al empezar el siglo XX en el nodo más importante de esta región.

Desde el siglo XIX se fomentó el aprovechamiento del suelo veracruzano con la figura de las colonias agrícolas, pero la alta dispersión de la población se origina en los repartos agrarios que se extendieron desde el periodo presidencial de Lázaro Cárdenas (1934-1940) hasta el de Luis Echeverría (1970-1976). Estos repartos, y las políticas de expansión de las fronteras agrarias, atrajeron inmigrantes que demandaban la tierra para laborar.

A lo largo de su historia, Veracruz se ha caracterizado por constituir una estructura productiva en la cual los procesos de migración o movilidad geográfica de la población trabajadora han jugado un papel importante. Cabe recordar que en la entidad la industria petrolera dio pie a la formación de diversos emporios productivos que atrajeron a grandes masas de trabajadores jóvenes provenientes de múltiples regiones del país. Así, si en los años treinta una ciudad como Poza Rica surgió prácticamente de la nada, atrayendo a miles de individuos, en los años sesenta una ciudad como Coatzacoalcos devino uno de los principales centros de ocupación para gran parte de la población trabajadora de todo el sureste mexicano. Del mismo modo, es preciso recordar que la actividad asociada a la industria azucarera (Veracruz alberga 22 de los 66 ingenios que existen en el país) ha provocado durante muchos años el desplazamiento estacional de miles de trabajadores hacia sus principales áreas de abastecimiento.

La multiplicidad de opciones de desarrollo económico ha sufrido, sin embargo, algunos ajustes en las últimas décadas. Desde que el país inició a principios de los años ochenta un proceso de recorte del intervencionismo estatal y aún más desde que instauró, a mediados de la misma década, la transición hacia una economía más abierta al comercio exterior, la economía veracruzana viene experimentando un severo ajuste de su estructura productiva.

Habiéndose beneficiado durante las décadas precedentes de múltiples proyectos auspiciados por el gobierno federal, Veracruz registró en los años noventa el desmantelamiento (privatización o de-

sincorporación) de diversas empresas paraestatales, como es el caso de Inmecafé, Tabamex, Conafrut, Astilleros de Veracruz y Azufrera Panamericana, lo cual se tradujo en una situación laboral sumamente negativa, pues la pérdida de empleos llegó a ascender a varios miles de personas. La misma actividad petrolera dejó de crecer, ya que los nuevos yacimientos se desplazaron hacia Chiapas y Campeche.

En la zona centro, los acuerdos de libre comercio suscitaron una drástica reestructuración y el ajuste laboral en algunas de las ramas más significativas de la industria manufacturera, como son la industria textil y metalmecánica. Los procesos de cambio del sector industrial provocaron una nueva distribución sectorial de la población trabajadora. Si antes desplazarse hacia las áreas urbanas ofrecía opciones de integración en el mundo fabril, a partir de los años noventa se ha hecho cada vez más difícil insertarse en el espacio industrial, y es más frecuente incorporarse en actividades poco productivas dentro del sector terciario.

La saturación del mercado laboral urbano, el ajuste de las actividades petroleras y la caída de los precios de los principales productos agropecuarios de la región (café, azúcar, fruticultura), constituye el escenario económico que explica el surgimiento de un fenómeno relativamente novedoso en la región: la formación de flujos de emigración hacia la frontera norte y los Estados Unidos. Para las nuevas generaciones, esto delimita de modo estructural el ámbito de sus oportunidades al empezar el siglo XXI.

### **Pirámide demográfica**

En el año 2005 asistimos ya al cumplimiento de la transición demográfica en Veracruz. Como puede observarse en el cuadro 2 y en la figura 1, los grupos de edad más jóvenes suman contingentes cada vez más pequeños. La singularidad de la pirámide demográfica presente en el año 2005 puede apreciarse mejor si la contrastamos con la del año 1970.

CUADRO 2. Población total por grupo quinquenal de edad según sexo (2005).

GRUPOS DE EDAD	NÚMERO DE HABITANTES	HOMBRES	MUJERES
Total	7 110 214	3 423 379	3 686 835
0 - 4 años	676 902	344 371	332 531
5 - 9 años	720 700	366 110	354 590
10 - 14 años	791 110	401 867	389 243
15 - 19 años	710 167	351 004	359 163
20 - 24 años	582 248	269 012	313 236
25 - 29 años	517 828	232 501	285 327
30 - 34 años	516 830	234 539	282 291
35 - 39 años	496 595	229 601	266 994
40 - 44 años	432 692	203 928	228 764
45 - 49 años	369 611	175 365	194 246
50 - 54 años	310 556	148 137	162 419
55 - 59 años	247 750	119 097	128 653
60 - 64 años	211 512	100 645	110 867
65 - 69 años	159 801	75 256	84 545
70 - 74 años	121 464	57 509	63 955
75 - 79 años	85 434	40 350	45 084
80 - 84 años	50 171	23 047	27 124
85 - 89 años	27 716	12 147	15 569
90 -94 años	10 668	4 500	6 168
95 - 99 años	5 679	2 313	3 366
100 y más	2 115	817	1 298
No especificado	62 665	31 263	31 402

FUENTE: Censo de Población, INEGI, 2005.

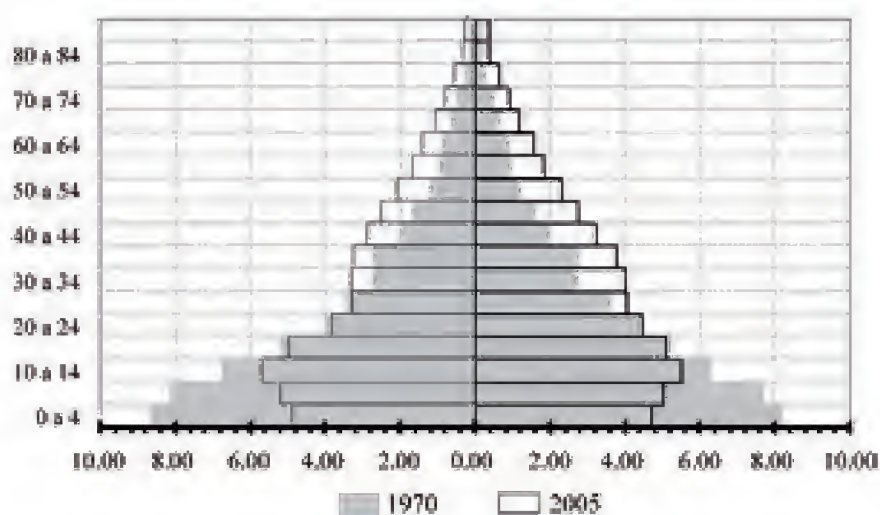


FIGURA 1. Pirámide demográfica del estado de Veracruz 1970 y 2005.

En la figura 1 puede observarse claramente cómo ha ido adelgazándose la base de la pirámide, es decir, que en la pirámide del 2005 el número de individuos nacidos en el último lustro empieza a ser menor al que nació en el lustro anterior, y esta cifra a su vez es inferior a la del lustro precedente. En cambio, en la pirá-

mide de 1970, los grupos de población que se encuentran en la base de la misma, son más grandes que los precedentes. De hecho, los incrementos demográficos que se vivieron en esos años, explican la composición de la parte media de la actual pirámide.

De 1970 a 2005 la población se benefició de los procesos de modernización: con el desarrollo de mejores condiciones de vida y nuevos sistemas de salud, que implementaron campañas de control de la natalidad y prevención de enfermedades, se abatió la mortalidad. Hay una notoria correlación entre mayor escolaridad, mejores condiciones de vida, las campañas de métodos de control de la natalidad y la reducción de la fecundidad, así como el incremento de la esperanza de vida. El efecto conjunto del descenso de la fecundidad y la mortalidad se ha traducido en un paulatino proceso de envejecimiento de la estructura por edad. El alargamiento de la supervivencia ha ocasionado que cada vez más personas lleguen a la senectud, mientras la reducción de la descendencia ha propiciado que el peso demográfico de niños y jóvenes sea menor.

Así pues, apreciamos hoy los frutos de un proceso de carácter nacional: la transición demográfica. México atraviesa actualmente por una fase avanzada de transición demográfica y poco a poco se acerca a la etapa final del proceso. La fecundidad, en descenso desde hace cuarenta años, está próxima al nivel de reemplazo intergeneracional. La esperanza de vida se asimila cada vez más a la alcanzada en las naciones con mayor desarrollo socioeconómico (Conapo, 2002).

### Dinámica sociodemográfica de la población indígena en Veracruz

Dada la importancia que tiene la variable étnica en la dinámica social de Veracruz, consideramos pertinente examinar el peso específico que tiene la población indígena en la entidad. A diferencia del crecimiento demográfico general ocurrido en México y en Veracruz, el comparativo del Censo de

Población 2000 con el Censo del 2005 del INEGI, arroja una reducción del número de hablantes de lengua indígena, tanto en términos absolutos como relativos. Para el año 2000 se contaban a nivel nacional 6.3 millones de hablantes de lengua indígena (hli) de una población de cinco años y más de edad (hli+5), esto es, el 7.3 % del total nacional; el Censo del 2005 capta sólo 6.0 millones de hli, lo que equivale a 6.6 % del total.

Para estimar el número de habitantes que conforman la población indígena en el estado de Veracruz puede adoptarse el criterio sociolingüístico de hogares indígenas (Serrano *et al.*, 2002). En un hogar indígena hay por lo menos un cónyuge o su ascendente inmediato que declara, en el Censo de Población, ser hablante de lengua indígena. En esta perspectiva se estima que para el año 2000 a nivel nacional, había una población indígena de 10 220 862 habitantes, esto es, el 10.5 % del total nacional (Serrano *et al.*, 2002). Según el Censo de Población para el año 2005, la población indígena disminuyó en términos absolutos a 9 854 301, y en valores relativos, a 9.8 % del total de la población. El Censo General de Población y Vivienda del año 2000 consigna 6 908 975 habitantes para el estado de Veracruz. En este año la población indígena sumaba 1 042 680 habitantes, esto es, el 15 %. En

cambio para el año 2005 la población general de Veracruz se calcula en 7 110 214, mientras que la indígena se redujo a 969 439. Pareciera que estamos observando en la población indígena los efectos de la política económica general y agrícola en particular, en donde uno de los bienes de exportación de México es la mano de obra de los migrantes, entre ellos de manera importante los indígenas jóvenes. Otra explicación de la reducción de la población indígena es la disminución en la fertilidad (CDI- PNUD, 2006).

La misma fuente nos revela la reducción en sólo cinco años de la población bilingüe en 2.1 % y de la monolingüe en 27.3 %. Casi todos los pueblos indígenas se distribuyen en territorios que rebasan los límites municipales y/o estatales. De hecho, muchas localidades de un mismo pueblo indígena se encuentran dispersas en municipios contiguos que pertenecen a los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Oaxaca.

Para hacer el análisis del territorio actual consideramos las localidades contiguas que tengan 40 % o más de hogares indígenas. En Veracruz hay 6 543 localidades en las cuales vive un indígena o más. Si tomamos el parámetro de las localidades que tengan 40 % y más de hogares indígenas, y que tengan contigüidad, tenemos en Veracruz 2 292 localidades en esas condiciones.

CUADRO 3. Comparación de la población indígena por hogares entre el año 2000 y 2005 a nivel nacional y del estado de Veracruz.

POBLACIÓN INDÍGENA 2000					
	Total	0 a 4 años	5 años y más	12 años y más	15 años y más
MÉXICO INDÍGENA	10 220 862	1 251 164	8 969 698	7 028 868	6 224 562
VERACRUZ	1 055 550	122 668	932 882	731 526	643 592
POBLACIÓN INDÍGENA 2005					
	Total	0 a 4 años	5 años y más	12 años y más	15 años y más
MÉXICO INDÍGENA	9 854 301	1 113 763	8 740 538	7 039 705	6 255 035
VERACRUZ	969 439	103 140	866 299	702 392	622 041

FUENTE: CDI-PNUD. Sistema de indicadores sobre la población indígena de México, 2000, y CDI-PNUD. Sistema de indicadores sobre la población indígena de México, 2005.

Aplicando a estas localidades contiguas las poligonales del Registro Agrario, se puede delinear el núcleo duro de los territorios de los pueblos indígenas actuales. De una población total de 849 153 habitantes que viven en estos territorios, 732 885 pertenecen a hogares indígenas, lo que nos indica que tienen una presencia del 86 % en un territorio de 1 017 268 hectáreas, esto es, 14 % del total de Veracruz. En la medida en que se aleja uno de los límites de estos territorios, la población

indígena se va diluyendo con una población de 309 mil 795 indígenas que viven como minorías en 4 251 localidades. Los territorios de los pueblos indígenas definidos de esta manera tienen continuidad con otras entidades federativas, como es el caso de los totonacos de la Sierra de Puebla, los nahuas de Hidalgo y San Luis Potosí, los otomíes de Hidalgo, los nahuas de Zongolica y el estado de Puebla, los mazatecos, que se distribuyen entre Veracruz y Oaxaca, al igual que los

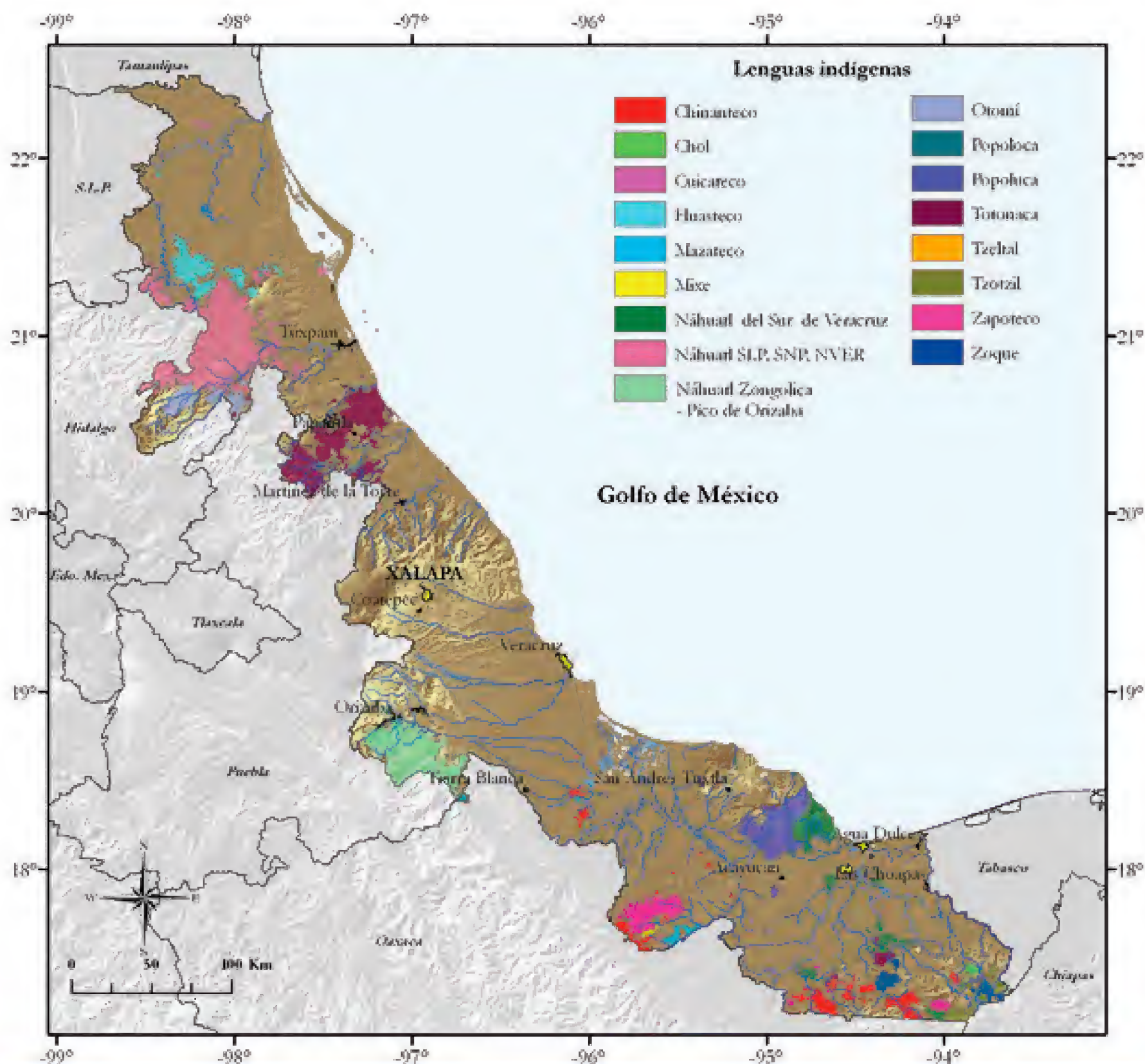


FIGURA 2. Mapa de territorios de los pueblos indígenas en Veracruz y estados aledaños.

zapotecas y chinantecos, mixes y zoques. Los diferentes pueblos indígenas se definen aquí por su autoadscripción (si habla algún idioma indígena) en la encuesta del INEGI (figura 2 y cuadro 4).

Como puede observarse en el cuadro 4, el pueblo indígena predominante en el estado de Veracruz es el nahua, mismo que hemos subdividido en tres regiones y que históricamente tienen distintos orígenes: los nahuas del sur, los nahuas de la región de Zongolica y los nahuas del norte de Veracruz. Le siguen en orden de importancia numérica los totonacos, los huastecos, los popolucas y los otomíes.

### Dinámica migratoria del estado de Veracruz

Si a partir de los años cuarenta Veracruz experimenta altas tasas de crecimiento demográfico que le permiten duplicar su población en apenas tres décadas y alcanzar la cifra de cuatro millones de habitantes en los años

setenta, este proceso alcanza su cúspide en los años ochenta, ya que en los años noventa se observa el inicio de un proceso inverso: la entidad deja de atraer población y empieza a registrar tasas negativas de crecimiento. Veamos esta dinámica con apoyo de la cartografía en el cuadro 5.

A partir de los años noventa se registra una enorme movilidad de la población que habita en la región Golfo. En Veracruz, en particular, como puede verse en el cuadro 6, el saldo migratorio indica que la entidad experimenta crecientes pérdidas de población. Estas pérdidas se incrementan significativamente a partir de 1995 y el éxodo se prolonga hasta el año 2005.

La movilidad geográfica de la población se encuentra determinada por dos factores: de una parte, por el crecimiento natural de la población; de otra, por el crecimiento de las opciones de ocupación productiva en territorios situados más allá de los lugares de nacimiento de la misma población. En el curso del amplio periodo que abarca este análisis, Veracruz experimenta,

CUADRO 4. Población indígena y sus territorios en el estado de Veracruz (2000).

PUEBLO INDÍGENA	AUTODESIGNACIÓN	TERRITORIOS DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS (HA)	POBLACIÓN ADENTRO DE LOS TERRITORIOS	POBLACIÓN TOTAL POR PUEBLO INDÍGENA
Nahua del sur de Veracruz	<i>Macehuale</i>	55 097	47 018	
Nahua del norte de Veracruz	<i>Macehuale</i>	281 824	174 011	
Nahua de Zongolica	<i>Macehuale</i>	124 832	175 661	
Nahua en Veracruz	<i>Macehuale</i>	461 753	396 568	545 469
Totonaca	<i>tachihuiin</i>	174 626	142 051	208 649
Huasteco	<i>Teenek</i>	245 040	64 964	79 739
Zapoteco	<i>Ben'zaa o Binnizá</i>	21 258	11 630	59 130
Popoloca	<i>Núntaha'yi o anmati</i>	91 800	49 894	56 909
Chinanteco	<i>Tsa ju jmi</i>	88 760	23 712	31 611
Otomí	<i>hñahñu</i>	42 385	18 944	23 223
Mazateco	<i>Ha shuta enima</i>	15 974	7 789	17 399
Tepehua	<i>Hamasipini</i>	5 183	7 545	7 799
Zoque	<i>Núntaha'yi o anmati</i>	23 056	3 336	3 996
Mixteco	<i>Nñuu savi</i>	-	-	3 705
Tzotzil	<i>Batsil Inc. 'otik</i>	13 324	1 130	1 761
Popoloca	<i>Runixa ngiigua</i>	-	-	1 133
Mixe	<i>Ayuukjä'äy</i>	526	680	992
<i>Total general</i>		1 017 268	732 885	1 042 680

FUENTE: Elaboración propia con base en el Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2000.

CUADRO 5. Dinámica de poblamiento de Veracruz (1940-2000).

<p>De 1940 a 1970 el sureste del país experimenta notables incrementos demográficos. Gracias a la construcción de carreteras, el trópico húmedo se incorpora al proceso de colonización. El norte y el sur de Veracruz observan el avance del reparto agrario. El desarrollo agropecuario solicita grandes extensiones de tierra; por ello, se registran grandes desmontes. La actividad petrolera atrae población en el norte.</p>	
<p>En los años setenta, el norte de la entidad deja de crecer. La actividad petrolera se desplaza hacia el sur y el nuevo frente de expansión agropecuaria se despliega en los límites de Veracruz con Oaxaca, en la zona del Uxpanapa. La reorganización de la actividad económica hace que emerjan nuevas regiones. En estos años se consolidan los sistemas urbanos del centro y el sur de la entidad.</p>	
<p>En los años noventa todo el sureste experimenta un notable cambio. En lugar de atraer flujos de migrantes, la mayor parte de la región se convierte en área de expulsión. Salvo las principales zonas urbanas, que siguen registrando un incremento demográfico, la mayor parte del campo veracruzano sufre pérdidas de población. Como puede verse, el éxodo se dispara en los cuatro estados del istmo.</p>	

FUENTE: Elaboración propia con base en INEGI, Censos de Población y Vivienda, diversos años.

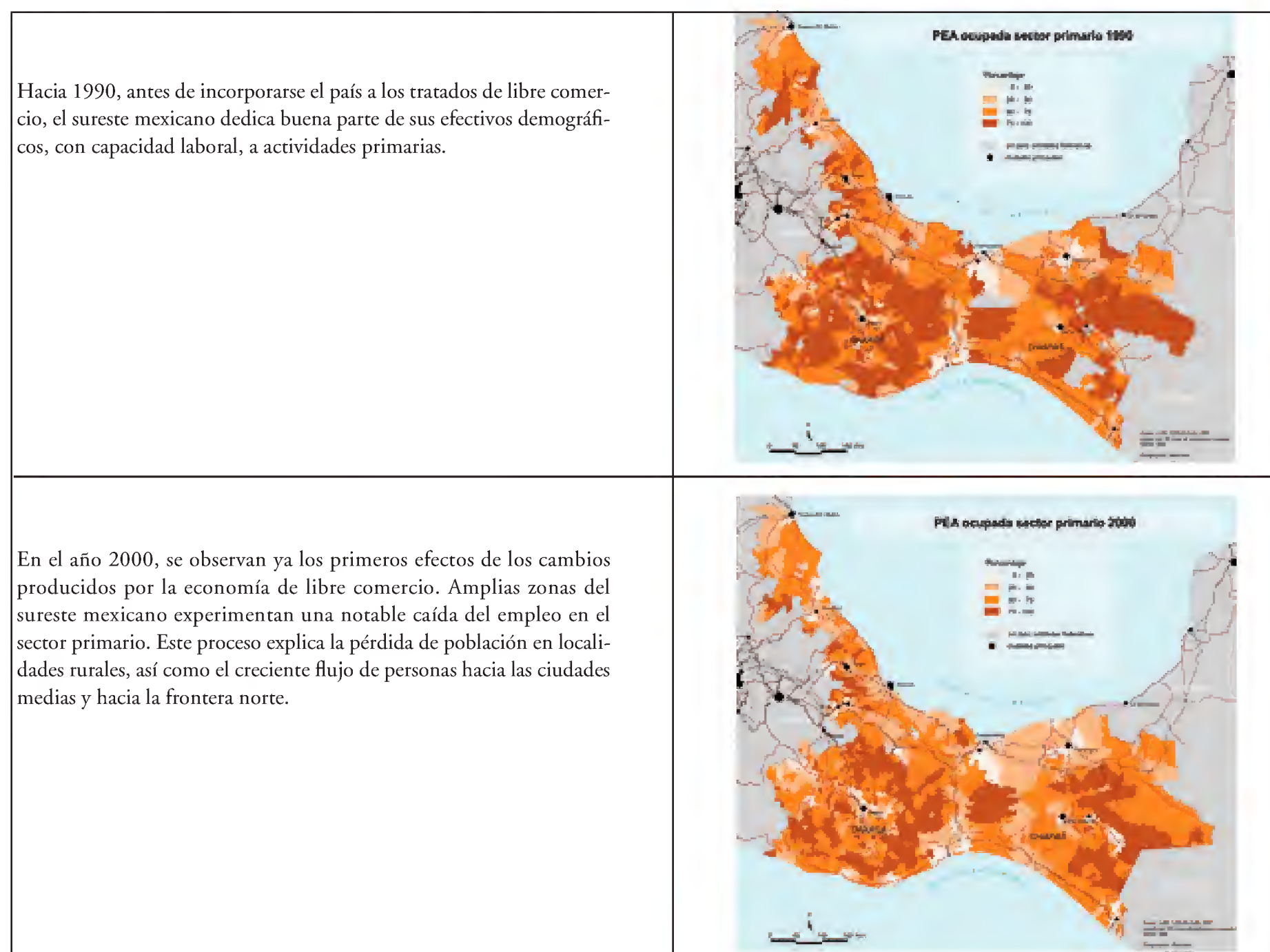
como otras partes del país, una transición demográfica, la cual implica un cambio en el primer factor (crecimiento natural). Al mismo tiempo la entidad atraviesa por un proceso de desarrollo económico que hace posible la relocalización de vastos contingentes de población: en estos años se observa un proceso de industrialización, proceso que suscita el crecimiento de las ciudades y la conformación de nuevos estratos sociales (obreros, clase media) los cuales absorben a la población que abandona el campo. Veamos con más detalle en las páginas siguientes estos fenómenos.

CUADRO 6. Saldo migratorio para el estado de Veracruz (1990-2005).

PERIODO	INMIGRANTES	EMIGRANTES	MIGRACIÓN NETA
1990 a 1995	167 382	269 634	-102 252
1995 a 2000	312 802	527 180	-214 378
2000 a 2005	155 031	374 545	-219 514
<i>Totales</i>	635 215	1 171 359	-536 144

Fuente: INEGI, Censos y Conteos de Población (1990, 1995, 2000 y 2005).

CUADRO 7. Población ocupada en actividades primarias (1990-2000).



FUENTE: INEGI, Censos de Población y Vivienda, 1990 y 2000.

### Dinámica del campo veracruzano

Después de haber absorbido durante largos años a buena parte de la población económicamente activa, el campo empieza a perder a finales del siglo XX su capacidad para retener a esta población. Para ilustrar este fenómeno, hemos elaborado dos mapas (véase cuadro 7). En el primero se observa la población ocupada en el sector primario en los años noventa. En el segundo se observa la población ocupada en ese sector en el año 2000. Al contrastar ambas cartas, es claro que algunas regiones del sureste mexicano experimentan una notable pérdida de población dedicada a actividades primarias.

### Población urbana y rural

Como hemos ya apuntado, la distribución de la población en el territorio se encuentra asociada a la forma en que se ha dado el desarrollo económico. A lo largo del siglo XX, el peso demográfico de las localidades rurales ha ido disminuyendo, incrementándose al mismo tiempo el peso de las zonas urbanas. En el cuadro 8 podemos apreciar este proceso.

Una singularidad de la distribución de la población en Veracruz se encuentra en el contraste entre dispersión espacial (todavía un 40 % de la población reside en localidades con menos de 2 500 habitantes) y concentración urbana. La dispersión impide ofrecer servicios de salud y educación a aquellas localidades que poseen menos de cien habitantes. La concentración, por otro lado, no ocurre en uno o dos grandes centros urbanos, sino que se distribuye en diversos centros regionales. Si bien a lo largo de la historia se han redefinido los “centros regionales” que durante la época colonial se configuraron a partir de las redes fluviales, en las primeras décadas del siglo XX el cambio provino de las vías del ferrocarril, y a medida que se construyeron nuevas carreteras éstas han pasado a convertirse en los ejes que articulan la distribución de la población.

CUADRO 8. Distribución de la población por tamaño de localidad 1960-2005.

TAMAÑO DE LOCALIDAD	%	POBLACIÓN
2005		
De 1 a 2 499	39.4	2 799 538
2 500 a 14 999	17.9	1 270 114
15 000 a 99 999	18.4	1 306 928
100 000 a 499 999	24.4	1 733 720
<i>Total</i>	100.0	7 110 214
2000		
De 1 a 2 499	40.9	2 829 007
2 500 a 14 999	17.4	1 199 121
15 000 a 99 999	17.9	1 233 332
100 000 a 499 999	23.8	1 647 515
<i>Total</i>	100.0	6 901 111
1990		
De 1 a 2 499	43.8	2 726 513
2 500 a 14 999	17.1	1 063 055
15 000 a 99 999	15.8	982 872
100 000 a 499 999	23.4	1 455 799
<i>Total</i>	100.0	6 228 239
1980		
De 1 a 2 499	49.1	2 644 394
2 500 a 14 999	16.7	897 799
15 000 a 99 999	15.6	840 849
100 000 a 499 999	18.7	1 004 998
<i>Total</i>	100.0	5 387 680
1970		
De 1 a 2 499	55.0	2 017 637
2 500 a 14 999	18.8	690 114
15 000 a 99 999	13.8	506 514
100 000 a 499 999	12.4	456 911
<i>Total</i>	100.0	3 671 176
1960		
De 1 a 2 499	60.2	1 643 483
2 500 a 14 999	18.3	499 138
15 000 a 99 999	12.1	328 883
100 000 a 499 999	9.4	256 395
<i>Total</i>	100.0	2 727 899

FUENTES: Censos y Conteos de Población, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 y 2005, INEGI.

La explotación de yacimientos petroleros suscitó, a principios del siglo XX, la formación de dos grandes áreas urbanas en el norte y el sur de la entidad. La construcción de nuevas autopistas a partir de la última década del siglo XX no ha alterado todavía las relaciones de las localidades menores con los núcleos regionales, ya que no son utilizadas para los flujos cotidianos de personas y mercancías, sino que atienden más a los requerimientos de eficiencia del transporte de largas distancias. Estas autopistas fomentarán la concentración de los habitantes en ciudades mayores, fortaleciendo a las zonas metropolitanas. Al empezar el siglo XXI, Veracruz cuenta con cinco zonas metropolitanas, organizadas cada una de ellas por dos ciudades principales: Poza Rica-Papantla, Xalapa-Coatepec, Veracruz-Boca del Río, Córdoba-Orizaba, Coatzacoalcos-Minatitlán. Estas zonas metropolitanas se extienden sobre tres o más municipios, albergando en promedio más de 400 mil habitantes cada una de ellas. La pérdida de población de las antaño prósperas ciudades petroleras, indica la presencia de una tendencia a incrementarse la primacía de las zonas metropolitanas situadas en el centro de la entidad.

## EDUCACIÓN

Para apreciar el grado de desarrollo de los procesos educativos en la entidad, consideramos que un buen indicador son las estadísticas relativas al avance de la alfabetización (véase cuadro 9). Durante muchos

años, la población veracruzana padeció un enorme rezago en el acceso a la oferta educativa. Su misma dispersión y las fallas del sistema educativo suscitaron múltiples problemas para atender las carencias de escolaridad.

Según el INEGI, el 69 % de los niños que tienen entre seis y nueve años se encuentran alfabetizados. En el 31 % que no lo ha logrado, el rezago es mayor en las niñas que en los varones. Con todo, tratándose de un grupo de edad todavía en proceso de incorporarse a la escuela, el porcentaje de analfabetas se reducirá en poco tiempo. En el siguiente grupo de edad, niños que cuentan entre diez y catorce años, la alfabetización es casi total, pues asciende al 97 %. Pero a medida que se consideran grupos de mayor edad, la alfabetización disminuye, lo cual indica que el logro educativo ha ido mejorando con el tiempo. El rezago en la alfabetización alcanza la cifra del 10 % en el grupo que tiene entre 35 y 39 años. En este grupo, la desigualdad de género es clara: el 61 % de las mujeres es analfabeta. El rezago se incrementa a medida que se toman en cuenta grupos con más edad (señal entre otras cosas de que no contaron con suficiente oferta educativa), de modo que en el grupo que tiene entre 55 y 59 años, casi un cuarto de la población es analfabeta (24 %); en este grupo las mujeres con analfabetismo ascienden al 65 %. Si bien el fenómeno de la discriminación por género ha disminuido en el curso del tiempo, es importante no perder de vista que aún en las jóvenes generaciones se perciben algunas de sus manifestaciones.

CUADRO 9. Alfabetización de la población veracruzana según el Censo 2005.

POBLACIÓN DE 6 AÑOS Y MÁS								
SABE LEER Y ESCRIBIR						NO SABE LEER Y ESCRIBIR		
Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
6 224 554	2 973 905	3 250 649	5 359 688	2 611 323	2 748 365	855 749	358 104	497 645

FUENTE: INEGI, Censo de Población y Vivienda, 2005.

## SALUD

Para comprender los logros y rezagos que Veracruz experimenta en términos de la salud de sus habitantes, es preciso mirar la dinámica demográfica y el desarrollo de las infraestructuras y equipamientos a lo largo del siglo XX. Esto permitirá valorar mejor la situación que prevalece al empezar el siglo XXI.

La transición demográfica ha de observarse como el contexto donde ha de situarse el aumento de la esperanza de vida (longevidad) y la reducción de la fecundidad (número de nacimientos por mujer en edad fértil). Como puede apreciarse en el cuadro 10, Veracruz continúa registrando, en los primeros años del siglo XXI, una disminución de la tasa de natalidad y un alargamiento de la esperanza de vida de la población. Ello denota uno de los efectos positivos del proceso de modernización y, en particular, del impacto que ha generado el desarrollo de sistemas de salud con cobertura creciente.

No obstante, la población continúa expuesta a una multiplicidad de situaciones que la hacen

vulnerable a una diversidad de enfermedades. Cabe destacar la enorme importancia que poseen las enfermedades asociadas a infecciones de vías respiratorias, intestinales y urinarias (ver cuadro 11). Asimismo, es preciso advertir que muchas de esas enfermedades poseen un origen asociado a una problemática de pobreza, es decir, que podrían evitarse si se contará con viviendas y sistemas de abasto de agua más adecuados y eficientes, o si se dispusiera de procedimientos de higiene más rigurosos. De alguna manera, se trata de enfermedades cuya etiología deriva de un rezago en la introducción de una serie de servicios e infraestructuras, es decir, a una falta de progreso.

Por otra parte, al examinar las causas que explican la mortalidad en la población veracruzana (cuadro 12), podemos apreciar que en la región también se presentan enfermedades asociadas a un patrón de consumo o un sistema de vida moderno. Es ese el caso de la principal causa de mortalidad en la región, las enfermedades del corazón, asociadas a malos hábitos alimenticios y estilos de vida sedentarios.

CUADRO 10. Natalidad, fecundidad y esperanza de vida.

AÑO	NATALIDAD		ESPERANZA DE VIDA AL NACER (AÑOS)	NACIMIENTOS POR 1000 MUJERES EN EDAD FÉRTIL
	Nacimientos	Tasa <sup>1/</sup>		
2000	141 930	19.8	73.1	72.6
2001	138 173	19.2	73.4	70.3
2002	134 931	18.7	73.7	68.4
2003	132 027	18.2	74.0	66.7
2004	129 379	17.8	74.3	65.1
2005	126 999	17.4	74.6	64.3

1/ Tasa por 1,000 habitantes.

FUENTE: CONAPO (2002), Proyecciones de la población de México, 2000-2050.

CUADRO 11. Principales causas de morbilidad en orden de importancia.

CAUSAS	2003			2004			2005 <sup>p</sup>	
	CASOS	TASA <sup>1/</sup>	ORDEN	CASOS	TASA <sup>1/</sup>	ORDEN	CASOS	TASA <sup>2/</sup>
Infecciones respiratorias agudas	1 273 751	17 565.8	1	1 296 452	17,82	1	896 802	12 291.8
Infecciones intestinales <sup>2/</sup>	244 714	3 374.7	2	232 367	3 194.1	2	195 777	2 683.4
Infecciones de vías urinarias	192 601	2 656.1	3	20 616	2 834.0	3	141 803	1 943.6
Amibiasis intestinal	79 238	1 092.7	5	58 769	807.8	5	41 099	563.3
Ascariasis	49 303	679.9	8	37 538	516.0	9	27 990	383.6
Gastritis, duodenitis y úlceras	91 817	1 266.4	4	91 840	1,266.24	4	66 443	910.7
Otras helmintiasis	48 596	670.2	6	45 616	627.0	8	30 762	421.6
Otitis media aguda	31 130	429.3	9	29 984	412.2	10	21 599	296.0
Candidiasis urogenital	44 852	618.5	7	42 995	591.0	6	33 375	457.4
Tricomoniasis urogenital	27 546	379.9	12	24 758	340.3	11	19 104	261.8
Desnutrición leve	18 386	253.5	16	15 233	209.4	15	12 066	165.4
Varicela	13 912	191.8	13	20 848	286.6	13	14 545	199.4
Hipertensión arterial	25 843	356.4	11	25 283	347.5	12	16 547	226.8
Las demás causas	200 384	2 763.4		180 310	2 478.6		136 661	1 873.1
<i>Total</i>	2 342 073	32 298.6		2 308 159	31 728.3		1 654 573	22 678.0

p/ Cifras preliminares a la semana 37; 1/ Tasa por 100,000 habitantes; 2/ Incluye las mal definidas

Fuente: Informe de Gobierno del Estado de Veracruz, 2005.

CUADRO 12. Principales causas de mortalidad por sectores de la población 2003 - 2005<sup>1</sup>.

CONCEPTO	2003		2004 <sup>p/</sup>		2005 <sup>p/</sup>	
	DEFUNCIONES	TASA	DEFUNCIONES	TASA	DEFUNCIONES	TASA
<i>General</i> <sup>4</sup>	36 118	498.1	33 571	461.5	16 906	231.7
Enfermedades del corazón	5 749	79.3	5 754	79.1	3 062	42.0
Tumores malignos	4 647	64.1	4 591	63.1	2 216	30.4
Diabetes mellitus	4 331	59.7	3 867	53.2	2 052	28.1
Enfermedades del hígado	3 104	42.8	2 842	39.1	1 319	18.1
Accidentes	1 919	26.5	1 681	23.1	916	12.6
Afecciones en el periodo perinatal	1 077	14.9	981	13.5	434	5.9
Cerebrovasculares	2 436	33.6	2 013	27.7	984	13.5
Influenza y neumonía	611	8.4	1 115	15.3	613	8.4
Insuficiencia renal	680	9.4	1 076	14.8	442	6.1
Desnutrición	809	11.2	627	8.6	281	3.9
Las demás causas	10 755	148.3	9 024	124.0	4 587	62.9
Materna <sup>2/</sup>	95	7.2	67	5.2	24	1.9
Muertes obstétricas	85	6.4	65	5.0	23	1.8
Embarazo terminado en aborto	6	0.5	4	0.3	4	0.3
Edema, proteinuria y trastornos hipertensivos en el embarazo, parto y puerperio	33	2.5	17	1.3	6	0.5
Hemorragia del embarazo, parto y postparto	23	1.7	17	1.3	6	0.5
Diabetes mellitus en el embarazo	1	0.1	0	0.0	0	0.0
Trabajo de parto obstruido	0	0.0	1	0.1	0	0.0
Complicaciones del puerperio	11	0.8	12	0.9	3	0.2

1/Tasa por 100 000 habitantes, 2/ Tasa por 10 000 nacidos vivos registrados, 3/ Tasa por 100 000 nacidos vivos registrados. 4/ Tasa por 100 000 habitantes de 1 a 4 años de edad, p/ Información preliminar procesada a partir del certificado de defunción.

*continúa*

CONCEPTO	2003		2004 <sup>P/</sup>		2005 <sup>P/</sup>	
	DEFUNCIONES	TASA	DEFUNCIONES	TASA	DEFUNCIONES	TASA
Sepsis y otras infecciones puerperales	6	0.5	5	0.4	0	0.0
Otras causas obstétricas directas	11	0.8	14	1.1	4	0.3
VIH	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Causas obstétricas indirectas	9	0.7	2	0.2	0	0.0
Muerte obstétrica de causa no 1 especificada	0.1	0	0.0	1	0.1	
Infantil <sup>3</sup>	2 076	1 572.4	1 784	1,378.9	796	626.8
Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal	1 077	815.7	980	757.5	434	341.7
Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	465	352.2	324	250.4	136	107.1
Influenza y neumonía	76	57.6	110	85.0	54	42.5
Enfermedades infecciosas intestinales	92	69.7	72	55.7	39	30.7
Desnutrición	50	37.9	20	15.5	13	10.2
Infecciones respiratorias	37	28.0	28	21.6	12	9.4
Enfermedades del corazón	7	5.3	17	13.1	10	7.9
Accidentes	56	42.4	38	29.4	18	14.2
Septicemia	18	13.6	16	12.4	8	6.3
Bronquitis crónica, enfisema y asma	11	8.3	12	9.3	2	1.6
Las demás causas	187	141.6	167	129.1	70	55.1
Preescolar <sup>4/</sup>	503	93.1	392	74.7	218	42.5
Accidentes	60	11.1	55	10.5	28	5.5
Influenza y neumonía	37	6.9	54	10.3	21	4.1
Enfermedades infecciosas intestinales	75	13.9	38	7.2	44	8.6
Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	32	5.9	17	3.2	4	0.8
Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	58	10.7	47	9.0	23	4.5
Tumores malignos	38	7.0	18	3.4	14	2.7
Septicemia	10	1.9	5	1.0	6	1.2
Infecciones respiratorias agudas	10	1.9	8	1.5	9	1.8
Enfermedades del hígado	12	2.2	4	0.8	3	0.6
Anemias	13	2.4	3	0.6	1	0.2
Las demás causas	158	29.3	143	27.2	65	12.7

FUENTE: Servicios de Salud de Veracruz.

## ORGANIZACIÓN ECONÓMICA

Veracruz, hasta hace muy poco tiempo, se distinguió por ser una entidad fundamentalmente rural y agrícola. Como puede apreciarse en el cuadro 13, la economía veracruzana se caracterizó hasta los años setenta por el claro predominio de las actividades primarias como principal fuente de ocupación productiva. A partir de entonces se registra una creciente disminución de la población trabajadora en

el campo. Si en 1990 todavía se registraba una ocupación en actividades agropecuarias de casi el 40 %, en el año 2000 se registra una contracción que lleva a este sector a una cifra cercana al 30 %. En apenas una década el sector primario experimenta una notable merma en su capacidad de ofrecer empleo a la población trabajadora.

En contraste, el sector secundario mostró un moderado pero sostenido crecimiento a partir de los

años cuarenta. El proceso de industrialización permitió que al cabo de cuatro décadas la economía veracruzana absorbiera a vastos contingentes de población en actividades secundarias. El máximo histórico se registra en los años noventa, cuando este sector ocupa al 21 % de la población económicamente activa, pero después, en los siguientes años, el proceso de liberalización de la economía afecta la capacidad de absorción laboral de la industria. Para el año 2000, el sector secundario se estabiliza brindando empleo a cerca del 20 % de la población trabajadora.

Ante la merma que sufren tanto el sector primario como el secundario, es lógico que sea el sector terciario el que absorba a la población trabajadora que aquellos no pueden retener.

A partir de los años setenta las actividades características del sector terciario, el comercio y los servicios, se convierten en la principal fuente de empleo en la economía veracruzana. Para el año 2000, este sector ofrece empleo a casi el 50 % de la población trabajadora. Diversos analistas han mostrado que los trabajadores que se desplazan a este sector no suelen ocuparse en actividades bien remuneradas y productivas, sino que parecen emplearse en lo que se ha dado en llamar la economía informal, es decir, actividades con bajos ingresos y con escasa estabilidad laboral.

CUADRO 13. Distribución (en porcentaje) de la población económicamente activa en Veracruz de 1930-2000.

AÑO/SECTOR	I	II	III
1930	75.5	12.9	11.6
1940	72.0	11.0	17.0
1950	66.8	13.8	19.4
1960	60.8	16.5	22.7
1970	54.9	19.9	25.3
1990	39.4	21.2	36.8
1995	37.0	15.7	46.8
2000	31.7	19.5	46.8

FUENTE: Censos de Población y Vivienda (1930-2000).

Una mirada al comportamiento productivo de los sectores económicos nos permite entender mejor los desplazamientos de población trabajadora entre esos sectores.<sup>1</sup> En la figura 3 se observa que, efectivamente, las actividades primarias han caído en su contribución al producto interno bruto dentro del conjunto veracruzano, al pasar de 19.4 % en 1970 al 7.8 % en el 2002.

Cuando la economía nacional registró una baja en el PIB agropecuario, entre 1970 y 1993, equivalente a -3.9 puntos porcentuales, para la veracruzana ese retroceso significó -10.1 %. Parte de la explicación de este decremento tiene que ver justamente con las medidas de desregulación de los mercados y el alejamiento del estado respecto de sus funciones de apoyo al sector. Veracruz fue la sede nacional de importantes paraestatales (como Inmecafé o Tabamex), agencias que al ser liquidadas a principios de los años noventa dejaron un vacío, sin transición, no sólo en términos de los subsidios que otorgaban a la producción, sino también en toda la estructura de exportación de las cosechas, aspecto este último que los agricultores todavía no han podido compensar. Lo mismo ocurrió con cultivos como el arroz, el frijol negro y el hule, producciones hoy deprimidas en el mapa agrícola veracruzano, pero que en los años setenta y ochenta gozaron tanto de importantes apoyos crediticios como de una agroindustria subsidiada y especializada (beneficios, empacadoras), hoy día bastante limitada. Mención aparte merecen la caña de azúcar y la ganadería bovina. La primera sobrevive mal a un proceso largo de disfunciones financieras en sus

<sup>1</sup> Al sector primario corresponden la agricultura, ganadería, caza y pesca; el sector secundario abarca a la minería (antes de ese mismo año minería y petróleo), las manufacturas, construcción y electricidad; finalmente el sector terciario incluye a los servicios financieros, seguros y bienes inmuebles, los servicios comunales, sociales y personales; el comercio, restaurantes y hoteles; transportes y comunicaciones y los servicios bancarios imputados.

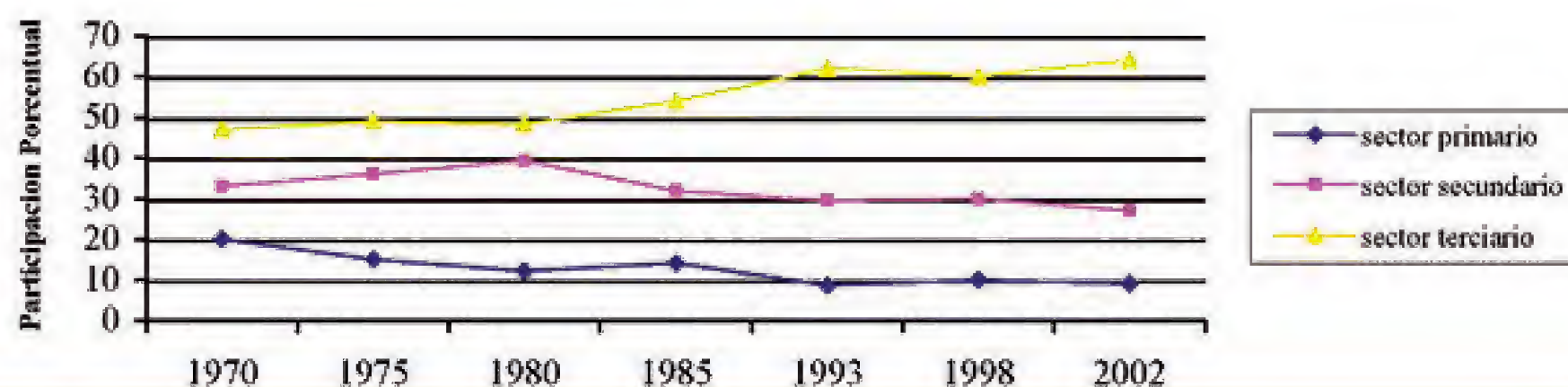


FIGURA 3. Participación de los sectores económicos en el PIB de Veracruz

ingenios, con bajas inversiones en capital, ya crónicas, y sucesivas operaciones de rescate y venta a inversionistas privados por parte del Estado. La segunda pierde parte de su valor agregado conforme se alarga la cadena de intermediación comercial: antes más corta entre los ganaderos veracruzanos y el principal mercado nacional (rastros de Ferrería, en la Ciudad de México), y hoy fuertemente intervenida por grandes compradores del norte del país y Estados Unidos, quienes adquieren animales a media engorda para “afinarlos” y venderlos en grandes volúmenes. En esta actividad, Veracruz pasa poco a poco de ser el pivote en las transacciones de la ganadería tropical a figurar sólo como un territorio con funciones productivas.

En términos generales, la problemática actual del sector agropecuario se sitúa más en la esfera de la comercialización que en la de la producción: hoy los diferentes tipos de productores, de campesinos a empresarios, enfrentan no tanto serios desafíos para lograr mejores rendimientos y productividad, como problemas para colocar sus producciones en un mercado abierto y competido a nivel mundial, y donde el abasto a los consumidores nacionales tiene mayor prioridad en las políticas que los precios al productor. Desvanecida la exportación directa, meta histórica que dejó una huella indeleble en la mentalidad de muchos agricultores, los más frágiles todavía resisten, agregando a los ingresos de sus ventas locales los subsidios públicos que sus fraccionadas y desgastadas organizaciones negocian cada año

(caso de campesinos cafetaleros, citrícolas, cañeros y piñeros) y dependiendo, cada vez más, de las remesas que mandan sus hijos que trabajan en la economía estadounidense, objetivo de las migraciones de larga distancia.

#### ENERGÍA, TRANSPORTE Y AGUA: LA DISTRIBUCIÓN DESIGUAL DE LA INFRAESTRUCTURA

Veracruz ha sido una entidad que ha brindado grandes servicios ambientales y energéticos al país. Durante muchos años suministró de modo abundante hidrocarburos al desarrollo industrial y urbano de México y en los últimos años ha sido la sede de la única planta nuclear con que cuenta el país. De acuerdo al Anuario Estadístico del año 2006 (Gobierno de Veracruz, 2007), Veracruz suministra un total de 26 926 gigawatts por hora, cuyo origen se encuentra en dos tipos de fuentes. Por un lado, en hidroeléctricas, con una aportación muy pequeña (apenas 276 gigawatts por hora), y por otro, en termoeléctricas, con una aportación de 26 649 gigawatts por hora. La aportación de la nucleoelectrica de Laguna Verde, que forma parte de este último conjunto, representa 10 804 gigawatts por hora.

Las hidroeléctricas se ubican en cinco municipios: Catemaco, Ixtaczoquitlán, Las Minas, Teocelo y Tlapacoyan. Las termoeléctricas se localizan en tres municipios: Poza Rica, Tuxpan y Medellín. La

nucleoeléctrica se ubica en Palma Sola, municipio de Actopan.

La aportación de Veracruz a la producción de hidrocarburos ha dejado de ser importante, pues desde los años ochenta los yacimientos más productivos del país se encuentran ubicados en otras entidades federativas (notablemente Campeche, Chiapas y Tabasco). Con todo, Veracruz registra todavía en el año 2006 un volumen de producción de petróleo crudo equivalente a 23.4 millones de barriles. Asimismo, la entidad figura con una producción importante de gas natural, equivalente a 212 535 millones de pies cúbicos. La mayor parte de esta producción se ubica en el activo integral Veracruz, el cual se distribuye en seis municipios situados en el centro de la entidad (Cosamaloapan, Cotaxtla, Ignacio de la Llave, Medellín, Tierra Blanca y Tlalixcoyan).

La industria petrolera ocupa, según datos de la misma fuente (Anuario Estadístico, 2006), a 37 484 personas. Una parte de ellas se sitúa en actividades administrativas y otra parte en actividades propiamente extractivas. Las actividades de mantenimiento de los ductos que transportan el aceite absorben sin duda a una parte importante de esta población trabajadora.

Veracruz extiende su territorio a lo largo de aproximadamente 800 km que ocupan buena parte de las llanuras costeras que rodean el Golfo de México. Esta vasta superficie exige, por supuesto, una importante infraestructura de comunicaciones. De acuerdo a cifras recogidas en el Anuario Estadístico ya citado, la red carretera de Veracruz comprende 17 752 kilómetros. De ellos, poco más de siete mil kilómetros son carreteras pavimentadas, mientras que las carreteras revestidas suman aproximadamente 5 500 kilómetros. La entidad sólo cuenta con 739 kilómetros de carreteras de cuota. El resto de la red se halla compuesto por caminos rurales.

Veracruz representa la única entidad del país que colinda con dos estados fronterizos (Tamauli-

pas en el norte y Tabasco en el sur). Esta peculiar situación geográfica hace de ella un espacio por donde suelen circular grandes cantidades de vehículos que transportan personas y carga de una frontera a otra. En el año 2005 se registraban en Veracruz más de 38 mil personas ocupadas en actividades de transporte, correo y almacenamiento. En el Puerto de Veracruz se concentraba gran parte de ellas, pues sólo ahí se registraron 17 mil personas dedicadas a actividades asociadas con el movimiento de personas y mercancías.

Sin embargo, si bien Veracruz representa el puerto que más población ocupa en actividades de transporte, es preciso advertir que el puerto que más volumen de bienes moviliza es el de Pajaritos (situado muy cerca de Coatzacoalcos), pues es a través de él que se exporta buena parte de la producción de hidrocarburos que se genera en los alrededores del sur de Veracruz. De los 64 millones de toneladas que se mueven en los puertos situados en el estado, el 50 % lo hace por Pajaritos, el 25 % por Veracruz, el 15 % por Tuxpan y el 5 % por Coatzacoalcos (Anuario Estadístico 2006).

La infraestructura para el transporte aéreo se encuentra concentrada en cuatro aeropuertos. El más importante de ellos, el Heriberto Jara, situado en la ciudad de Veracruz, acoge al 50 % de los vuelos que se realizan en la entidad; mientras que el de El Lencero, situado a 15 km de la ciudad de Xalapa, absorbe al 15 %; y el de El Tajín, próximo a la ciudad de Poza Rica, al 25 %; el resto, pertenece al aeropuerto de Canticas, ubicado en las inmediaciones de Coatzacoalcos y Minatitlán. Dos tercios del movimiento de pasajeros se lleva a cabo por el aeropuerto de la ciudad de Veracruz.

A pesar de la importancia que en Veracruz posee la infraestructura de transporte, la entidad tiene todavía, al empezar el siglo XXI, grandes carencias en este campo. Como veremos más adelante, al examinar la situación en que se encuentran las diversas regiones de la entidad, uno de los grandes desafíos que enfrenta la entidad consiste

en dotar de vías de comunicación a porciones importantes de su territorio, destacando, por su relativo aislamiento, los municipios situados en las partes serranas. En los últimos años se ha visto que superar el rezago en materia de carreteras constituye un reto importante para elevar la conectividad no sólo de Veracruz sino de todo el sureste del país, pues la entidad forma parte de un eslabón importante para articular a las entidades del sureste con la economía nacional.

Así como las infraestructuras de transporte muestran una distribución desigual en el territorio, también el acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado se caracteriza por su desigual reparto. El problema obedece en buena medida a la dispersión en que se encuentran las localidades rurales, pero también ha sido generado por un crecimiento desordenado de las ciudades.

Como puede apreciarse en el cuadro 14, en la región Golfo Centro, que de acuerdo a la CNA (2003) incluye gran parte de Veracruz, el acceso al alcantarillado cubre al 60 % de la población, pero el rezago se concentra particularmente en las localidades que cuentan con menos de diez mil habitantes. En las áreas urbanas (es decir, localidades habitadas

por más de veinte mil personas) el rezago incluye a cerca de trescientas mil personas, lo que genera múltiples problemas de salud pública.

Lo mismo podemos apreciar en el cuadro 15, que recoge la información relativa a la población que cuenta con acceso al agua potable. En el conjunto de la región el 20 % de la población no tiene acceso al agua potable, y esta carencia es particularmente fuerte en las localidades que tienen menos de cinco mil habitantes. Si bien este problema afecta a casi un millón de personas que residen en las localidades pequeñas (menos de quinientos habitantes), también está presente en las áreas urbanas con más de veinte mil habitantes, donde afecta a más de doscientas mil personas.

#### PROBABLES ESCENARIOS DE DESARROLLO PARA LAS REGIONES VERACRUZANAS

Hemos ordenado en tres grupos a las diez regiones que componen el territorio de Veracruz. El primer grupo, situado en el norte, se halla compuesto por las regiones Totonaca, Huasteca Alta y Huasteca Baja. Se trata de tres regiones donde el componente

CUADRO 14. Alcantarillado por tamaño de localidad.

RANGO (HABITANTES)	NÚM. DE LOCALIDADES	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CON ALCANTARILLADO	COBERTURA ALCANTARILLADO	POBLACIÓN SIN ALCANTARILLADO	
					Hab.	%
1 - 99	15 689	331 706	62 044	19.0%	269 662	81.0 %
100- 499	6 049	1 482 895	369 858	25.2%	1 113 037	74.8 %
500 - 999	1 582	1 099 931	338 142	31.0%	761 789	69.0 %
1000- 2 499	835	1 240 494	485 133	39.5%	755 361	60.5 %
2 500 - 4 999	217	739 349	436 488	59.7%	302 861	40.3 %
5 000 - 9 999	82	601 645	451 490	76.2%	150 155	23.8 %
10 000- 14 999	23	279 926	228 898	82.6%	51 028	17.4 %
15 000- 19 999	11	188 169	164 710	88.4%	23 459	11.6 %
20 000 - 49 999	33	1 035 836	933 453	91.2%	102 383	8.8 %
50 000 - 99 999	4	269 608	232 574	88.0%	37 034	12.0 %
100 000-499 999	9	1 852 113	1 717 074	93.9%	135 039	6.1 %
Total regional	24 534	9 121 672	5 419 864	60.1%	3 701 808	39.9%

CUADRO 15. Agua potable por tamaño de localidad.

RANGO (HABITANTES)	NÚM. DE LOCALIDADES	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CON AGUA	COBERTURA AGUA	POBLACIÓN SIN AGUA	
					Hab.	%
1 - 99	15 689	331706	62 044	19.0%	269 662	81.0 %
1 - 99	15 689	331 706	74 808	22.9%	256 898	77.1 %
100- 499	6 049	1 482 895	683 685	46.5%	799 210	53.5 %
500 - 999	1 582	1 099 931	638 424	58.5%	461 507	41.5 %
1000 - 2 499	835	1 240 494	824 586	67.2%	415 908	32.8 %
2 500 - 4 999	217	739 349	518 146	70.9%	221 203	29.1 %
5 000 - 9 999	82	601 645	448 328	75.7%	153 317	24.3 %
10 000 - 14 999	23	279 926	209 698	75.7%	70 228	24.3 %
15 000 - 19 999	11	188 169	147 193	79.0%	40 976	21.0 %
20 000 - 49 999	33	1 035 836	930 739	91.0%	105 098	9.0 %
50000- 99 999	4	269 608	222 500	84.2%	47 108	15.8 %
100 000- 499 999	9	1 852 113	1 789 061	97.9%	63 053	2.1 %
Total regional	24 534	9 121 672	6 487 168	71.9%	2 634506	28.1%

étnico es importante: en ellas se registran los porcentajes de población con lengua indígena más altos de todo Veracruz. En su conjunto las tres regiones suman cerca de un millón 700 mil personas. El relativo aislamiento en que se encuentran los habitantes de las sierras ha hecho difícil la incorporación de sus producciones al mercado y, sin ingresos económicos suficientes, los productores agrícolas y forestales padecen un atraso considerable en cuanto al acceso a nuevas tecnologías, lo cual ha redundado en bajos índices de productividad y bajos niveles de vida. Gran parte de los municipios situados en esta zona poseen un grado de marginación muy alto. Si consideramos la dinámica demográfica, puede advertirse que las tasas de crecimiento son bajas y en algunos casos incluso negativas, lo cual señala la presencia de procesos de emigración relativamente importantes. Los usos del suelo predominantes en las tres regiones son la agricultura, la citricultura y la ganadería. La expansión de esta última ha implicado la pérdida de grandes superficies de bosque y selva, las que han cedido el territorio al pastizal. En las sierras se conservan importantes manchones de bosque de encino y mesófilo. Con todo, los procesos de deforestación han avanzado y son responsables de la pérdida de importantes cantidades de suelo, el cual ha venido a

azolvar los principales cuerpos de agua de la región. Investigadores del Instituto de Geografía de la UNAM (2005) han destacado que los procesos erosivos han convertido a los pies de monte en áreas vulnerables a los fenómenos hidrometeorológicos (huracanes). En los últimos años, estos fenómenos han producido severos daños a la población y a las actividades productivas. La pobreza y el aislamiento han contribuido a acentuar la vulnerabilidad. Los principales lugares centrales de la región son, en el norte, la zona metropolitana de Tampico-Madero (en el límite entre Tamaulipas y Veracruz) y Tantoyuca; más al sur, Poza Rica y Papantla. En un futuro próximo se espera que la apertura de la carretera que articula a la Ciudad de México con Tuxpan, contribuya a dinamizar a este puerto y provoque su crecimiento demográfico. También en los próximos años es posible que se desarrolle la explotación de los yacimientos de petróleo situados en lo que se conoce como el Paleocanal de Chicontepec. La perturbación ambiental que esto puede suscitar, exigirá adoptar medidas preventivas para proteger los sistemas naturales. Por lo demás, dada la gran desigualdad que impera en la zona, se considera necesario establecer programas de apoyo a la población de origen indígena que contribuyan a la

superación de la pobreza y rompan con la discriminación

El segundo grupo de regiones, situado en el centro de la entidad, se halla compuesto por las regiones de Nautla, Capital y Montañas. La primera constituye una zona de transición entre la zona norte y la zona centro. La región de Nautla posee cerca de 350 mil habitantes y observa un crecimiento muy moderado de su población. En ella se ha presentado una importante expansión de la ganadería y también se ha registrado un crecimiento de la citricultura. A lo largo de la línea costera se advierte un notable desarrollo de establecimientos turísticos (hoteles y restaurantes). Los humedales situados sobre la franja costera requieren medidas de protección. De acuerdo con los estudios del Instituto de Geografía de la UNAM (2005), “los indicadores del arreglo fisiográfico, permiten inferir que uno de los problemas más severos que existen es la sedimentación por azolves en los cuerpos de agua costera, consecuencia de la descarga de los ríos, seguramente agudizada por la deforestación, cambios de uso del suelo que se traducen en la degradación de tierras, a lo que se suma la acreción del fondo de las lagunas por remoción del material de la barrera arenosa debido a la acción del viento, pues las arenas se depositan a sotavento en las marismas y lagunas”. Todo ello hace necesario plantear medidas de prevención y mitigación que deberán adoptarse dentro y fuera de los límites de la región. Sobre la misma línea de costa se ubica la única central nuclear con que cuenta el país (Laguna Verde). La zona conoce también un desarrollo importante de los cultivos de caña de azúcar. Los tres centros de población más importantes en esta región son Misantla, Martínez de la Torre y Tlapacoyan.

La ciudad de Xalapa, un poco más al sur, figura como el lugar central de la región Capital. En esta región la población asciende casi al millón de habitantes. La zona metropolitana de la capital posee una de las tasas de crecimiento más altas de toda la entidad. Se considera que la expansión de la misma

habrá de suscitar la formación de una gran zona urbana que se extenderá sobre territorios importantes desde el punto de vista ambiental (bosques mesófilos, bosques de encino, cuerpos de agua). Junto con la región de las Montañas, es la única región que experimentará cierto crecimiento en los próximos lustros. Se estima que hacia el año 2025, la región tendrá cerca de un millón 170 mil habitantes. La cafecultura, la ganadería y la caña de azúcar destacan como los usos del suelo dominantes. En su conjunto, se considera que esta región es prioritaria al estar en contacto con las zonas tropicales húmedas del este, las templadas al norte y las semiáridas al oeste. Asimismo, la variabilidad de pisos ambientales genera una gran biodiversidad. En la región se encuentra una importante área de bosque mesófilo, la cual es preciso proteger. Hay una fuerte presión antrópica, dada la intensa actividad agropecuaria adentro y en los límites de la región. Algunas de las actividades industriales que se desarrollan en la región han suscitado impactos ambientales de consideración, particularmente en lo que se refiere a los cuerpos de agua. Los ingenios azucareros y los beneficios de café, así como las granjas porcícolas y avícolas, generan residuos que se vierten en los cuerpos de agua, y cuyo efecto en los ríos de la región han ocasionado un deterioro de la calidad del agua y un trastorno de todas las formas de vida que ahí se desarrollan, produciendo externalidades negativas para algunas actividades, como son las pesquerías. A ello hay que añadir el impacto de las aguas residuales de las áreas urbanas, las cuales también se vierten sin tratamiento en los cuerpos de agua.

Por lo que hace a la región de las Montañas, cabe advertir que se compone de 57 municipios y es una de las regiones más pobladas de la entidad, con poco más de un millón 250 mil habitantes en el año 2000. Su tasa de crecimiento entre 1990 y 2000 fue de 1.5 % anual y se espera que, con ritmos notablemente más bajos, el incremento demográfico continúe. Se estima que para el año 2025 la región posea

casi un millón 450 mil habitantes. La región contiene en sus límites tres conjuntos espaciales que es preciso distinguir para captar adecuadamente su futuro demográfico. Estos conjuntos son: el corredor urbano-industrial de Orizaba y Córdoba, el área campesino-indígena nahua que se ordena en torno a la Sierra de Zongolica y la microrregión que se articula en torno a Huatusco. Considerando las estimaciones de Conapo, se puede afirmar que mientras las áreas urbanas e industrializadas disminuyen su crecimiento demográfico, las áreas rurales e indígenas mantendrán sus incrementos demográficos. Ello plantea la necesidad de adoptar medidas para atender a estas áreas, las cuales hasta ahora han presentado los mayores rezagos sociales y grandes problemas de incomunicación. La heterogeneidad del espacio económico en esta región es muy acentuada: mientras que el corredor industrial posee manufacturas desarrolladas y competitivas, presentándose algunas agroindustrias eficientes, en la zona rural se registra un atraso considerable en las unidades de producción. Ello plantea la necesidad de inversiones importantes para incorporar a sus productores a la modernidad. Un reto importante consiste en introducir medidas que atenúen el impacto ambiental de las industrias y agroindustrias. Dado que en la región se presentan ingenios azucareros y beneficios de café que generan importantes descargas de residuos, es indispensable apoyar a estas empresas con nuevas tecnologías que permitan mitigar el impacto ambiental sobre los cuerpos de agua. Es preciso recordar que los flujos de agua conectan a esta región con la del Papaloapan, pues las aguas del río Blanco drenan hacia los sistemas de humedales de Alvarado. Ello exige adoptar procedimientos que trasciendan los límites regionales y susciten un manejo integrado de la cuenca.

El tercer grupo se halla compuesto por las regiones de Sotavento, Papaloapan, Los Tuxtlas y Olmeca. El Sotavento tiene como eje articulador a la zona metropolitana de la ciudad de Veracruz. En su conjunto esta región poseía para el año 2000

una población aproximada de 870 mil habitantes. La ciudad de Veracruz y los municipios de Boca del Río y Medellín constituyen el área donde se registraron las tasas de crecimiento más dinámicas. Una parte importante de esta región requiere una atención específica dada la importancia de los ecosistemas situados en la línea costera. Existen problemas de inestabilidad de la morfología con la presencia de tormentas y ciclones; en cuanto al uso del suelo hay actividad ganadera. Esta región es la que cuenta con mayor aportación al producto industrial de la entidad. Su productividad se encuentra entre las más altas de Veracruz. La presencia de empresas manufactureras de exportación (entre las que figura destacadamente Tubos de Acero de México, S.A., TAMSA) ha contribuido a dinamizar la zona industrial instalada cerca de la zona portuaria. La zona metropolitana de la ciudad de Veracruz es una de las áreas con mejor conectividad en la entidad. Tratándose del principal puerto del país, con un importante crecimiento en el número de contenedores que se manejan desde sus instalaciones, se ha hecho necesario considerar la ampliación de su infraestructura a fin de incrementar el volumen de mercancías que ingresa y sale de él. Esto podría generar impactos ambientales que será necesario mitigar. Más al sur, la región del Papaloapan, hacia el año 2000, tenía casi medio millón habitantes, concentrados principalmente en sus municipios más urbanizados: Cosamaloapan, Carlos A. Carrillo, Tierra Blanca, Isla, Lerdo de Tejada y Tres Valles. El crecimiento demográfico que presenta este conjunto es muy dispar, pues en él conviven municipalidades sujetas a tasas elevadas (Isla, con 2.1 % promedio anual, de las más altas en la entidad), con una gran mayoría sujeta a crecimientos nulos (Acula, Alvarado, Juan Rodríguez Clara) e incluso negativos (Lerdo de Tejada, Ángel R. Cabada, Cosamaloapan, entre los más representativos). Ante tal condición el balance demográfico general de esta región resulta negativo y las proyecciones más probables asumen que llegará al año

2030 con la misma población que presenta en la actualidad. Se trata de una región orientada fundamentalmente a la producción de caña de azúcar y ganado. A pesar de la enorme riqueza natural de la zona, sus poblaciones no cuentan con adecuados niveles de vida. En muchas de ellas las condiciones de vida no han podido mejorar y es previsible que tal situación se mantenga si sus economías de base agropecuaria no superan el estancamiento que viven desde años atrás. Esta región, que abarca la mayor parte de la cuenca del Papaloapan, se caracteriza por contener dentro de sus llanuras costeras tres medios ambientes en interacción: las lagunas costeras acompañadas de planos inundables que se prolongan hacia las tierras bajas del interior y que hacia el litoral alcanzan la barra donde se asienta el puerto de Alvarado; las planicies fluviales de los ríos Papaloapan y Tesechoacán; finalmente los lomeríos bajos que caracterizan al interfluvio del San Juan y el mismo Tesechoacán, asiento de Isla y Playa Vicente. Sobre estos paisajes las tierras más densamente ocupadas corresponden a las planicies del interior, que constituyen justamente los espacios cañeros y ganaderos característicos de la cuenca. Por lo que hace a la región de Los Tuxtlas, se observa que cuenta con sólo cuatro municipios, los cuales sumaban en el año 2000 un poco menos de 300 mil habitantes. Esta región, que antaño contó con una de las selvas más importantes de la entidad, ha adoptado medidas de protección de los remanentes de selva que aún quedan, a través de la creación de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas. Estas medidas han contribuido a salvar, en cierta escala, una riqueza natural destruida por largos años de manejo inadecuado. La presión de las actividades humanas, la ganadería y la tala de las selvas, las ha fragmentado y devastado, provocando degradación de suelos y cambios en la recarga de los acuíferos, entre otros aspectos. Con una economía centrada en las producciones agrícolas y ganaderas, hoy encontramos una región cuyos volúmenes de maíz de temporal resultan entre los

más elevados de toda la entidad, con producciones orientadas al abasto tanto del Istmo como de los mercados urbanos del Papaloapan, con rutas de comercialización hasta ahora bien integradas. Por su parte el tabaco negro, cultivo limitado a la pequeña cuenca de Comoapan-Matacapán, participa todavía en el valor agregado regional con sus exportaciones hacia los Estados Unidos. Finalmente, consideremos a la región Olmeca, integrada por 25 municipios y dominada por la conurbación de Coatzacoalcos y Minatitlán. Esta importante región aporta, gracias a la industria petroquímica, el 41 % del valor agregado estatal y llegó a contener más de un millón de habitantes hacia el año 2000. La situación socioeconómica que priva en los municipios que componen la región resulta sumamente contrastada. Los municipios indígenas (nahuas, popolucas) de Santa Marta y Uxpanapa (chinantecos, zoques) mantienen niveles persistentes de pobreza. Otros que también conservan porcentajes significativos de población indígena, como Zaragoza y Cosoleacaque, presentan índices altos de marginación a pesar de su cercanía física al corredor industrial. En realidad únicamente las zonas urbanizadas aparecen bien dotadas con servicios, mientras que los espacios rurales que se prolongan al sur de las municipalidades más extensas (Minatitlán, Las Choapas, Jáltipan) permanecen marginales y poco comunicadas, situación que se acusa por la dispersión demográfica que caracteriza a esas zonas rurales. La cuenca del río Coatzacoalcos es una de las cuencas más contaminadas del país. No sólo la industria petrolera, sino también los residuos urbanos, han contribuido a hacer de este cuerpo de agua un espacio sin vida. A ello hay que añadir el impacto de la deforestación que ocurre en las partes altas de la cuenca. Existen problemas severos de azolvamiento que demandan un manejo de cuencas integrado con corrección y conservación de suelos. En su conjunto, la región ha experimentado grandes trastornos que obedecen al desarrollo desordenado de la industria petrolera, las

ciudades y la ganadería. La fuerte presión de la ganadería, las quemadas de la vegetación, el cambio en el uso del suelo, erradicando la capa vegetal original para colocar en su lugar pastizal cultivado, han modificado severamente el paisaje en esta región. El proceso de expansión de la actividad ganadera no se ha detenido y se estima que otras áreas son susceptibles de verse afectadas por él. En la región de Uxpanapa, donde quedan importantes remanentes de las selvas perennifolias, se ha iniciado ya la colonización de nuevas tierras con la fragmentación de selvas húmedas; por tanto, las quemadas y la introducción de ganado se llevan a cabo rápidamente. Ante este proceso, se requiere de la preservación de la vegetación original. Por ello, se considera esencial introducir medidas rigurosas para impedir que una de las últimas áreas de selva con que cuenta Veracruz desaparezca. La protección de las selvas de Uxpanapa es indispensable si se toma en cuenta que éstas forman un corredor que se extiende más allá de las fronteras de la entidad, y que incluye a la selva de los Chimalapas (Oaxaca) y la selva del Ocote (Chiapas).

#### CONSIDERACIONES FINALES

La reorganización que vive la sociedad veracruzana al empezar el siglo XXI responde, como hemos tratado de mostrar, a una reestructuración de la dinámica económica. Esta dinámica, que implica un conjunto de medidas de liberalización económica y que afecta al conjunto del país, se ha traducido en un incipiente proceso de redistribución de la población sobre el territorio. En los últimos años del siglo XX y en los primeros del siglo XXI, se registró una notable disminución de la tasa de crecimiento demográfico, la cual está asociada a una situación novedosa en la entidad: la emergencia de flujos de emigración hacia la frontera norte y hacia otras entidades del país. Algunas regiones de Veracruz han dejado de crecer y algunas otras, particularmente las

del centro (que giran alrededor de las ciudades de Xalapa, Córdoba, Orizaba y Veracruz), experimentan un crecimiento todavía importante a causa, precisamente, de una nueva orientación en los flujos de migración intermunicipal: la población rural que no encuentra ocupación productiva en el medio agrícola se traslada hacia las zonas metropolitanas en busca de un empleo. La falta de oportunidades de inserción laboral ha suscitado no sólo el despliegue de procesos de emigración, sino también el crecimiento de la pobreza.

Al cabo de varias décadas de crecimiento demográfico y económico, Veracruz ha acumulado diversos pasivos ambientales, asociados todos ellos al manejo poco cuidadoso de sus cuerpos de agua y de sus recursos forestales. La contaminación de las principales cuencas hidrológicas y la transformación de grandes superficies antaño cubiertas de importantes recursos bióticos, colocan hoy a Veracruz ante el reto de introducir medidas drásticas para proteger y preservar la base natural del desarrollo.

En el umbral del siglo XXI, la sociedad veracruzana se encuentra en una situación de vulnerabilidad que obedece, por un lado, a la presencia de grandes zonas urbanas que se despliegan sobre la línea costera y, por otro, a la pérdida de importantes masas forestales que colocan a partes importantes de su territorio y de su población en una posición de riesgo ante el cambio climático.

Veracruz cuenta, no obstante, con la posibilidad de revertir estos severos procesos de deterioro y vulnerabilidad si se adoptan las medidas apropiadas en los próximos años. Su ubicación geográfica puede convertirse en un capital territorial importante, pues el nuevo impulso exportador de la economía nacional confiere a Veracruz un papel privilegiado ante los flujos del mercado mundial. Para aprovechar esta situación y avanzar hacia la sustentabilidad, será fundamental un reordenamiento en el uso del territorio y la incorporación productiva de las poblaciones hasta ahora excluidas de los beneficios del desarrollo.

## LITERATURA CITADA

- AGUILAR, A., G. Boris, 1993, *Las ciudades pequeñas en el cambio regional. Estructura del empleo 1970-1990*, Colegio de Michoacán, XV Coloquio de Antropología e Historia Regionales, Zamora, Michoacán.
- AMEZCUA, H., 1981, Industria y clase obrera en Veracruz, en: *Márgenes*, núm. 1, Facultad de Sociología, Universidad Veracruzana, Xalapa, México.
- BATAILLON, Claude, 1997, *Espacios mexicanos contemporáneos*, Fondo de Cultura Económica/El Colegio de México, México.
- CAMBREZY, Luc, 1988, *La dispersión de la población de 1920 a 1980 en el centro del estado de Veracruz*, INIREB/ORSTOM, Xalapa, México.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL DESARROLLO DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS/PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (CDI/PNUD), 2006, Sistema de indicadores sobre la población indígena de México, con base en INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda, México, 2000.
- , Sistema de indicadores sobre la población indígena de México, con base en INEGI, II Conteo de Población y Vivienda, México, 2005.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2003, Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región X Golfo Centro, México.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (Conapo), 2002, Proyecciones de población 2000-2050.
- GARZA, Gustavo, 1980, *Industrialización de las principales ciudades de México*, El Colegio de México.
- GARZA, Gustavo y Rivera Salvador, 1994, *Dinámica macroeconómica de las ciudades de México*, INEGI/Colegio de México/UNAM, México.
- HIERNAUX, Daniel, 1998, Reestructuración económica y cambios territoriales en México. Un balance 1982-1995, en: Carlos A. de Matos *et al.* (comps.), *Globalización y territorio. Impactos y perspectivas*, Fondo de Cultura Económica/Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- HOFFMANN, Odile, 1985, *Movimientos demográficos y economía cafetalera en el centro del estado de Veracruz*, INIREB/ORSTOM, Xalapa, Veracruz, México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), XII Censo General de Población y Vivienda, México, 2000.
- , 2005, II Conteo de Población y Vivienda.
- , Gobierno de Veracruz, Anuario estadístico del estado de Veracruz, 2006.
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM/SEDESOL, 2005, *Programa Mesorregional de ordenamiento territorial*, Mesorregión sur-sureste, Subsistema Natural. México.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE), 1998, *Desarrollo regional y política estructural en México*, París.
- RAMOS BOYOLI, Luis, 1974, Distribución y evolución de las actividades urbanas del estado de Veracruz, en *Dualismo*, núm. 6, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- REVEL MOUROZ, Jean, 1980, *Aprovechamiento y colonización del trópico húmedo mexicano*, Fondo de Cultura Económica, México.
- SALINAS GARCÍA, Jorge, 1981, *El proceso de industrialización del estado de Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Economía, Universidad Veracruzana.
- SERRANO, Enrique, Arnulfo Embriz y Patricia Fernández, 2002, *Indicadores socioeconómicos de los pueblos indígenas de México*, INI/UNDP/CONAPO.
- SOBRINO, Jaime, 1997, Cambios en la localización industrial, en: Adrián Aguilar y Francisco Rodríguez (comps.), *Economía global y proceso urbano en México*, UNAM/CRIM, México.
- VERDUZCO, Gustavo, 1982, *Campesinos itinerantes, Colonización, ganadería y urbanización en el trópico petrolero de México*, El Colegio de Michoacán, México, 1982.

## APÉNDICE

### MUNICIPIOS POR REGIÓN

*Región Huasteca alta* 1) Pánuco 2) El Higo 3) Pueblo Viejo 4) Tampico Alto 5) Tempoal 6) Ozuluama 7) Chiconamel 8) Platón Sánchez 9) Chalma 10) Tantoyuca 11) Tantina 12) Tamalín 13) Chinampa de Gorostiza 14) Naranjos Amatlán 15) Tamiahua.

*Región Huasteca baja* 1) Huayacocotla 2) Ilamatlán 3) Zontecomatlan 4) Texcatepec 5) Zacoalpan 6) Benito Juárez 7) Tlachichilco 8) Ixcatepec 9) Chicontepec 10) Ixhuatlán de Madero 11) Chontla 12) Tepetzintla 13) Temapache 14) Castillo de Teayo 15) Citlaltépetl 16) Tancoco 17) Cerro Azul 18) Tuxpan.

*Región Totonaca* 1) Filomeno Mata 2) Coahuil'tan 3) Mecatlán 4) Coyutla 5) Chumatlán 6) Coscorrón 7) Zocolco de Hidalgo 8) Coatzintla 9) Espinal 10) Tihuatlán 11) Poza Rica de Hidalgo 12) Papantla 13) Cazones de Herrera 14) Gutiérrez Zamora 15) Tecolutla.

*Región Nautla* 1) Tlapacoyan 2) Martínez de la Torre 3) Atzalan 4) Misantla 5) Nautla 6) Tenochtitlan 7) Yecuatla 8) Colipa 9) Vega de Alatorre 10) Juchique de Ferrer.

*Región La Capital* 1) Jalacingo 2) Altotonga 3) Perote 4) Villa Aldama 5) Las Minas 6) Tatatila 7) Las Vigas de Ramírez 8) Tlacolulan 9) Ayahualulco 10) Ixhuacán de los Reyes 11) Xico 12) Acajete 13) Xalapa 14) Naolinco 15) Tepetlán 16) Chiconquiaco 17) Cosautlán de Carvajal 18) Coatepec 19) Emiliano Zapata 20) Alto Lucero de Gutiérrez Barrios 21) Actopan 22) Jalcomulco 23) Apazapan 24) Teocelo 25) Tonayán 26) Miahuatlán 27) Landero y Coss 28) Acatlán 29) Coacoatzintla 30) Jilotepec 31) Rafael Lucio 32) Banderilla 33) Tlalnahuayocan.

*Región Sotavento* 1) Puente Nacional 2) Úrsulo Galván 3) Paso de Ovejas 4) La Antigua 5) Soledad de Doblado 6) Manlio Fabio Altamirano 7) Veracruz 8) Cotaxtla 9) Jamapa 10) Medellín 11) Boca del Río 12) Tlalixcoyan.

*Región de las Montañas* 1) Acultzingo 2) Alpatláhuac 3) Amatlán de los Reyes 4) Aquila 5) Astacinga 6) Atlahuilco 7) Atoyac 8) Atzacan 9) Carrillo Puerto 10) Camarón de Tejada 11) Calchahuaco 12) Camerino Z. Mendoza 13) Coetzala 14) Comapa 15) Córdoba 16) Coscomatepec 17) Cuichapa 18) Cuitláhuac 19) Fortín de las Flores 20) Huatusco 21) Huiloapan 22) Ixhuatlán del Café 23) Ixhuatlancillo 24) Ixtaczoquitlán 25) La Perla 26) Los Reyes 27) Magdalena 28) Maltrata 29) Mariano Escobedo 30) Mixtla de Altamirano 31) Naranjal 32) Nogales 33) Omealca 34) Orizaba 35) Paso del Macho 36) Rafael Delgado 37) Río Blanco 38) San Andrés Tenejapan 39) Sochiapa 40) Soledad Atzompa 41) Tehuipango 42) Tenampa 43) Tepatlaxco 44) Tequila 45) Tezonapa 46) Tlacoatepec de Mejía 47) Tlaltetela 48) Tlaquilpa 49) Tlilapan 50) Totutla 51) Xoxocotla 52) Yanga 53) Zentla 54) Zongolica.

*Región Papaloapan* 1) Tierra Blanca 2) Ignacio de la Llave 3) Alvarado 4) Tres Valles 5) Cosamaloapan 6) Ixmatlahuacan 7) Acula 8) Tlacotalpan 9) Saltabarranca 10) Lerdo de Tejada 11) Ángel R. Cabada 12) Otatitlán 13) Tlacojalpan 14) Tuxtilla 15) Chacaltianguis 16) Carlos A. Carrillo 17) Amatitlán 18) José Azueta 19) Isla 20) Juan Rodríguez Clara 21) Playa Vicente 22) Santiago Sochiapa.

*Región Los Tuxtlas* 1) Santiago Tuxtla 2) San Andrés Tuxtla 3) Catemaco 4) Hueyapan de Ocampo.

*Región Olmeca* 1) San Juan Evangelista 2) Acayucan 3) Soteapan 4) Tatahuicapan 5) Mecayapan 6) Sayula de Alemán 7) Oluta 8) Soconusco 9) Chinameca 10) Pajapan 11) Jesús Carranza 12) Texistepec 13) Jáltipan 14) Oteapan 15) Zaragoza 16) Cosoleacaque 17) Coatzacoalcos 18) Hidalgotitlán 19) Minatitlán 20) Ixhuatlán 21) Nanchital 22) Moloacán 23) Agua Dulce 24) Uxpanapa 25) Las Choapas.



(Foto: Jorge Morales-Mávila)



## SECCIÓN III

# Contexto normativo e institucional

### RESUMEN EJECUTIVO

Elisa E. de J. Sedas Larios  
Wilfrido Márquez Ramírez  
Martha E. Primo Castro

Veracruz posee una gran diversidad biológica, fisiográfica y cultural que lo convierte en una herencia invaluable al patrimonio de generaciones presentes y futuras.

Para su conservación el Estado legisla en materia de medio ambiente, lo que ha permitido contar con autoridades ambientales integrantes de la administración pública estatal, que actúan e intervienen en un marco de respeto a las competencias federales y municipales.

El marco jurídico y la legislación ambiental en Veracruz son relativamente recientes, considerando que a partir del 1999 la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 4º, concibió como garantía individual para los mexicanos “el medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar” y el estado de Veracruz acogió esta garantía, específicamente en el artículo 8º de su Constitución.

El marco legal bajo el cual se sustenta la gestión de los recursos biológicos en nuestro Estado incluye leyes, reglamentos y normas de los tres órdenes de

gobierno. Además, involucra a instituciones y ordenamientos estatales que de manera transversal se relacionan con la tutela de la biodiversidad, con el objeto de alcanzar el bien común. Dentro del marco legal uno de los instrumentos políticos con mayor importancia es la Ley Estatal de Protección Ambiental del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (LEPA) expedida en el año 2000 y que tiene por objeto conservar, restaurar y preservar el equilibrio ecológico en el Estado.

En Veracruz el Municipio es una entidad de gobierno con personalidad jurídica y patrimonio propio, es gobernado por un Ayuntamiento y no existe autoridad intermedia entre éste y el Gobierno del Estado. El municipio tiene la facultad de emitir reglamentos en materia ambiental cuando así lo requieran, siempre y cuando sean lineales a los programas y políticas pública dentro del marco del federalismo y que éstas no se encuentren restringidas a los estados o a la federación. La Ley Estatal de Protección Ambiental, conforme al artículo 186º

establece que en cada uno de los municipios de Veracruz se integrará una Comisión Municipal de Ecología, cuyo objetivo primordial es identificar las acciones para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en el municipio. A partir del trienio municipal que dio inicio en el 2008, se han instalado 28 Comisiones Municipales de Ecología.

Entre los instrumentos que permiten sustentar las políticas públicas a nivel estatal está el Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD 2005 – 2010) que es la guía de las acciones del gobierno de Veracruz para cumplir con la Ley, atender los compromisos adquiridos con la sociedad y satisfacer las propuestas y demandas de los veracruzanos.

En Veracruz, las instituciones encargadas de ejecutar la Ley se conforma por autoridades de los tres niveles de gobierno, siendo la autoridad administrativa estatal el Ejecutivo del Estado a través del C. Gobernador, la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (Sedesma) y la Coordinación General de Medio Ambiente (CGMA) que depende de esta última.

De acuerdo a la LEPA, en Veracruz se considera como instrumento de política ambiental el ordenamiento ecológico, que constituye el instrumento de

planeación ambiental de mayor relevancia en el estado, actualmente se está elaborando el Ordenamiento Ecológico del Estado abarcando a los 212 municipios del estado, 3 ordenamientos ecológicos regionales decretados, y 2 más en proceso de elaboración.

Otra importante herramienta de conservación de los recursos naturales son los espacios naturales protegidos subdivididos en Áreas Naturales Protegidas (ANP) y Áreas Privadas de Conservación (APC). En la actualidad, existen 32 áreas naturales protegidas que representa el 12.38 % del territorio estatal, de éstas 15 son de competencia federal y 17 son de competencia estatal; asimismo, cuenta con la certificación de 39 Áreas Privadas de Conservación estatales. En Veracruz se han establecido 9 sitios RAMSAR con una superficie global de 427 069 hectáreas.

Si bien es cierto que en Veracruz es clara la necesidad de considerar como tema prioritario el medio ambiente, así como subsanar la falta de actualización, aplicación, regulación y cumplimiento de la legislación ambiental existente y el marco regulatorio, también es imperativa la puesta en práctica de la corresponsabilidad ambiental con procesos participativos efectivos de gestión de los recursos naturales compartida con el gobierno y la sociedad en general.

# Instrumentos legales e institucionales para la conservación de la biodiversidad: diagnóstico, desafíos y oportunidades\*



Elisa E. de J. Sedas Larios  
Wilfrido Márquez Ramírez  
Martha E. Primo Castro

## INTRODUCCIÓN

México, como Estado Federal<sup>1</sup> ha formado un sistema jurídico para la protección del ambiente y, más recientemente, para reconocer y promover el desarrollo sustentable<sup>2</sup>. En este sentido se han expe-

dido diversos ordenamientos jurídicos con la finalidad de regular y aplicar la conservación, protección, preservación y restauración del medio ambiente, específicamente de la biodiversidad.

Nuestro país es parte de diversos tratados internacionales en materia ambiental, y en consecuencia ha

\* Durante las primeras etapas del proyecto, el entonces COEPA (Comisión Estatal de Protección al Ambiente) participó en la elaboración de un primer borrador del marco jurídico estatal en el que participaron las siguientes personas: Isabel Martínez García, Teresa Esperanza Saavedra Vazquez, Elisa E. Sadas, Isabel Martínez García, Claudio Torres Nachón y Héctor Narave. Con la desaparición de esta institución no fue posible concluir esa primera contribución por lo que se encargó una nueva a los actuales autores.

<sup>1</sup> Para una mejor comprensión en este apartado se entiende por Estado Federal la forma de gobierno que tiene nuestro país a través de los tres niveles de gobierno existentes: Federal, Estatal y Municipal, ejercido mediante los poderes Ejecutivo, Legislativo y Judicial. A nivel Federal se encuentra el Presidente de la República, Cámara de Senadores y Congreso de la Unión, también conocidas como cámara alta y baja, y la Suprema Corte de Justicia de la Nación; a nivel Estatal se encuentra el Gobernador del Estado, Congreso del Estado, a través de la Legislatura en turno, y el Tribunal Superior de Justicia del Estado. Finalmente, a nivel Municipal, se encuentra el Presidente Municipal, el Cabildo y Juez de paz. Cabe destacar que el cabildo se compara, sin serlo, con un Congreso en pequeño, pues los municipios no son un Estado, su organización se funda en leyes y reglamentos en virtud de su autonomía, personalidad jurídica y patrimonio propio que le confiere el artículo 115 de la Constitución Federal.

<sup>2</sup> Este concepto surge en la Conferencia de Estocolmo sobre medio ambiente que celebró la ONU en 1972 y que acogió la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 1996. Este principio señala que la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes no pueden ignorar las necesidades de las generaciones futuras, como objeto para alcanzar la equidad intergeneracional. El justo equilibrio entre protección de medio ambiente y desarrollo económico es, en términos generales, el criterio que permite determinar qué se considera un medio ambiente “adecuado”, lo que ha causado polémica para los estudiosos de la materia ambiental, tal es la idea del concepto que se concibió en el Informe Brundtland (1987) “como aquel que satisface las necesidades presentes sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones para satisfacer las propias”.

creado leyes que le permiten estar acorde con las obligaciones adquiridas con la comunidad internacional. Como antecedente fundamental destaca el Convenio sobre la Diversidad Biológica, que fue ratificado por el Senado de la República en 1993. A partir de este instrumento se ha impulsado la tutela de la diversidad biológica, dando relevancia a que los bienes jurídicos tutelados y trascendentales son la calidad del ambiente y de la vida, así como el derecho del hombre a una existencia saludable y productiva en armonía con la naturaleza (Brañes, 2000). Otros instrumentos internacionales sobresalientes son la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) y la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional como Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR).

Además de los instrumentos internacionales con los que cuenta México en materia de diversidad biológica, existen diversos cuerpos legales a nivel federal que promueven y estimulan de manera directa la protección de la biodiversidad; entre ellos podemos mencionar las siguientes cinco normas de mayor relevancia en la materia:

1. NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental - especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo.
2. NOM-061-SEMARNAT-1994. Especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestres por el aprovechamiento forestal.
3. NOM-062-SEMARNAT-1994. Especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad

ocasionados por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

4. NOM-022-SEMARNAT-2003. Especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar (acuerdo que adiciona la especificación 4.43 D.O.F. 07-mayo-2004).
5. NOM-152-SEMARNAT-2006. Que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas.

Por otro lado, en nuestro sistema jurídico se debe atender el contenido del artículo 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en adelante Constitución Federal, que establece que los tratados internacionales celebrados con nuestro país son Ley Suprema.<sup>3</sup>

La Constitución Federal faculta al Congreso de la Unión para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico, conforme al artículo 73 fracción XXIX-G.

Veracruz tiene una gran diversidad biológica, fisiográfica y cultural que lo convierte en una herencia invaluable para el patrimonio de generaciones presentes y futuras. En este sentido, la legislatura estatal en turno, tuvo a su cargo legislar en materia de medio ambiente y contar con las autoridades administrativas dependientes de la administración pública estatal para intervenir como coadyuvantes de la autoridad municipal competente, en particular en materias relacionadas con el desarrollo urbano.

<sup>3</sup> Nota aclaratoria: La Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN), nuestra máxima autoridad en la interpretación de la ley e impartición de justicia, interpretó y resolvió a través de jurisprudencia que los tratados internacionales estarán debajo de nuestra Constitución, atendiendo al principio de soberanía nacional, sin que sea óbice que en México se respeta el principio de política exterior de la cooperación internacional para el desarrollo.

## MARCO JURÍDICO

El marco jurídico y la legislación ambiental en Veracruz son relativamente recientes, considerando que a partir de 1999 la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 4º, concibió como garantía individual para los mexicanos “el medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”. El estado de Veracruz acogió esta garantía, específicamente en el artículo 8º de su Constitución, al señalar:

Los habitantes del Estado tienen derecho a vivir y crecer en un ambiente saludable y equilibrado. Las autoridades desarrollarán planes y programas destinados a la preservación, aprovechamiento racional y mejoramiento de los recursos naturales, de la flora y la fauna existentes en su territorio, así como para la prevención y combate a la contaminación ambiental. Las personas serán igualmente responsables en la preservación, restauración y equilibrio del ambiente, disponiendo para tal efecto del ejercicio de la acción popular ante la autoridad competente, para que atienda la problemática relativa a esta materia.

El marco legal bajo el cual se sustenta la gestión de los recursos biológicos en el estado de Veracruz incluye leyes, reglamentos y normas de los tres órdenes de gobierno. Además, involucra a instituciones y ordenamientos estatales que de manera transversal se relacionan con la tutela de la biodiversidad, con el objeto de lograr el bien común. En los cuadros 1 y 2 se resumen los ordenamientos a los que se hace referencia.

El estado de Veracruz tiene un rezago en la reglamentación de sus ordenamientos jurídicos ambientales, únicamente cuenta con los siguientes tres reglamentos, que incluso se relacionan de manera indirecta con la tutela de la biodiversidad: 1) El Reglamento Interno de la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, a lo que cabe hacer mención que esta última fue escindida mediante decreto de fecha 14 de diciembre de 2010 que modifica la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado, creando

la Secretaría de Desarrollo Social por un lado, y por otro la Secretaría de Medio Ambiente; 2) el Reglamento en Materia de Impacto Ambiental de la Ley Estatal de Protección Ambiental (*Gaceta Oficial del Estado* del 20 de mayo de 2005), y 3) el Reglamento para la Fusión, Subdivisión, Renotificación y Fraccionamiento de Terrenos para el Estado de Veracruz-Llave (*Gaceta Oficial del Estado* marzo de 1979). Asimismo, la Ley Estatal de Protección Ambiental carece de un reglamento específico.

Finalmente, es necesario enfatizar que en Veracruz no existen normas técnicas o criterios conforme a sus atribuciones que sirvan de base para regular la biodiversidad.

## ATRIBUCIONES DE LOS MUNICIPIOS EN VERACRUZ

El Municipio es una entidad de gobierno con personalidad jurídica y patrimonio propio, es gobernado por un Ayuntamiento y no existe autoridad intermedia entre éste y el Gobierno del Estado. En el numeral 115 de la Constitución Federal y la Ley Orgánica del Municipio Libre se han desarrollado las disposiciones constitucionales relativas a la organización y funcionamiento del Municipio. Este tiene la facultad de emitir reglamentos en materia ambiental cuando así lo requieran, siempre y cuando sean lineales a los programas y políticas públicas dentro del marco del federalismo y que éstas no se encuentren restringidas a los estados o a la Federación. Por lo tanto, los municipios, a través del ayuntamiento, emiten reglamentos en la materia, en tanto que los regidores funcionan como supervisores de las actividades, contando además con instituciones administrativas que se encargan directamente de la materia.

Por otro lado, el artículo 8º de la LGEEPA enumera las facultades que corresponden a los municipios en materia de biodiversidad, entre ellas se pueden mencionar las siguientes: 1) formular y evaluar la política ambiental municipal, 2) preser-

CUADRO 1. Marco legal actual del estado de Veracruz.

ORDENAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Indica la garantía individual a un medio ambiente sano y desarrollo de los ciudadanos, las competencias y el bien común, en particular en los artículos 4º, 25º (primero y sexto párrafos), 27º (tercer párrafo y 73 fracción XXIX-G, respectivamente).
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Establece las bases para tutelar a la biodiversidad en México y da entrada a los estados y municipios. En su título segundo aborda, en específico, lo concerniente a la biodiversidad, componiéndose de tres capítulos referentes a áreas naturales protegidas, zonas de restauración y flora y fauna silvestres ubicados del artículo 44 al 87 bis 2.
Ley General de Vida Silvestre	Establece la concurrencia entre los tres niveles de gobierno en materia de conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat dentro de la nación; las bases para un proceso de descentralización en materia de biodiversidad, y específica en el artículo 10º las competencias de los estados. En cuanto a los municipios, debido a su personalidad jurídica y patrimonio propio, así como a las enormes diferencias entre municipios en las distintas regiones del país, el Congreso de la Unión no estableció atribuciones en materia de vida silvestre directamente, sino que: "... además de las atribuciones vinculadas a esta materia que les confiere el artículo 115 de la Constitución Federal, ejercerán las que les otorguen las leyes estatales en el ámbito de sus competencias, así como aquellas que les sean transferidas por las entidades federativas, mediante acuerdos o convenios."
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas (Vínculos con el Código de Comercio y Ley Orgánica de la Administración Pública Federal)	Establecen las bases que sirven de guía para preservar y aprovechar sustentablemente la flora y fauna silvestre y otros recursos biológicos. El artículo 84 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente faculta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) a expedir las Normas Oficiales Mexicanas, las cuales se relacionan íntimamente con la Ley de Comercio Exterior, pues el Artículo 85 de la primera ley mencionada señala que cuando se requiera la protección de especies, la Semarnat promoverá ante la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, actualmente, Secretaría de Economía, el establecimiento de las medidas pertinentes. Lo anterior, conforme a la fracción XX del artículo 32 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Esta situación permite observar el cambio de la denominación de la autoridad y la falta de actualización e interés en la legislación y materia ambiental al no valorizar eficazmente los servicios ambientales.
Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Veracruz	En su artículo 8º establece la obligación de las autoridades en materia ambiental en el estado de Veracruz respecto a desarrollar planes y programas destinados a la preservación, aprovechamiento racional y mejoramiento de los recursos naturales, de la flora y la fauna existentes en el territorio.
Ley Estatal de Protección Ambiental del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	Publicada en la <i>Gaceta Oficial del Estado</i> el 30 de junio de 2000, emana directamente de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; tiene por objeto conservar, restaurar y preservar el equilibrio ecológico, así como proteger el ambiente y procurar el desarrollo sustentable del estado de Veracruz. Este cuerpo legal regula en el Título Tercero a la biodiversidad, que comprende 5 capítulos que son: I) Categorías de Espacios Naturales Protegidos; II) declaratorias para el establecimiento, conservación, administración, desarrollo y vigilancia de las Áreas Naturales Protegidas; III) del Registro Estatal de Espacios Naturales Protegidos; IV) zonas de restauración, y el V) flora y fauna silvestres, estos se encuentran del artículo 61 al 114.
Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Veracruz	Publicada en la <i>Gaceta Oficial</i> el 14 de julio de 2006, tiene por objeto regular y fomentar, a nivel estatal, las acciones de preservación, protección, renovación, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento que se lleven a cabo sobre los ecosistemas forestales, los servicios ambientales que estos ofrecen, las cuencas hidrológicas forestales y los recursos forestales maderables, todo esto con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable dentro de Veracruz. Para la atenta vigilancia de las disposiciones de esta ley, y en general de todo lo relativo a la materia forestal, en el Plan de Sectorial Forestal Estatal 2006-2028 se considera la creación del Servicio Estatal Forestal, el cual estará obligado a colaborar con el Servicio Nacional Forestal. En su Título segundo, Capítulo II, otorga atribuciones en materia forestal al Ejecutivo del Estado, a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal, Pesca y Alimentación, al Gobierno Federal y a las autoridades municipales, de tal manera que se establecen las funciones específicas que cada uno de estos actores deberá realizar.
Ley de Desarrollo Regional y Urbano del Estado de Veracruz	Publicada el 17 de abril de 1999, establece la función de regular lo que a desarrollo regional y urbano se refiere, teniendo en cuenta la diversidad biológica del estado con la finalidad de evitar impactos graves al ambiente en el territorio veracruzano. Dentro del marco de atribuciones, otorga facultades directas al Ejecutivo Estatal a través de la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, y a las autoridades municipales.
Ley Orgánica del Municipio Libre	Establece las facultades de los municipios que conforman la entidad veracruzana y considera a la materia ambiental a través de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente de cada municipio.
Bando de Policía y Buen Gobierno	Plantean el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal.
Reglamento de las Comisiones Municipales de Ecología	Regula específicamente los aspectos administrativos, técnicos y jurídicos en materia ambiental.

var y restaurar el ambiente en zonas de jurisdicción municipal, 3) crear parques ecológicos, parques urbanos y jardines públicos, 4) conducir la política municipal de información ambiental, y 5) participar en la evaluación del impacto ambiental de obras o actividades de competencia estatal en zonas de jurisdicción municipal. Así, los 212 municipios con los que cuenta el estado están facultados conforme a las disposiciones antes mencionadas.

La Ley Estatal de Protección Ambiental conforme al artículo 186 establece que en cada uno de los municipios de Veracruz se integrará una Comisión Municipal de Ecología, la cual estará presidida por el Presidente Municipal y, como Secretario Técnico de la misma, el encargado de la Comisión de Ecología o en su caso un ciudadano destacado en el área ambiental que no sea servidor público. El objetivo primordial de las Comisiones Municipales de Ecología (figura 1) está en identificar las acciones para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en el municipio, y proponer prioridades y programas para la atención del medio ambiente.

CUADRO 2. Otros ordenamientos jurídicos estatales relacionados con la regulación de la biodiversidad.

Ley Orgánica del Poder Ejecutivo
Ley de Bienes del Estado
Ley sobre Protección y Conservación de Lugares Típicos y de Belleza Natural
Ley de Aguas del Estado de Veracruz
Ley de Asentamientos Humanos para el Estado de Veracruz-Llave,
Ley de Acceso a la Información Pública y Transparencia Gubernamental del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave
Decreto que establece las Bases para la Creación del Fideicomiso Público para la Conservación, Restauración y Manejo del Agua, de los Bosques y las Cuencas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave
Códigos Estatales: Civil, Penal y Administrativo y sus respectivos Códigos adjetivos



FIGURA 1. Sesión de la Comisión Municipal de Ecología de Xalapa (Foto: Coordinación General de Medio Ambiente).

CUADRO 3. Municipios de Veracruz en donde se encuentra instalada su Comisión Municipal de Ecología, conforme al artículo 186 de la Ley Estatal de Protección Ambiental.

MUNICIPIO	FECHA DE INSTALACIÓN
1 Acayucan	19/05/2008
2 Atzalan	08/09/2008
3 Alto Lucero	08/09/2009
4 Altotonga	08/09/2009
5 Cosoleacaque	13/02/2009
6 Córdoba	06/06/2009
7 Colipa	03/09/2008
8 Fortín de las Flores	03/09/2008
9 Huatusco	27/02/2009
10 Juchique de Ferrer	08/09/2009
11 Jalacingo	08/09/2009
12 Jalcomulco	13/08/2009
13 Martínez de la Torre	10/07/2008
14 Misantla	08/08/2008
15 Nautla	08/09/2009
16 Orizaba	28/02/2008
17 Río Blanco	06/06/2008
18 San Rafael	08/09/2008
19 Tenochtitlan	08/09/2008
20 Tihuatlán	22/09/2008
21 Tlapacoyan	08/09/2008
22 Vega de Alatorre	08/09/2008
23 Xalapa	10/08/2008
24 Yecuatla	08/08/2008
25 Cuitláhuac	24/04/2009
26 Tierra Blanca	10/01/2009
27 Veracruz	05/06/2009
28 Actopan	05/06/2009

Actualmente, a partir del trienio municipal que dio inicio en el 2008, se han instalado 28 Comisiones Municipales de Ecología (cuadro 3), restando 184 comisiones por instalar:

Estas cifras indican la necesidad de fortalecer la coordinación entre el estado y los municipios, para que en el corto plazo se dé cumplimiento a lo que en el año 2000 se expuso en la Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz.

Actualmente los municipios que consideran a la materia de biodiversidad en su plan de administración pública municipal y que cuentan con avances en sus reglamentos municipales de ecología son: Xalapa, Coatzacoalcos, Veracruz, Boca del Río, Córdoba, Orizaba, Acayucan, Cosoleacaque y Minatitlán, en los cuales destaca el fomento y protección a las áreas naturales protegidas.

Por otro lado, los códigos estatales de diversas materias, como el Código Penal para el Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave y su respectivo Código de Procedimientos Penales, de alguna manera promueven la protección de la flora y la fauna, ya que consideran la tutela del medio ambiente, tanto en la emisión del acto administrativo como en la conducta de cualquier ciudadano que atente contra el medio ambiente. Esto se observa en el Código Penal para el Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave y en su respectivo Código de Procedimientos Penales. Sin embargo, en estos códigos la diversidad biológica no es considerada de manera específica, sino dentro de todo el tema ambiental, por ejemplo: en el Título XI, Capítulo I sobre delitos ambientales; el Artículo 259 sobre los delitos de peligro contra la seguridad colectiva; el Código Civil para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave en materia de reparación del daño; el Código de Procedimiento Administrativo para el Estado de Veracruz de Ignacio de la

Llave, el cual regula los actos administrativos emitidos por las autoridades estatales y municipales respecto de un particular, de manera que el último cuente con medios de defensa en aras de no verse afectado en su esfera jurídica.

#### LOS PLANES DE DESARROLLO Y LOS RECURSOS NATURALES

Entre los instrumentos que permiten sustentar las políticas públicas están, a nivel federal, el Plan Nacional de Desarrollo (PND 2007-2012) por medio del eje 4 de sustentabilidad ambiental que contempla varias estrategias (2.3, 3.1, 3.5 4.1, 4.2, 7.1, 9.2), relativas al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la protección al medio ambiente y el conocimiento y cultura para la sustentabilidad ambiental. A nivel estatal el Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD 2005-2010) que es la guía de las acciones del gobierno de Veracruz para cumplir con la Ley, atender los compromisos adquiridos con la sociedad y satisfacer las propuestas y demandas de los veracruzanos. Este instrumento tiene como objetivos, en materia de diversidad biológica, la restauración ambiental, la conservación de las especies, los procesos naturales y culturales y mantener los servicios de los ecosistemas. Para lograr lo anterior se deberá fortalecer la capacidad institucional en materia de gestión ambiental, estableciendo una línea de mando en el gobierno que diseñe programas pertinentes, mantenga la coordinación intersecretarial y mejore la capacidad operativa de las Comisiones Municipales de Ecología, apoyándolas en la elaboración e implementación de las Agendas Ambientales Municipales, entre otras acciones.<sup>4</sup>

La estrategia para la conservación y restauración ambiental del PVD se centra en contar con la mayor

<sup>4</sup> Cfr. [www.veracruz.gob.mx](http://www.veracruz.gob.mx), Plan Veracruzano de Desarrollo 2005-2010, capítulo VII Medio Ambiente.

cantidad posible de áreas naturales protegidas y de jardines botánicos. Este esfuerzo, de acuerdo al capítulo VII de medio ambiente del plan mencionado, no llegará más allá del 15 o 20 % de la superficie estatal, el resto de la biodiversidad y el manejo tradicional de los recursos naturales estará en el 80 % del territorio restante. En esa gran superficie habrá que decretar también áreas para la restauración y la conservación.

### MARCO JURÍDICO INSTITUCIONAL

Ahora bien, para ejecutar la ley se requiere de una autoridad que haga cumplirla. De este modo, el marco jurídico institucional en Veracruz se conforma por autoridades de los tres niveles de gobierno, como se aprecia en el cuadro 4.

CUADRO 4. Autoridades competentes en materia de recursos naturales en Veracruz.

TIPO DE AUTORIDAD Y NIVEL DE COMPETENCIA	PRINCIPALES ATRIBUCIONES EN MATERIA DE BIODIVERSIDAD	FUNDAMENTO LEGAL CONCRETO
Autoridad Administrativa Federal: Poder Ejecutivo Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Establece las facultades del organismo público encargado de la materia ambiental en el país	Artículos 5 y 6 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Autoridad Administrativa Estatal: Ejecutivo del Estado a través del C. Gobernador y la Secretaría de Medio Ambiente (Sedema)	Es la máxima autoridad estatal, encargada de coordinar, evaluar y ejecutar las políticas para conservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el medio ambiente en el estado de Veracruz. Propone criterios para la protección al ambiente en la entidad, en congruencia con el Plan Veracruzano de Desarrollo y aplica en la esfera de su competencia, las normas técnicas y criterios ecológicos que expida la Federación. Además, establece los criterios de normatividad técnica, establece las medidas obligatorias de conservación de recursos naturales y del medio ambiente, con el fin de alcanzar el desarrollo sustentable.	Artículos 4, fracciones I A, B y 8 de la Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz de Ignacio de la Llave (para coordinar acciones con la Federación y Municipios); Artículo 9, de la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; 7 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, y 10 de la Ley General de Vida Silvestre (para coordinar acciones con la Federación) Artículos 5 y 15 del Reglamento Interior Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente
Autoridad Administrativa Municipal: Municipios	Formula y evalúa la política ambiental municipal; propone medidas tendientes a la debida protección de la flora y fauna existente en el municipio; a la preservación y restauración del ambiente en zonas de jurisdicción municipal; así como la creación de parques ecológicos, urbanos y jardines públicos	Artículos 40, fracción XIV y 58 de la Ley Orgánica del Municipio Libre, 4, fracción II, y artículo 7 de la Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz de Ignacio de la Llave, y 8 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (para coordinar acciones con la Federación y municipios)
Autoridad Administrativa Municipal: Comisión Municipal de Ecología	Identifica las acciones para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en el Municipio y propone prioridades y programas para la atención del medio ambiente	Artículo 186 de la Ley Estatal de Protección Ambiental y el Reglamento de la Comisión aprobado por cabildo

INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL

De acuerdo a la Ley Estatal de Protección Ambiental, en Veracruz se consideran como instrumentos de política ambiental los siguientes: 1) De la Planeación ambiental; 2) del Ordenamiento Ecológico; 3) de los instrumentos económicos; 4) de la regulación ambiental de los asentamientos humanos; 5) de la evaluación del impacto ambiental; 6) autorregulación y auditorías ambientales; 7) criterios y normas técnicas ambientales y 8) de la educación, la formación y la investigación ambiental.

El ordenamiento ecológico constituye el instrumento de planeación ambiental de mayor relevancia en Veracruz, su objetivo es orientar o inducir las actividades productivas y de uso del suelo con un enfoque tendiente a la sustentabilidad, basándose en las características y condiciones de los recursos naturales y de sus habitantes.

La incorporación de este instrumento de planeación en el estado se realiza a partir de la expedición de la Ley Estatal de Protección Ambiental en el año 2000. Debido a la importancia que este proceso reviste para Veracruz se han realizado grandes esfuerzos para su elaboración e implementación.

En la actualidad se está elaborando el Ordenamiento Ecológico del Estado a escala 1: 250 000 abarcando a los 212 municipios del estado. Este instrumento servirá como base importante para futuros ordenamientos a nivel regional o municipal y en general como herramienta de planeación fundamental para la toma de decisiones; además del anterior, se tienen tres ordenamientos ecológicos regionales decretados, los que se elaboraron a escala 1: 50 000, mismos que actualmente se encuentran en su etapa de instrumentación y dos más que se encuentran en proceso de elaboración (cuadro 5).

CUADRO 5. Ordenamientos ecológicos regionales del estado de Veracruz.

No.	NOMBRE DEL PROGRAMA	SUPERFICIE EN km <sup>2</sup>	ESTADO ACTUAL	MUNICIPIOS
1	Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río Bobos	3 409	Decretado	Municipios incluidos en su totalidad: Atzacan, Altotonga, Jalacingo, Las Minas, Martínez de la Torre, Tatatila, Tlapacoyan, Villa Aldama, San Rafael. Municipios incluidos parcialmente: Tecolutla, Papantla, Las Vigas, Misantla, Perote, Tlacolulan, Nautla, Tenochtitlan.
2	Ordenamiento Ecológico de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos	4 700	Decretado	Municipios incluidos en su totalidad: Agua Dulce, Chinameca, Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Ixhuatlán del Sureste, Jáltipan, Moloacan, Nanchital, Oteapan, Pajapan, Soconusco, Zaragoza. Municipios incluidos parcialmente: Acayucan, Hidalgotitlán, Las Choapas, Mecayapan, Minatitlán, Oluta, Sayula de Alemán, Soteapan, Texistepec.
3	Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río Tuxpan	4 239	Decretado	Municipios incluidos en su totalidad: Ixhuatlán de Madero, Tlalchichilco, Zacualpan Municipios incluidos parcialmente: Ixcatepec, Chontla, Citlaltépetl, Tancoco, Zontecomatlán de L. y Fuentes, Tihuatlán, Benito Juárez, Tuxpan, Huayacocotla, Chicontepec, Cerro Azul, Castillo de Teayo, Temapache, Tepetzintla, Texcatepec
4	Ordenamiento Ecológico de la Cuenca Alta del Río Blanco	3 271	En elaboración	Municipios incluidos en su totalidad: Acultzingo, Amatán de los Reyes, Aquila, Astacinga, Atlahuilco, Atzacan, Camerino Z. Mendoza, Chocamán, Coetzala, Córdoba, Coscomatepec, Cuichapa, Fortín, Huiloapan, Ixhuatlancillo, Ixtaczoquitlán, La Perla, Los Reyes, Magdalena, Maltrata, Mariano Escobedo, Mixtla de Altamirano, Naranjal, Nogales, Omealca, Orizaba, Rafael Delgado, Río Blanco, San Andrés Tenejapan, Soledad Atzompa, Tehuipango, Tequila, Texhuacán, Tezonapa, Tlaquilpa, Tlilapan, Xoxocotla, Zongolica.
5	Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río Sedeño (fase de caracterización)	125	En elaboración	Acajete, Actopan, Banderilla, Emiliano Zapata, Jilotepec, Naolinco, Rafael Lucio, Tlalnelhuayocan, Las Vigas, Xalapa.
6	Ordenamiento Ecológico del Estado de Veracruz	78 815	En elaboración	Los 212 municipios del estado de Veracruz.

Fuente: Gobierno del Estado de Veracruz (2009).

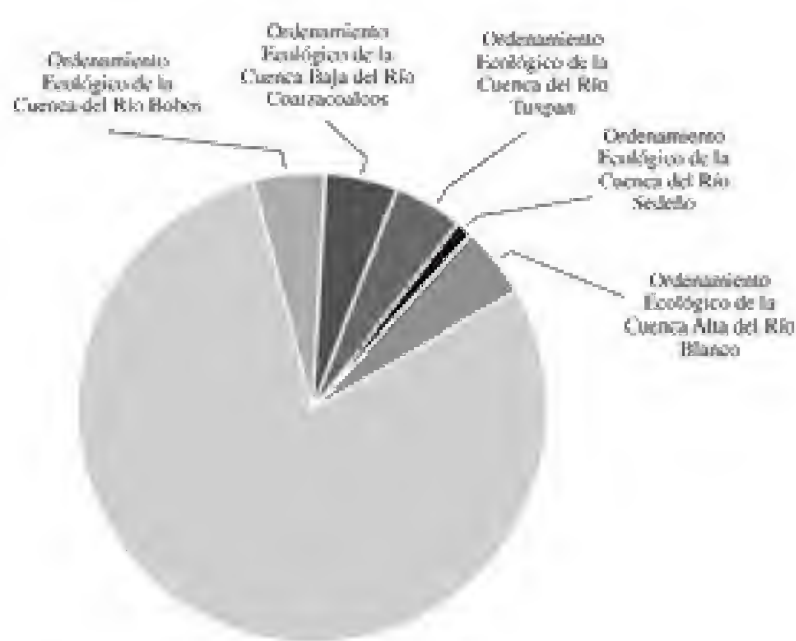


FIGURA 2. Territorio veracruzano con ordenamiento ecológico por cuencas.

Actualmente la superficie ordenada con decreto a escala 1: 50 000 corresponde al 20 % del territorio de la entidad, considerando que se tiene el 100 % del territorio ordenado a escala 1: 250 000. Debe reconocerse que es necesario realizar un gran trabajo de gestión y coordinación entre los distintos niveles de gobierno para su formulación, ejecución, evaluación, vigilancia y modificación de programas de ordenamiento ecológico, tomando en cuenta aspectos sociales y considerando la necesidad de reorientar las políticas de uso del suelo. Lo anterior requiere esfuerzos amplios de capacitación, concientización de la población, la búsqueda de alternativas productivas ambientalmente amigables y a la vez redituables económicamente.

### ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

Los espacios naturales protegidos serán objeto de protección, conservación y restauración ambiental, y son aquellos en los que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados. De acuerdo a la Ley Estatal de Protección Ambiental, en su capítulo de Biodiversidad,

los espacios naturales protegidos se subdividen en Áreas Naturales Protegidas (ANP) y Áreas Privadas de Conservación (APC).

Actualmente existen 32 Áreas Naturales Protegidas que ocupan una superficie de 880 011-12-12.33 ha, lo que representa el 12.38 % del territorio estatal (CGMA, 2009). De éstas, 15 son de competencia federal con una superficie de 848 733-61-03.44 (cuadro 6) y 17 son de competencia estatal, con una superficie total de 31 277-51-21.80 (cuadro 7, figura 3). Además, se cuenta con la certificación de 39 Áreas Privadas de Conservación (figura 4) estatales que ocupan una superficie total de 9 530-62-13.39; estos son predios que pertenecen a pequeños propietarios, ejidos o comuneros quienes volunta-

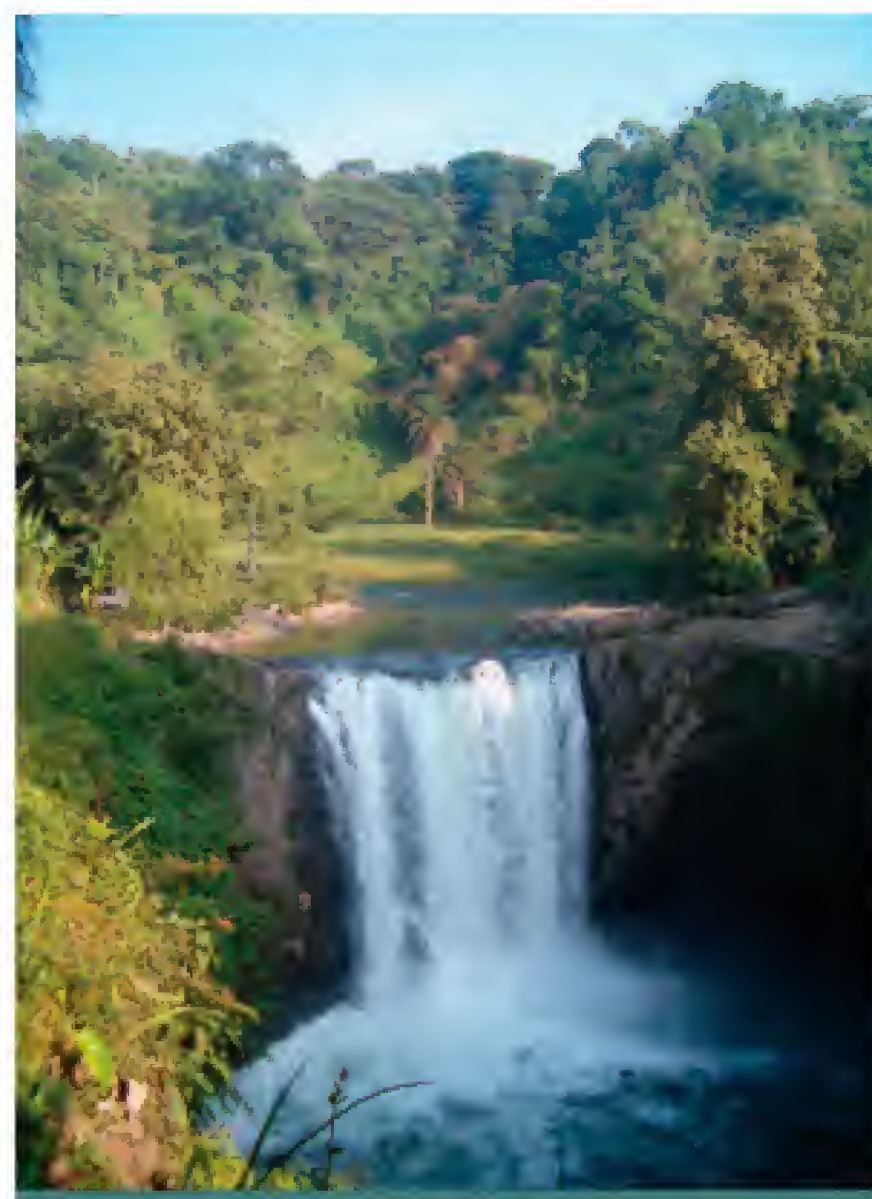


FIGURA 3. Cascada “La Tomata” en Tlapacoyan, Veracruz. Cerca del Área Natural Protegida del Río Filobobos (Foto: Coordinación General de Medio Ambiente).

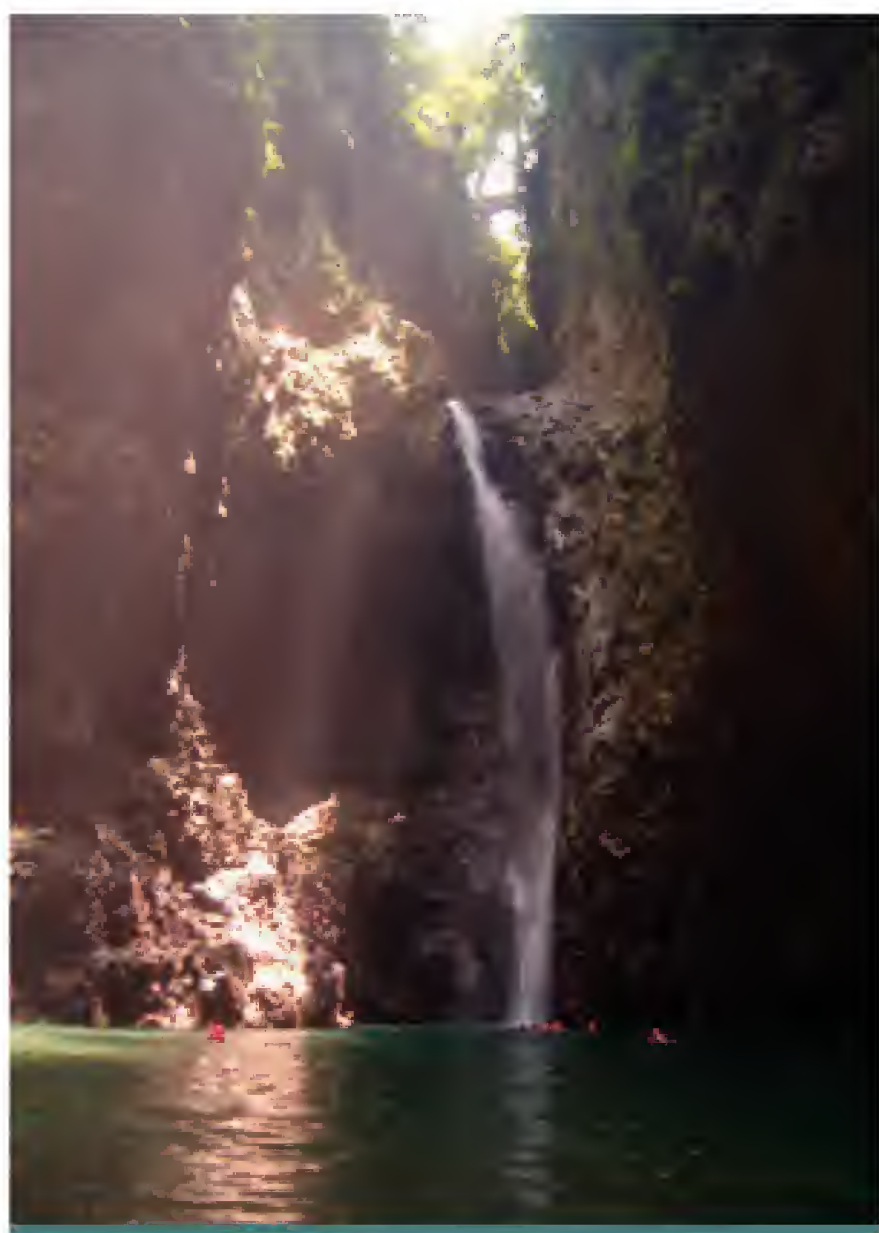


FIGURA 4. Cascada “El Encanto”, Tlapacoyan, Veracruz (Foto: Coordinación General de Medio Ambiente).

riamente los han destinado, por un periodo de tiempo determinado, a acciones de preservación, conservación y restauración de los ecosistemas y su biodiversidad, a través de proyectos de desarrollo sustentable compatibles con el uso del suelo que mediante el registro les permite acceder a diversos programas de conservación (cuadro 8). Además, en Veracruz se han establecido nueve sitios RAMSAR con una superficie global de 427 069 ha (cuadro 9).

Los primeros esfuerzos en el establecimiento de ANP en Veracruz le han correspondido a la Federación, y ocupan mayor superficie, con el 11.81 % estatal.

La determinación de áreas naturales protegidas tiene como propósito:

- I. Preservar e interconectar los ambientes naturales representativos de los diferentes ecosistemas que contengan porciones significativas o estratégicas de biodiversidad silvestre para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos.
- II. Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres y aquellas con potencial agrícola, pecuario y biotecnológico, raras, particularmente las endémicas, amenazadas o en peligro de extinción o de las que dependa la continuidad evolutiva.
- III. Asegurar el manejo sustentable de los ecosistemas y sus elementos.
- IV. Preservar y restaurar el equilibrio ecológico en los ecosistemas urbanos o en aquellos que presenten procesos de degradación o desertificación o graves desequilibrios ecológicos.
- V. Preservar, en el ámbito regional, en los centros de población y en las zonas circunvecinas a los asentamientos humanos, los elementos naturales indispensables al equilibrio ecológico y al bienestar y seguridad general de la sociedad.
- VI. Proporcionar un campo propicio para la investigación científica, el estudio de los ecosistemas y su equilibrio, así como para la educación, la capacitación y la experimentación de sistemas de manejo sustentables.
- VII. Generar, rescatar y divulgar conocimientos prácticos y tecnologías ancestrales, tradicionales o nuevas, que permitan la preservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio estatal.
- VIII. Proteger poblados, vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agropecuarios y forestales mediante el ordenamiento y manejo de zonas forestales, en montañas donde se originen torrentes; el ciclo hidrológico de cuencas, así como las demás que tiendan a la protección de los elementos circundantes con los que se relacione ecológicamente el área.

IX. Proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como zonas turísticas y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad estatal y de los pueblos indígenas.

En los casos a que se refieren las fracciones anteriores, cuando se trata de jurisdicción federal, la Secretaría pedirá la intervención de las autoridades competentes.

X. Regenerar los recursos naturales.

XI. Asegurar la sustentabilidad integral de las actividades turísticas que se lleven a cabo.



FIGURA 5. Área Privada de Conservación “Bosque los Murmullos”, en Perote (Foto: Cristina Cabrera Pérez del Valle).

En un siguiente capítulo se analiza la eficiencia de las áreas naturales protegidas como instrumento de conservación del capital natural del estado.

CUADRO 6. Áreas naturales protegidas por Decreto federal en Veracruz\*

No.	NOMBRE	MUNICIPIOS	SUPERFICIE (ha)	FECHA DE PUBLICACIÓN (DOF)	DECRETADO POR
<i>Áreas de Protección de Recursos Naturales</i>					
1	Reserva Forestal El Gavilán	Minatitlán	9 682	3 de noviembre de 1923	Álvaro Obregón
2	Zona Protectora Forestal Bosques de la Región de Tocuila	Atzacan	1 100	30 de septiembre de 1931	Pascual Ortiz Rubio
3	Zona Protectora Forestal Cuenca Hidrográfica superior del Río Blanco	Nogales y Río Blanco	167 000	30 de noviembre de 1933	Abelardo R. Rodríguez
<i>Parque Nacional</i>					
4	Pico de Orizaba	La Perla, Mariano Escobedo, Ixhuatlancillo y Calchualco y 3 del estado de Puebla	19 750	4 de enero de 1937	Lázaro Cárdenas
5	Cofre de Perote	Perote, Xico, Ayahualulco y Acajete	11 700	4 de mayo de 1937	Lázaro Cárdenas
6	Cañón del Río Blanco	Orizaba, Chocamán, Fortín,	55 900	4 de mayo de 1938	Lázaro Cárdenas
7	Sistema Arrecifal Veracruzano	Veracruz, Boca del Río y Alvarado	52 238	24 de agosto de 1992	Carlos Salinas de Gortari
<i>Áreas de Protección de Recursos Naturales</i>					
8	Zona Protectora Forestal Río la Carbonera	Nogales y Río Blanco	22 050	26 de noviembre de 1936	Lázaro Cárdenas
9	Zona Protectora Forestal de la Ciudad de Orizaba	Orizaba	51 500	17 de marzo de 1938	Lázaro Cárdenas
10	Zona Protectora Forestal del Puerto y Ciudad de Veracruz	Veracruz	3 200	20 de diciembre de 1938	Lázaro Cárdenas
11	Reserva Nacional Forestal San José de los Molinos	Perote	2 995	5 de octubre de 1942	Manuel Ávila Camacho
12	Presa Chicayán	Ozuluama	265 000	3 de agosto de 1949	Miguel Alemán Valdés
<i>Áreas de Protección de Flora y Fauna</i>					
13	Zona de Protección Forestal y Fáunica Santa Gertrudis	Vega de Alatorre	925	16 de agosto de 1982	José López Portillo
14	Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan	Tamiahua y Tuxpan	30 571-15-03.44	5 de junio de 2009	Felipe de Jesús Calderón Hinojosa
<i>Reservas de la Biosfera</i>					
15	Los Tuxtlas	Ángel R. Cabada, Catemaco, Mecayapan, Pajapan, San A. Tuxtla, Santiago Tuxtla, Sotapan y Tatahuicapan	155 122-46-00	23 de noviembre de 1998	Ernesto Zedillo Ponce de León

\* Información proporcionada por la entonces Coordinación General de Medio Ambiente del Estado de Veracruz, junio del 2009.

CUADRO 7. Áreas naturales protegidas de competencia estatal en Veracruz\*

No.	NOMBRE	MUNICIPIOS	SUPERFICIE (ha)	(FECHA FIRMA PUBLIC)	DECRETADO POR	POB. BENEF.	PROG. DE MANEJO
<i>Parque</i>							
1	Fco. Javier Clavijero	Xalapa	76-94-43.51	27/12/1975	Rafael Hernández Ochoa	500 000	No
<i>Parque Ecológico</i>							
2	Macuiltépetl	Xalapa	31-09-06	28/11/1978			No
<i>Área Verde Reservada para la Recreación y Educación Ecológica</i>							
3	Predio Barragán	Xalapa	1-02-87.10	30/10/1980			No
4	San Juan del Monte	Las Vigas	609-62-52	30/10/1980		6 000	Sí
<i>Zona de Protección Ecológica</i>							
5	Tejar Garnica	Xalapa	133-08-84	23/09/1986	Agustín Acosta Lagunes	500	Sí
6	Molino de San Roque	Xalapa	15-42-85	23/09/1986			No
<i>Parque Ecológico</i>							
7	Médano del Perro	Veracruz	1-91-75	27/11/1986			No
<i>Área de Conservación Ecológica</i>							
8	Cerro de la Galaxia	Xalapa	40-11-85	05/11/87*	12/02/91**	500	No
<i>Reserva Ecológica</i>							
9	Tatocapan	Santiago Tuxtla	0-83-95	11/06/1991		500	No
10	Pacho Nuevo	Emiliano Zapata	2-98-66.80	29/08/1991		1 000	No
11	Río de Pancho Poza	Altotonga	56-99-10	25/01/1992		10 000	Sí
12	Cerro de las Culebras	Coatepec	39-28-48	05/05/1992		5 000	Sí
<i>Área Natural Protegida</i>							
13	Río Filobobos y su entorno	Atzalan y Tlapacoyan	10 528-31-58	11/08/1992		15 000	Sí
<i>Zona Sujeta a Conservación Ecológica y de Valor Escénico</i>							
14	Santuario del Loro Huasteco	Pánuco	68-67-12	17/11/1999	Miguel Alemán Velazco	90 000	Sí
<i>Reserva Ecológica</i>							
15	Arroyo Moreno	Boca del Río	249-68-14.48	25/11/1999		135 000	Sí
<i>Zona Sujeta a Conservación Ecológica</i>							
16	Ciénaga del Fuerte	Tecolutla	4 269-50-00	26/11/1999		25 000	Sí
<i>Reserva Ecológica</i>							
17	Sierra de Otontepec	Chontla, Citlaltépetl, Tantima, Tancoco, Tepetzintla, Cerro Azul, Chicontepec e Ixcatepec	15 152-00-00	02/03/2005	Fidel Herrera Beltrán	200 000	Sí

\* Información proporcionada por la entonces Coordinación General de Medio Ambiente del Estado de Veracruz, junio del 2009.

CUADRO 8. Áreas privadas de conservación en Veracruz\*

No.	CATEGORÍA	NOMBRE	MUNICIPIOS	SUPERFICIE) (ha)	POBLACIÓN BENEFICIADA	FECHA DE CERTIFICACIÓN	LINEAMIENTOS
1	Reserva Campesina	Barra de Galindo	Tuxpam	122-00-00	600	19/11/2002	SÍ
2	Reserva Privada de Conservación	El Dorado	Boca del Río	4-93-16	2 000	19/12/2002	SÍ
3	Reserva Privada de Conservación	Salsipuedes	Uxpanapa	6,000-00-00	5 000	20/06/2003	SÍ
4	Reserva Privada de Conservación	Dos Esteros	Gutiérrez Zamora	10-00-00	1 000	29/08/2003	SÍ
5	Reserva Campesina	Los Castillos	Uxpanapa	142-00-00	1 000	22/01/2004	SÍ
6	Reserva Privada de Conservación	El Lirial	Minatitlán	115-00-00	1 000	06/08/2004	SÍ
7	Reserva Privada de Conservación	El Mosta	Minatitlán	50-00-00	1 000	06/08/2004	SÍ
8	Reserva Privada de Conservación	Talhpan	Papantla	24-54-11	1 000	06/08/2004	SÍ
9	Reserva Privada de Conservación	Cimarrón del Noreste	Pánuco	370-80-19	1 000	16/11/2004	SÍ
10	Reserva Privada de Conservación	La Joya	Boca del Río	4-03-06.02	1 000	16/11/2004	SÍ
11	Reserva Privada de Conservación	La Mancha	Actopan, Veracruz.	83-29-83	2 000	28/01/2005	SÍ
12	Reserva Privada de Conservación	Conjunto Campestre Sustentable Dos Manantiales	Banderilla, Xalapa y Rafael Lucio	127-44-22.62	5 000	05/04/2006	SÍ
13	Reserva Privada de Conservación	El Mirador de Pancho Poza	Altotonga	0-48-11.93	2 000	29/06/2007	SÍ
14	Reserva Privada de Conservación	Rancho El Mirador	Altotonga	0-61-46.86	2 000	29/06/2007	SÍ
15	Reserva Privada de Conservación	Rancho Zoatzingo	Altotonga	05/05/1984	500	29/06/2007	SÍ
16	Reserva Privada de Conservación	Cerro de Espaldilla	Misantla	14-55-29.74	1 000	29/06/2007	SÍ
17	Reserva Privada de Conservación	La Recompensa	Altotonga	26-48-10	1 000	01/08/2007	SÍ
18	Reserva Privada de Conservación	La Montaña	Minatitlán	12-86-54.33	1 000	01/08/2007	SÍ
19	Reserva Privada de Conservación	El Cantil Blanco	Emiliano Zapata	50-00-00	2 000	09/04/2008	SÍ
20	Reserva Privada de Conservación	Rancho Martínez	Nogales	13-93-68	500	09/04/2008	SÍ
21	Reserva Privada de Conservación	Dunas de Cansaburro	Actopan	6-00-00	1 000	09/04/2008	SÍ
22	Reserva Privada de Conservación	Los Álamos	Calchualco	10-99-00	500	09/04/2008	SÍ
23	Reserva Campesina	Nace el Río	Actopan	3-47-03.82	1 000	06/10/2008	SÍ
24	Reserva Privada de Conservación	Rancho Tixtla	Coatepec	9-97-39	500	06/10/2008	SÍ
25	Reserva Privada de Conservación	Las Palmas	Zentla	13-17-25	500	06/10/2008	SÍ
26	Reserva Privada de Conservación	Paso Iguana	Zentla	90-00-00	500	06/10/2008	SÍ
27	Reserva Privada de Conservación	La Junta	Ixhuatlán del Café	5-66-51	500	06/10/2008	SÍ
28	Reserva Campesina	Rancho Miramar	Naolinco	9-61-63.14	500	06/10/2008	SÍ
29	Reserva Campesina	El Chaparral	Minatitlán	100-00-00	2 000	06/10/2008	SÍ
30	Reserva Campesina	Ejido Moral y Mosquitero	Alvarado	70-00-00	1 000	06/10/2008	SÍ
31	Reserva Privada de Conservación	CBTis No. 13	Xalapa	3-70-00	10 000	06/10/2008	SÍ
32	Reserva Privada de Conservación	El Cascabel	Chinameca	50-00-00	2 000	06/10/2008	SÍ
33	Reserva Campesina	La Selva del Faisán	Uxpanapa	772-00-00	1 000	30/03/2009	SÍ
34	Reserva Campesina	La Selva del Mono Araña	Jesús Carranza	653-60-00	1 000	30/03/2009	SÍ
35	Reserva Privada de Conservación	Barrancas El Castillo	Zentla	98-06-70	500	30/03/2009	SÍ
36	Reserva Campesina	Ejido el Roble	Emiliano Zapata	179-93-46.93	1 000	30/03/2009	SÍ
37	Reserva Privada de Conservación	La Pitaya	Apazapan	201-14-00	500	30/03/2009	SÍ
38	Reserva Privada de Conservación	El Bosque de los Murmullos	Perote	12-25-52	500	30/03/2009	SÍ
39	Reserva Privada de Conservación	Reserva del Bicentenario	Zongolica	63-00-00	2 000	30/03/2009	SÍ

\*Información proporcionada por la entonces Coordinación General de Medio Ambiente del Estado de Veracruz, junio 2009.

CUADRO 9. Sitios RAMSAR en Veracruz\*

No	NOMBRE	SUPERFICIE (ha)	FECHA INCORPORACIÓN	MUNICIPIO
1	Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano	52 238	02/02/2004	Veracruz y Boca del Río
2	Manglares y Humedales de la Laguna de Sontecomapan	8 921	02/02/2004	Catemaco
3	Sistema Lagunar Alvarado	267 010	02/02/2004	Alvarado
4	La Mancha y El Llano	1 414	02/02/2004	Actopan
5	Humedales de la Laguna La Popotera	1 975	05/06/2005	Alvarado y Lerdo de Tejada
6	Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz	141	02/02/2005	Veracruz y Boca del Río
7	Laguna de Tamiahua	88 000	27/11/2005	Tamiahua, Tamalín, Ozuluama, Tampico Alto y Tuxpan
8	Manglares y Humedales de Tuxpan	6 870	02/02/2006	Tuxpan
9	Cascada de Texolo y su Entorno	500	02/02/2006	Xico

\*Información proporcionada por la entonces Coordinación General de Medio Ambiente del Estado de Veracruz, junio 2009.

### ACCESO A LA JUSTICIA AMBIENTAL

En este apartado se pretende dar a conocer un esquema general para acceder a la justicia ambiental en materia de biodiversidad. Por lo anterior se hará mención de los mecanismos federales y estatales en aras de conocer su protección.

Nuestro sistema jurídico contempla la garantía constitucional, tanto en el ámbito federal, en el artículo 4º, como en el estatal, en el numeral 8º, del derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar; de lo anterior se desprende la importancia de regular y responder a ese derecho que beneficia a todos los ciudadanos.

La justicia para el medio ambiente se sostiene sobre dos aspectos: el deber del Estado de proteger el medio ambiente y promover el desarrollo sostenible en beneficio de las generaciones presentes y futuras, y el derecho que toda persona tiene a esa garantía. Por ello, el ciudadano es igualmente responsable de la preservación, restauración y equilibrio del ambiente, a través del ejercicio de la acción

popular (participación ciudadana en la solución de temas que le afectan de manera indirecta o directa), traducido en la “Denuncia Popular”<sup>5</sup> ante la autoridad administrativa, la cual está considerada tanto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protec-



FIGURA 6. Área Natural Protegida “El Tejar-Garnica” en Xalapa (Foto: Coordinación General de Medio Ambiente).

<sup>5</sup> Entiéndase por “Denuncia Popular”, acorde a la legislación ambiental federal y estatal como: “Toda persona, grupos sociales, organizaciones no gubernamentales, asociaciones y sociedades podrán denunciar ante la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente o ante otras autoridades todo hecho, acto u omisión que produzca o pueda producir desequilibrio ecológico o daños al ambiente o a los recursos naturales, o contravenga las disposiciones de la presente Ley y de los demás ordenamientos que regulen materias relacionadas con la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico”.

ción al Ambiente como en la Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz en sus artículos 189 y 194, respectivamente. A este respecto, también son relevantes los mecanismos de participación social previstos en esas leyes y otros ordenamientos ambientales mencionados en este capítulo, así como la posibilidad de acceder a juicios en la materia ante instancias del poder judicial federal o estatal, pues las competencias para recurrir a la impartición de justicia dependerán de que la hipótesis legal se actualice, es decir, la conducta acontezca.

El acceso a la justicia ambiental, entendida como la posibilidad de obtener la solución expedita y completa por parte de las autoridades en relación con un conflicto jurídico que afecte la garantía al medio ambiente, presenta la formulación de reformas y análisis en las legislaciones aplicables y en el propio sistema jurídico. En este sentido, es posible considerar: la materia civil, la penal y la administrativa (vida silvestre), todas con la finalidad de tutelar ese derecho.

#### **Acceso a la justicia ambiental en materia civil**

La materia civil, de manera general, fue concebida para la tutela de los intereses individuales, es decir, sobre la persona, y es estrictamente aplicable de acuerdo con la legislación civil vigente establecida a nivel federal y estatal en el Código Civil correspondiente. Se acciona cuando la persona ve afectada su esfera jurídica<sup>6</sup> y recurre ante la autoridad a solicitar la solución que podría ser la reparación del daño. Ese interés se transforma, en particular cuando hay un

interés social involucrado, es decir, cuando un hecho altera al entorno de más de una persona y en distintos aspectos, ya sea económicos, sociales o culturales. Un ejemplo específico lo constituye el derrame de hidrocarburos ocurrido el 22 de diciembre de 2004 en el sur de la entidad veracruzana, situación en la que cada persona afectada tuvo que solicitar la reparación del daño. No se conoce aún sentencia sobre reparación del daño por ese acontecimiento.

#### **Acceso a la justicia ambiental en materia penal**

En materia penal, la protección del bien jurídico tutelado del medio ambiente son conductas descritas, tanto en el Código Penal Federal como Estatal, como las que afecten el entorno ecológico y a la colectividad. Éstas tendrán una sanción corporal y pecuniaria (prisión y multas). Sin embargo, los tipos penales ambientales vigentes en el Código Penal Federal, en específico, del artículo 414 al 429 que considera Delitos Contra el Ambiente y la Gestión Ambiental, así como el Código Penal Estatal, en el artículo 259, que consideran Delitos de Peligro contra la Seguridad Colectiva en Veracruz, presentan para su aplicación un procedimiento punitivo en el que se evalúa la responsabilidad penal como un instrumento de control coercitivo. Para el caso de Veracruz existe un candado político como lo podemos ver en el artículo 264 que a la letra dice: “Los delitos del presente capítulo se perseguirán por querrela de la autoridad estatal competente para conocer del asunto en términos de la ley estatal en materia de protección ambiental. La

<sup>6</sup> Esfera jurídica que considera el “interés jurídico” entendido, para efectos de este trabajo, como la vía para acceder ante un órgano jurisdiccional (Juzgado, Tribunal Superior de Justicia, Tribunal Colegiado de Circuito, etc.) para la impartición de justicia, que en materia civil, es personal. Es de interés proponer como tema de análisis para estudiosos del derecho ambiental romper el esquema y transformar nuestro proceso tradicional, individual y directo, en un juicio de acceso colectivo, es decir, mediante el cual cualquier persona reclame la transgresión a un derecho constitucional y se puedan sumar las del resto de la colectividad, lo que daría un nuevo enfoque a la justicia “ambiental” y al ejercicio de la actividad judicial. Cabe destacar que actualmente este tema se encuentra en estudio dentro del denominado derecho difuso y que la Suprema Corte de Justicia de la Nación, máximo órgano de interpretación de las leyes, no resuelve aún por la complejidad de aspectos económicos, políticos e incluso sociales que conlleva. Así como que el derecho a un medio ambiente adecuado es tratado ya como un derecho de generación de derechos humanos

autoridad podrá otorgar el perdón judicial cuando se acredite haber pagado la reparación del daño y las multas impuestas. Si el daño ambiental es irreversible, se perseguirá de oficio. Al servidor público que, aprovechándose de sus funciones intervenga en la comisión de estos delitos, se le aumentará la pena de prisión hasta en cinco años y se le destituirá e inhabilitará para ocupar el empleo, cargo o comisión públicos por un tiempo igual”. Tipo penal que sólo se hará efectivo si la autoridad competente denuncia los hechos.

Los ilícitos relacionados con el ambiente han crecido en número y complejidad. En respuesta a este incremento, el Gobierno Federal, a través de la Procuraduría General de la República, creó la Unidad Especializada en Delitos Ambientales y Agencias del Ministerio Público ubicadas dentro del territorio nacional para proteger ese bien jurídico. En el estado de Veracruz no contamos con agencias especializadas, ni procuraduría en delitos ambientales e incluso no se registra ningún caso que actualice el tipo penal señalado en el Código Penal del Estado. Cabe destacar que conforme al artículo 264, descrito literal líneas arriba, del Código en referencia, los delitos se perseguirán por querrela por la autoridad competente, la que podrá acudir a los tribunales para la impartición de justicia, en términos de la Ley Estatal de Protección Ambiental, esto es, a través de la denuncia popular.

#### **Acceso a la justicia ambiental en materia administrativa**

La materia administrativa regula el desempeño de las autoridades encargadas del control y vigilancia de la conservación, protección y preservación del medio ambiente, así como procedimientos para la aplicación de la normatividad ambiental que van desde autorizaciones hasta clausuras de obras que versen en materia ambiental, como se describe en la LGEEPA, en la LEEPA y en las leyes municipales.

En la materia administrativa se ubica la figura de la “Denuncia Popular” ya explicada anteriormente y en la que podemos ubicar a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Estatal de Protección Ambiental y a la Ley General de Vida Silvestre. Ésta se utiliza como herramienta jurídica que posibilita la manifestación mediante la cual cualquier persona física o moral hace del conocimiento de la autoridad competente algún hecho que contraviene un mandamiento legal ambiental. Además de ampliar el campo de la participación ciudadana, es un mecanismo que contribuye a la aplicación de las leyes mencionadas.

El análisis del acceso a la justicia en materia ambiental es complejo por la situación que presenta la legitimación para accionarla conocido en el ámbito legal como “Interés Jurídico”, que sería un componente de lo que podría llamarse “La justicia para el medio ambiente”.

#### **CONCLUSIONES**

En Veracruz es clara la necesidad de considerar como tema prioritario la materia ambiental, así como subsanar la falta de actualización, aplicación, regulación, cumplimiento de la legislación ambiental existente y un marco regulatorio, con la reciente aprobación de la Ley Estatal de Vida Silvestre, el pasado 23 de octubre de 2009, pero se carece del reglamento de la Ley Estatal de Protección Ambiental y hacen falta normas o criterios a la par de reglamentos municipales, y de una Secretaría exclusiva en materia ambiental que esté encargada de promover, coordinar e instrumentar las estrategias que permitan proteger, conservar y preservar el patrimonio natural de los veracruzanos.

Otra debilidad importante es la falta de visión, a largo plazo, de los procesos de planeación y la inexistente continuidad de los programas y acciones estatales y municipales ante el cambio de la admi-

nistración pública de las autoridades y tomadores de decisiones.

En materia de impartición de justicia debería considerarse la creación de agencias investigadoras o agencias especializadas en delitos contra el ambiente. En materia legislativa es necesario realizar estudios exhaustivos de leyes hacendarias que consideren el costo-beneficio de los servicios ambientales contra el daño ambiental ocasionado por la instrumentación de programas de desarrollo que no toman en cuenta los daños ambientales. Asimismo, debería considerarse la creación y puesta en marcha de instrumentos económicos, por ejemplo, algunos impuestos ambientales en los tres niveles de gobierno que incidan en el cambio de hábitos de consumo y creen incentivos para disminuir el impacto negativo sobre el entorno ambiental (Moreno Arellano *et al.*, 2002).

Finalmente, es imperativa la puesta en práctica de la corresponsabilidad ambiental con procesos participativos efectivos de gestión de los recursos naturales compartida entre el gobierno y la sociedad.

Actualmente, para cumplir con la normatividad ambiental, dadas las circunstancias económicas, se requiere de alternativas que en el país se empiezan a establecer: políticas públicas para legitimar las funciones en general y, en concreto, las de inspección y vigilancia, como el programa de auditoría ambiental, con la finalidad de impulsar la política ambiental desde otras perspectivas.

Se requiere también del fortalecimiento de esquemas de coordinación de políticas públicas que consideren, en un mediano plazo, la transectorialidad y la descentralización en materia de biodiversidad.

Finalmente, la regulación de la gestión de los recursos naturales busca crear las condiciones para mitigar los riesgos o impactos que se deriven y para mantener el equilibrio ecológico, y así dar certeza jurídica tanto a quienes sean responsables de darles cumplimiento como a la sociedad y a los inversionistas, para mantener un desarrollo sustentable. Por lo anteriormente expuesto, se sugiere:

Poder Ejecutivo, Poder Legislativo y Poder Judicial

1) Tres niveles de Gobierno; Concientizar, capacitar y hacer cumplir el marco jurídico sobre la importancia de la biodiversidad a los funcionarios y tomadores de decisiones, a través de un programa transversal que dirija Semarnat en coordinación con el Gobierno del Estado y convoque a los municipios que presenten mayor impacto ambiental en su biodiversidad.

Poder Ejecutivo Estatal y municipal

2) Se ejercite y fortalezca la legislación ambiental vigente y aspectos de gestión ambiental, en aras de conocer su efectividad, de lo contrario tomar las medidas necesarias a efecto de satisfacer las necesidades y el bien común de los ciudadanos.

Poder Ejecutivo en coordinación con el Legislativo: Estatal-Municipal

3) La armonización de la legislación e instituciones ambientales:

Reglamentar la Ley Estatal de Protección Ambiental en las materias de Áreas Naturales Protegidas, Forestal, Residuos y demás que se vinculen.

Fortalecer la gestión ambiental en materia de biodiversidad a través de certificaciones, inspección ambiental, criterios y normas técnicas ambientales.

Realizar los programas de manejo de las Áreas Naturales Protegidas y revisar los existentes para conocer la efectiva vigencia de los objetivos, lo anterior debido al crecimiento acelerado de las manchas urbanas que afectan a las poligonales de las citadas áreas que requieren de protección.

Poder Ejecutivo Estado-Municipios

4) Planear a corto plazo la solución a los problemas en aras de evitar la falta de continuidad de los programas y acciones estatales y municipales, ante el cambio de la administración pública.

Poder Ejecutivo-Poder Legislativo. Tres niveles de gobierno

5) Estudiar y legislar sobre el costo-beneficio de los servicios ambientales y el daño ambiental.

Poder Ejecutivo de los tres niveles de gobierno.

6) Armonizar las políticas públicas en congruencia básica con las estrategias de conservación de biodiversidad existentes.

#### LITERATURA CITADA

BRAÑES, R. 2000. *Manual de derecho ambiental mexicano*, Fondo de Cultura Económica, México.

SEMARNAT. 2005. Indicadores Básicos del Desafío Ambiental de México. (CD) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, *Diario Oficial de la Federación*, 28 de enero de 1988.

———, 2000. Ley General de Vida Silvestre, *Diario Oficial de la Federación*, 3 de julio de 2000.

GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ. 1917. Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave, *Gaceta Oficial del Estado*

*de Veracruz de Ignacio de la Llave*, 25 de septiembre de 1917.

———, 2000. Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz de Ignacio de la Llave, *Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*, 30 de junio de 2000.

———, 2006. Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, *Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*, 14 julio de 2006.

——— 1999. Ley de Desarrollo Regional y Urbano del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, *Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*, 17 de abril de 1999.

——— 2001. Ley Orgánica del Municipio Libre, *Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*, 5 de enero de 2001.

——— 2005. *Plan Veracruzano de Desarrollo 2005- 2010*. 30 de marzo del 2005.

——— 2006. II *Informe de Gobierno*. Veracruz 2006

MORENO, A. G., Mendoza, S. P. y Ávila F. S. (comps.). 2002. *Impuestos ambientales*. 2002. Lecciones en países OCDE y experiencia en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México. pp. 92.

# Áreas Naturales Protegidas



Jorge E. Morales-Mávil  
Robert Manson  
Wilfrido Márquez Ramírez

## INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) continúan siendo una de las mejores estrategias para la conservación de la biodiversidad; sin embargo, muchas de ellas siguen sin cumplir con los objetivos para los que fueron creadas. Actualmente en el estado de Veracruz existen 80 espacios naturales protegidos, donde se incluyen 17 áreas de administración estatal (apéndice III.1), 15 áreas de administración federal (apéndice III.2), 9 sitios Ramsar (apéndice III.3), además de 39 áreas privadas de conservación (apéndice III.4) (Sedesma, 2009). En este capítulo se analizan principalmente las 32 áreas naturales protegidas, excluyendo en algunos apartados a los sitios Ramsar y áreas privadas de conservación.

El estado de Veracruz cuenta con una superficie de 72 410 km<sup>2</sup>, ubicándose en el décimo lugar en extensión dentro de la República Mexicana; abarca 780 kilómetros de longitud y aproximadamente 750 kilómetros de litoral. Además de su reconocida alta diversidad biológica (se considera el tercer

estado con mayor biodiversidad en México), cuenta con casi todos los climas descritos para el país (más de 40 tipos), y contiene una variada topografía que provoca pisos altitudinales que van desde el nivel del mar hasta los 5 747 msnm en la montaña más alta del país: el Pico de Orizaba (Gobierno del Estado de Veracruz, 2005) (figura 1).

Conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico (artículo 46), se consideran Áreas Naturales Protegidas las siguientes: *i*) Reserva de la Biosfera; *ii*) Parque Nacional, *iii*) Monumentos Naturales; *iv*) Área de Protección de Recursos Naturales; *v*) Área de Protección de Flora y Fauna; *vi*) Santuarios; *vii*) Parques y Reservas Estatales, y *viii*) Zonas de Protección Ecológica de los Centros de Población. Esta ley determina que los gobiernos de los estados, en los términos que establezca su legislación, podrán establecer parques y reservas estatales, y los municipios establecerán zonas de preservación ecológica de los centros de población conforme a lo previsto en la legislación local.



FIGURA 1. Panorámica del Pico de Orizaba, la montaña más alta en el país (Foto: Efraín R. Martínez Barradas).

### DECRETOS Y CERTIFICACIONES PARA LOS ESPACIOS PROTEGIDOS

La primer área natural protegida fue la Reserva Forestal El Gavilán, decretada en 1923 por el general Álvaro Obregón. Durante la década de los treinta, bajo la presidencia del general Lázaro Cárdenas (1936-1940), se dio gran impulso a la creación de parques nacionales, zonas protectoras forestales y reservas forestales, creándose por primera vez una sección en la administración gubernamental encargada del manejo de estas áreas (Vargas, 1984; Ordóñez y Flores, 1995). En total se establecieron seis áreas, tres de ellas Parques Nacionales y tres Áreas de Protección de Recursos Naturales. Desde los años cuarenta y hasta mediados de los setenta, el crecimiento de las ANP fue mínimo (dos decretos federales y dos estatales). Durante este periodo la Ley Forestal sufrió modificaciones orientadas a la protección de la fauna silvestre y al control de la explotación forestal (Peña-Jiménez *et al.*, 1998).

En la década de los setenta, el gobierno del estado inició el complemento de las áreas protegidas mediante decretos estatales, los cuales han continuado hasta el presente, siendo la Reserva Ecológica Sierra de Otontepec la última, declarada en el año 2005. El área más actual de administración federal en el estado, fue el Sis-

tema Arrecifal Lobos-Tuxpan, que se decretó recientemente, en junio de 2009. Antes de ésta habían pasado más de diez años (1998) sin decreto federal en el estado. La mayoría de las áreas se determinaron en la década de los noventa (diez áreas), siguiendo con menor número de áreas decretadas en la década de los treinta (con ocho zonas) y la de los ochenta (con siete) (figura 2). En conjunto, las áreas federales y estatales cubren 880 935.8 ha, es decir, 12.16 % de la superficie del estado.

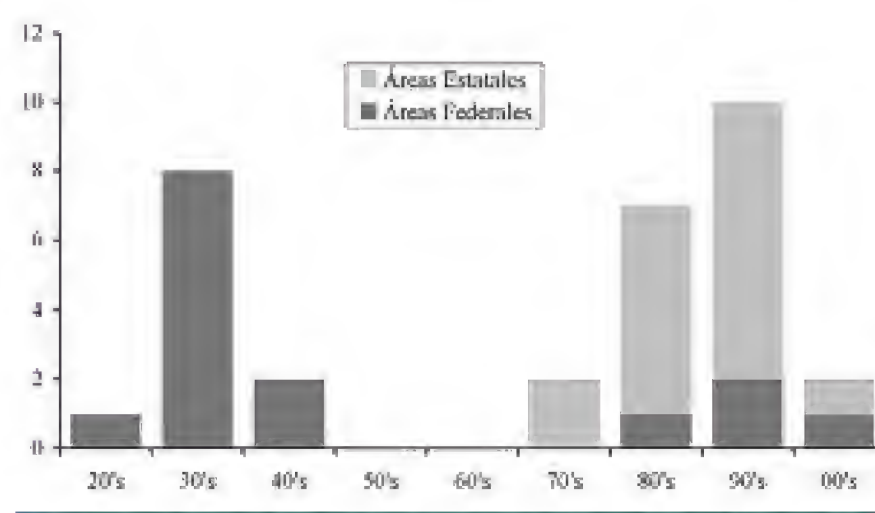


FIGURA 2. Número de decretos de ANP por década en Veracruz.

Si bien no ha habido decretos federales en la última década y los estatales también han disminuido significativamente, es posible que esto se deba a la aparición de nuevas estrategias de conservación, como son los sitios Ramsar (con 427 069 ha) y las áreas privadas de conservación (con 9 530.62 ha) que, a partir del 2002 (figura 3), se han ido incorporando y certificando para cubrir una superficie importante de preservación.

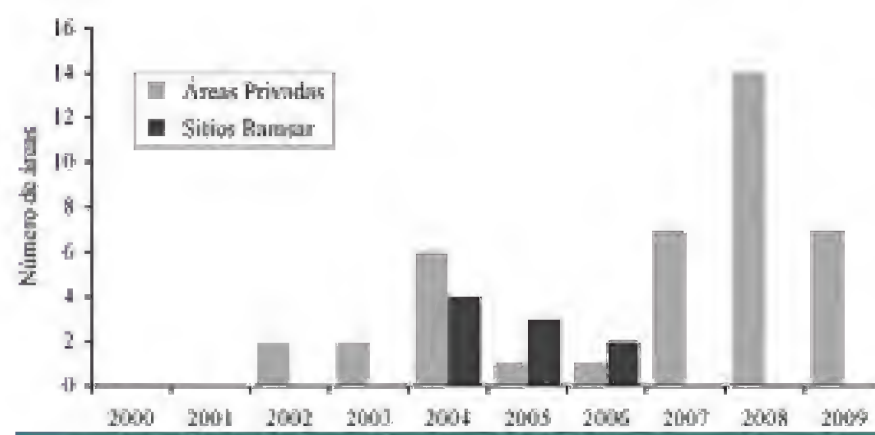


FIGURA 3. Número de áreas áreas privadas de conservación y los sitios Ramsar decretados por año en el estado de Veracruz.

TAMAÑO, NÚMERO DE ÁREAS Y SUPERFICIE PROTEGIDA EN EL ESTADO

El total de espacios protegidos en Veracruz suma 880 935.8 ha, lo que corresponde al 12.16 % de la superficie del estado. De este total, 31 277.3 corresponden a las áreas estatales (0.43 % del estado) y 849 659.5 ha a las federales (11.73 % del estado). Existe una gran variación en cuanto a la extensión de las ANP de Veracruz. Dentro de las áreas de administración estatal se pueden encontrar aquellas que tienen menos de una hectárea, como Tatocapan (0.83 ha), hasta sitios de más de quince mil hectáreas como la Reserva Ecológica Sierra de Otontepec (15 152 ha). De las 17 áreas de competencia estatal, la mayor parte (64.7 %) tienen menos de 100 ha de superficie, y sólo dos (11.7 %) sobrepasan las 10 mil ha (figuras 4 y 5).

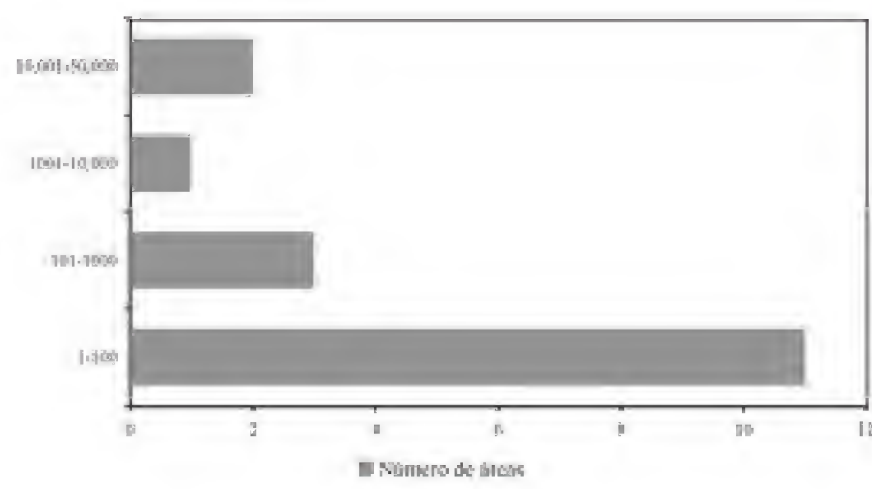


FIGURA 4. Número de áreas protegidas de competencia estatal por intervalo de superficie (ha).

Por otra parte, en las áreas de administración federal se muestra una tendencia contraria, es decir, son de mayores dimensiones, la más pequeña corresponde a la Zona de Protección Forestal y Faúnica Santa Gertrudis (925 ha), mientras que la mayor es la Presa Chicayán, con 265 000 ha (figura 6). La tendencia en las áreas de competencia federal es a decretar grandes superficies, ya que la mayor parte de éstas (42.8 %) corresponde a sitios superiores a 50 000 ha, y sólo un porcentaje bajo (7.1 %) pertenece a sitios menores a 1 000 ha (figura 7).



FIGURA 5. El río Filobobos y su entorno es una de las dos áreas naturales protegidas de administración estatal que sobrepasan las 10 000 ha (Foto: Efraín R. Martínez Barradas).



FIGURA 6. La Presa Chicayán, en el municipio de Ozuluama, es el área natural protegida más extensa en Veracruz, con 265 000 ha (Foto: Efraín R. Martínez Barradas).

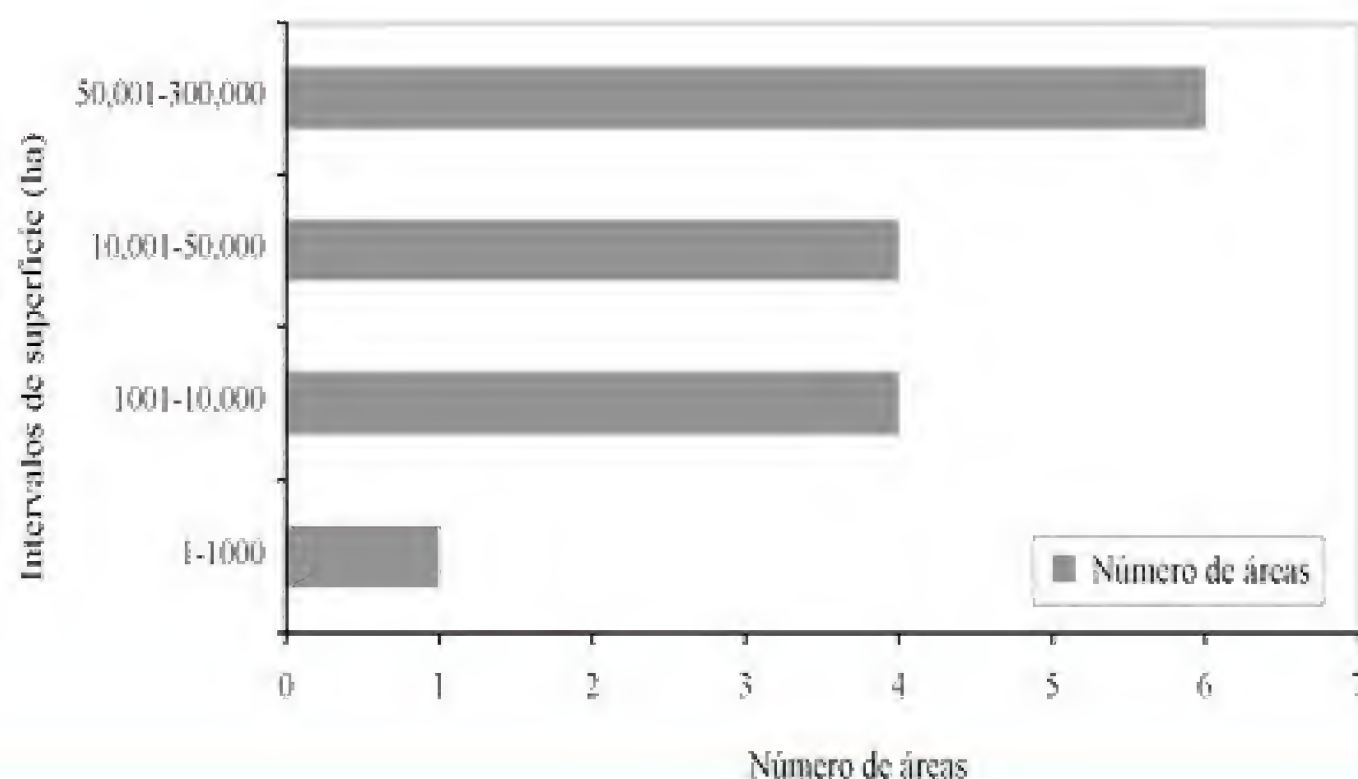


FIGURA 7. Número de áreas protegidas de competencia federal, por intervalo de superficie (ha).

Para comparar la situación geográfica de las áreas protegidas, consideramos las tres regiones biogeográficas sugeridas por Pérez-Higareda y Navarro (1980), que caracterizan tres regiones naturales con niveles topográficos y condiciones ecológicas diferentes. Estas tres regiones comprenden: *a*) La porción norte, que se extiende desde la orilla sur del río Tamesí en el extremo norte de Veracruz, hasta el río Nautla; comprende principalmente planicies y tierras bajas semiáridas, las variantes topográficas más importantes son, la huasteca veracruzana en el extremo noreste y una zona montañosa cerca del límite con Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo, donde se incluye la porción montañosa conocida como Sierra de Tantima, que alcanza una altitud de 700 msnm; *b*) la porción central, que se encuentra entre los ríos Nautla y Papaloapan, incluye las montañas de mayor altitud en el estado, que son una extensión de la Sierra Madre Oriental, con elevaciones mayores a 3 000 msnm (por ejemplo, los volcanes Cofre de Perote y Pico de Orizaba) esta zona tiene una extensión hacia la planicie costera, y *c*) la porción sureste, que se localiza entre las cuencas de los ríos Papaloapan y Tonalá y se caracte-

riza por zonas de sabana hacia el oeste, cerca de los límites con Oaxaca; en su parte sureste, se localiza la región montañosa de Los Tuxtlas, en la cual se encuentran tres elevaciones importantes sobre los 1 200 msnm (Volcán de San Martín, Volcán de Santa Martha y Volcán San Martín Pajapan), compuestas de selvas altas perennifolias y bosques de encinos, rodeadas por tierras y planicies de baja altitud (Pérez-Higareda y Smith, 1991). La distribución de las ANP del estado en estas tres regiones de dimensiones similares, muestra que la mayoría de ellas se sitúan en la porción central, tanto las de administración estatal (51.3 %) como federal (45.9 %). Asimismo, la superficie protegida en esta porción es significativamente superior a las otras dos, con 405 338.9 ha, lo que equivale a poco menos de la mitad de la superficie protegida por ANP para el estado (45.95 %). Esto implica que en la zona sur, donde se encuentra el límite norte de la selva alta perennifolia e importantes zonas de humedales, la superficie protegida es apenas del 19.4 % (164 85.3 ha); mientras que la porción norte cubre 295 271.1 ha (34.7 % del total protegido para el estado) (cuadro 1).

CUADRO 1. Porcentaje de ANP presentes en tres regiones del estado de Veracruz

PORCIÓN DEL ESTADO	NÚMERO DE ÁREAS ESTATALES	SUPERFICIE ESTATAL (ha)	PORCENTAJE %	NÚMERO DE ÁREAS FEDERALES	SUPERFICIE FEDERAL (ha)	PORCENTAJE %	SUPERFICIE TOTAL POR PORCIÓN (ha)	PORCENTAJE %
Norte	2	15 220.6	48.7	2	295 271.1	34.7	310 491.7	37.0
Centro	14	16 055.9	51.3	11	389 283.0	45.9	405 338.9	45.9
Sur	1	0.8	0.002	2	164 804.4	19.4	164 805.3	18.7
Total	17	31 277.3	100	15	849 658.5	100	880 935.8	101.6

Actualmente, las ANP en Veracruz están en proceso de estudio y evaluación. La Coordinación Estatal de Medio Ambiente del Estado está generando los programas de manejo para las áreas de competencia estatal. Hasta el momento pueden contarse siete programas publicados y dos en proceso de publicación, lo que en conjunto equivale al 52.9 % del total de estas áreas. Para las áreas de competencia federal, que administra la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), no se cuenta aún con programas de manejo publicados, aunque al menos tres están en proceso de publicación (Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (figura 8), Parque Nacional Cofre de Perote y Parque Nacional Pico de Orizaba). Esto significa que el 80 % de las ANP de administración federal no cuentan aún con programas publicados para su conservación y manejo.

Con respecto a las áreas privadas de conservación y sitios Ramsar, el escenario no es muy diferente. Para los sitios Ramsar, por ejemplo, la situación por porciones del estado muestra que la porción central sigue siendo la que agrupa más sitios (44.4 %), a diferencia de la zonas sur y norte (33.3 % y 22.2 %, respectivamente). Respecto de la superficie protegida por este tipo de áreas de protección, se considerarán para el análisis solamente ocho de los nueve sitios, debido a que el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, fue incorporado como sitio Ramsar el 2 de febrero de 2004, pero también tiene decreto federal como área protegida desde 1992, y aparece en la evaluación previa realizada para las ANP. Una vez hecha esta aclaración, la



FIGURA 8. Cascada de Eyipantla en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, una de las pocas áreas federales que cuentan con programa de manejo (Foto: Jorge E. Morales Mávila).

superficie total que protegen estas áreas en el estado, suma 374 831 ha; la distribución de ésta en cada porción del estado muestra que la zona sur es la que protege la mayor superficie (74.14 %), a diferencia de la zona norte (25.3 %) y la porción central (0.55 %) (cuadro 2).

CUADRO 2. Porcentaje de áreas privadas y sitios Ramsar presentes en tres regiones del estado de Veracruz.

NÚMERO DE SITIOS RAMSAR	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE %	NÚMERO DE ÁREAS PRIVADAS	SUPERFICIE HA ()	PORCENTAJE %	SUPERFICIE TOTAL POR PORCIÓN (HA)	PORCENTAJE %
2	15 220.6	48.6	2	310 719.82	35.3	325 940.49	37.04
2	94 870	25.3	4	1 160.16	12.17	96 030.16	24.98
3	2 055	0.55	25	1 044.15	10.95	3 099.15	0.81
3	277 906	74.14	10	7 326.41	76.87	285 232.41	74.21
Total	374 831	99.99	39	9 530.62	99.99	384 361.72	100.00

NOTA: No se incluye dentro de los sitios Ramsar, el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, debido a que se encuentra integrado también como ANP de administración federal y se incluye en el cuadro 1.

Por otra parte, con referencia a las áreas privadas de conservación, se aprecia que la mayor proporción se concentra en la zona centro del estado (64.1 %) y la menor en la porción norte (10.25 %). Sin embargo, en lo que respecta a la superficie protegida, la porción sur comprende 7 326.41 ha privadas de conservación, es decir, el 76.87 %, del total, mientras que la porción central, pese a que es la zona con mayor densidad de este tipo de áreas de conservación, sólo contiene 1 044.15 ha (6.59 %) (cuadro 2). La superficie total protegida por este tipo de estrategia es de 9 530.62 ha, e incluye Reservas Campesinas y Reservas Privadas de Conservación.

El análisis global muestra que actualmente la superficie protegida en el estado totaliza 1 231 879.26 ha; lo cual comprende 1 192 993 ha protegidas por el gobierno federal y 38 886.26 ha protegidas por el gobierno del estado. El total corresponde aproximadamente al 17.01 % de la superficie del estado.

#### ECOSISTEMAS QUE PROTEGEN LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

En las áreas protegidas de Veracruz se incluyen casi todos los ecosistemas presentes en el estado,

aunque en diferentes proporciones. Los ambientes que se presentan con mayor frecuencia en las ANP son: el bosque mesófilo de montaña (31.25 % del total), la selva caducifolia (25 %), bosque de pino y bosque de pino-encino (ambos con 21.87 %) y selvas perennifolias (alta y mediana, con 18.75 %) (cuadro 3). Es difícil establecer cuál es el porcentaje de superficie representada en las ANP del estado de cada tipo de vegetación, sin embargo, en muchas de las áreas los ecosistemas primarios, principalmente los templados, han sido transformados a tal grado que los ambientes que actualmente predominan corresponden a vegetación secundaria con diversos grados de sucesión, cafetales y pastizales.

Respecto a las áreas privadas de conservación, la información sobre los ecosistemas que protegen es muy escasa; sin embargo, por su ubicación, se puede estimar que los ecosistemas que albergan son diversos, siendo principalmente bosques tropicales y bosques templados caducifolios. Por otra parte, los sitios Ramsar son incorporados para la protección de humedales, por lo tanto, incluyen básicamente ecosistemas como: manglar, tular y popal; sin embargo, debido a su extensión (la mayoría con superficie superior a 1 000 ha), llegan a conservar ambientes como, selva baja, bosque mesófilo, dunas costeras y vegetación ribereña.

CUADRO 3. Ecosistemas primarios considerados en las ANP del estado de Veracruz.

ECOSISTEMA	NÚMERO DE ÁREAS ESTATALES	PORCENTAJE	NÚMERO DE ÁREAS FEDERALES	PORCENTAJE	TOTAL DE ANP	PORCENTAJE
Bosque mesófilo	6	35.29	4	26.66	10	31.25
Bosque de pino	2	11.76	5	33.33	7	21.87
Bosque de pino-encino	2	11.76	5	33.33	7	21.87
Bosque de encino	0	0	2	13.33	2	6.25
Bosque de oyamel	0	0	2	13.33	2	6.25
Selvas perennifolias	3	17.65	3	20.00	6	18.75
Selva caducifolia	4	23.53	4	26.66	8	25.00
Vegetación ribereña	1	5.88	1	6.66	2	6.45
Manglar	2	11.76	1	6.66	3	9.37
Popal-tular	1	5.88	1	6.66	2	6.25
Sabana	1	5.88	1	6.66	2	6.25
Dunas costeras	1	5.88	2	14.28	3	9.37
Matorral xerófilo	0	0	1	6.66	1	3.12
Páramos de altura	0	0	2	13.33	2	6.25
Pastos y algas marinas	0	0	2	13.33	2	6.25

#### PROBLEMAS QUE ENFRENTAN LAS ANP

El conocimiento que se tiene sobre las Áreas Naturales Protegidas del estado es muy variable; aunque existen algunas zonas bien estudiadas, como es el caso de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, la mayoría carece de información básica sobre sus recursos. Esto, aunado a la gran diversidad de superficies y problemáticas sociales que se presentan en las áreas, plantea la necesidad inmediata de realizar un diagnóstico y una evaluación con el objetivo de reconocer con mayor exactitud cuáles son los ecosistemas y la diversidad biológica que están preservando, de tal manera que se considere, de ser necesario, la propuesta de nuevas ANP, cambios de decreto por transformación irreversible de ecosistemas e, incluso, derogación de aquellas que en la actualidad no estén protegiendo diversidad biológica relevante ni ofrezcan servicios ambientales notables.

No obstante, la evaluación de las ANP y las soluciones que se generen de ésta deberán realizarse con mucho cuidado, sobre todo si consideramos que cada área fue decretada por diferentes razones y no con el objetivo único de conservar la

biodiversidad. Algunos de los criterios que han sido considerados para el decreto de las áreas son: grado de conservación de los ecosistemas, existencia de fragmentos de vegetación nativa y en buen estado, ubicación en zonas de alta fragilidad, áreas con eventual captación de agua, sitios que generan servicios ambientales específicos, áreas potenciales para la recreación o esparcimiento y sitios con paisajes bellos.

Aunque cifras oficiales (CGEMA, 2009) señalan que las Áreas Naturales Protegidas (ANP) abarcan aproximadamente el 12.16 por ciento del territorio veracruzano –lo que ubicaría al estado en un rango aceptable en materia de preservación natural– miles de hectáreas que fueron decretadas como áreas de conservación son ahora zonas urbanas, potreros o áreas agrícolas (Morales-Mávil *et al.*, 2008). Considerando lo anterior, podemos decir que en la actualidad no se cuenta con una evaluación completa y confiable de las ANP del estado. No obstante, es apreciable que muchas áreas presentan una amplia proporción de zona urbanizada, problema que debe frenarse asegurando que la ley se cumpla y se detengan esos desarrollos ilegales. Debe reconocerse esto como una debilidad fundamental en el sistema de ANPs en el

estado de Veracruz, de tal manera que en la actualidad se requiere realizar ajustes en superficies de protección o cambios de decretos que estén más acordes con las condiciones actuales. Es el caso, por ejemplo, de las áreas federales ciudad y Puerto de Veracruz, ciudad de Orizaba o la Cuenca Hidrográfica del Cañón de Río Blanco, que fueron decretadas en la década de los treinta, cuando eran pequeños núcleos de población rodeados de un ecosistema próspero que albergaba innumerables especies animales y vegetales. Hoy, 70 años después, debido a malas disposiciones de los tomadores de decisiones al ignorar la existencia de estos decretos, bajo la visión equivocada de que no se puede lograr el desarrollo socioeconómico en una zona sin deteriorar la naturaleza, la mancha urbana ha arrasado con el ecosistema original, del cual, en muchos casos, sólo quedan vestigios y lo que permanece son parques, jardines y camellones.

En otras áreas de administración estatal como el Médano de Perro o el Predio Barragán (figura 9), podría ser considerada su derogación o cambio a la administración municipal debido a su reducida superficie (<1ha) y alta transformación ambiental. Otro caso digno de mención, es el del área El Gavilán, decretada en 1923 por el general Álvaro Obregón, supuestamente cercana al municipio de Minatitlán —que en ese entonces pertenecía a Coahuila de Zaragoza, al igual que otros municipios actuales como Hidalgotitlán o Coscomatepec— y que a pesar de que el decreto aparece en el *Diario Oficial de la Federación*, nadie sabe dónde se encuentra físicamente, pues no hay registro de sus coordenadas ni aparece en alguna base de datos actual, estatal o federal, por lo que se piensa que ha sido reducida a potreros y asentamientos humanos. Por consiguiente debería considerarse su derogación, ya que comprende un área significativa (9 682 ha) que induce a la consideración de una superficie de protección para el estado mayor de lo que en realidad es.

En la zona centro del estado, en los municipios de la zona conurbana Xalapa-Coatepec, existen siete áreas protegidas de administración estatal, es decir,



FIGURA 9. El Predio Barragán, es uno de los pequeños espacios protegidos en Veracruz que se sugiere cambiar su competencia estatal a la administración municipal (Foto: Jorge E. Morales Mávila).

el total de ANPs estatales. Estas áreas conforman lo que se conoce como el cinturón verde de Xalapa (la capital del estado) y cubren una superficie de 336.9 hectáreas.

Respecto a los sitios Ramsar y las áreas privadas de conservación, el problema de la delimitación de sus poligonales parece estar resuelto, sin embargo, el respaldo de los programas de manejo para éstas sigue siendo aún una debilidad. Actualmente los sitios Ramsar parecen estar bien cobijados por la Federación y varias instituciones internacionales que ofertan recursos periódicamente para ambientes de humedales. Por su parte, las áreas privadas deben mantenerse básicamente con recursos propios y muchas veces enfrentar problemas económicos, no obstante, el gobierno del estado ayuda en la gestión de recursos para apoyar este tipo de espacios protegidos, que actualmente suman 39 y seguramente seguirán incrementándose sustancialmente en los próximos años.

Otros problemas generalizados en las áreas del estado son: el pastoreo de ovinos, caprinos y bovinos, que causan compactación del suelo y destrucción de plántulas y evitan la regeneración vegetal. La extracción masiva de leña que puede llegar a dis-

minuir drásticamente la materia orgánica del suelo o la presencia de troncos y ramas caídos que son importantes microhábitats en los ecosistemas.

El decreto y la certificación de espacios naturales protegidos nunca será suficiente, esto considerando que entre mayor sea la superficie de protección, mayor será la conservación de la biodiversidad en la entidad. Sin embargo, una guía importante podría ser asegurar que se esté protegiendo una representación importante de cada uno de los ecosistemas que existen en el estado; que las áreas protegidas estén albergando las especies endémicas del estado y aquellas de distribución restringida. Se ha propuesto que una entidad estará protegiendo un porcentaje adecuado de sus recursos, cuando éste sea mayor al 10 % de su superficie total.

Ya que sólo el 18% del estado está cubierta por vegetación natural (Palacio-Prieto *et al.*, 2000), es importante que las áreas protegidas estén preservando la totalidad de los ecosistemas existentes en la entidad; sin embargo, no todos los tipos de vegetación y ambientes tienen la misma prioridad. En ese sentido, la suficiencia de las áreas deberá relacionarse también con la conservación de ecosistemas prioritarios, por ejemplo, bosques caducifolios, selva baja caducifolia, selva alta perennifolia, manglar, entre otros (Challenger, 1998).

Es un hecho la necesidad de hacer una exigente evaluación de los actuales espacios protegidos, de tal manera que con ello puedan establecerse prioridades y pueda lograrse una mejora en la conservación y el manejo de las áreas. En este sentido, podrá pensarse en el establecimiento de un Sistema Estatal de Espacios Naturales Protegidos como una estrategia viable de ordenamiento y seguimiento de las acciones de conservación y administración de los recursos naturales. La creación de este Sistema ayudaría a cumplir un objetivo político, además de que podría facilitar el mantenimiento y la administración del sistema, así como fortalecer la participación de dependencias, instituciones, organizaciones no gubernamentales y grupos sociales.



FIGURA 10. La Mancha y El Llano es uno de los sitios RAMSAR en el estado de Veracruz (Foto: Jorge E. Morales Mávila).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente permite considerar la administración y el manejo parcial o total de las áreas por organizaciones o instituciones que asuman la responsabilidad de conservar y desarrollar estrategias y acciones en los espacios protegidos. En Veracruz ya existen algunos ejemplos, tal es el caso del Parque Ecológico Francisco Javier Clavijero y del sitio Ramsar La Mancha (figura 10), administrados por el Instituto de Ecología, A.C. o el sitio Ramsar, Laguna de Sontecomapan, dado en concesión a la Universidad Veracruzana. Esto es prioritario si se considera que en la historia de las áreas naturales protegidas se ha detectado como uno de los principales factores del retraso en la verdadera protección de los recursos naturales la falta de recursos financieros. El financiamiento federal y estatal no ha logrado proporcionar los recursos suficientes para la administración y el manejo de los espacios protegidos. Si bien ya hay intentos para lograr una verdadera administración estatal y sobre todo federal en las áreas naturales protegidas, estos aún no llegan a ser suficientes.

Un punto importante a considerar, es que cada ANP deberá contar con personal capacitado de planta para su manejo, además de un presupuesto suficiente, lo cual podrá asegurar su administración.



FIGURA 11. El Cañón de Río Blanco es uno de los Parques Nacionales de competencia federal, que cuenta con un director para su administración (Foto: Jorge E. Morales Mávila).

De no ser así, se ha mostrado que las áreas protegidas quedarán sólo como reservas de papel, que no podrán lograr los objetivos de conservación de biodiversidad y mantenimiento de servicios ambientales, entre otros, por los que fueron decretadas (Dudley y Stolton, 1999; Bruner *et al.*, 2001). En este sentido, la administración federal, en este caso el Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), considera para los Parques Nacionales

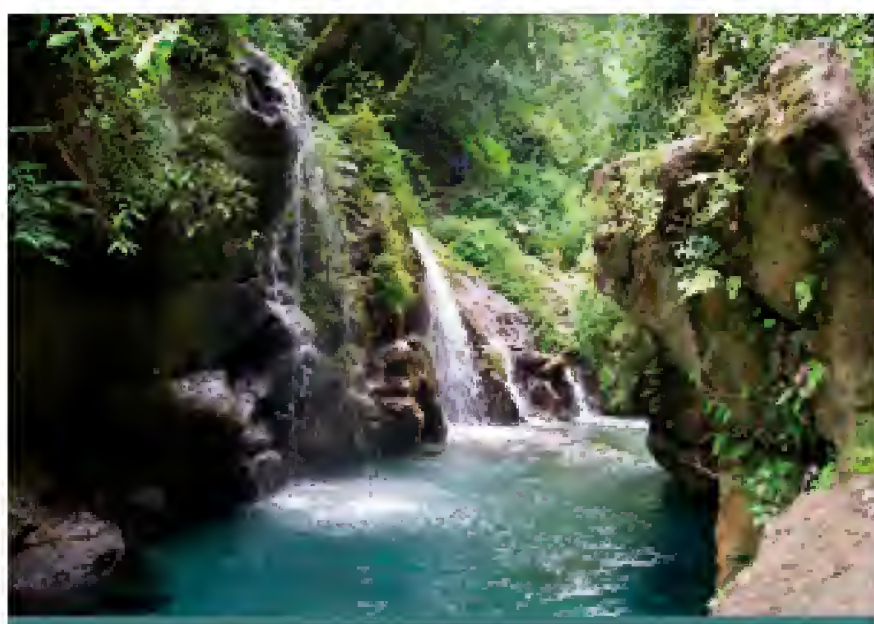


FIGURA 12. El Río Pancho Poza es una de las áreas protegidas con apoyo municipal (Foto: Emilio A. Suárez Domínguez).

(por ejemplo, Cofre de Perote, Pico de Orizaba o Cañón de Río Blanco) (figura 11) y las Reservas de la Biosfera (Los Tuxtlas), la incorporación de un Director, personal de apoyo y un presupuesto permanente, con lo cual se facilita el éxito en la administración y manejo del área. Por otra parte, las áreas de competencia estatal no cuentan con este tipo de alternativa administrativa y están sujetas a que su manejo sea realizado por diferentes instancias, dentro de las que se encuentran, municipios, universidades, institutos de investigación, organizaciones civiles o patronatos. Las áreas que logran contar con alguno de estos tipos de apoyo pueden llegar a ser exitosas en cuanto al cumplimiento de objetivos de conservación, turismo, educación y servicios ambientales, sin embargo, éstas no son muchas y, entre otras pueden mencionarse: Parque Ecológico Clavijero, Cerro Macuiltépetl, San Juan del Monte. Santuario del Loro Huasteco, Río Pancho Poza (figura 12) y Cerro de las Culebras.

En el futuro, los tomadores de decisiones deberán tomar en cuenta los riesgos que se corren al decretar espacios naturales protegidos en apariencia, sólo con el decreto o en el papel de los programas de manejo, pero en realidad, para que las áreas sean efectivas, se tendrán que asegurar como herramientas claves de la conservación y el manejo de éstas, el suficiente presupuesto y el personal capacitado para cada una de ellas. Por lo tanto, es indispensable asegurar el mayor flujo de recursos (gobiernos, fondos multilaterales, ingresos de generación interna, fideicomisos, etc.) y material humano preparado y dispuesto a promover y apoyar las acciones de conservación, investigación y educación ambiental hacia los espacios naturales protegidos en el estado de Veracruz.

AGRADECIMIENTOS. Al Fondo Sectorial Conacyt-Semarnat-2002-C01-0429.

## LITERATURA CITADA

- BRUNER, A.G., R.E. GULLISON, R.E. RICE Y G.A.B. DA FONSECA. 2001. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science* 291: 125-128.
- CGMA (COORDINACIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE). 2009. *Espacios Naturales Protegidos del Estado de Veracruz*. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Documento interno, 4 pp.
- CHALLENGER, A., 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), México, 847 pp.
- DUDLEY, N. Y S. STOLTON. 1999. *Conversion of paper parks to effective management: developing a target*. Report to the WWF-World Banks Alliance from the IUCN/WWF Forest Innovation Project.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2005, *Plan estatal de Desarrollo 2005-2010*, Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- MORALES-MÁVIL, J.E., E.A. Suárez-Domínguez, L.R. Mestizo-Rivera, C.R. Corona-López, E.A. Bello-Sánchez, J. Enríquez-Roa, E.R. Martínez-Barradas, H.H. Barradas-García y R. Rivera-Guzmán, 2008, *Riqueza, diversidad y distribución de anfibios, reptiles y mamíferos en las áreas naturales protegidas del estado de Veracruz*, reporte preliminar entregado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 120 pp.
- ORDÓÑEZ, M. J. y O. Flores, 1995, *Áreas naturales protegidas*, PRONATURA, México, 43 pp.
- PEÑA-JIMÉNEZ, A., L.D. Smith y C.A. Echegaray, 1998, Conservación, en: *La diversidad biológica de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), México, pp. 183-210.
- PÉREZ-HIGAREDA, G. y D. Navarro, 1980, The faunistic districts of the low plains of Veracruz, Mexico, Based on reptilian and mammalian data, *Bull. Md. Herp. Soc.* 16(2): 54-69.
- PÉREZ-HIGAREDA, G. y H.M. Smith, 1991, *Ofidiofauna de Veracruz: análisis taxonómico y zoogeográfico*, Instituto de Biología, UNAM, publicación especial núm. 7, México, 122 pp.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE (SEDESMA), 2008, *Síntesis de los espacios naturales protegidos del estado de Veracruz*, Coordinación Estatal de Medio Ambiente (CEMA), Gobierno del Estado de Veracruz, 20 pp.
- VARGAS, M.F., 1984, *Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro*, Colección: Grandes Problemas Nacionales, Serie: Los Bosques de México, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 266 pp.





---

## SECCION IV

### Diversidad de Ambientes



*Cecropia obtusifolia*. Banco de imágenes, Conabio  
(Foto: Jorge Negra Jáuregui)



---

# AMBIENTES TERRESTRES

## RESUMEN EJECUTIVO

Gonzalo Castillo-Campos

El estado de Veracruz es uno de los más variados en ecosistemas terrestres y acuáticos y, por lo tanto, uno de los más ricos en plantas vasculares que existen en México, situado después de Chiapas y Oaxaca. Contiene aproximadamente 18 tipos de vegetación primaria que en su mayoría están a punto de desaparecer ya que han sido sustituidos por pastizales y vegetación secundaria. La riqueza florística del estado es alta, con cerca de 7 855 especies registradas, prevaleciendo las hierbas en más de un 50 %, debido, probablemente, a la gran perturbación que presentan los diferentes tipos de vegetación, que ha avanzado en más del 85 %, ocasionando que varios tipos estén amenazados de desaparecer completamente o en alto riesgo de extinción en la entidad veracruzana. Más de 400 especies de plantas están amenazadas, de las cuales más del 25 % son endémicas al estado y se desarrollan en los bosques originales, por lo que son las más sensibles a la perturbación.

En Veracruz, las familias más diversas son las compuestas (Asteraceae) con 809 especies, las legu-

minosas (Fabaceae) con 642, las gramíneas (Poaceae) con 527, las orquidáceas (Orchidaceae) con 359 y las euforbiáceas (Euphorbiaceae) con 301 especies. Por otra parte, las hierbas predominan con el mayor número de especies, posteriormente están los arbustos, los árboles y por último los bejucos.

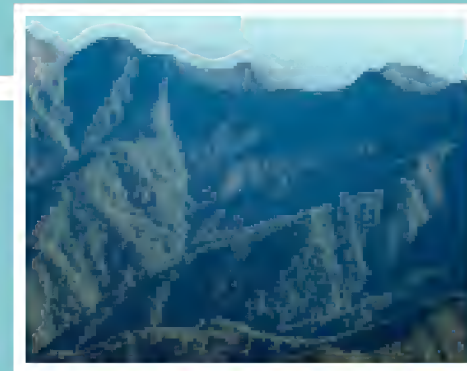
La mayoría de los ecosistemas terrestres presentan especies endémicas y amenazadas. Por ejemplo, en las altas montañas, como el Pico de Orizaba, hay especies que circunscriben su distribución a los páramos de altura. Por otro lado, en los humedales de la llanura costera del Golfo de México se presenta poca diversidad por superficie, sin embargo, tienen funciones ecológicas muy importantes que permiten el desarrollo de organismos acuáticos y establecen las fronteras entre los dos ambientes (el acuático y el terrestre). En conjunto, los humedales concentran una alta riqueza de especies de la flora (más de 1 600 especies) y la fauna veracruzana, aunque son ambientes muy amenazados por las actividades agropecuarias y

muy poco inventariados o conocidos en su diversidad biológica.

Las dunas costeras son también ambientes fuertemente amenazados por las actividades turísticas, son ambientes muy frágiles que contienen una

buena parte de las especies endémicas que están adaptadas a los sustratos arenosos y contienen una alta diversidad por la heterogeneidad ambiental que se presenta entre los ambientes acuáticos y terrestres.

# Flora y vegetación



Gonzalo Castillo-Campos  
Sergio Avendaño Reyes  
María Elena Medina Abreo

## INTRODUCCIÓN

Como se explicó en la sección del contexto físico de esta obra, el estado de Veracruz tiene una superficie de 72 420.07 km<sup>2</sup>, equivalente al 3.8 % del territorio del país (INEGI, 1991). Las variadas características fisiográficas del estado han dado lugar a un amplio gradiente altitudinal, topográfico y climático desde el nivel del mar hasta más de 5 000 m en el Pico de Orizaba (Gómez-Pompa, 1978) y con climas cálidos húmedos, fríos y secos, que a su vez han promovido una gran diversidad de tipos de vegetación, con una riqueza florística de 7 855 taxa registrados y para el cual se ha estimado entre 25 000 - 30 000 especies (Dirzo y Gómez, 1996), una de las más altas del país, situando al estado únicamente después de Chiapas y Oaxaca (Rzedowski, 1991, 1993). Tal riqueza florística está contenida en los siguientes 19 tipos de vegetación (cuadro 1) *sensu* Miranda y Hernández X. (1963): 1) bosque tropical perennifolio; 2) bosque tropical subcaducifolio; 3) bosque tropical caducifolio; 4) bosque mesófilo de montaña; 5) palmar; 6) sabana; 7) bosque de encino

(*Quercus*); 8) bosque de pino (*Pinus*); 9) bosque de pino-encino; 10) matorral xerófilo; 11) bosque de galería o vegetación ribereña; 12) manglar; 13) vegetación de dunas costeras; 14) pastizal; 15) popal-tular; 16) vegetación de páramos de altura; 17) bosque de abeto (*Abies*); 18) bosque de táscate (*Juniperus*), *sensu* Rzedowski (1978) y 19) vegetación secundaria. En general las formas herbáceas presentan el mayor número de especies, posteriormente se encuentran los arbustos, los árboles y por último los bejucos (cuadro 2).

El disturbio de la vegetación prístina ha mermado su superficie original en más del 85 %. La vegetación secundaria constituye el tipo de vegetación con mayor superficie en el estado, en ella se refleja la perturbación de la mayoría de los tipos de vegetación y contribuye de manera importante a la introducción de una flora nómada más rica florísticamente pero con menos potencialidades de uso para el hombre (cuadro 1). Los bosques naturales y comunidades secundarias, ocupan 1 469 348 ha (figura 1), equivalente al 20 % de la superficie del estado, aunque los cálculos son

aproximados, ya que la complejidad geomorfológica de los paisajes y el mosaico de comunidades vegetales que lo integran dificultan la obtención de datos precisos.

La cubierta vegetal del estado de Veracruz se encontraba integrada primordialmente por bosques tropicales y bosques templados, mismos que presentaban una distribución amplia a lo largo del territorio y se extendían hacia el sur del país, por lo que la distribución de la mayoría de las especies pudo darse de igual manera. Las áreas que quedan de estas comunidades vegetales son importantes porque resguardan un número considerable de especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat, 2002) y con la lista roja de la IUCN (Walter y Gillett, 1998).

En el cuadro 3 se contabilizan por tipo de vegetación el número de especies que están bajo alguna categoría de riesgo, además, se indica el número de especies endémicas, es decir, aquellas que limitan su distribución sólo al estado de Veracruz, lo cual les confiere una gran importancia ecológica y florística. Actualmente se cuenta con un registro de 391 especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo o bien que son endémicas.

Aunque el endemismo no es elevado, se tienen 131 especies que sólo crecen dentro de su territorio (Castillo *et al.*, 2005), de las cuales el 34 % (38 especies) se encuentran bajo alguna categoría de riesgo. Predominan las hierbas con 48 especies (43 %), las arbóreas con 31 especies, los arbustos con 26 y los bejucos con siete. Las especies endémicas se encuentran primordialmente concentradas hacia las zonas de alta montaña, como el bosque mesófilo con 54 especies y las zonas cálido húmedas como el bosque tropical perennifolio con 49 especies; otras comunidades que albergan un número importante de especies endémicas son el bosque tropical caducifolio con 28, específicamente sobre sustratos rocosos y el bosque de encino con el mismo número de especies.

CUADRO 1. Número aproximado de taxa o diferentes tipos de plantas por tipo de vegetación.

TIPO DE VEGETACIÓN	NÚMERO DE ESPECIES
Bosque tropical perennifolio	2 230
Bosque mesófilo de montaña	2 028
Bosque de encino	1 727
Bosque tropical caducifolio	1 754
Bosque tropical subcaducifolio	1 221
Bosque de pino	1 015
Matorral xerófilo	994
Bosque de pino-encino	883
Pastizal	474
Bosque de galería o vegetación riparia	469
Vegetación de dunas costeras	462
Sabana	259
Popal-Tular	455
Manglar	191
Bosque de abeto ( <i>Abies</i> )	151
Palmar	102
Vegetación de páramos de altura	41
Bosque de tásate ( <i>Juniperus</i> )	10
Vegetación secundaria	621

CUADRO 2. Número aproximado de taxa o diferentes tipos de plantas por formas de vida.

FORMA DE VIDA	NÚMERO DE ESPECIES
Árboles	1 177
Arbustos	1 527
Hierbas	4 601
Bejucos	550
Total	7 855

Las principales áreas de cultivo están dedicadas a la agricultura de temporal y cubren una superficie aproximada de 1 854 457 ha, aunque el pastizal cultivado o inducido para la ganadería presenta una superficie mucho mayor con 3 274 875 ha.

#### VEGETACIÓN PRIMARIA

Existen dos grupos de especies más o menos bien definidos desde el punto de vista ecológico: especies primarias y secundarias. Las primeras se caracterizan por estar adaptadas a vivir en forma relativamente

CUADRO 3. Número aproximado de especies o tipos de plantas bajo alguna categoría de riesgo y endémicas por tipo de vegetación y por forma de vida.

TIPO DE VEGETACIÓN	NÚMERO DE ESPECIES	A	AR	H	B
Bosque tropical perennifolio	160	54	49	43	14
Bosque mesófilo de montaña	137	43	35	51	8
Bosque de encino ( <i>Quercus</i> )	88	26	17	40	5
Bosque de galería o vegetación riparia	67	28	16	19	4
Bosque tropical subcaducifolio	65	25	13	24	3
Bosque tropical caducifolio	65	19	14	27	5
Bosque de pino-encino	39	16	10	11	2
Bosque de pino ( <i>Pinus</i> )	35	11	8	15	1
Vegetación de dunas costeras	15	8	2	4	1
Matorral xerófilo	13	3	4	5	1
Vegetación rupícola	11	-	1	9	1
Tular-Popal	9	5	-	4	-
Bosque espinoso	6	2	1	3	-
Bosque de abeto ( <i>Abies</i> )	5	2	-	3	-
Sabana	5	1	1	3	-
Manglar	4	4	-	-	-
Pastizal	4	-	1	3	-
Palmar	3	2	-	1	-
Vegetación secundaria	91	37	22	27	5

A = árbol; AR = arbusto; H = hierba; B = bejuco.

estacionaria en un lugar y por no ser desplazadas por otras especies en un lapso relativamente corto de tiempo, digamos 50-100 años (Gómez-Pompa, 1971).

En Veracruz la vegetación primaria ha sido reducida a fragmentos que en ocasiones se encuentran aislados, principalmente en las cañadas o barrancas, acantilados y laderas más pronunciadas (figura 1).

En este capítulo se describen de forma sintética los tipos de vegetación presentes en Veracruz, las características ambientales donde se desarrollan, así como su estado de conservación. Algunas especies características de los distintos estratos de los tipos de vegetación pueden verse en el cuadro 4. Algunos tipos de vegetación son tratados de manera extensa en otros capítulos de esta obra.

### Sabana

Este tipo de vegetación incluye pastizales con árboles esparcidos o sin ellos y se caracteriza por crecer

sobre terrenos planos o escasamente inclinados en suelos especiales con problemas de drenaje. El factor principal que determina la presencia de la sabana es edáfico, sin embargo, en el estado esta condición es mayormente inducida para fomentar actividades agropecuarias.

La fisonomía de la sabana veracruzana es dominada por un llano de gramíneas altas en el que se encuentran árboles dispersos no mayores a los ocho m de altura. No obstante, es frecuente observar en las zonas bajas del río Papaloapan, al sur del estado, manchones de vegetación como islas en áreas donde los suelos son más profundos y fértiles. Una de las especies más comunes de esta comunidad vegetal en el estado es la palma (*Sabal mexicana*). Asociadas a las poblaciones de *Sabal* se encuentra una gran cantidad de especies características de selva mediana perennifolia que forman una cobertura vegetal más densa. Sin embargo, la tala de estas áreas ha incrementado la superficie de pastizales introducidos, con la disminución tanto de las poblaciones de *Sabal* como su biodiversidad asociada, dando una fisonomía más

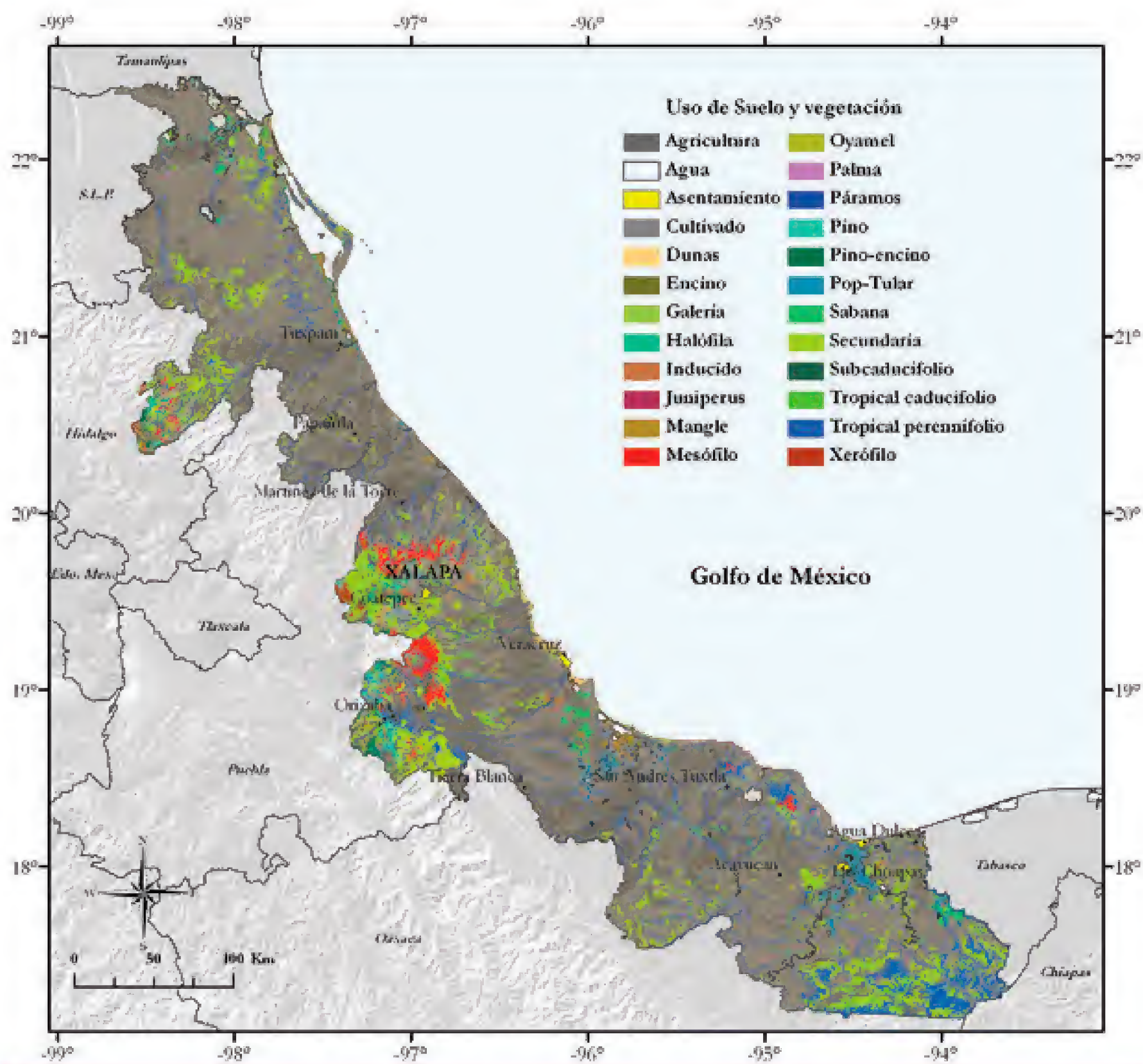


FIGURA 1. Mapa de vegetación del estado de Veracruz.

homogénea. La sabana es uno de los tipos de vegetación escasamente estudiados y se encuentra mejor representada en la planicie costera del estado, en la cuenca baja del Papaloapan. Actualmente, la sabana se puede ver por las autopistas de Veracruz-Córdoba, La Tinaja-Minatitlán, que atraviesan extensiones considerables de áreas semi inundables donde la fisonomía sabanoide es lo más común.

### Vegetación de páramos de altura

Este tipo de vegetación se encuentra en las montañas más elevadas del estado de Veracruz, justo debajo de la zona de las nieves perpetuas o glaciares, por encima del límite de la vegetación arbórea. El factor ecológico más importante para su distribución es la baja temperatura (Gómez-Pompa, 1978). El límite superior de esta comunidad vegetal se sitúa alrededor de 4 300 msnm,

aunque algunos elementos florísticos crecen más allá de los 4 500 m. Sólo el Pico de Orizaba, la Sierra Negra y el Cofre de Perote tienen esta vegetación y por consiguiente el área total es reducida. La fisonomía de este tipo de vegetación es la de un pastizal con algunos elementos arbustivos, generalmente rastreros. Los afloramientos rocosos y lugares cercanos a las orillas de arroyos, son los hábitats particularmente ricos en especies (Rzedowski, 1978). Es una comunidad vegetal más o menos conservada, sin embargo, para Veracruz se sabe muy poco sobre su diversidad, estructura y otros aspectos ecológicos. Si se considera que desde el punto de vista biogeográfico para muchas de las especies de alta montaña, éste es el límite de distribución hacia el sur de la flora Neártica, el número de especies conocidas para este tipo de vegetación es relativamente bajo, por lo tanto, es importante realizar estudios que permitan un mejor conocimiento de esta comunidad vegetal.

#### Bosque de abetos (*Abies*)

Estos bosques están confinados a los sitios de alta montaña, por lo común entre 2 400 y 3 600 msnm, y generalmente en las laderas de cañadas y barrancas más o menos profundas que ofrecen un microclima especial de condiciones de humedad elevada, en donde además son protegidos de la acción de los vientos fuertes y de insolación intensa (Rzedowski, 1978).

Esta comunidad vegetal está compuesta por elementos arbóreos cuya altura varía entre los 20 y 40 m, la característica peculiar de sus elementos dominantes es la forma triangular típica de sus copas. El bosque de *Abies* es ocasionalmente denso tanto en el Pico de Orizaba como en el Cofre de Perote, donde los estratos arbustivo y herbáceo, así como las epífitas y trepadoras pueden ser escasos.

El bosque de *Abies hickelii* está bien representado en las laderas del Pico de Orizaba, donde formaba las poblaciones más grandes (Bello, com. pers.) y el de *Abies religiosa* que se encuentra mejor representado en el Cofre de Perote (Sánchez-Velás-

quez y Pineda-López, 1991). Desde el punto de vista ecológico estos bosques han sido muy poco estudiados, sin embargo, además de ser importantes económicamente, también son indicadores de condiciones climáticas muy específicas.

#### Bosque de táscate (*Juniperus*)

A las especies de *Juniperus* se les conoce comúnmente en la región como “cedro”, “sabino” o “táscate”, razón por la cual ocasionalmente se le denomina como bosque de táscate. A estos bosques se les considera, por un lado, como una fase de transición entre el bosque de encino y el de pino y, por otro, como pastizal, matorral xerófilo o bosque tropical caducifolio. Muchas veces no parece constituir una comunidad clímax, sino que es más bien de origen secundario (Rzedowski, 1978). En Veracruz este tipo de vegetación sólo se registra en un pequeño manchón hacia la porción occidental del Cofre de Perote, que cubre apenas 110 ha. La fisonomía del bosque de táscate va desde matorrales de baja altura hasta bosques de unos 10 m de alto; es una comunidad siempre verde, abierta, con sus elementos arbóreos y arbustivos más o menos dispersos. Los estratos arbustivo y herbáceo están bien representados; las epífitas y trepadoras o bejucos son escasas.

Probablemente este puede ser uno de los tipos de vegetación altamente amenazados, debido a la pequeña superficie que ocupa y al ser desplazado por el avance de la frontera agrícola. Al igual que los páramos de altura y los bosques de *Abies*, es un tipo de vegetación escasamente estudiado y para Veracruz el conocimiento de su diversidad florística es escaso. El número de especies que se ha registrado de este tipo de vegetación (cuadro 1) prácticamente refleja muy poco de su estructura florística y de su diversidad, lo peor de todo es que está a punto de desaparecer como uno de los tipos de vegetación de Veracruz. Por tal motivo, es urgente inventariar su diversidad y proteger los fragmentos que aún quedan en el suroeste de Tenex-tepec, municipio de Perote.

CUADRO 4. Especies características por estrato y tipo de vegetación en el estado de Veracruz. En algunos casos se presentan los nombres comunes de las especies.

TIPO DE VEGETACIÓN	ESTRATO	ESPECIES CARACTERÍSTICAS
Sabana	Arbóreo	<i>Acacia angustissima</i> (acacia), <i>Byrsonima crassifolia</i> (nanche), <i>Curatella americana</i> (raspa viejo), <i>Crescentia alata</i> y <i>C. cujete</i> (jícara), <i>Lonchocarpus cruentus</i> , <i>Pithecellobium pachypus</i> y <i>Senna spectabilis</i> .
	Arbustivo	<i>Abutilon mollicomum</i> , <i>Adelia barbinervis</i> , <i>Bauhinia unguolata</i> (pata de cabra), <i>Calliandra rubescens</i> , <i>Miconia albicans</i> , <i>Mimosa floribunda</i> y <i>Psidium salutare</i> (guayabito).
	Herbáceo	<i>Andropogon salzmanii</i> , <i>Asclepias elata</i> , <i>Bulbostylis capillaris</i> , <i>Cyperus haspan</i> , <i>Desmodium angustifolium</i> , <i>Fimbristylis autumnalis</i> , <i>Paspalum pectinatum</i> , <i>Pavonia cancellata</i> , <i>Piriqueta cistoides</i> , <i>Rynchospora barbata</i> , <i>Schizachyrium hirtiflorum</i> , <i>Scleria hirtella</i> , <i>Setaria macrostachya</i> y <i>Xyris ambigua</i> .
Vegetación de páramos de altura	Arbustivo	<i>Berberis schiedeana</i> , <i>Juniperus monticola</i> , <i>Pinus hartwegii</i> (pino) y <i>Vaccinium geminiflorum</i> .
	Herbáceo	<i>Alchemilla vulcanica</i> , <i>Arenaria bryoides</i> , <i>Calamagrostis eriantha</i> , <i>Cerastium ramigerum</i> , <i>Cirsium nivale</i> , <i>Draba jorullensis</i> , <i>Gentiana perpusilla</i> , <i>Muhlenbergia macroura</i> (zacatón), <i>Ribes ciliatum</i> y <i>Sedum obcordatum</i> .
Bosque de abetos	Arbóreo superior	<i>Abies hickelii</i> , <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus ayacahuite</i> (acalacote).
	Arbóreo inferior	<i>Alnus jorullensis</i> subsp. <i>jorullensis</i> , <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Prunus serotina</i> (capulín).
	Arbustivo	<i>Arctostaphylos pungens</i> , <i>Ribes ciliatum</i> , <i>Symphoricarpos microphyllus</i> y <i>Ugni myricoides</i> .
	Herbáceo	<i>Agrostis thyrsgera</i> , <i>Arenaria bryoides</i> , <i>Alchemilla vulcanica</i> , <i>Castilleja moranensis</i> , <i>Cerastium vulcanicum</i> , <i>Gentiana bicuspidata</i> , <i>Gnaphalium lavandulaceum</i> , <i>Lupinus montanus</i> , <i>Pernettya mexicana</i> y <i>Viola grahamii</i> .
Bosque de táscate ( <i>Juniperus</i> )	Arbóreo	<i>Pinus cembroides</i> .
Bosque mesófilo de montaña	Herbáceo	<i>Gaura coccinea</i> , <i>Nasella tenuissima</i> y <i>Piptochaetium virescens</i> .
	Arbóreo superior	<i>Carpinus caroliniana</i> (pepinque), <i>Clethra mexicana</i> (marangola), <i>Ilex tolucana</i> , <i>Liquidambar macrophylla</i> , <i>Meliosma alba</i> , <i>Ostrya virginiana</i> , <i>Podocarpus matudae</i> y <i>Ulmus mexicana</i> (olmo).
	Arbóreo medio	<i>Citharexylum mocinnii</i> , <i>Cornus florida</i> , <i>Magnolia dealbata</i> , <i>Perrottetia ovata</i> , <i>Rapanea myricoides</i> , <i>Rhamnus capraefolia</i> y <i>Turpinia insignis</i> .
	Arbustivo	<i>Deppea umbellata</i> , <i>Eugenia xalapensis</i> , <i>Hedyosmum mexicanum</i> , <i>Hoffmania excelsa</i> , <i>Pricramnia andicola</i> , <i>Psychotria galeotiana</i> y <i>Randia xalapensis</i> .
	Herbáceo	Helechos como <i>Antrophyum lineatum</i> , <i>Osmunda regalis</i> y epífitas como las bromeliáceas, entre ellas <i>Pitcairnia heterophylla</i> , <i>Tillandsia imperialis</i> y <i>Tillandsia usneoides</i> ; dentro de las orquídeas tenemos a <i>Dichaea intermedia</i> , <i>Epidendrum atroscripum</i> , <i>Govenia purpusii</i> , <i>Isochilus unilateralis</i> , <i>Oncidium crista-galli</i> , <i>Pleurothallis antonensis</i> , y entre las piperáceas están <i>Peperomia berlandieri</i> , <i>Peperomia maculosa</i> , <i>Peperomia petrophila</i> y <i>Peperomia tuerckeimii</i> .
Palmar	Arbóreo	<i>Brabea dulcis</i> y <i>Piscidia piscipula</i> .
	Arbustivo	<i>Calliandra houstoniana</i> , <i>Fraxinus schiedeana</i> y <i>Viguiera dentata</i> .
	Herbáceo	<i>Anemia adiantifolia</i> , <i>Loeselia ramosissima</i> , <i>Muhlenbergia robusta</i> , <i>Paspalum humboldtianum</i> y <i>Trachypogon montufari</i> .
Bosque tropical perennifolio	Arbóreo superior	<i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Cynometra retusa</i> , <i>Dialium guianense</i> , <i>Lonchocarpus cruentus</i> , <i>L. guatemalensis</i> var. <i>mexicanus</i> , <i>Ormosia panamensis</i> , <i>Pterocarpus rohrii</i> , <i>Poulsenia armata</i> y <i>Vatairea lundellii</i> . También destacan las lauráceas como <i>Nectandra ambigens</i> , <i>N. lundellii</i> , <i>N. cissiflora</i> , <i>Ocotea uxpanapana</i> y <i>Manilkara zapota</i> .
	Arbóreo medio	<i>Cupania glabra</i> , <i>Cymbopetalum baillonii</i> , <i>Guarea glabra</i> , <i>Orthion oblanceolatum</i> , <i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i> , <i>Quararibea funebris</i> y <i>Rollinia jimenezii</i> .
	Arbustivo	<i>Astrocaryum mexicanum</i> , <i>Chamaedorea tepejilote</i> y <i>Ch. ernesti-augusti</i> .
	Herbáceo	<i>Bolbitis portoricensis</i> .
Bosque tropical subcaducifolio	Arbóreo superior	<i>Antirhea aromatica</i> , <i>Aphananthe monoica</i> , <i>Brosimum alicastrum</i> e <i>Hyperbaena jalcomulcensis</i> .
	Arbóreo medio	<i>Comocladia engleriana</i> , <i>Ocotea</i> sp., <i>Protium copal</i> y <i>Psychotria erythrocarpa</i> .
	Arbustivo	<i>Randia aculeata</i> , <i>Piper nudum</i> , <i>Casearia nitida</i> y <i>Cnidocolus aconitifolius</i> .
	Herbáceo	<i>Anthurium podophyllum</i> , <i>Anthurium schlechtendalii</i> , <i>Dorstenia contrajerva</i> y <i>Pseuderanthemum alatum</i> .

continúa

TIPO DE VEGETACIÓN	ESTRATO	ESPECIES CARACTERÍSTICAS
<i>Bosque tropical caducifolio</i>	Arbóreo superior	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Caesalpinia mexicana</i> , <i>Comocladia engleriana</i> , <i>Fraxinus schiedeana</i> , <i>Lysiloma microphyllum</i> y <i>Karwinskia humboldtiana</i> .
	Arbustivo	<i>Casearia nitida</i> , <i>Chiococca alba</i> , <i>Cnidoscolus aconitifolius</i> , <i>Croton torreyanus</i> , <i>Psychotria erythrocarpa</i> y <i>Randia aculeata</i> .
	Herbáceo	<i>Anthurium schlechtendalii</i> .
<i>Bosque de encino</i>	Arbóreo superior	<i>Brahea dulcis</i> , <i>Quercus oleoides</i> y <i>Quercus peduncularis</i> .
	Arbustivo	<i>Calliandra houstoniana</i> , <i>Senecio deppeanus</i> y <i>Tetrachyron manicatum</i> .
	Herbáceo	<i>Anemia adiantifolia</i> , <i>Bletia purpurea</i> , <i>Leersia ligularis</i> , <i>Muhlenbergia robusta</i> y <i>Pteridium aquilinum</i> .
<i>Bosque de pino</i>	Arbóreo superior	<i>Pinus cembroides</i> , <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Juniperus deppeana</i> y <i>Juniperus monticola</i> .
	Arbustivo	<i>Baccharis conferta</i> , <i>Berberis schiedeana</i> , <i>Eupatorium calophyllum</i> , <i>Myrica cerifera</i> y <i>Oxylobus arbutifolius</i> .
	Herbáceo	<i>Cheilanthes myriophylla</i> , <i>Muhlenbergia cuadridentata</i> , <i>Muhlenbergia pubescens</i> , <i>Muhlenbergia robusta</i> , <i>Stipa editorum</i> y <i>Tagetes foetidissima</i> .
<i>Bosque de pino-encino</i>	Arbóreo	<i>Pinus leiophylla</i> , <i>Pinus maximinoi</i> , <i>Pinus michoacana</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Quercus candicans</i> , <i>Quercus castanea</i> , <i>Quercus glabrescens</i> y <i>Quercus laurina</i> .
	Arbustivo	<i>Abelia floribunda</i> , <i>Arctostaphylos lucida</i> , <i>Baccharis</i> sp. (escobillo), <i>Bouvardia multiflora</i> , <i>Comarostaphylis discolor</i> y <i>Rubus adenotrichus</i> (zarza-mora).
	Herbáceo	<i>Asclepias otarioides</i> , <i>Bulbophyllum aristatum</i> , <i>Calochortus barbatus</i> , <i>Centaurium pauciflorum</i> , <i>Chaptalia estribensis</i> , <i>Corydalis micrantha</i> , <i>Digitaria leucites</i> , <i>Erodium cicutarium</i> , <i>Festuca amplissima</i> , <i>Govenia superba</i> , <i>Muhlenbergia frondosa</i> , <i>Paspalum dilatatum</i> , <i>Peperomia hispidula</i> , <i>Perymenium discolor</i> , <i>Senecio lanicaulis</i> , <i>Sprekelia formosissima</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> y <i>Tillandsia lampropoda</i> .
<i>Matorral xerófilo</i>	Arbóreo	<i>Dasylirion acrotriche</i> , <i>Juniperus deppeana</i> var. <i>deppeana</i> , <i>Nolina parviflora</i> , <i>Pinus cembroides</i> , <i>Quercus greggii</i> y <i>Sophora secundiflora</i> .
	Arbustivo	<i>Bouvardia ternifolia</i> , <i>Brickellia veronicaefolia</i> , <i>Cercocarpus fothergilloides</i> , <i>Eupatorium calophyllum</i> , <i>Gymnospermum glutinosum</i> y <i>Mimosa biuncifera</i> .
	Herbáceo	<i>Cheilanthes bonariensis</i> , <i>Drymaria glandulosa</i> , <i>Galinsoga parviflora</i> , <i>Muhlenbergia macroura</i> , <i>Muhlenbergia rigida</i> y <i>Tagetes foetidissima</i> .
<i>Bosque de galería o vegetación riparia</i>	Arbóreo	<i>Astianthus viminalis</i> (sauce), <i>Ceiba pentandra</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (nacas-tle), <i>Inga vera</i> (chalahuite), <i>Pachira aquatica</i> (apompo), <i>Psidium guajava</i> (guayaba) y <i>Salix humboldtiana</i> (sauce).
	Arbustivo	<i>Acalypha diversifolia</i> , <i>Lindenia rivalis</i> , <i>Nectandra sanguinea</i> , <i>Piper nudum</i> , <i>Pluchea salicifolia</i> y <i>Salix taxifolia</i> (sauce).
	Herbáceo	<i>Cuphea decandra</i> , <i>Cuphea salicifolia</i> , <i>Cyperus involucratus</i> , <i>Equisetum myriochaetum</i> y <i>Pavonia schiedeana</i> .
<i>Manglar</i>	Arbóreo	<i>Avicennia germinans</i> , <i>Conocarpus erectus</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i> .
	Arbustivo	<i>Borrichia frutescens</i> , <i>Lycium carolinianum</i> , <i>Solanum diphyllum</i> , <i>Solanum tampicense</i> y <i>Solanum tridynamum</i> .
	Herbáceo	<i>Acrostichum aureum</i> , <i>Batis maritima</i> , <i>Hymenocallis littoralis</i> , <i>Ruellia paniculata</i> , <i>Sesuvium maritimum</i> , <i>Sesuvium portulacastrum</i> y <i>Trianthema portulacastrum</i> .
<i>Vegetación de dunas costeras</i>	Arbóreo	<i>Attalea butyracea</i> , <i>Bumelia celastrina</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i> , <i>Diphysa robinoides</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Pithecellobium lanceolatum</i> y <i>Piscidia piscipula</i> .
	Arbustivo	<i>Caesalpinia bonduc</i> , <i>Dalbergia brownei</i> , <i>Manihot carthaginensis</i> , <i>Pluchea odorata</i> , <i>Randia aculeata</i> , <i>Schaefferia frutescens</i> , <i>Tecoma stans</i> y <i>Verbesina persicifolia</i> .
	Herbáceo	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> , <i>Asclepias oenotheroides</i> , <i>Cleome viscosa</i> , <i>Heliotropium ternatum</i> , <i>Hydrocotyle bonariensis</i> , <i>Iresine celosia</i> , <i>Opuntia stricta</i> var. <i>dillenii</i> , <i>Schizachyrium scoparium</i> var. <i>littoralis</i> y <i>Tournefortia hirsutissima</i> .
<i>Pastizales cultivados</i>	Arbóreo	<i>Axonopus compresus</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Elephantopus mollis</i> , <i>Euphorbia heterophylla</i> , <i>Mimosa pudica</i> , <i>Panicum maximum</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> .
<i>Popal-Tular</i>	Arbóreo	<i>Annona glabra</i> , <i>Ficus insipida</i> subsp. <i>insipida</i> , <i>Ficus obtusifolia</i> , <i>Pachira aquatica</i> , <i>Salix humboldtiana</i> y <i>Sapium macrocarpum</i> .
	Arbustivo	<i>Piper aduncum</i> , <i>Pluchea odorata</i> y <i>Salix chilensis</i> .
	Herbáceo	<i>Cyperus articulatus</i> , <i>Echinodorus andrieuxii</i> , <i>Heliconia latispatha</i> , <i>Nymphaea ampla</i> , <i>Pontederia sagittata</i> y <i>Sagittaria lancifolia</i> .

### Bosque mesófilo de montaña

Se presenta en el centro del estado bajo un clima húmedo de altura, en límite altitudinal inferior de 900 msnm y superior alrededor de 2 300 msnm y no depende tanto de la temperatura sino de la humedad. La precipitación media anual de este tipo de vegetación nunca es inferior a los 1 000 mm y la temperatura media anual oscila entre los 12 y 23 °C (Rzedowski, 1978).

Este tipo de bosque se desarrolla fundamentalmente sobre terreno accidentado y sobre laderas de pendiente pronunciada; en diversos sitios del estado se encuentra restringido a cañadas o barrancas protegidas del viento y de la insolación y es común que descienda hasta la orilla de arroyos y ríos. Cubre un área de 135 271 ha en Veracruz, sin embargo, esta es una aproximación, si se considera que los cafetales bajo sombra se desarrollan bajo las mismas condiciones ambientales, y en las imágenes de satélite utilizadas para evaluar las coberturas de los distintos tipos de vegetación, no se puede distinguir entre cafetales de sombra y bosques de mesófilo.

Fisonómicamente, el bosque mesófilo es denso, presenta una cobertura continua por su dosel supe-



FIGURA 2. Bosque mesófilo de montaña en las faldas del Cofre de Perote.

rior, que mide de 15 a 35 m de alto, aunque su altura depende del grado de conservación (figura 2). Incluye elementos arbóreos tanto perennifolios como caducifolios y aunque en muchas zonas del estado predominan los segundos, lo común es que el bosque clímax nunca se observa sin follaje. Es uno de los tipos de vegetación más diverso y rico que existen en nuestro país, y concentra una parte importante de la flora endémica de México. En Veracruz, las áreas mejor conservadas son la Sierra de Santa Martha en la región de Los Tuxtlas, La Cortadura en las faldas del Cofre de Perote y la cima de la Sierra de Otontepec. Las tres áreas que caracterizan bien a este tipo de vegetación, tienen historias biogeográficas diferentes y por lo tanto existe un recambio de especies que las hace particularmente complementarias y más interesantes desde el punto de vista biológico.

### Palmar

Es una comunidad vegetal dominada en su estrato superior principalmente por una especie de palma; estas comunidades vegetales se dividen por la forma de las hojas, así se presentan palmares de hojas pinadas de *Attalea batyracea*, *A. cohune* y de *Roystonea* sp. y palmares con hojas en forma de abanico de *Sabal mexicana* y de *Brahea dulcis* (figura 3). A la mayoría de estas especies les favorece la perturbación ejercida por el hombre, especialmente la tala y el fuego (Pennington y Sarukhán, 1998). Los palmares generalmente están asociados a las mismas condiciones climáticas de los bosques tropicales perennifolios y subcaducifolios.

Los palmares de *Attalea batyracea* se localizan principalmente en el sur de Veracruz, en la cuenca media-baja de los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos (Miranda y Hernández X., 1963; Gómez-Pompa, 1978), en suelos muy arcillosos y susceptibles a inundarse temporalmente. Los palmares de *Sabal mexicana* están relacionados principalmente con

bosque tropicales subcaducifolios y caducifolios. En Veracruz las áreas mejor representadas de estas comunidades vegetales se encuentran en la planicie costera del Golfo de México, en la cuenca baja del río Papaloapan hasta Laguna Verde.

Los palmares de *Brahea dulcis* (palma de sombrero) están localizados en los afloramientos calizos del centro de Veracruz, principalmente en los municipios de Emiliano Zapata y Jalcomulco (figura 3). Las poblaciones de *Brahea* están restringidas a la provincia sedimentaria, que son sitios de roca caliza aflorante con suelos tipo litosoles calcáreos derivados del material calizo, los cuales son negros, arcillosos y con poca materia orgánica (Castillo-Campos, 1995).

Los palmares forman una comunidad abierta en el estrato arbustivo y arbóreo, pero cerrado en el herbáceo, se localizan en laderas y crestas, con pendientes de 25 hasta más de 50 % en los acantilados. En Veracruz ocupan una superficie de 2 975 ha y se localizan en las faldas y crestas de los macizos y cerros alargados de roca caliza del centro del estado. Se encuentran asociados con encinares, donde el palmar, en algunas áreas, domina el estrato medio de esas comunidades vegetales. Por otra parte, en sitios de contacto con la selva baja caducifolia, los



FIGURA 3. Palmar de *Brahea dulcis* asociado con pastizal en el municipio de Jalcomulco, Veracruz.

elementos del palmar penetran en estas comunidades, principalmente en aquellas áreas donde la roca caliza es aflorante.

El palmar distribuido en los municipios de Jalcomulco y Emiliano Zapata, forma poblaciones con individuos de 1-6 m de altura, asociados con arbustos y árboles dispersos.

El palmar es una de las comunidades más pobres en especies, sobre todo en el estrato arbóreo, concentrándose su riqueza en los estratos herbáceo y arbustivo. Es muy importante considerar áreas de protección de los distintos palmares dispersos en la planicie costera del estado de Veracruz, formados por poblaciones de los géneros de *Attalea*, *Brahea*, *Roystonea* y *Sabal*, debido a que están siendo desplazados rápidamente por pastizales introducidos y sus poblaciones se han visto disminuidas a pequeños fragmentos.

### Bosque tropical perennifolio

El bosque tropical perennifolio y subperennifolio primario está localizado principalmente en la región de Los Tuxtlas (figura 4), aunque su distribución se extendía en la mayor parte de la planicie costera del estado. Actualmente se encuentra muy fragmentado o casi ha desaparecido, sólo quedan algunos pequeños fragmentos muy dispersos. La superficie mejor representada de este tipo de vegetación se encuentra en Los Tuxtlas, el cual presenta un estrato arbóreo cerrado de 15 a 35 m de altura, un estrato arbóreo medio abierto de 15 a 25 m, un estrato arbustivo abierto de 2 a 8 m y un estrato herbáceo escaso, el suelo cubierto de mantillo. Esta comunidad ocupa una superficie de 251 505 ha en el estado. El bosque tropical perennifolio y el subperennifolio comparten el mismo paisaje y el mismo hábitat en el fondo y en las laderas de las barrancas, desde 25 hasta 60 % de pendiente en las áreas más inclinadas.

Los bosques tropicales perennifolios y subperennifolios comparten muchas de las características

fisonómicas, sin embargo, difieren por la presencia de una mayor cantidad de palmas y helechos en el estrato inferior del segundo. La característica diferencial más importante es la pérdida del follaje de aproximadamente una cuarta parte de los elementos arbóreos en la época más seca del año (Pennington y Sarukhán, 1998).



FIGURA 4. Bosque tropical perennifolio en el Volcán de Santa Marta, región de Los Tuxtlas, Veracruz.

### Bosque tropical subcaducifolio

En Veracruz el bosque tropical subcaducifolio está caracterizado por un estrato arbóreo cerrado de 12 a 20 m de alto, un estrato arbóreo medio abierto de 6 a 11 m, un estrato arbustivo de 1 a 5 m, un estrato herbáceo escaso, y el suelo cubierto de mantillo. Esta comunidad ocupa una superficie de 1 432 ha, y se localiza principalmente en lomeríos calizos del sur del estado, en el fondo y laderas de las barrancas, en pendientes de más del 50 % y en pequeñas terrazas de los acantilados o bien sobre dunas costeras. Este bosque presenta especies de condiciones ambientales más húmedas que las del bosque tropical caducifolio. Se presenta en zonas semejantes a los bosques tropicales altos perennifolios y altos o medianos subperennifolios, pero con precipitaciones anuales francamente menores, de 1000 a 1200 milímetros, con una temporada seca bien definida y

prolongada. En el centro de Veracruz se encuentra en los climas semicálidos húmedos y cálidos subhúmedos. Desde el punto de vista fisonómico la característica distintiva más importante, es que más de la mitad y a veces tres cuartas partes de los árboles altos de esta selva, pierden completamente sus hojas en la época de sequía (Miranda y Hernández X., 1963). Aunque presenta pocas especies perennifolias como *Ocotea* sp., *Protium copal*, *Piper nudum*, *Anthurium podophyllum* y *Anthurium schlechtendalii*, este bosque nunca se encuentra totalmente sin hojas, pero el periodo de caducidad de las hojas de las especies arbóreas es bastante prolongado. En áreas más inaccesibles, el bosque tropical subcaducifolio constituye una de las comunidades vegetales mejor conservadas; generalmente presenta un estrato herbáceo poco diverso, dominando el estrato arbóreo y arbustivo.

### Bosque tropical caducifolio

El bosque tropical caducifolio se localiza principalmente en el centro y norte del estado de Veracruz (figura 1), hacia el centro se distribuye en la mayoría de los paisajes, en altitudes de 50 a 900 msnm. Fisonómicamente se caracteriza por tener componentes arbóreos bajos, generalmente de 6-12 m y por la pérdida del follaje durante la época seca, en contraste con la época lluviosa, cuando se cubre de verde. Ocupa una superficie de 22 843 ha y se localiza en los acantilados de los paisajes, con pendiente mayor de 60 %. Está mejor representado en la Sierra de Manuel Díaz (Acosta, 1986), en los alrededores de Jalcomulco (Castillo-Campos, 1995) y en la cuenca media alta del río Actopan (figura 5). La diferenciación de esta comunidad vegetal en los acantilados se debe principalmente a las especies suculentas que tienen preferencia por esos sitios y se vuelven casi propios de este tipo de hábitats; en general estas especies son *Hechtia* sp., *Pseudobombax ellipticum*, *Tillandsia grandis*, *Callisia fragans* y *Plumeria rubra* (Castillo-

Campos, 1991; Castillo-Campos y Medina, 2002; Cházaro, 1992; Medina y Castillo-Campos, 1993; Ortega, 1981). Este bosque es una de las comunidades vegetales más diversas en especies primarias, con un promedio de 52 por 1 000 m<sup>2</sup>, además de ser más tolerantes a la perturbación y a los cambios ambientales; sin embargo, está altamente amenazado por el cambio de uso del suelo, tanto del centro, como del norte del estado de Veracruz y no existen áreas naturales protegidas donde este tipo de vegetación esté representado.



FIGURA 5. Bosque tropical caducifolio en el centro del estado de Veracruz.

### Bosque de encino

Los bosques de encino en Veracruz, se dividen dentro de dos grupos climáticos principales: los templados y los de zonas cálidas (Gómez-Pompa, 1978). Los encinares cálidos presentan gran afinidad climática con los bosques tropicales, sin embargo, el factor edáfico es el que determina el brusco cambio en la fisonomía y la composición florística que se presenta en las áreas ecotónicas de estas dos comunidades (Pennington y Sarukhán, 1998).

En Veracruz los fragmentos de encino ocupan una superficie de 20 100 ha; los tropicales están caracterizados por presentar un estrato arbóreo de 6 a 15 m, un estrato arbustivo de 1 a 5 m y un estrato herbáceo abundante (figura 1). Los encinares templados generalmente son de mayor tamaño y de diámetros considerablemente mayores, los árboles dominantes llegan a alcanzar hasta 40 m de altura y están asociados al bosque mesófilo de montaña, donde las especies más comunes son *Quercus laurina*, *Q. germana* y *Q. xalapensis*.

En el centro del estado, el encinar tropical junto con el palmar de *Brahea dulcis* comparten un mismo hábitat en los paisajes de Jalcomulco y Chavarrillo, donde varía su distribución altitudinal de 600 a 840 m. Estas dos comunidades además del hábitat comparten los elementos florísticos, es decir, el 50 % de las especies del encinar también se encuentran en el palmar. El epifitismo en el bosque de encino está bien caracterizado por bromelias y orquídeas tales como *Aechmea bracteata*, *Brassavola cucullata*, *Encyclia cochleata*, *Laelia anceps*, *Tillandsia balbisiana*, *T. concolor*, *T. ionantha*, *T. schiedana* y arbustos epífitos de *Juanulloa mexicana*; estos elementos se han visto fuertemente afectados por los frecuentes incendios que se presentan en la zona (Acosta, 2002; Castillo-Campos, 1995; Cházaro, 1992; Luna, 1997; Martínez, 1988).

A lo largo del estado de Veracruz éste es uno de los tipos de vegetación que ha sido fuertemente degradado, desde los encinares tropicales hasta los templados. Prácticamente no existen fragmentos de encinares en buen estado de conservación y tampoco existen áreas protegidas que los incluyan. Por lo tanto proteger los pocos fragmentos o remanentes de encinares que quedan debe ser prioritario.

### Bosque de pino

Estos bosques de clima templado son el tipo más común de bosques en México. En Veracruz son

relativamente pobres en especies y ocupan una extensión limitada de 52 826 ha; sin embargo, están presentes casi en todos los tipos climáticos que se encuentran en el estado (Gómez-Pompa, 1965). Se distribuye principalmente en la zona alta y fría del Cofre de Perote y del Pico de Orizaba, desde los 3 000 hasta los 4 000 m o más de altitud en los límites con la zona alpina (figura 6). Asimismo, a medida que disminuye la altitud, entre los 2 000 y 3 000 m, se encuentran bosques de pino mezclados con bosques de encino, formando mosaicos ecológicos, debido principalmente a gradientes de humedad locales y tipos de suelo. Estos bosques presentan distintos grados de perturbación, principalmente por el cambio de uso del suelo y la extracción de especies forestales. A pesar de que la mayoría de estos bosques están representados en áreas naturales protegidas, la extracción permanente de madera los hace insustentables, debido a la ausencia o falta de instrumentación de programas de manejo que aseguren aprovechamientos a largo plazo de las especies más cotizadas en el mercado nacional e internacional.

Es importante considerar que estos bosques tienen una estrecha relación con la recarga de los mantos acuíferos de las cabeceras de los principales ríos del centro de Veracruz. Se tiene documentado que



FIGURA 6. Bosque de pino en las faldas del Cofre de Perote.

en estos bosques, un solo árbol es capaz de retener hasta cerca de 59 litros de agua por hora (Barradas, 1983), y enviarla al suelo cuando sus hojas entran en contacto con la neblina. Esto puede dar una idea de la importancia ecológica que los bosques de pino tienen para mantener la recarga de los acuíferos de los ríos que provienen de esas montañas y suministrar el agua que es indispensable para mantener los asentamientos humanos que se han establecido en el centro de Veracruz.

### Bosque de pino-encino

La similitud de las exigencias ecológicas de los bosques de pino y de los bosques de encino da como resultado que los dos tipos de bosques ocupen nichos muy similares y que a menudo se presenten en forma de bosques mixtos, lo cual dificulta su interpretación y cartografía precisa (Rzedowski, 1978). Muchos autores optaron por fusionar en sus estudios a los bosques de *Pinus* y los de *Quercus* en un sólo tipo de vegetación, a pesar de las significativas diferencias fisonómicas entre unos y otros.

En Veracruz estas comunidades vegetales tienen una cobertura de 26 253 ha, el equivalente a la mitad de la que ocupa el bosque de pino y casi dos terceras partes de lo correspondiente a los bosques de encino. Se encuentran distribuidas principalmente en el Cofre de Perote y en el Pico de Orizaba. Las necesidades climáticas de esta comunidad la restringen principalmente a las zonas de alta montaña, por arriba de los 1 200 msnm, aunque es posible encontrarlos por debajo de esa altitud. Fisonómicamente es un bosque abierto cuya altura varía desde los 8 hasta los 25 m o más y se presenta sobre cerros de poca pendiente, o bien en cañadas húmedas. La estructura frecuentemente revela la existencia de un estrato superior dominado por pinos y un estrato más bajo dominado por encinos.

### Matorral xerófilo

El matorral xerófilo es quizá uno de los tipos de vegetación menos afectados por las actividades del hombre, consecuencia lógica de las condiciones climáticas imperantes que, por lo general, no son favorables para el desarrollo de la agricultura y de una ganadería intensiva; el aprovechamiento de las plantas silvestres también es limitado (Rzedowski, 1978). No obstante, en Veracruz este tipo de vegetación se ocupa para el pastoreo de ganado caprino y es difícil precisar su estado de conservación, si se considera la carencia de información que permita evaluar el efecto del ramoneo por las cabras en los distintos elementos de esta comunidad vegetal. El matorral xerófilo ha sido poco estudiado en Veracruz; en las exploraciones más recientes se han publicado nuevos registros de especies (Castillo-Campos *et al.*, 1998; Escamilla-Báez y Castillo-Campos, 2000; Mejía-Saulés *et al.*, 2002). El estrato herbáceo es bastante rico en especies y probablemente se deba al ramoneo constante del ganado caprino; florísticamente desconocemos su estructura arbórea, arbustiva y herbácea. A pesar de que por su fisonomía constituye paisajes de inigualable belleza escénica (figura 7) tampoco se encuentran protegidos, y su mejor defensa es que



FIGURA 7. Matorral xerófilo en la zona árida veracruzana.

se desarrollan en ambientes poco aptos para las actividades agropecuarias. Están constituidos principalmente por sustratos rocosos tanto calizos como volcánicos.

Este tipo de vegetación se localiza en el sota-vento del Cofre de Perote, en los límites con el estado de Puebla, donde ocupa una superficie aproximada de 9 391 hectáreas.

### Bosque de galería o vegetación ribereña

En las zonas tropicales el factor ambiental más decisivo es la temporada de sequía y aunque fuese de consideración, siempre existen lugares más húmedos que crean condiciones microclimáticas variadas; por ejemplo, las orillas de los ríos, riachuelos, pantanos, entre otros, que permiten la existencia de ciertas especies exigentes de humedad (Gómez-Pompa, 1971). A las comunidades vegetales que se desarrollan a lo largo de las corrientes de agua más o menos permanentes se le conoce como bosque de galería (Rzedowski, 1978), siendo notorios los paisajes que conforman los principales ríos en el estado (figura 8), como el de La Antigua, Actopan, Coatzacoalcos, Cazonas, Pánuco y Papaloapan. En estos hábitats se presenta una alta diversidad vegetal donde se encuentra un estrato arbóreo esparcido de seis a 40 m, un estrato arbustivo cerrado de 1 a 5 m y un estrato herbáceo abundante. Esta comunidad vegetal ocupa una superficie aproximada de 1 285 ha, y difiere de las demás comunidades vegetales por localizarse en el margen de ríos, en áreas planas o con pendientes suaves de 1 a 25 %. Desde el punto de vista fisonómico-estructural, se trata de un conjunto muy heterogéneo, comprende árboles de hoja perenne, decidua o parcialmente decidua (Rzedowski, 1978).

Es necesario considerar que en Veracruz la vegetación ribereña ha sido muy poco estudiada; sin embargo, es muy importante entender su estructura florística si se considera la función ecológica que

desempeña, además de evitar el desbordamiento de los ríos, en cuyos valles se han establecido asentamientos humanos y áreas de cultivo. Asimismo, las zonas ribereñas facilitan el movimiento de plantas exóticas a través del paisaje, lo cual depende de la distancia de los centros de población establecidos en las zonas más altas de la rivera del río (DeFerrari y Naiman, 1994).



FIGURA 8. Bosque de galería o vegetación riparia en el río La Antigua o de Los Pescados, en Jalcomulco, Veracruz.

### Manglar

Se encuentra localizado a lo largo de la línea de costa del Golfo de México, en la desembocadura de los principales ríos como el Coatzacoalcos y el Papaloapan; también rodea cuerpos de agua lagunares como la laguna del Ostión (figura 9), laguna de La Mancha y la laguna de Tamiahua entre otras. Esta comunidad vegetal ocupa una superficie de 43 021 ha en el estado y en los últimos años ha sido muy afectada por la ampliación de la frontera agropecuaria y los asentamientos humanos, lo que ha provocado una importante disminución de su superficie. Generalmente está rodeada por pastizales dedicados al pastoreo de ganado vacuno.



FIGURA 9. Manglar en la Laguna del Ostión, al norte de Coatzacoalcos, Veracruz.

### Vegetación de dunas costeras

Debido a las características de su estructura y fisonomía, no es posible ubicarla en la clasificación de los tipos de vegetación de México. Por ello se ha designado con el nombre de vegetación de dunas costeras a la comunidad vegetal que se está desarrollando en las hondonadas de estos hábitats (Castillo-Campos y Medina, 2002). Esta comunidad vegetal es muy compleja ya que el establecimiento de la flora depende de varios factores físicos como la temperatura, la presencia de materia orgánica y el manto freático (Moreno-Casasola *et al.*, 1982). La vegetación de dunas costeras está representada por un estrato arbustivo y un arbóreo de 5 a 10 m de altura (figura 10). Se localiza sobre las dunas móviles, semimóviles y estabilizadas y ocupa una superficie de 18 167 ha. Esta comunidad vegetal está siendo desplazada por los desarrollos turísticos en las costas de Veracruz. Debido a su escaso conocimiento florístico y a la presencia de especies endémicas, es importante localizar las áreas mejor desarrolladas a lo largo de la costa del Golfo de México y buscar alternativas para su protección.



FIGURA 10. Vegetación de dunas costeras en la Reserva Natural de La Mancha, Veracruz.

### Pastizales cultivados

Los pastizales introducidos son los que predominan en la mayor parte del estado de Veracruz (figura 1), ocupan la mayor superficie de su territorio (3 254 999 ha) y sobresalen de las comunidades vegetales originales. Están asociados generalmente con árboles aislados y cercas vivas con diversas especies arbóreas (figura 11).

Generalmente los pastizales tropicales, a lo largo del estado, presentan árboles aislados asociados que son representantes o relictos de la vegetación original; entre estas especies destacan las de *Ficus* spp., *Tabebuia rosea*, *Spondias mombin*, *Quercus oleoides*, *Sabal mexicana*, *Attalea butyracea*, entre otras.



FIGURA 11. Pastizales cultivados en los alrededores de Xalapa, Veracruz.



FIGURA 12. Popal-Tular en la Reserva Natural de La Mancha, Veracruz.

### Popal-Tular

El Popal-Tular se encuentra distribuido en los cuerpos de agua dulce costeros y del interior del estado (figura 12), disponen de una superficie de aproximadamente 126 299 ha. Generalmente, estas comunidades vegetales reciben los nombres de acuerdo con el género dominante, como el popal de *Thalia geniculata* y los tulares de *Typha dominguen-sis*. La fisonomía de estas comunidades vegetales, varían localmente dependiendo de la dominancia de las especies (Gómez-Pompa, 1978).

También se encuentran asociadas diversas especies, desde las flotantes o las arraigadas al fondo, hasta las arbóreas que rodean el cuerpo de agua.

### VEGETACIÓN SECUNDARIA

La vegetación secundaria, también llamada acahual, está caracterizada por especies conocidas como nómadas, que forman un grupo muy característico y bastante bien definido. Generalmente son especies de vida corta, menos de un año a unos cuantos años, aunque algunas especies pueden llegar a vivir muchos años y alcanzar alturas considerables. Sin embargo, todas ellas, en teoría, son remplazadas con

el tiempo por las especies residentes o primarias (Gómez-Pompa, 1971).

La ampliación de la frontera agrícola y las prácticas de manejo para la producción de cultivos agrícolas, ha incrementado sustancialmente la superficie de las comunidades vegetales secundarias que ocupan una superficie de 798 519 ha en el estado. Entre las familias más diversas, que caracterizan a las comunidades secundarias están las leguminosas, compuestas, gramíneas, euforbiáceas y convolvuláceas. Los acahuales pueden encontrarse en diferentes etapas de sucesión, de uno a cinco años hasta más de 15 años en los diferentes tipos de vegetación y tienen una composición y estructura que difiere de acuerdo a su edad.

Los acahuales recientes carecen de estrato arbóreo, presentan uno arbustivo abierto entre los 50 cm y 1 m de altura, y un estrato herbáceo abundante. Los cambios que indican la madurez en los acahuales, de recientes a viejos, se pueden ver en la estratificación de la vegetación, formación e incremento de materia orgánica, y en la exclusión de las especies anuales.

## CONCLUSIONES

Las variadas características fisiográficas y climáticas del estado se reflejan en los 19 tipos distintos de comunidades vegetales presentes, con una riqueza florística alta, con 7 855 especies registradas, pero cuyo inventario dista mucho de estar completo, ya que la riqueza total de nuestro país se calcula entre 25 000 a 30 000 especies (Dirzo y Gómez, 1996). No obstante, el disturbio de la vegetación prístina ha mermado su superficie original en más del 85 % y amenaza la riqueza, composición y estructura de las comunidades vegetales remanentes, el estudio de comunidades poco conocidas deberá proveer información que permita su conservación en el largo plazo.

## LITERATURA CITADA

- ACOSTA, P.R., 1986, *La vegetación de la Sierra de Manuel Díaz, Veracruz, México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 97 pp.
- ACOSTA, R.I., 2002, *Vegetación y flora del municipio de Xico, Veracruz, México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 150 pp.
- BARRADAS, V., L. 1983. Capacidad de captación de agua a partir de niebla en *Pinus montezumae* Lambert, de la región de las grandes montañas del estado de Veracruz. *Biótica* 8(3): 427-431.
- CASTILLO-CAMPOS, G., 1991, *Vegetación y flora del municipio de Xalapa*. Programa del Hombre y la Biosfera (MAB, UNESCO), Instituto de Ecología, H. Ayuntamiento de Xalapa, Veracruz, Xalapa, Ver., 148 pp.
- , 1995, *Ecología del paisaje del municipio de Jalcomulco, Veracruz*, tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 192 pp.
- CASTILLO-CAMPOS, G., A.P. Vovides y S. Avendaño, 1998, *Garrya ovata* Benth. subsp. *goldmanii* (Wootton y Standl.) Dahling (Garryaceae) and *Beschorneria calcicola* García-Mendoza (Agavaceae): two new reports from Veracruz, México, *Polibotánica* 8: 65-68.
- CASTILLO-CAMPOS, G. y M.E. Medina, 2002, *Árboles y arbustos de la Reserva Natural de La Mancha, Veracruz*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., 144 pp.
- CASTILLO-CAMPOS, G. y M.E. Medina, 2003, A new species of *Casearia* (Flacourtiaceae) from Mexico, *Novon* 13: 30-33.
- CASTILLO-CAMPOS, G., M.E. MEDINA, P.D. DÁVILA Y J.A. ZAVALA, 2005, Contribución al conocimiento del endemismo de la flora vascular en Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 73: 19-57.
- DIRZO, R. y G. Gómez, 1996, Ritmos temporales de la investigación taxonómica de plantas vasculares en México y una estimación del número de especies conocidas, *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83: 396-403.

- ESCAMILLA-BÁEZ, M. y G. Castillo-Campos, 2000, Cinco nuevos registros de Caryophyllaceae para el estado de Veracruz, México, *Brenesia* 54: 81-82.
- GÓMEZ-POMPA, A., 1965, La vegetación de México, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 29: 76-120.
- , 1971, Posible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical, *Biotrópica* 3(2): 125-135.
- , 1978, *Ecología de la vegetación del estado de Veracruz*, CECSA/INIREB, Xalapa, Ver., 91 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1991, *Anuario estadístico del estado de Veracruz*, Gobierno del Estado de Veracruz, 304 pp.
- LUNA, M.V.E., 1997, *Estudio de vegetación y flora del municipio de Coatepec, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 163 pp.
- MARTÍNEZ Y PÉREZ, J.L., 1988, *La vegetación de la zona noreste del Pico de Orizaba, Veracruz, México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 96 pp.
- MEDINA, M.E. y G. Castillo-Campos, 1993, Vegetación y listado florístico de la barranca de Acazónica, Veracruz, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 53: 73-111.
- MEJÍA-SAULÉS, M.T., G. Castillo-Campos y S. Avenaño, 2002, New reports of Poaceae in the rocky substratum of municipality of Perote, Veracruz, Mexico, *Rhodora* 104(919): 304-308.
- MIRANDA, F. y E. Hernández X., 1963, Los tipos de vegetación de México y su clasificación, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-72.
- MORENO-CASASOLA, P., E. van del Maarel, S. Castillo, M.L. Huesca e I. Pisanty, 1982, Ecología de la vegetación de dunas costeras: estructura y composición en el Morro de La Mancha, Ver. I, *Biótica* 7(4): 491-526.
- ORTEGA, O.R., 1981, Vegetación y flora de una corriente de lava (malpaís) al noreste del Cofre de Perote, Veracruz, *Biótica* 6(1): 57-97.
- PENNINGTON, T.D. y J. Sarukhán, 1998, *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*, UNAM/FCE, México, 521 pp.
- RZEDOWSKI, J., 1978, *Vegetación de México*, LIMUSA, México, 432 pp.
- , 1991, Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México, *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- , 1993, Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico, en: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*, Nueva York, Oxford University Press, pp. 129-144.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R. y Ma. del R. Pineda-López, 1991, Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et Cham., en el Cofre de Perote, estado de Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 16: 45-55.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAP), 2002, Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo, *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002, México, 81 pp.
- WALTER, K.S. y H.J. Gillett (eds.), 1998, 1997 IUCN Red list of Threatened Plants. Compiled by the World Conservation Monitoring Centre. IUCN – The World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 1XIV + 862 pp.



## Los bosques de oyamel (*Abies*)



Carlos H. Ávila Bello

Para conocer el origen de los bosques de oyameles (*Abies*) debemos recurrir a la historia geológica: pertenecen a la familia Pinaceae, que tuvo su origen durante el periodo Jurásico de la era Mesozoica en el Hemisferio Norte. México tiene nueve especies diferentes del género *Abies*, conocidos comúnmente como oyameles, abetos o romerillos, siete de ellas son endémicas. En Veracruz se encuentran dos especies de oyamel, *Abies religiosa* y *A. hickelii*, ésta última en peligro de extinción (Semarnat, 2002), y con distribución restringida y disyunta, es decir, separada.

### DISTRIBUCIÓN

La distribución actual de *A. hickelii* bien puede deberse al descenso de la temperatura durante el Mioceno Medio, cuyo registro de polen de *Picea* y *Abies* en la formación pliocénica de Paraje Solo, cerca de Coatzacoalcos, Veracruz, refuerza la idea de que durante este periodo la temperatura y las ecotóns descendieron (Graham, 1998). De acuerdo con

este último autor, durante el Terciario, la tierra firme se extendía desde el sureste de México hasta Norteamérica, lo que facilitó que especies de clima templado o frío como *Abies*, *Picea*, *Pinus*, *Ilex*, *Alnus*, *Quercus*, *Liquidambar* y *Ulmus*, entre otras, pudieran sobrevivir al enfriarse el clima.

Los bosques de *Abies* del estado de Veracruz se encuentran en el Cofre de Perote (Narave, 1985; Sánchez-Velásquez *et al.*, 1991), el Pico de Orizaba, la sierra de Acultzingo (Ávila-Bello *et al.*, 1994; Ávila-Bello y López-Mata, 2001) y pequeños manchones en Huayacocotla (Domínguez, 1986), entre los 2 400 a 3 600 msnm; en las tres primeras áreas se encuentran de manera simpátrica, es decir, comparten la misma área, *Abies hickelii* y *A. religiosa*, en el último, *Abies vejari* forma parte de bosques dominados por *Pinus pseudostrobus* y *Pseudotsuga menziesii* (Domínguez, 1986). Como se mencionó anteriormente, la distribución de *A. hickelii* está restringida a los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca; Farjon (1990), menciona su presencia en Guerrero, pero los estudios genéticos de Eguiarte y



FIGURA 1. La fisiografía donde se localizan los bosques de oyamel es muy accidentada, lo que ha contribuido a su conservación (Foto: Carlos Ávila).

Furnier (1997) y de Ávila-Bello y López-Mata (2001), confirmaron que sólo se encuentra en los tres primeros estados.

#### GEOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA

El Pico de Orizaba y el Cofre de Perote forman parte del eje neovolcánico y convergen con la Sierra Madre Oriental; las formaciones geológicas de ambas áreas datan del Cretácico hasta el Cuaternario, son volcanes estratificados de andesitas de anfíbola con augita, obsidiana negra y basalto (Johnson, 1970; Yarza, 1992). Los lugares donde actualmente vegetan los bosques de *Abies* de Veracruz son normalmente muy accidentados, en el Pico de Orizaba y Acultzingo, por ejemplo, las pendientes donde se encuentran varían entre 46 a 75°; en Perote las pendientes fluctúan entre 20 a 65° (figura 1). En los tres casos, la existencia de estos bosques se ha confinado a esos lugares debido a cambios en el uso del suelo, especialmente para establecer cultivos de papa y haba. En el estado, los bosques de oyamel se distribuyen normalmente en exposiciones N, NE y NO, aunque se pueden observar en exposiciones SE y SO en la sierra de Acultzingo y Perote.

#### CLIMA

El clima de estos bosques varía de templado subhúmedo a semifrío, con régimen de lluvias de verano, este último es fresco, largo e isotermal, con variación anual de la temperatura tipo Ganges (García, 1970; García, 1988; Soto, com. pers.). La precipitación total es de 1 698 mm anuales. La temperatura media es de 9.3 °C y los extremos van de 17 °C en mayo a 1.5 °C en febrero. Se registran en promedio 238 días nublados y 146 con neblina durante el año. En la figura 2 pueden observarse las características generales del clima donde se encuentran los bosques de *Abies* de Veracruz, se observa claramente que a lo largo del año no existe déficit de humedad, marzo es el mes más seco y se presenta una pequeña canícula en agosto; septiembre es el mes más húmedo.

Lo anterior está ligado seguramente a fenómenos climáticos como los nortes, éstos tienen un efecto importante en la distribución de *Abies hickelii* en Veracruz, ya que crean condiciones de mayor humedad; la temperatura baja a menos de 10 °C, especialmente entre los meses de noviembre a marzo; la lluvia parece ser un factor fundamental, ya que normalmente en los bosques de *A. religiosa* llueve entre 1 082 a 1 286 mm anuales (Madrigal-Sánchez, 1967; Álvarez del C., 1987), mientras que en los bosques de *A. hickelii* esta cantidad se encuentra cerca de los 1 700 mm. Del mismo modo, la temperatura media fluctúa de manera importante, en los bosques de *A. religiosa* va de los 10.5 a los 13 °C, mientras que en los de *A. hickelii* es de 9.4 °C. La máxima extrema en los bosques de *A. religiosa* puede llegar a 30 °C, mientras que en los de *A. hickelii* es de 27 °C; la mínima extrema que encontró Madrigal-Sánchez (1967) fue de -11 °C, en el caso de los bosques de *A. hickelii* es de 1.5 °C. La diferencia entre días nublados en uno y otro tipo de bosque también es considerable, ya que mientras en los de *A. religiosa* se presentan 200 días, en los de *A. hickelii* son 38 días más; los días con neblinas contabilizan 146 en total en los bosques de

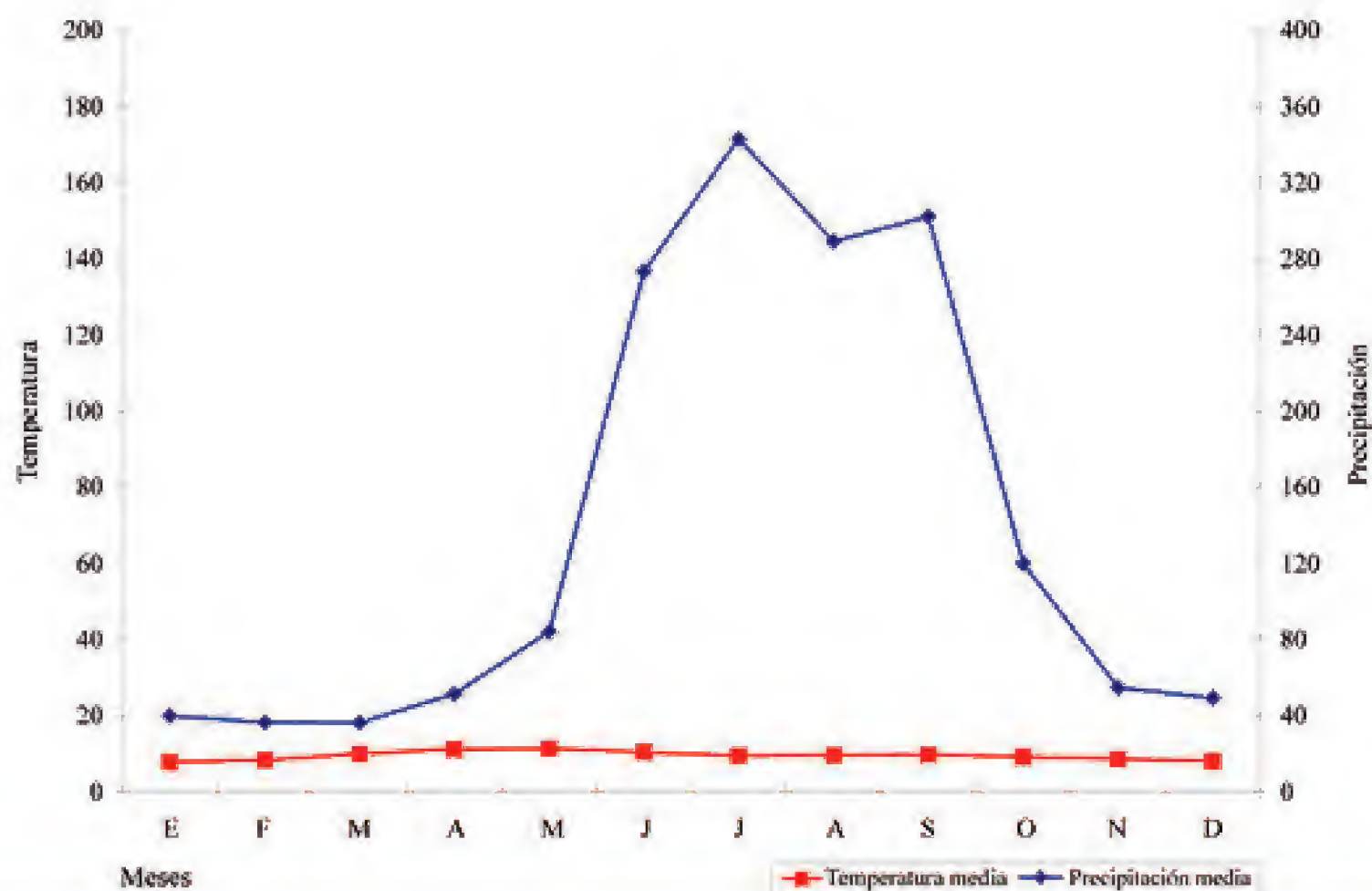


FIGURA 2. El diagrama ombrotérmico de la zona de Tembladeras, en el Cofre de Perote, muestra las características climáticas generales de los lugares ocupados por bosques de oyamel en Veracruz, puede observarse la presencia permanente de humedad a lo largo del año; la línea azul representa la precipitación, la negra la temperatura (Elaborado por: Carlos Ávila).

oyamel de Veracruz, mientras que en los de *A. religiosa* son sólo 55. De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que estas condiciones son las que han propiciado la existencia de los bosques de *A. hickelii* en Veracruz, adicionalmente, estas características permiten que los bosques de *Abies*, a diferencia de otros localizados a mayor latitud, prácticamente no interrumpen su crecimiento y desarrollo (Rzedowski, 1978). Es importante señalar, sin embargo, que debido al calentamiento global y el efecto de éste sobre el clima, el glaciar del río Jamapa puede desaparecer en unos 20 años (Palacios y Vázquez, 1996).

## SUELOS

Los suelos en donde se desarrollan los bosques de oyamel del estado son andosoles, de origen volcánico. En el Pico de Orizaba presentan textura miga-

josa, con tres horizontes; su contenido de materia orgánica varía entre 0.11 a 0.72 %; el valor máximo de la relación C/N es de 16.81 en el horizonte I (los primeros 20 cm de profundidad); el pH es ligeramente ácido, entre 4.8 y 6.7, levemente más ácido que aquellos ocupados por *A. religiosa* (Madrigal-Sánchez, 1967). A pesar de ser muy fértiles, estos suelos son muy susceptibles a la erosión.

## ESTRUCTURA

El bosque de oyamel presenta cuatro estratos, el herbáceo, arbustivo, arbóreo inferior y arbóreo superior (figura 3). En su área de distribución forma tres asociaciones vegetales a lo largo del gradiente altitudinal que cubre, entre los 2 700 a los 2 900 msnm, con *Pinus ayacabuite*, *P. patula*, *Alnus jorullensis* y varias especies de encinos como *Quercus laurina*, *Q. crassi-*

*folia*, *Q. dysophylla*, *Q. glabrescens*, *Q. greggii* y *Q. aff. tristis*, *Salix oxylepis* y ocasionalmente *S. paradoxa*. De acuerdo con Ávila-Bello y López-Mata (2001), en esta fisonomía *A. hickelii* y *P. ayacahuite* representan en conjunto el 59 % del valor de importancia (v. i.) de la comunidad y presentan, asimismo, los mayores valores de área basal, junto con *P. patula* y *Alnus jorullensis*; hacia los 2 900 a 3 200 msnm el bosque está conformado por *A. hickelii*, *A. religiosa*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *S. oxylepis*, *P. patula* y, esporádicamente, *Sambucus mexicana*, zona dominada por las dos especies de oyamel, ya que representan en conjunto el 60 % del v. i. en la comunidad.

Por otro lado, *A. religiosa*, *P. pseudostrobus*, *P. patula* y *S. oxylepis* presentan los mayores valores de área basal; de los 3 200 a 3 600 m de altitud el bosque está conformado por *A. hickelii*, *P. pseudostrobus*, *Arbutus xalapensis*, *Alnus firmifolia* y *Quercus* sp.

Las dos primeras junto con la última representan el 70 % del v. i. en la comunidad, en esta fisonomía las especies con mayor área basal fueron *Quercus* spp., *A. religiosa* y *Arbutus xalapensis*. La altura máxima registrada para este tipo de árboles fue de 50 m, la ausencia de árboles de este tipo en otras áreas de la zona de distribución de la especie se debe seguramente a su extracción. De acuerdo con el

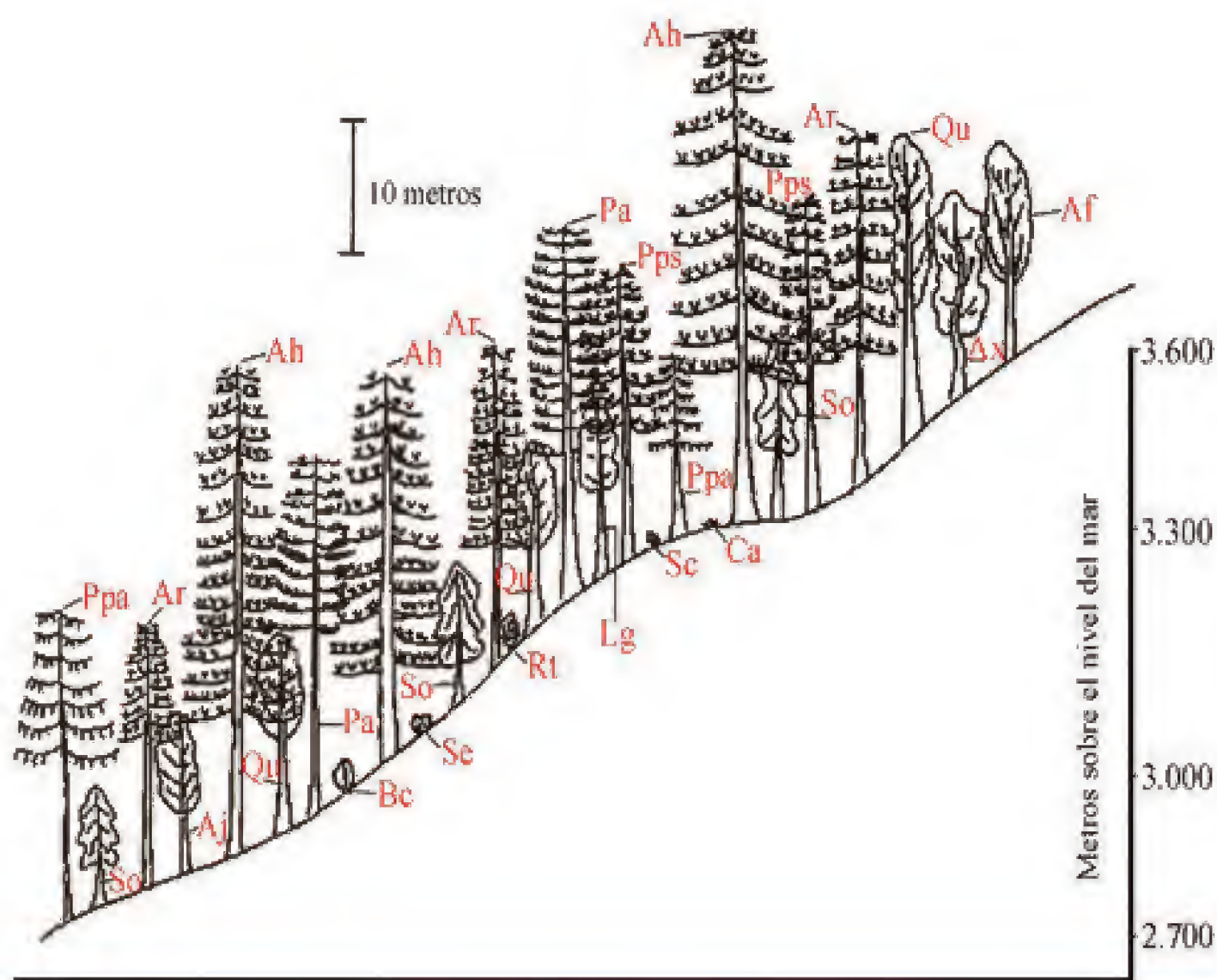


FIGURA 3. La estructura y composición florística general del bosque de oyamel está representada por Ah: *Abies hickelii*; Ar: *Abies religiosa*; Af: *Alnus firmifolia*; Aj: *Alnus jorullensis*; Ax: *Arbutus xalapensis*; Bc: *Baccharis conferta*; Lg: *Litsea glaucescens*; Pa: *Pinus ayacahuite*; Ppa: *Pinus patula*; Pps: *Pinus pseudostrobus*; Qu: *Quercus* spp.; Rt: *Rubus trilobus*; Se: *Senecio*; Sc: *Senecio callosus*; So: *Salix oxylepis* (Modificado de Ávila-Bello y López-Mata, 2001).

índice de MacNaughton,<sup>1</sup> las especies que dominan este tipo de comunidades son *A. hickelii*-*P. pseudostrobus* y *A. hickelii*-*P. ayacahuite*, ya que presentan altos valores de asociación (Ávila-Bello y López-Mata, 2001).

Algunos datos que pueden resultar de importancia para el manejo de estos bosques son los que se obtuvieron en los estudios de Sánchez-Velásquez *et al.* (1991) y Ávila-Bello *et al.* (1994). En ellos se indica que *Abies religiosa* y *A. hickelii* responden de mejor manera a algunas variables ambientales entre las que se encuentran la altitud, la temperatura máxima absoluta, el contenido de nitrógeno del primero y segundo horizontes, la profundidad del primero y segundo horizontes del suelo, así como el pH del primer horizonte y la pendiente.

#### COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Por otra parte, las condiciones de alta humedad, alto contenido de materia orgánica en los suelos, así como poca insolación y apertura de claros en algunas áreas, han favorecido la presencia de un sotobosque rico y diversificado. En los bosques de oyamel del estado se encuentra un total de 126 especies diferentes pertenecientes a 40 familias (cuadro 1) (Narave, 1985; Domínguez, 1986; Ávila-Bello *et al.*, 1994; Vázquez, s/f), las familias mejor representadas son: Asteraceae, Rosaceae, Pinaceae, Fagaceae y Ericaceae. Todas las áreas donde se distribuye este tipo de bosques comparten prácticamente todos los elementos arbóreos mencionados, con excepción de *Pinus patula* que no se observó en las cumbres de Acultzingo.

En este sentido, las comunidades de *Abies* son aparentemente muy homogéneas, varios de los ele-

mentos que se observan en toda el área de distribución del bosque de oyamel de Veracruz, se encuentran también en los bosques de *A. guatemalensis* como *Rubus trilobus*, *Senecio callosus*, *Fuchsia microphylla*, *Castilleja*, *Salvia* y *Pinus ayacahuite* (Islebe *et al.*, 1995). Del mismo modo, llama la atención que, a pesar de que el Pico de Orizaba se considera una zona más o menos conocida y explorada, hace algunos años se encontró una nueva especie para la región, *Oritrophium orizabense* Nesom, cuya distribución más norteña se encontraba en Venezuela (Nesom, 1992).

#### ESTADO DE CONSERVACIÓN

Es importante destacar que *A. hickelii* está catalogada en la Norma Ecológica Mexicana 059 como en peligro de extinción (Semarnat, 2002). Los bosques que forman estas especies son de gran importancia ecológica, ya que protegen las cuencas de los ríos Jamapa, Blanco, Jalcomulco, La Antigua, Actopan y Bobos, con ello se asegura el abastecimiento de agua a diferentes ciudades del centro del estado como Córdoba, Fortín, Jalapa, Orizaba y Perote; además, evitan la pérdida de suelo por erosión, aseguran la infiltración del agua, contribuyen a la preservación de los ciclos biogeoquímicos, a disminuir el calentamiento global, evitan el asolvamiento de ríos, presas, lagos y son áreas de majestuosa belleza escénica (figuras 4, 5 y 6). Sin embargo, estas comunidades se encuentran sometidas a fuerte presión antropogénica, ya que de ellos se extraen maderas para diferentes propósitos; además son usados como áreas de apacentamiento para hatos mixtos de ganado ovino, caprino y bovino, así como para la extracción de plantas alimenticias, ornamentales, medicinales y

<sup>1</sup> El índice de MacNaughton se expresa en porcentaje y refleja la dominancia ejercida en la comunidad por las dos especies más comunes, guarda una relación inversamente proporcional con la diversidad de la comunidad, pero también con su posición en el gradiente (Krebs, 1985).

ocasionalmente la cacería (Ávila-Bello, 1996; Jarvis *et al.*, 2004). Estos bosques cubren un área aproximada de 1 507 hectáreas, 362 en el Pico de Orizaba (Ávila-Bello y López-Mata, 2001) y 1 145 en el Cofre de Perote (Sánchez-Velásquez *et al.*, 1991), faltan por cuantificar aquellos rodales localizados en la sierra de Acultzingo y los correspondientes a Huayacocotla.



FIGURA 4. Los bosques de oyamel poseen gran belleza escénica, en la imagen una sección del río Jamapa mostrando la mezcla de *Abies hickelii* (oyamel blanco) y *Pinus ayacahuite* (ayacahuite) (Foto: Carlos Ávila).



FIGURA 5. Interior del bosque de oyamel en el Parque Nacional Pico de Orizaba, las neblinas constantes y la vista pueden invitar a la meditación (Foto: Carlos Ávila).

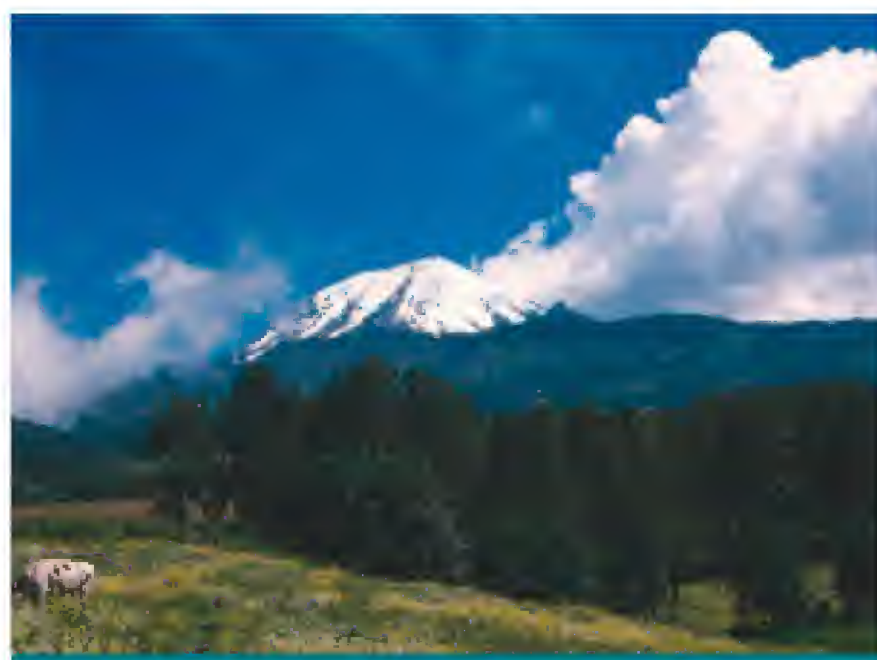


FIGURA 6. Algunos de los paisajes de estos bosques pueden confundirse con europeos (Foto: Carlos Ávila).

CUADRO 1. Lista florística por familia y especie de los diferentes bosques de oyamel localizados en Veracruz. El asterisco indica la presencia de las especies en cada región.

FAMILIA	ESPECIE	PICO DE ORIZABA Y ACULTZINGO	COFRE DE PEROTE	HUAYACOCOTLA
Adiantaceae	<i>Adiantum</i> sp.	*		
Apiaceae	<i>Arracacia atropurpurea</i> (Lehm.) Benth. & Hook. f. ex Hemsl.		*	
	<i>Eryngium columnare</i> Hemsl.	*		
	<i>Eryngium monocephalum</i> Cav.	*		
	<i>Eryngium proteaeflorum</i> F. Delaroche		*	
Asteraceae	<i>Archibaccharis</i> sp.			*
	<i>Baccharis conferta</i> Kunth	*	*	*
	<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	*	*	
	<i>Calea integrifolia</i> (DC) Hemsl.	*		
	<i>Cirsium</i> sp.	*		
	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	*		
	<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	*		
	<i>Dahlia merckii</i> Lehm.	*		
	<i>Eupatorium glabratum</i> Kunth			*
	<i>Eupatorium mairertianum</i> DC.			*
	<i>Eupatorium pazcuarensis</i> Kunth			*
	<i>Eupatorium petiolare</i> Moc. & Sessé ex DC.			*
	<i>Eupatorium</i> sp.	*		*
	<i>Gnaphalium salicifolium</i> (Bertol.) Sch. Bip.	*		
	<i>Oritrophium orizabense</i> G.L. Nesom	*		
	<i>Oxylobus arbutifolius</i> (Kunth) A. Gray		*	
	<i>Senecio angulifolius</i> DC.	*		
	<i>Senecio barba-johannis</i> DC.	*		*
	<i>Senecio callosus</i> Sch. Bip.	*		
	<i>Senecio cinerarioides</i> Kunth	*		
	<i>Senecio petasitis</i> (Sims) DC.	*		
	<i>Senecio platanifolius</i> Benth.	*		*
	<i>Senecio salignus</i> DC.	*	*	
	<i>Senecio toluccanus</i> DC.		*	
	<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	*		
	<i>Stevia glandulosa</i> Hook. & Arn.	*		
	<i>Stevia</i> sp.			*
	<i>Tagetes</i> sp.	*		
Betulaceae	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	*		
	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	*		*
Berberidaceae	<i>Berberis quinquefolia</i> (Standl.) Marroq. & Laferrière		*	
Boraginaceae	<i>Hackelia mexicana</i> (Schltdl. & Cham.) I.M. Johnst.		*	
	<i>Lithospermum dichotomum</i> Ruiz & Pav.		*	
	<i>Macromeria pringlei</i> Greenm.	*		
Caprifoliaceae	<i>Sambucus mexicana</i> C. Presl & ex DC.	*		
	<i>Symphoricarpus microphyllus</i> Kunth		*	

FAMILIA	ESPECIE	PICO DE ORIZABA Y ACULTZINGO	COFRE DE PEROTE	HUAYACOCOTLA
Caryophyllaceae	<i>Arenaria reptans</i> Hemsl.		*	
	<i>Cerastium</i> aff. <i>brachypodum</i> (Engelm. ex A. Gray) B.L. Rob.	*		
	<i>Silene</i> aff. <i>laciniata</i> Cav.	*		
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita</i> sp.	*		
	<i>Microsechium helleri</i> (Peyr.) Cogn.	*		
Cupressaceae	<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.			*
Ericaceae	<i>Arbutus glandulosa</i> M. Martens & Galeotti			*
	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	*	*	*
	<i>Arctostaphylos discolor</i> (Hook.) DC.	*		
	<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	*	*	
	<i>Gaultheria lancifolia</i> Small	*		
	<i>Pernettya ciliata</i> (Schltdl. & Cham.) Small	*		
Fabaceae	<i>Lupinus mexicanus</i> Cerv. ex Lag.	*		
	<i>Trifolium spicatum</i> Sibth. & Sm.	*		
Fagaceae	<i>Quercus</i> aff. <i>crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	*		
	<i>Quercus</i> aff. <i>tristis</i> Liebm.	*		
	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.			*
	<i>Quercus dysophylla</i> Benth.	*		
	<i>Quercus glabrescens</i> Benth.	*		
	<i>Quercus greggii</i> (A. DC.) Trel.	*		
	<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	*		*
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	*		
	<i>Geranium mexicanum</i> Kunth	*		
	<i>Geranium seemannii</i> Peyr.		*	
	<i>Geranium vulcanicola</i> Small	*		
Hydrophyllaceae	<i>Nama prostratum</i> Brand	*		
	<i>Phacelia platycarpa</i> (Cav.) Spreng.	*	*	
Lamiaceae	<i>Salvia elegans</i> Vahl	*		
	<i>Stachys agraria</i> Schltdl. & Cham.	*		
	<i>Stachys sanchezii</i> Rzed & A. García	*		
Lauraceae	<i>Litsea</i> aff. <i>glaucescens</i> Kunth	*		
Liliaceae	<i>Smilacina scilloidea</i> M. Martens & Galeotti	*		
Loganiaceae	<i>Buddleja cordata</i> H. B. & K.	*		
	<i>Buddleja parviflora</i> H. B. & K.	*		
Onagraceae	<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	*		
	<i>Lopezia hirsuta</i> Jacq.	*		
Orchidaceae	<i>Corallorbiza</i> sp.	*		
Oxalidaceae	<i>Oxalis alpina</i> (Rose) R. Kunth	*		
Papaveraceae	<i>Argemone ochroleuca</i> Sweet	*		
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i> Lam.	*		
Pinaceae	<i>Abies hickelii</i> Flous & Gausson	*		
	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. & Cham.	*	*	
	<i>Abies vejari</i> Martínez			*

concluye

FAMILIA	ESPECIE	PICO DE ORIZABA Y ACULTZINGO	COFRE DE PEROTE	HUAYACOCOTLA
Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltldl.	*		
	<i>Pinus patula</i> Schltldl. & Cham.	*		*
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	*		*
	<i>Pinus teocote</i> var. <i>quinquefoliata</i> Mart.			*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco			*
Poaceae	<i>Bromus</i> sp.	*		
	<i>Chusquea bilimekii</i> E. Fourn.	*		
	<i>Dissanthelium</i> sp.	*		
	<i>Festuca orizabensis</i> E.B. Alexeev	*		
	<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc.	*		
	<i>Poa</i> sp.	*		
Polemoniaceae	<i>Polemonium grandiflorum</i> Benth.		*	
Polygonaceae	<i>Coccoloba</i> sp.	*		
	<i>Rumex acetosella</i> L.	*		
Polypodiaceae	<i>Polypodium plebeium</i> Schltldl. & Cham.			*
	<i>Polypodium</i> sp.	*		
Pteridaceae	<i>Cheilanthes notholaenoides</i> (Desv.) Maxon ex Weath.	*		
Ranunculaceae	<i>Ranunculus donianus</i> Pritz.		*	
	<i>Ranunculus geoides</i> Kunth ex DC.		*	
Rosaceae	<i>Acaena elongata</i> L.	*		
	<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	*		*
	<i>Alchemilla vulcanica</i> Schltldl. & Cham.	*		
	<i>Fragaria mexicana</i> Schltldl.	*		
	<i>Holodiscus argenteus</i> (L. f.) Maxim.	*		
	<i>Potentilla glandulosa</i> Lindl.	*		
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.		*	
	<i>Rubus liebmannii</i> Focke	*		
	<i>Rubus trilobus</i> Moc. & Sessé ex Ser.	*		
Rubiaceae	<i>Galium uncinulatum</i> DC.	*		
Salicaceae	<i>Salix oxylepis</i> C.K. Schneid.	*		
	<i>Salix paradoxa</i> Kunth	*	*	
Saxifragaceae	<i>Heuchera</i> aff. <i>mexicana</i> Sebafterner	*		
	<i>Ribes ciliatum</i> Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult.		*	
	<i>Ribes microphyllum</i> Kunth		*	
Scrophulariaceae	<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.		*	
	<i>Lamourouxia rhinanthifolia</i> Kunth	*		
	<i>Penstemon gentianoides</i> (Kunth) Poir.	*	*	
Smilacaceae	<i>Smilax</i> sp.	*		
Solanaceae	<i>Cestrum benthami</i> Miers	*		
	<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	*		
Urticaceae	<i>Urtica orizabae</i> Liebm.	*		
Verbenaceae	<i>Verbena recta</i> Kunth	*		

FUENTES: Domínguez, 1986; Ávila-Bello, 1992; Ávila *et al.*, 1994; Narave, 1985; Vázquez, s/f.

## DEMOGRAFÍA

No existen estudios detallados acerca de la demografía de las especies de *Abies* localizadas en Veracruz, algunos datos sin publicar muestran que en el Parque Nacional Pico de Orizaba *A. hickelii* se encuentra en peligro de extinción, ya que la capacidad de crecimiento de la población no llega al equilibrio, es decir, mueren más individuos de los que nacen (Ávila-Bello *et al.*, en prep.). El ciclo biológico de esta especie puede dividirse en siete estadios, la densidad, como es normal en especies longevas, disminuye al aumentar la edad o el tamaño, de tal manera que las plántulas y juveniles se presentan en mayor número que los adultos. El estadio que requiere mayor atención para asegurar la permanencia de la especie es el de juveniles pre-reproductivos, es decir, aquellos árboles que entrarán a la etapa de adultos; el problema principal en algunas áreas del Pico de Orizaba es la nula incorporación de juveniles pre-reproductivos al estadio de adultos, si se logra esto último,  $\gamma$  puede aumentar a 1.01 o en caso de no cosechar árboles hasta 1.29, lo cual representa, desde el punto de vista biológico, una tasa de crecimiento excepcional en árboles.



FIGURA 7. Una de las actividades más importantes llevadas a cabo en los alrededores de los bosques de oyamel en Veracruz, es la agricultura. En la foto, siembra de haba en la comunidad de Jacal a los 2 900 msnm (Foto: Carlos Ávila).

## IMPORTANCIA ECONÓMICA, AMENAZAS Y POSIBILIDADES DE CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE

Los usos a los que se someten los bosques de oyamel en su área de distribución son variados y se llevan a cabo gracias a la riqueza que presentan los suelos de tipo andosol (profundos, con alta cantidad de materia orgánica y húmedos), pero también a la riqueza florística producto de la apertura de claros en el dosel superior del bosque.

### Agricultura

El cultivo comercial más importante que se practica en el área de distribución de los bosques de oyamel es la papa (*Solanum tuberosum* L.), en el Pico de Orizaba este cultivo se lleva a cabo desde hace más de un siglo en lugares cuya altitud va de los 2 800 a los 3 200 m y está sujeto a la oferta y la demanda (figura 7); todas las prácticas agrícolas se llevan a cabo con tracción animal, palas rectas y azadones. En general se encuentran dos áreas dedicadas al cultivo, en las partes bajas se cultiva la papa para venta y en las más altas aquella que se destinará a la obtención de semilla para el siguiente ciclo. La papa se cosecha entre agosto y septiembre con la ayuda de azadones para jalar y de tipo rastrillo; aquellas papas para semilla se cosechan entre noviembre y diciembre. Después de la cosecha, los terrenos se someten a rotación simple, es decir, se deja un periodo de descanso corto seguido del cultivo de cebada o avena forrajera. Algunos productores conservan dentro de estas áreas árboles de *P. pseudostrobus*, *P. patula* y *A. hickelii*, los cuales son sometidos a podas constantes para permitir el paso de luz, esto posibilita en algunos casos un buen desarrollo del árbol, sin embargo, en otros las podas son tan severas que afectan su desarrollo volumétrico; del mismo modo, merece mención la práctica de conservar árboles siguiendo empíricamente la curva natural del terreno (Ávila-Bello, 1996).



FIGURA 8. El bosque de oyamel provee también de materiales para la construcción de casas. Transporte de tablonés en Jacal, Veracruz (Foto: Carlos Ávila).

### Aprovechamientos forestales

El bosque proporciona diferentes productos, con valor de uso y valor de cambio, aunque en éste último caso los campesinos siguen enfrentando problemas importantes como precios bajos, corrupción, dificultad de acceso a las zonas de aprovechamiento, desorganización y minifundismo. Tanto del oyamel negro (*A. religiosa*) como del oyamel blanco (*A. hickelii*) se obtienen vigas, tablonés, ocasionalmente tejamanil, morillos, cinta y tapajunta, cuya vida útil va de 10 a 15 años. De *P. ayacahuite* se obtienen horcones y tablonés, cuya vida útil puede llegar a 30 años (Ávila-Bello, 1996) (figura 8).

La leña es uno de los productos más importantes derivados de estos bosques, el consumo de una familia de seis miembros es de alrededor de un millar de kg al año, aunque se debe mencionar que es raro el derribo de árboles completos para este propósito ya que buena parte del consumo de este producto se lleva a cabo recogiendo los restos de ramas y árboles muertos (Ávila-Bello, 1996). De otras especies componentes del bosque de oyamel

como *Quercus* spp., *Salix oxylepis*, *S. paradoxa* y *Alnus firmifolia* se obtienen cabos para herramientas, juguetes y condimentos como el laurel (*Litsea* aff. *glauscesens*); otras plantas como el chicamole (*Microsechium helleri*) proporcionan jabón, ya que aparentemente la raíz produce saponinas.

### Ganadería

La práctica de la ganadería es muy importante para muchos de los productores que habitan las zonas donde se distribuyen los bosques de oyamel en Veracruz. En general se manejan hatos mixtos de ganado ovino y caprino, algunos campesinos poseen ganado bovino, que permanece libre en el monte. El pastoreo es libre y se lleva a cabo siguiendo un gradiente de distancia, es decir, se inicia al salir del corral, muy cerca de la casa habitación, y se detiene de vez en vez, de acuerdo con la riqueza que observe el pastor en los estratos herbáceo y arbustivo (figura 9). Es muy interesante mencionar la alta palatabilidad aparente que tiene el muérdago (*Phoradendron* sp.), esta planta se poda de árboles de *Alnus* sp. o de *Pinus* spp. y, sin necesidad de ofrecerla a los animales, éstos la aprovechan de inmediato. De acuerdo con Parra (1989), el uso del bosque como área de apacentamiento puede tener varias ventajas, como la utilización de plantas en áreas no aptas para la agricultura; la recolección de minerales que sirven como abono para el bosque y los cultivos. Pueden aportar materia prima para otros productos (prendas de vestir o artesanías); valorización de fuerza de trabajo con pocas opciones de empleo (ancianos, niños y mujeres). Esta práctica tiene un efecto muy importante sobre el suelo y los individuos jóvenes del bosque, por lo que será fundamental en el futuro llevar a cabo estudios de ecología de agostaderos, especialmente los relacionados con la condición y tendencia de estas áreas de apacentamiento, que contribuyan al uso sustentable de estos bosques.



FIGURA 9. El sotobosque de los bosques de oyamel en Veracruz es utilizado para el apacentamiento de hatos mixtos de ganado ovino y caprino (Foto: Carlos Ávila).

## FAUNA

Finalmente, la fauna silvestre que aún puede encontrarse en estas zonas constituye una fuente de proteína y medicina, se aprovechan para tal propósito el zorrillo (*Mephitis macroura*), como remedio contra erupciones de la piel; ardillas de árbol (*Sciurus aureogaster*) y conejos (*Sylvilagus floridanus*) (Ávila-Bello, 1996).

## CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE

Las condiciones bajo las cuales se desarrollan los bosques de oyamel en el estado merecen atención, ya que estimulan un crecimiento muy vigoroso de la vegetación, así como una alta riqueza de especies que puede observarse a lo largo del gradiente altitudinal que cubren y los diferentes estratos que componen su estructura vertical. Las fuertes pendientes y profundas barrancas en las que se distribuyen pueden hacer muy difícil el acceso y la inversión económica para la extracción de árboles. La belleza escénica de la zona (figura 10), la distribución restringida de especies como *Abies hickelii* y *Oritrophium orizabense*, la primera dominante en las zonas de mayor altitud del Pico de Orizaba y Acultzingo, la segunda endémica de México y restringida a la zona del Pico de Orizaba imponen limitantes para el aprovechamiento forestal, ya que afectaría el tamaño de estas poblaciones, su variabilidad genética y por lo tanto su existencia.

De acuerdo con lo anterior, se deben rescatar las funciones asignadas por decreto presidencial al Parque Nacional, permitiendo que sea administrado, con la debida capacitación, por los pobladores del área, esto posibilitaría además la preservación de importantes corrientes fluviales como el río Jamapa, que proporciona agua a pequeños poblados, importantes ciudades e industrias del centro de Veracruz.

Una opción que no se ha explorado y que puede constituir una posible línea de investigación básica y aplicada es el establecimiento de plantaciones de arbolitos de navidad con base en las poblaciones nativas de *Abies hickelii* y *A. religiosa*, esta actividad puede ser una fuente adicional de empleo, obtención de recursos económicos para los pobladores, la preservación de las especies, el hábitat y una invitación a la exploración del lugar y el uso de árboles nativos en la época navideña por parte de las poblaciones urbanas cercanas a la zona.



FIGURA 10. Un hermoso atardecer a la orilla de un bosque de oyamel en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz (Foto: Carlos Ávila).

Algunas actividades como la agricultura deben replantarse con base en el uso de sistemas agroforestales en curvas de nivel, práctica que además no es ajena a los pobladores de algunas de las áreas en donde se encuentra este tipo de vegetación; el establecimiento de estos sistemas posibilitaría además la obtención de leña, frutales y la preservación del suelo.

El libre pastoreo puede ser manejado, sin embargo, es importante llevar a cabo estudios de ecología que incluyan la evaluación de la condición y tendencia del agostadero, así como una selección cuidadosa del mejor tipo de ganado para las condiciones del área.

Finalmente, en los bosques cercanos debe llevarse a cabo investigación básica (fitosociológica y de genética poblacional) y aplicada (demográfica y sistemas de manejo) que permita generar tecnología adecuada a las condiciones ecológicas y sociales de las comunidades locales.

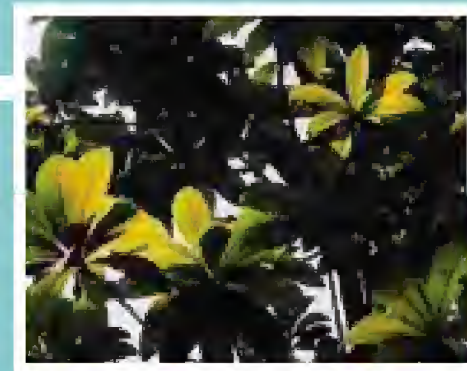
#### LITERATURA CITADA

ÁLVAREZ DEL C., C., 1987, La vegetación de la Sierra del Ajusco. Instituto Nacional de Antropología e Historia, *Cuaderno de Trabajo*, núm. 33, 74 pp.

- ÁVILA-BELLO, C. H., 1992, *La estructura del bosque de oyamel (Abies hickelii Flous et Gausson) y su relación con factores ambientales físicos y antropógenas en el Pico de Orizaba, Veracruz*, tesis de maestría en Ciencias, especialidad en Botánica, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 115 pp.
- , C. H., J. Aguirre R. y E. García M., 1994, Variación estructural del bosque de oyamel (*Abies hickelii* Flous et Gausson) en relación con factores ambientales en el Pico de Orizaba, México, *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 3: 5-17.
- , C. H., 1996, Observaciones sobre un sistema de producción agrícola en el Pico de Orizaba, Veracruz. México, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59: 59-66.
- , C. H. y L. López-Mata. 2001. Distribución y análisis estructural de *Abies hickelii* (Flous et Gausson) en México. *Interciencia* 26(6): 244-251.
- , C. H., L. López-Mata y M. C. Mandujano, *Population dynamics of Abies hickelii (Flous et Gausson) an endangered species exposed to burning and harvest on the Pico de Orizaba Mountain, Veracruz, México*, en preparación.
- DOMÍNGUEZ, F. A., 1986, *Estudio ecológico de Pseudotsuga mensiezii (Mirb.) Franco en la región de Huayacocotla, Veracruz*, tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, 266 pp.
- EGUIARTE, L. E. y G. R. Frunier, 1997, *Patrones de variación genética en el género Abies. Informe final Proyecto B 138*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, UNAM, México, 51 pp.
- FARJON, A., 1990, *Pinaceae*, Koeltz Scientific Books, 330 pp.
- GARCÍA, E., 1970, Los climas de Veracruz, *Anales del Instituto de Biología (Serie Botánica)* 41: 3-42.
- , 1988, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), 4ª ed. Ofset Larios, México, 217 pp.

- GRAHAM, A., 1998, Factores históricos de la diversidad biológica de México, en: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. y Fa J. (comps.), *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución*, Instituto de Biología, UNAM. pp. 109-127.
- ISLEBE, G., A. Velásquez y A. Cleef, 1995, High elevation coniferous vegetation of Guatemala. A phytosociological approach. *Vegetatio* 116: 7-23.
- JARVIS, M. C., A. M. Millar, J. Sheahan, K. Ploetz, J. Ploetz, R. R. Watson, M. Palma R., C. A. Pascario V., J. García A., A. López Ramírez y B. Orr, 2004, Edible wild mushrooms of the Cofre de Perote region, Veracruz, Mexico: an ethnomycological study of common names and uses. *Economic Botany* 58: 111-115.
- JOHNSON, L. E., 1970, *Morfogénesis y clasificación de algunos perfiles derivados de cenizas volcánicas del Pico de Orizaba, Puebla y Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 78 pp.
- KREBS, C. J., 1985, *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia*, Harla, México, 753 pp.
- MADRIGAL-SÁNCHEZ, X., 1967, Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* H. B. K. Schl. et Cham.) en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Secretaría de Agricultura y Ganadería, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 18:1-94.
- NARAVE, H., 1985, La vegetación del Cofre de Perote, *Biótica* 10: 35-64.
- NESOM, G. L., 1992, *Oritrophium orizabense* a new species and new register for North America, *Phytologia* 73: 338-339.
- PALACIOS, D. y Vázquez L., 1996, Geomorphic effects of the retreat of the Jamapa Glacier, Pico de Orizaba Volcano (Mexico). *Geografiska Annaler* 78: 19-34.
- PARRA, V. M., 1989, El papel de las explotaciones pecuarias en la dinámica de los agroecosistemas tradicionales, en: Hernández X., Efraím, J. A. Cuevas, E. Estrada E., R. Ortega P. y A. Cruz L. (eds.), *Etnobotánica*, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 131-135.
- RZEDOWSKI, J., 1978, *Vegetación de México*, Limusa, México, 432 pp.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, R., M. R. Pineda-López y A. Hernández-Martínez, 1991, Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en el Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 16: 45-55.
- SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2002, Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo, *Diario Oficial de la Federación*, México.
- VÁZQUEZ, M., s/f, Recursos vegetales, en: Acevedo Rubio, J.L. (edit.), *Programa de manejo para el Cofre de Perote o Nauhcampatepetl*, Colegio Profesional de Biólogos del Estado de Veracruz. pp. 62-65.
- YARZA, E., 1992, *Volcanes de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 173 pp.

# El bosque tropical perennifolio



Mario Vázquez Torres

Se presenta aquí una breve reseña de las cualidades fisionómicas, ecológicas, estructurales y de riqueza taxonómica, desde una perspectiva global, del bosque perennifolio de Veracruz (figura 1). Estas comunidades boscosas naturales, propias de las zonas cálido-húmedas de bajas y medianas altitudes, distribuidas en la franja intertropical de la Tierra han sido consideradas históricamente, en concepto de los naturalistas, como expresiones de grandes concentraciones de diversidad biológica, en atención, además, a su complejidad estructural, profusión de biotipos, hábitats y hábitos, así como por su gran riqueza de especies tanto vegetales como animales, en unidades espacio-temporales relativamente pequeñas. También se acepta que la mayoría de las especies muestran una amplia distribución geográfica.

El bosque tropical perennifolio (*sensu* Rzedowski, 1978), selva alta perennifolia (*sensu* Miranda y Hernández, 1963), pluvisilva y *Evergreen Rain Forest*, *Tropical Rain Forest*, y otras denominaciones recibidas, ha sido motivo de muchos estudios

sobre sus distintos atributos. Sin embargo, aún persiste la escasez de información sobre la riqueza y biología básica de las especies conformantes de estos sistemas naturales (Brothers, 1997; Kenneth, 1997; Kammerbaure *et al.*, 2001; China y Elmer, 2003; Couteron *et al.*, 2003).

Desafortunadamente las selvas tropicales húmedas y subhúmedas están siendo destruidas de modo alarmante en la mayor parte de su área de distribución, permaneciendo como manchones relícticos de diferentes tamaños fragmentados (Lugo, 1999; Rudel, 2002; Hooper *et al.*, 2002). En el sur y sureste mexicano y en particular en las zonas selváticas de Veracruz, han sido disminuídas drásticamente (figura 2). Con todo ello, los fragmentos persistentes dan cuenta de que forman parte del bioma continuo original que se extendía desde la Amazonia a través de Centroamérica hasta la zona de Los Tuxtlas en Veracruz.

La extensa zona selvática del valle del río Uxpanapa y la cuenca del río Coatzacoalcos fueron tan profundamente transformadas por acciones antropogénicas en la



FIGURA 1. Vista de una selva alta perennifolia en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, aún persistente hasta 1995 (Foto: Mario Vázquez).

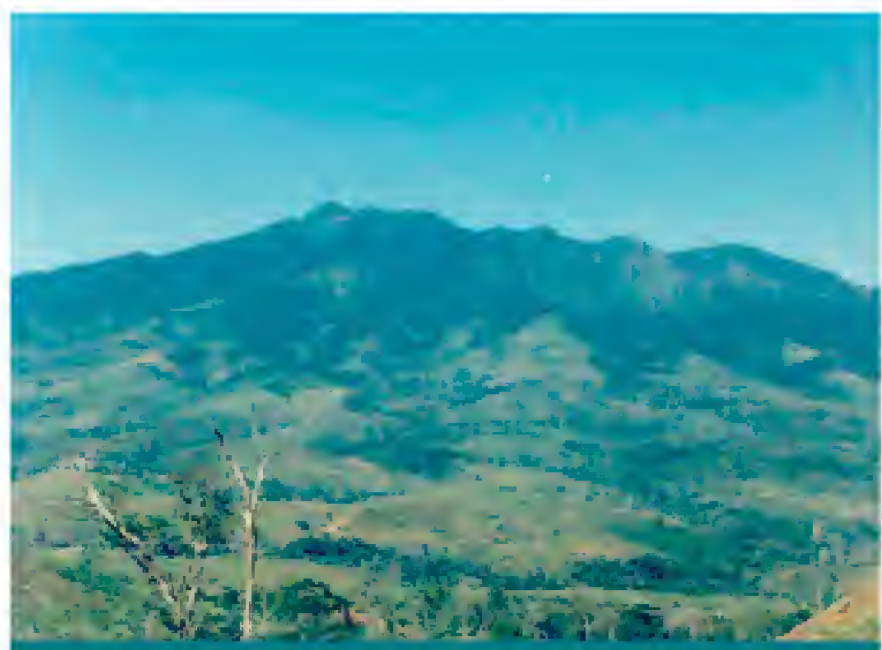


FIGURA 2. Aspecto del avance de la destrucción de la selva tropical lluviosa en la vertiente sur de la Sierra de Santa Marta, Veracruz (Foto: Mario Vázquez).

década de los setenta, que se destruyeron más de 500 mil hectáreas dando por resultado los desastres periódicos producto de los azolvamientos, desbordamientos e inundaciones, particularmente en la cuenca baja, causando daños de todo tipo a la población. La zona de Los Tuxtlas no ha tenido mejor destino, como puede apreciarse en la figura 3.

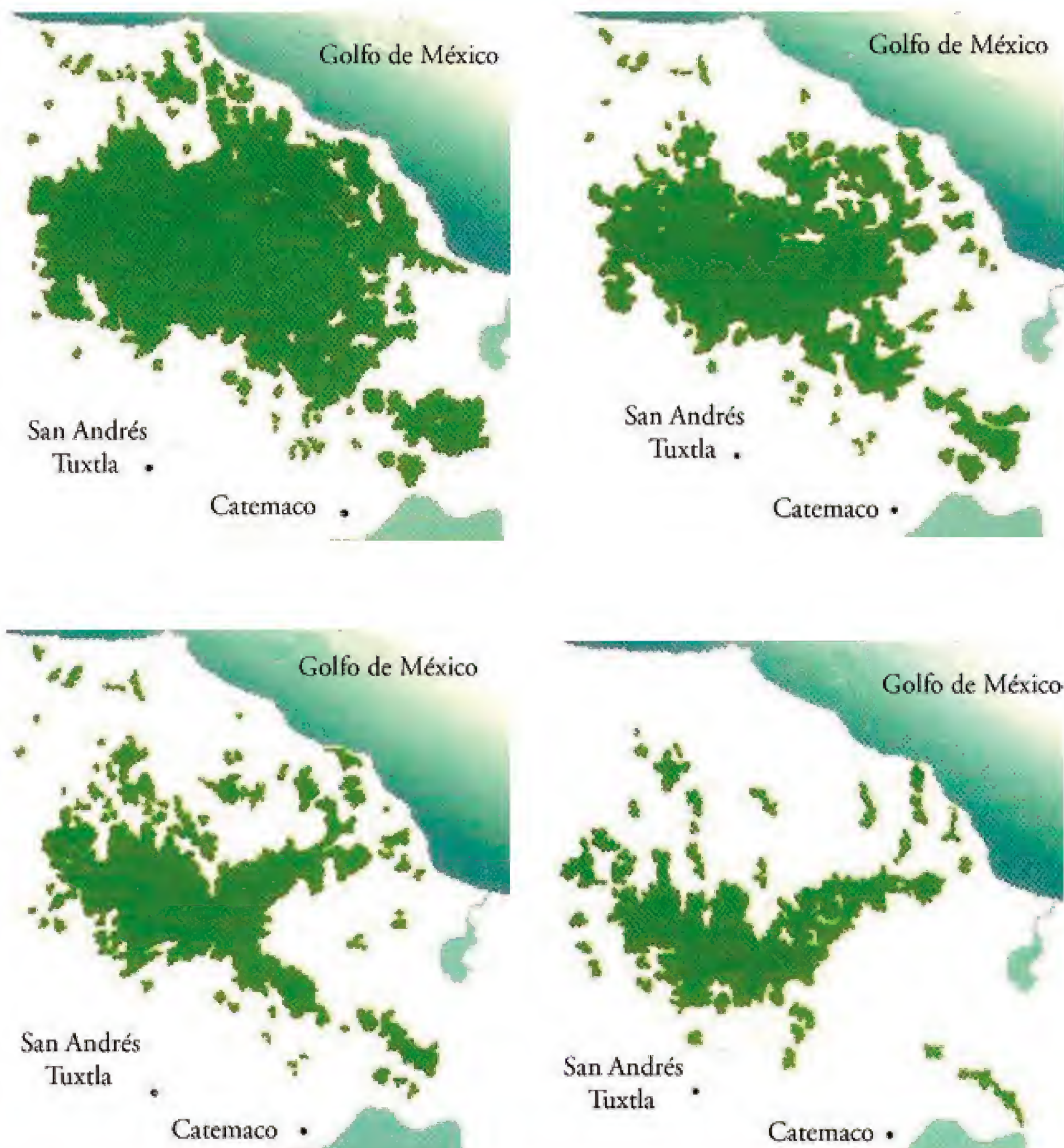
A pesar de los numerosos atributos de este tipo de vegetación, que lo destacan entre otros ambientes del trópico, como son los de poseer mayor altura, mayor biomasa, mayor productividad y

mayor riqueza de especies, en general, los estudios científicos relativos a su naturaleza *sensu lato* son escasos, aun cuando en los últimos años han venido aumentando sustancialmente. Algunos de los más importantes, desde el punto de vista histórico, que tratan aspectos de la riqueza, diversidad y estructura de este ecosistema en Veracruz son los siguientes:

Chavelas (1967) estudió la composición y estructura de una selva tropical lluviosa del sur de Veracruz; Sarukhán (1968) desarrolló un trabajo sobre los aspectos sucesionales y de metodología de campo al analizar las selvas de *Terminalia amazonia* en el Istmo de Tehuantepec; Toledo (1978) estudió los modos de manejo, producción, consumo y prácticas agrícolas en las selvas del valle del río de Uxpanapa; Caballero (1978) desarrolló un trabajo similar para la misma zona.

Sobre la riqueza y diversidad arbórea Flores (1971) estudió el componente del dosel en el cerro El Vigía en Los Tuxtlas; Carabias (1979) comparó la vegetación entre la selva primaria y secundaria en la misma zona; Martínez (1980) estudió algunos procesos de sucesión secundaria comparativa en selvas perturbadas; Pennington y Sarukhán, en su más reciente edición (1998), incluyeron en su obra un buen número de especies de árboles propios de las selvas lluviosas.

Wendt (1989) fundamentó los posibles orígenes geológicos y fitogeográficos de la flora arbórea del dosel superior, composición, afinidades florísticas y ecológicas de las selvas lluviosas mexicanas de la vertiente atlántica; Vera (1988) presentó un estudio sobre la diversidad arbórea en una selva de la zona de los Chimalapas, enclavada en el Istmo de Tehuantepec, el cual aporta datos cuantitativos muy similares a lo reportado por Vázquez (1991, 2005), en referencia clara a las mismas unidades de área y diámetros parecidos de los árboles contenidos, todos realizados en selvas lluviosas con sustrato cárstico en el valle del Uxpanapa, en las tierras bajas de la sierra de Santa Marta y en las faldas del volcán San Martín Pajapan, al sur de Los Tuxtlas, Veracruz.



FIGURAS 3a, b, c y d. Apreciación del proceso de destrucción de la vegetación selvática en la porción norte de la Sierra de Los Tuxtlas, Veracruz. FUENTE: Dirección de Ordenamiento Ecológico, INE, 1998.

Sin duda, el atributo más atrayente para los estudios de las selvas húmedas lo constituye su biodiversidad vegetal, hecho sobre el cual se ha propuesto una buena cantidad de argumentos a fin de explicarla, entre los que destacan:

- 1) La abundancia de recursos físicos como el calor, la humedad y la luz en las zonas intertropicales, se divide entre los organismos en competencia, de modo que evolucionan y diversifican como producto de esa permanente interacción. Es destacable el hecho de que Gentry (1988) haya encontrado la correlación, con base en varios estudios en el Neotrópico, de que la riqueza específica aumenta en estos ecosistemas húmedos casi de manera lineal conforme aumenta la precipitación pluvial hasta los 4 000 mm por año, punto en el que casi se alcanza la saturación de especies.
- 2) La amplia gama de expresiones que presenta la depredación y las correspondientes manifestaciones de respuesta entre las especies, incrementa el potencial de diversificación.
- 3) En comparación con los bosques templados y fríos de latitudes altas, la complejidad de la estructura de las selvas en términos de microhábitats y nichos es mayor. Los organismos responden a dicha oferta, se adaptan, evolucionan, y la diversidad biológica se enriquece.
- 4) Las relaciones coevolutivas son muy especializadas, encontrándose una gran cantidad de casos mutualistas entre los que destaca la mirmecofilia.
- 5) Las perturbaciones naturales como los huracanes, tormentas eléctricas, sequías, incendios, caída de árboles y ramas grandes, al modificar los microhábitats, aumentando la heterogeneidad ecológica, propician la ocupación de los mismos por especies adicionales y aumenta la riqueza biótica. Cumplen, además, el rol importante de la regeneración a través de la "cicatrización" permanente de la propia selva (Martínez *et al.*, 1988).

La distribución de este ecosistema se encuentra ligada estrechamente a la temperatura y precipitación. De

acuerdo con Rzedowski (1978) la temperatura media anual oscila entre los 20 y 26 °C, siendo las temperaturas mínimas no menores a los 0 °C. Se ubica entre los rangos altitudinales desde casi el nivel del mar hasta cerca de los 1 000 m de altitud.

La precipitación media anual oscila entre los 1 500 y 3 000 mm, aunque en áreas pequeñas, tanto en la zona de Los Tuxtlas como en el valle del Uxpanapa, puede sobrepasar los 4 000 mm. En general, los tipos de climas en los que prospera este bosque son los Af, Am y Aw.

Aunque la estratificación del bosque tropical lluvioso se reconoce (en términos generales) a nivel mundial, y es perceptible y delimitable en casi cualquier sitio que cuente con este tipo de vegetación, pocos estudios se han encaminado a la descripción detallada en su estructura. La figura 4 muestra un perfil a través de una franja de 100 x 10 m en el sur de la zona de Los Tuxtlas.

Para el caso de la selva alta perennifolia o subperennifolia remanente en Veracruz, en la zona de Los Tuxtlas y en el valle del río Uxpanapa principalmente, los estratos y su correspondiente composición pueden referirse como sigue, en el entendido de que las variaciones en la composición taxonómica pueden ser amplias, incluso en áreas cercanamente vecinas. Tal estratificación no siempre es fácilmente delimitable (cuadro 1).

Es oportuno destacar el hecho de que varias especies de diferentes biotipos participan de manera natural en el proceso de autorregeneración permanente del bosque tropical lluvioso. Para el caso de los árboles, varios de ellos forman parte de la vegetación secundaria avanzada (acahuales), estructurándose fisionómicamente de manera muy similar a las propias selvas. Entre sus cualidades ecofisiológicas pueden mencionarse las siguientes: son positivamente heliófilas, de rápido crecimiento, de altas densidades, de propágulos pequeños y modos de dispersión efectivos, de maderas blandas, poco longevas y de rápida descomposición una vez muertos.

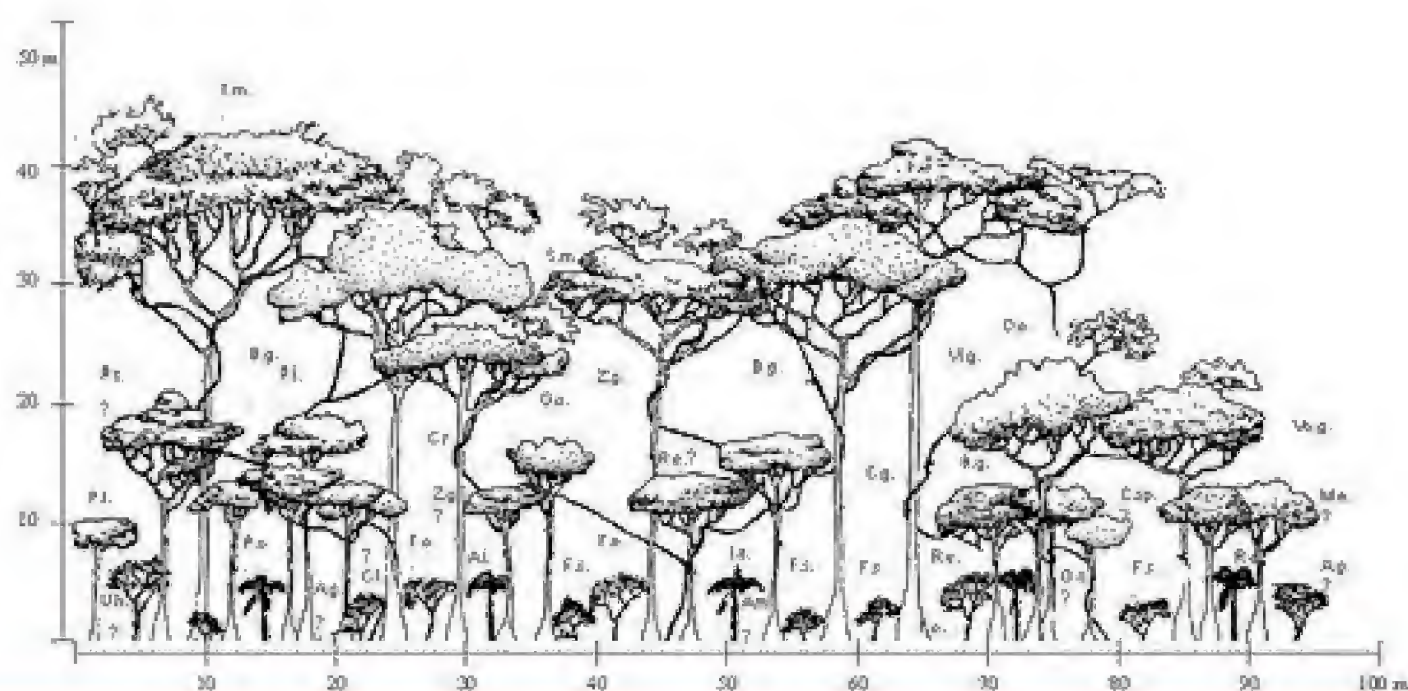


FIGURA 4. Perfil de la selva alta perennifolia en una franja de 100 m de longitud.

P.I. *Pouteria lucentifolia*

P.t. *Pouteria torta*

T.m. *Tapirira macrophylla*

P.o. *Pseudolmedia oxyphyllaria*

Vi.g. *Virola guatemalensis*

C.sp. *Coccoloba* sp.

Vo.g. *Vochysia guatemalensis*

M.e. *Miconia elata*

S.m. *Sterculia mexicana*

C.l. *Calatola laevigata*

C.r. *Cynometra retusa*

Z.g. *Zuelania guidonia*

A.m. *Astrocaryum mexicanum*

B.g. *Bauhinia guianensis*

F.o. *Faramea occidentalis*

U.h. *Uroskinnera hirtiflor*

O.o. *Orthion oblanceolatum*

R.e. *Rheedia edulis*

I.d. *Ilex discolor*

C.g. *Cordia gerascanthus*

F.s. *Faramea stenura*

A.g. *Anaxagorea guatemalensis*



FIGURA 5. Inflorescencia de *Clethra macrophylla* (Foto: Mario Vázquez).

En un estudio realizado en ocho hectáreas en este tipo de vegetación (Vázquez, 2005), se identificó un total de 406 especies divididas en 12 biotipos diferentes, siendo el biotipo “árbol” el que constituyó casi la mitad de ellas, el 41 % (figura 6).

Las 20 especies más abundantes en los dos sitios estudiados, protegido y expuesto a los vientos, se elevan a un total de 32. De éstas, la más frecuente en la zona protegida se encuentra representada por alrededor de 20 individuos más que en la expuesta (cuadro 2).

En el cuadro 3 se presenta una comparación de los resultados de este trabajo con otros realizados en México, Centroamérica y Sudamérica, en el mismo tipo de ecosistema y dentro del Neotrópico.

CUADRO 1. Participación de las principales especies en cada uno de los estratos de la selva.

Estrato superior (30-40 o más metros)	<i>Terminalia amazonia</i> , <i>Dialium guianense</i> , <i>Sterculia mexicana</i> , <i>Vochysia hondurensis</i> , <i>Bernoullia flammea</i> , <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Laplacea grandis</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Virola guatemalensis</i> , <i>Tapirira macrophylla</i> , <i>Myroxylon balsamum</i> , <i>Clethra macrophylla</i> , <i>Pterocarpus rohrii</i> , <i>Guatteria anomala</i> , <i>Ficus lapathifolia</i> , <i>Vatairea lundellii</i> , <i>Ulmus mexicana</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> .
Estrato superior (20-30 m)	<i>Roupala montana</i> , <i>Guarea grandifolia</i> , <i>Zuelania guidonia</i> , <i>Cynometra retusa</i> , <i>Coccoloba barbadensis</i> , <i>C. hondurensis</i> , <i>Spondias radlkoferi</i> , <i>Lonchocarpus guatemalensis</i> , <i>Cordia megalantha</i> , <i>Pouteria sapota</i> , <i>Achras zapota</i> , <i>Tetrorchidium rotundatum</i> , <i>Esenbeckia pentaphylla</i> , <i>Aspidosperma megalocarpon</i> , <i>A. cruentum</i> , <i>Cojoba arborea</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Simira salvadorensis</i> , <i>Quararibea funebris</i> , <i>Ocotea dendrodaphne</i> , <i>Pouteria lucentifolia</i> , <i>Nectandra ambigens</i> , <i>Platymiscium pinnatum</i> , <i>Robinsonella mirandae</i> .
Estrato medio (15-20 m)	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i> , <i>Rheedia edulis</i> , <i>Pouteria torta</i> , <i>Guarea glabra</i> , <i>Pouteria lucentifolia</i> , <i>Dendropanax arboreus</i> , <i>Sloanea tuerckheimii</i> , <i>S. medusula</i> , <i>Stemmadenia donnell-smithii</i> , <i>Astronium graveolens</i> , <i>Cupania dentata</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Guarea bijuga</i> , <i>Trophis racemosa</i> , <i>Saurauia scabrida</i> , <i>Zanthoxylum caribaeum</i> , <i>Ilex discolor</i> , <i>Nectandra heydeana</i> , <i>Miconia elata</i> , <i>Freziera guatemalensis</i> , <i>Aphananthe monoica</i> , <i>Chione chiapasensis</i> , <i>Sapium lateriflorum</i> , <i>S. macrocarpum</i> , <i>Tetrorchidium rotundatum</i> , <i>Meliosma occidentalis</i> .
Estrato inferior (10-15 m)	<i>Alchornea latifolia</i> , <i>Croton schiedeana</i> , <i>Calatola laevigata</i> , <i>C. mollis</i> , <i>Cymbopetalum baillonii</i> , <i>Crataeva tapia</i> , <i>Lunania mexicana</i> , <i>Couepia polyandra</i> , <i>Psychotria simiarum</i> , <i>Swartzia guatemalensis</i> , <i>Inga quaternata</i> , <i>Dendropanax arboreus</i> , <i>Turpinia occidentalis</i> , <i>Miconia argentea</i> , <i>M. trinervia</i> , <i>M. elata</i> , <i>Magnolia schiedeana</i> , <i>Psychotria faxlucens</i> , <i>Inga acrocephala</i> , <i>Saurauia yasicae</i> , <i>Rollinia mucosa</i> , <i>R. jimenezii</i> , <i>Protium copal</i> , <i>Hirtella racemosa</i> , <i>Lacistema aggregatum</i> , <i>Talauma mexicana</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>T. moschata</i> , <i>Posoqueria latifolia</i> .
Estrato inferior (5-10 m) incluyendo arbustos grandes	<i>Anaxagorea guatemalensis</i> , <i>Tabernaemontana alba</i> , <i>Eugenia capuli</i> , <i>Piper amalago</i> , <i>Faramea occidentalis</i> , <i>F. stenura</i> , <i>Picramnia andicola</i> , <i>Picramnia hirsuta</i> , <i>Iresine arbuscula</i> .
Estrato bajo (2-5 m) palmas y arbustos	<i>Astrocaryum mexicanum</i> , <i>Bactris mexicana</i> , <i>Jacaratia dolichaula</i> , <i>Ouratea tuerckheimii</i> , <i>Piper aequale</i> , <i>P. amalago</i> , <i>P. hispidum</i> , <i>P. umbellatum</i> , <i>P. yzabalanum</i> , <i>Cephaelis elata</i> , <i>Randia loniceroides</i> , <i>Morinda panamensis</i> , <i>Deherainia smaragdina</i> , <i>Psychotria deflexa</i> , <i>P. papantlensis</i> , <i>P. veracruzensis</i> , <i>P. flava</i> , <i>Siparuna andina</i> , <i>Louteridium conzattii</i> , <i>Louteridium mexicanum</i> , <i>Louteridium parayi</i> , <i>Neohallia borraerae</i> , <i>Chamaedorea tepejilote</i> , <i>Ch. pinnatifrons.</i> , <i>Ch. woodsoniana</i> , <i>Aristolochia arborea</i> , <i>A. impudica</i> .
Vegetación secundaria (acahuales)	<i>Ochroma pyramidale</i> , <i>Cecropia obtusifolia</i> , <i>C. peltata</i> , <i>Alchornea latifolia</i> , <i>Omphalea oleifera</i> , <i>Croton draco</i> , <i>Inga quaternata</i> , <i>Hampea integerrima</i> , <i>H. nutricia</i> , <i>Robinsonella mirandae</i> , <i>Miconia argentea</i> , <i>Cupania glabra</i> , <i>Freziera guatemalensis</i> , <i>Belotia mexicana</i> , <i>Heliocarpus appendiculatus</i> , <i>H. donnell-smithii</i> , <i>Ampelocera hottlei</i> , <i>Trema micrantha</i> .
Estrato herbáceo y leñoso rasante	<i>Chamaedorea elegans</i> , <i>Ch. ernesti-augusti</i> , <i>Ch. tenella</i> , <i>Geonoma oxycarpa</i> , <i>Reinhardtia gracilis</i> , <i>Dalechampia spathulata</i> , <i>Calathea micans</i> , <i>Ardisia brevipes</i> , <i>Cephaelis tomentosa</i> , <i>Renealmia mexicana</i> , <i>Begonia nelumbiifolia</i> , <i>Costus dirzoi</i> , <i>C. pulverulentus</i> , <i>C. scaber</i> , <i>Asplundia chiapensis</i> , <i>Xiphidium caeruleum</i> , <i>Aphelandra aurantiaca</i> , <i>Heliconia spp.</i> , <i>Maranta gibba</i> , <i>Spathiphyllum cochlearispathum</i> , <i>Dieffenbachia seguine</i> , <i>Ceratozamia eurypyllidia</i> , <i>Ceratozamia miqueliana</i> , <i>Ceratozamia robusta</i> , <i>Zamia furfuracea</i> , <i>Zamia loddigesii</i> , <i>Zamia purpurea</i> . El componente pteridofítico es rico, representado principalmente por los géneros <i>Diplazium</i> , <i>Ctenitis</i> , <i>Bolbitis</i> , <i>Danaea</i> , <i>Polypodium</i> y <i>Thelypteris</i> . Las <i>Selaginella spp.</i> , tienen una representatividad significativa. Los helechos arborescentes son menos diversos en comparación con el bosque mesófilo de montaña.
Componente epifítico	<i>Yucca lacandonica</i> , <i>Anthurium scandens</i> , <i>Aechmea bracteata</i> , <i>A. luddemanniana</i> , <i>Catopsis spp.</i> , <i>Tillandsia spp.</i> , <i>Rhpsalis baccifera</i> , <i>Epiphyllum pumilum</i> , <i>Columnea schiedeana</i> , <i>Arpophyllum giganteum</i> , <i>A. spicatum</i> , <i>Brassavola cucullata</i> , <i>Catasetum integerrimum</i> , <i>Dichaea graminoides</i> , <i>Epidendrum ciliare</i> , <i>Gongora galeata</i> , <i>Isochilus linearis</i> , <i>Jacquinilla equitantiifolia</i> , <i>Maxillaria cucullata</i> , <i>Restrepiella ophiocephala</i> , <i>Stanhopea oculata</i> , <i>Stelis veracruzensis</i> , <i>Sobralia decora</i> , <i>Peperomia spp.</i> , <i>Hillia tetrandra</i> , <i>Polypodium spp.</i> , <i>Elaphoglossum spp.</i>
Componente de lianas y bejucos	<i>Chamaedorea elatior</i> , <i>Desmoncus chinantlensis</i> , <i>Amphilophium paniculatum</i> , <i>Cydista heterophylla</i> , <i>C. aequinoctialis</i> , <i>Smilax aristolochiifolia</i> , <i>S. mollis</i> , <i>S. regelii</i> , <i>Vitis bourgaeana</i> , <i>V. tiliifolia</i> , <i>Randia retroflexa</i> , <i>R. vazquezii</i> , <i>R. xalapensis</i> , <i>Passiflora coriacea</i> , <i>P. costaricensis</i> , <i>P. membranacea</i> , <i>Paullinia costata</i> , <i>P. racemosa</i> , <i>Lygodium heterodoxum</i> , <i>Cissampelos grandifolia</i> , <i>C. pareira</i> , <i>Disciphania calocarpa</i> , <i>Marcgravia mexicana</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>M. cobanense</i> , <i>Strychnos panamensis</i> , <i>S. tabascana</i> , <i>Mucuna argyrophylla</i> , <i>Hippocratea mitchellae</i> , <i>Salacia megistophylla</i> , <i>Dioscorea composita</i> , <i>D. floribunda</i> , <i>D. mexicana</i> , <i>Davilla kunthii</i> , <i>Rourea glabra</i> , <i>Combretum laxum</i> , <i>Anemopaegma chrysanthum</i> , <i>Arrabidaea candicans</i> , <i>A. verrucosa</i> , <i>Callichlamys latifolia</i> , <i>Clytostoma binatum</i> , <i>Mansoa verrucifera</i> , <i>Paragonia pyramidata</i> , <i>Stizophyllum riparium</i> , <i>Xylophragma seemannianum</i> , <i>Aristolochia grandiflora</i> , <i>A. impudica</i> , <i>A. schippii</i> .
Componente saprofítico	<i>Apteria aphylla</i> , <i>Burmannia capitata</i> , <i>Dictyostega orobanchoides</i> , <i>Gymnosiphon suaveolens</i> , <i>Helosis cayennensis</i> , <i>Voyria parasitica</i> y <i>V. tenella</i> .

CUADRO 2. Las 20 especies más abundantes en cada zona estudiada.

ZONA EXPUESTA		ZONA PROTEGIDA	
Especie	Abundancia	Especie	Abundancia
<i>Rheedia edulis</i>	54	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	60
<i>Guarea glabra</i>	45	<i>Sterculia mexicana</i>	38
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	38	<i>Rheedia edulis</i>	37
<i>Sterculia mexicana</i>	37	<i>Ocotea dendrodaphne</i>	34
<i>Roupala montana</i>	35	<i>Pouteria torta</i>	30
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	33	<i>Viola guatemalensis</i>	30
<i>Dendropanax arboreus</i>	29	<i>Dialium guianense</i>	29
<i>Psychotria chiapensis</i>	28	<i>Tapirira macrophylla</i>	25
<i>Viola guatemalensis</i>	28	<i>Pouteria lucentifolia</i>	24
<i>Pouteria torta</i>	25	<i>Inga quaternata</i>	23
<i>Alchornea latifolia</i>	22	<i>Clethra macrophylla</i>	22
<i>Zuelania guidonia</i>	20	<i>Psychotria chiapensis</i>	21
<i>Calatola laevigata</i>	19	<i>Guarea grandifolia</i>	20
<i>Inga quaternata</i>	19	<i>Ilex discolor</i>	20
<i>Magnolia schiedeana</i>	17	<i>Turpinia occidentalis</i>	20
<i>Pouteria lucentifolia</i>	17	<i>Laplacea grandis</i>	16
<i>Clethra macrophylla</i>	16	<i>Croton schiedeanus</i>	15
<i>Cynometra retusa</i>	16	<i>Cymbopetalum baillonii</i>	14
<i>Orthion oblanceolatum</i>	16	<i>Cynometra retusa</i>	14
<i>Vochysia hondurensis</i>	16	<i>Nectandra heydeana</i>	14

CUADRO 3. Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y otros realizados en diversas áreas de México y el Neotrópico.

FUENTE	LOCALIDAD	TIPO DE VEGETACIÓN	ÁREA MUESTREADA	DAP UTILIZADO	NÚM. DE INDIVIDUOS	ESPECIES
Black <i>et al.</i> , 1950	Amazonas, Brasil	Selva tierra firme	5 ha	>20 cm	195	62
Knight, 1975	Isla Barro Colorado, Panamá	Selva alta perennifolia	1.5 ha	>18 cm	199	63
Thorington <i>et al.</i> , 1982	Isla Barro Colorado, Panamá	Bosque viejo secundario	5 ha	>19 cm	856	112
Hubbell y Foster, 1983	Isla Barro Colorado, Panamá	Selva tropical lluviosa	50 ha	>20 cm	7614	186
Vera, 1988	Chimalapa, Oaxaca	Selva alta perennifolia (lomerío seco)	5 ha	>27.5 cm	654	62
Wendt, 1989	Uxpanapa, Veracruz	Selva alta-mediana subperennifolia	5 ha	>28.5 cm	534	80
Vázquez, 1991	Uxpanapa, Veracruz	Selva alta-mediana subperennifolia	5 ha	>28.5 cm	546	69
Vázquez <i>et al.</i> , 1995	Sierra Santa Marta, Veracruz	Selva alta perennifolia	1 ha	>10 cm	459	54
Vázquez, 2005	Volcán San Martín Pajapan, Veracruz	Selva alta perennifolia	8 ha	>20 cm	1666	115



FIGURA 6. *Reinhardtia gracilis* es otra de las palmeras enanas que comparten el sotobosque. Los agujeros adyacentes al raquis y el margen laminar la hacen inconfundible (Foto: Mario Vázquez).

#### IMPORTANCIA ECOLÓGICA, ECONÓMICA Y CULTURAL

Hace apenas unas cinco o seis décadas, los bosques tropicales perennifolios lluviosos en el mundo eran considerados comunidades fisionómicamente homogéneas, en las que los árboles imprimían preponderantemente la apariencia particular de las masas boscosas, incluso a través de grandes áreas, así como una serie de particularidades en su estructuración, estratificación, interacciones ecológicas y correspondencia con elementos físicos como clima, suelo y geografía.

Desde luego que tal apreciación persiste en la actualidad, sólo que con los nuevos ingredientes incorporados, de mayores conocimientos, se puede mantener el postulado de que, a gran escala, estos ecosistemas son similares, pero a pequeña escala, cada área es diferente en su composición cualitativa y cuantitativa.

Al estar íntimamente asociado este bosque con la abundancia de lluvias durante la mayor parte del año, y participando como interfase del ciclo hidrológico entre el sustrato y la atmósfera inmediata, representa un reservorio importante de agua ambiental, que se alimenta, a su vez, de importantes redes hidrológicas e incluso de grandes cuencas.

La gran diversidad de especies que lo conforman, tanto de plantas como de animales, constituyen indudablemente el mayor de los valores intrínsecos en sí, por sí y para sí; independientemente de cualquier otra visión utilitarista, juega un rol primordial como proveedor de satisfactores y servicios ambientales insustituibles: baste mencionar el agua.

En el sur y sureste mexicanos, en donde se asentaban las mayores masas boscosas del trópico cálido



FIGURA 7. Mezcla de lianas. Un aspecto típico de las selvas lluviosas tropicales (Foto: Mario Vázquez).

y húmedo, las selvas no han sido motivo de consideraciones conducentes al aprovechamiento sensato de sus recursos. Casi siempre fueron asociadas con la provisión de maderas finas y, en general, de materiales para la construcción de viviendas rurales.

La fauna de interés cinegético también llama la atención de los cazadores, en su mayoría furtivos, ya sea organizados o espontáneos y por aventura, o por las necesidades alimentarias. El hecho es que la defaunación selectiva pero con efectos generalizados, más la extracción de maderas, también selectiva, o la destrucción total con fines de apertura, de campos agrícolas, ganaderos, plantaciones forestales de cedro, caoba y primavera, y más recientemente, de hule y palma africana, han motivado el empobrecimiento de las zonas relícticas persistentes de este tipo de vegetación.

A pesar de la influencia de esos factores negativos, el bosque tropical lluvioso mantiene la potencialidad de desarrollo económico incluso a partir del aprovechamiento de sus recursos naturales tradicionales, sólo que con la nueva visión de la potenciación en sus cultivos, integrando experiencias exitosas.

No cabe duda de que una de las grandes tareas pendientes para el mejor uso de los recursos abundantes en esas zonas y la protección a las cuencas que generan, tiene que ver con el agua, misma que paradójicamente escasea en el periodo estival pero se acumula y desborda en la época de lluvias, ocasionando una serie de problemas sociales, para cuya solución se requieren estudios que respalden programas de prevención y adecuada canalización. Otra actividad económica importante y casi ignorada en su totalidad, es la implementación de la acuicultura con especies de comprobados méritos y en apoyo al aseguramiento alimentario de las zonas.

Es bien conocido el hecho de que dos de las más importantes civilizaciones mesoamericanas, Olmeca y Maya, tuvieron sus más esplendorosos asentamientos, al menos en parte, en zonas abiertas o marginalmente ligadas a estas comunidades selváticas. No puede ignorarse, por lo tanto, que buena parte de sus satisfactores vitales provinieran de ellas: productos alimenticios y medicinales, fibras, materiales para la construcción, etc., tenían también ese origen. La domesticación incipiente o adelantada de frutales autóctonos como las anonas, chicozapotes y

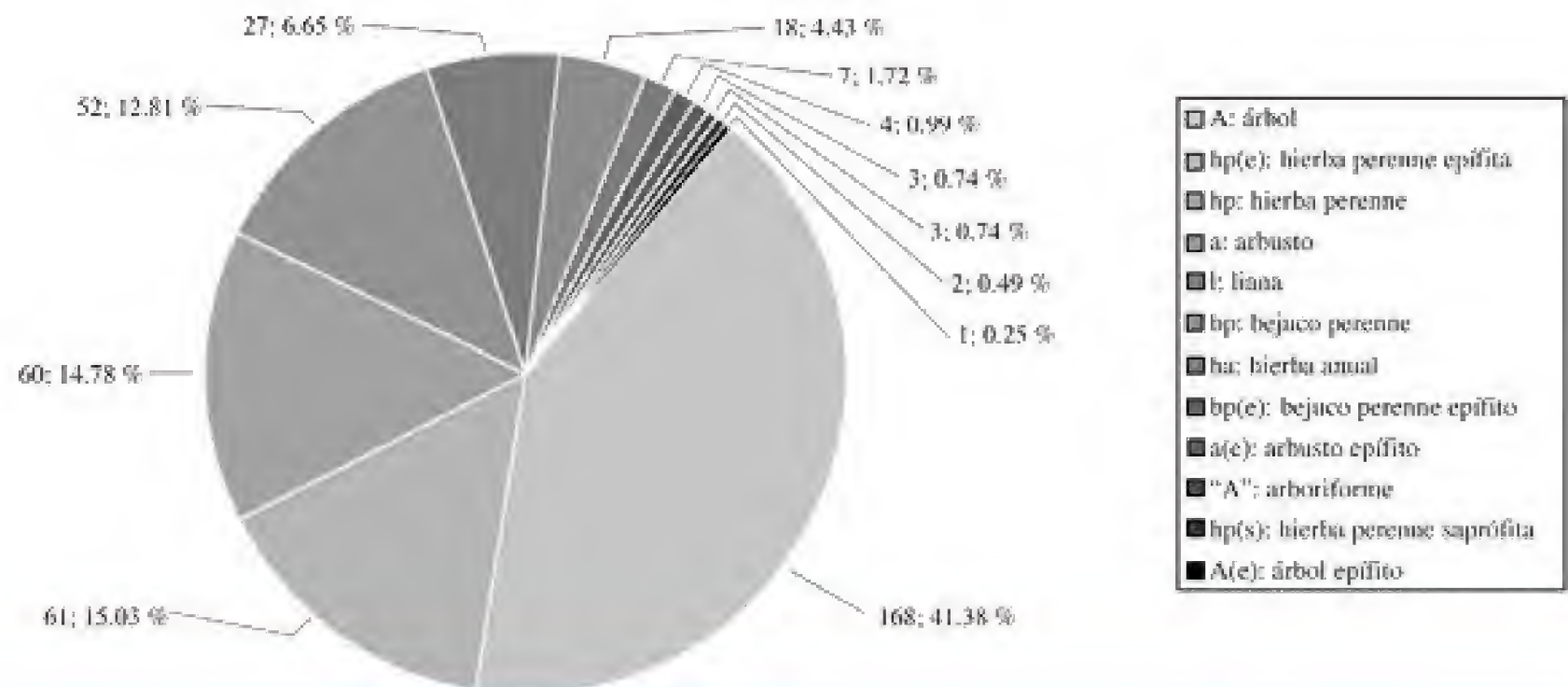


FIGURA 8. Proporción de cada uno de los biotipos presentes en la zona de estudio. El número que precede al porcentaje indica la cantidad de especies que presentan dicho biotipo.

mameyes es otro ejemplo. Las palmeras arborescentes sin duda tuvieron también uso común en la construcción de sus viviendas.

El amplio conocimiento que debieron tener esos pobladores acerca del manejo eficiente de su entorno es una opinión generalizada, aunque siempre es motivo de controversias y discusiones el significado, tanto ecológico como de productividad, del sistema tradicional conocido como roza, tumba, quema y siembra, en el que además el policultivo (varias especies coexistiendo) es común.

Sin duda falta mucho por comprender respecto de la relación íntima en los orígenes, dispersión y significado de los bienes provenientes de los ecosistemas tropicales húmedos y las civilizaciones más antiguas del mundo. Sin embargo, es posible que las presentes generaciones tengan una fuerte deuda con aquellas, si asociamos muchas de las expresiones artísticas (esculturas y tallas, por ejemplo) que engalanan a muchos museos y colecciones famosas, logradas a base de maderas preciosas como caoba, cedro y ébano.

En el renglón culinario y gastronómico a nivel global no debe olvidarse, cada vez que se disfrute de los sabores de productos cosmopolitas como el azúcar, la canela y la pimienta negra, o frutos como los zapotes, guanábanas, piñas, litchis, mangos o rambután, por sólo mencionar algunos, que las selvas lluviosas siguen permeando a la humanidad.

#### PRINCIPALES AMENAZAS PARA SU CONSERVACIÓN

A nivel planetario, este tipo de vegetación sólo se ubica en la franja intertropical y, con mayor esplendor, en la vecindad ecuatorial de ambos hemisferios. Resalta el hecho de que subsiste en íntima conexión con los países llamados “en vías de desarrollo”, mismos que, en general, sostienen su economía en gran medida a partir de actividades productivas primarias como la agricultura y la ganadería extensivas y de bajos rendimientos, cuyo primer impacto a la

naturaleza ha significado la transformación de los suelos forestales y, en varios casos, el arrasamiento total a favor de la ampliación permanente de la frontera agropecuaria. Este es el principal factor de amenaza colectiva, asociado a la pobreza, marginación, ignorancia, negligencia y desdén de la sociedad en su conjunto. No hay otra explicación al hecho de que en México, y para el caso particular de Veracruz, persista menos del 20 % de su cobertura original.

#### OPORTUNIDADES DE USO SUSTENTABLE

Ante la inobjetable realidad de pérdida masiva de las selvas húmedas, pueden señalarse varias acciones, percibidas ya como obligaciones éticas, compromisos gubernamentales o como oportunidades valiosas para el aseguramiento del bienestar de las nuevas generaciones. Entre ellas están:

- a) Consolidación conservacionista de las áreas selváticas que aún sobreviven.
- b) Rescate y restauración de las zonas aledañas susceptibles de resultados exitosos, ya que formalmente, con bases científicas, se considera como un ecosistema no renovable una vez destruido.
- c) Instauración de un programa enérgico de educación naturalística con bases ecológicas, que revele realmente el significado de estos ecosistemas.
- d) Promoción de programas sólidos *in situ* de enriquecimiento de áreas intervenidas por medio de especies nativas con propósitos múltiples.
- e) Desarrollo de programas agresivos de reforestación y forestería comerciales en las grandes extensiones agrícolas y ganaderas casi abandonadas.
- f) Inclusión de nuevas técnicas de aprovechamiento máximo a favor de la elevación de los rendimientos agropecuarios del trópico húmedo, en beneficio de la disminución de las áreas impactadas.

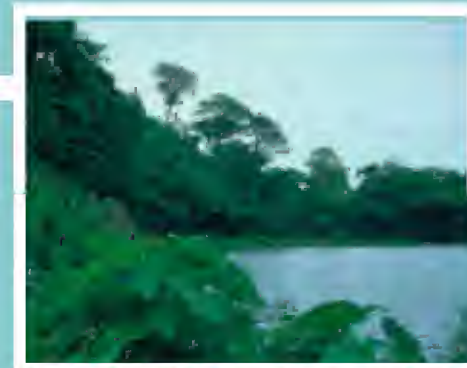
- g) Desarrollo de “el cultivo de las selvas” con base en sus propias especies, bajo programas bien diseñados ecológica, económica y comercialmente, que aseguren su permanente sustentabilidad: maderas preciosas, pita, palmas, ornamentales, palo de balsa, bambúes, fruticultura, fauna, apicultura, etc.
- h) Mejoramiento de los servicios turísticos regionales organizados con un espíritu conservacionista.

## LITERATURA CITADA

- BROTHERS, T.S., 1997, Rapid destruction of Lowland tropical forest, Los Haitises, Dominican Republic, *Ambio* 26: 551-552.
- CABALLERO, J., 1978, Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Ver. No. 6. El uso agrícola de la selva. *Biótica* 3(2):63-83.
- CARABIAS, L.J., 1979, *Análisis de la vegetación de la selva alta perennifolia y comunidades derivadas de ésta en una zona cálido-húmeda de México, Los Tuxtlas, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 68 pp.
- CHAVELAS, P.J., 1967, La vegetación de San Lorenzo Tenochtitlan, Veracruz, en *Informes Anuales de la comisión de estudios sobre la ecología de las Dioscoreas*, INIF-SAG, México, pp. 64-87.
- CHINEA, J.D. y H. Helmer, 2003, Diversity and composition of tropical scale clearing: results from the 1990 inventory in Puerto Rico, *Forest Ecology and Management* 171: 1-14.
- COUNTERON, P., R. Pelissier, D. Mapaga, J.F. Molino y L. Tellier, 2003, Drawing ecological forest inventory in French Guiana, *Forest Ecology and Management* 172: 89-108.
- FLORES, G.S., 1971, *Estudio de la vegetación del Cerro del “Vigía” de la Estación Biológica Tropical Los Tuxtlas, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 93 pp.
- GENTRY, A.H., 1988, Tree species richness of upper Amazonian forest, *Proceedings of the National Academy Sciences* 85: 156-159.
- HOOPER, E., R. Condit y P. Legendre, 2002, Responses of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama, *Ecological Applications* 12: 1626-1641.
- KAMMERBAUER, J., B. Córdoba, R. Escolán y R. Zaledón, 2001, Identification of development indicators in Tropical mountainous regions and some implication for natural resource policy design: an integrated community case study, *Ecological Economics* 36: 45-60.
- KENNETH, H.O., 1997, *The Dominican Republic, a country between rainforest and desert: contribution to the ecology of a Caribbean Island*, Margraf Verlag, Weikersheim, 456 pp.
- LUGO, A.E., 1999, Will concern for biodiversity spell doom to tropical forest management?, *Science of the Total Environment* 240: 123-131.
- MARTÍNEZ, M., 1980, *Aspectos sinecológicos del proceso de renovación natural de una selva alta perennifolia*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 181 pp.
- MARTÍNEZ, M., E. Álvarez Buylla, J. Sarukhán y D. Piñero, 1988, Treefall age determination and gap dynamics in a tropical forest. *Journal of Ecology* 76: 700-716.
- MIRANDA, F. y E. Hernández X., 1963, Los tipos de vegetación de México y su clasificación, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- PENNINGTON T. D. y J. Sarukhán, 1998, *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*, Ediciones científicas universitarias/ UNAM y Fondo de Cultura Económica, México, 253 pp.
- RUDEL, T.K., 2002, Paths of destruction and generation: globalization and forests in the tropics, *Rural Sociology* 67: 622-636.
- RZEDOWSKI, J., 1978, *Vegetación de México*, Limusa, México, 432 pp.
- , 1991, Diversidad y origen de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- SARUKHÁN, K.J., 1968, *Análisis sinecológico de las selvas de Terminalia amazonia*, tesis de maestría, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 300 pp.

- SOSA, V. y A. Gómez-Pompa, 1994, Lista florística, en: V. Sosa (ed.), *Flora de Veracruz*, Instituto de Ecología/Universidad de California, fascículo 82, 245 pp.
- TOLEDO, V.M., 1978, Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz. No. 5. Introducción a los estudios de ecología humana. *Biótica* 3: 57-61.
- VÁZQUEZ, T.M., 1991, *Flora vascular y diversidad de especies arbóreas del dosel superior en la zona de Uxpanapa*, Textos Universitarios, Universidad Veracruzana, 184 pp.
- , J. Martínez Gándara y R. Acosta Pérez, 1995, Análisis estructural del componente arbóreo de una hectárea de selva alta perennifolia en la sierra de Santa Marta, Ver., *La Ciencia y el Hombre* 20: 65-81, Universidad Veracruzana, México.
- , 2005, *Estructura y biodiversidad de la selva alta perennifolia de Los Tuxtlas, Veracruz, México: influencia de los vientos dominantes en la estructura del ecosistema forestal*, tesis de doctorado, Universidad del País Vasco, Leioa, España, 240 pp.
- VERA, M.P., 1988, *Diversidad de árboles en una selva alta perennifolia de Santa María Chimalapa, Oaxaca*, tesis de licenciatura, UNAM/ENEP, México, 189 pp.
- WENDT, T., 1989, Las selvas de Uxpanapa, Veracruz-Oaxaca, México: evidencia de refugios florísticos cenozoicos, *Anales Instituto de Biología*, UNAM, Serie Botánica 58: 29-54.

# Distribución, estructura y perspectivas de conservación de los manglares



Laguna Escondida. Banco de imágenes, Conabio  
(Foto: Mary Carmen García)

Jorge A. López-Portillo  
Víctor M. Vásquez Reyes  
León R. Gómez Aguilar  
Ana Laura Lara-Domínguez

## INTRODUCCIÓN

Los manglares son un tipo de vegetación arbórea o arbustiva que se desarrolla en las costas tropicales e intertropicales del mundo, en áreas salobres con inundación temporal o permanente y forman una zona de transición o ecotono entre los ambientes marinos y terrestres (Kathiresan y Bingham, 2001). Ocupan zonas bien definidas en estuarios, esteros y lagunas costeras en donde la salinidad del agua puede variar entre 2.5 y 80 ‰ (Twilley, 1998).

Las principales variables que regulan el desarrollo del ecosistema de manglar son la salinidad, que está asociada a la mezcla regular de agua marina y continental, y el hidroperiodo, esto es, la frecuencia de la inundación del suelo que depende del relieve y su relación con el ciclo de mareas y los aportes estacionales de agua de lluvia y escorrentía. Las variaciones de estos factores controlan la presencia y patrón de distribución de cada especie en el manglar. Hay también diferencias en la estructura de los manglares que dependen de la ubicación del manglar en las

vertientes costeras y en relación con variaciones latitudinales a las que se asocian cambios en temperatura y en la precipitación y distribución continental de agua (Méndez Alonzo *et al.*, 2008).

México se encuentra entre los diez países del mundo con mayor superficie de manglares, con tasas de deforestación o perturbación por manejo inadecuado del aporte de agua continental que, aunque deben revisarse, están entre las más altas del mundo (Aizpuru *et al.*, 2000; Calderón *et al.*, 2008).

La importancia de los manglares radica en su alta productividad y diversidad biológica, resultado de la mezcla de agua marina con el aporte de nutrientes provenientes de flujos continentales (Loa-Loza, 1994; Kathiresan y Bingham, 2001). Entre los servicios ambientales que proporcionan, está su papel como barreras que protegen y amortiguan los efectos de las tormentas, los ciclones y maremotos. Son también productores, concentradores y dosificadores de sedimentos y de materia orgánica a los ambientes continentales y marinos adyacentes y, por su extensión, los manglares actúan

como mitigadores de la penetración de la cuña salina y absorben parte importante de la salinidad de la brisa marina (Hernández-Trejo *et al.*, 2006; Menéndez *et al.*, 1994; Costanza *et al.*, 1997).

Otro servicio fundamental que proporcionan los ecosistemas de manglar es ser sitios de protección y crecimiento de alevines y juveniles de numerosas especies de peces y mariscos marinos y estuarinos de importancia tanto ecológica como comercial (Golley *et al.*, 1962; Naylor *et al.*, 2000; Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Asimismo, se ha propuesto utilizarlos como sistemas de depuración de aguas residuales por su capacidad para capturar nutrientes y metales pesados (Barg, 1994; Salm *et al.*, 2000; Upadhyay *et al.*, 2002; Lewis, 2005). La asignación de un valor económico a los ecosistemas de manglar y los servicios que prestan no ha sido una tarea sencilla, pero simplemente para pesquerías su valor estimado es de 37 500 pesos por ha por año (Aburto *et al.*, 2008).

No obstante su importancia ecológica, económica y social, se estima que la extensión de los manglares a nivel global se ha reducido, aproximadamente, 35 % en las últimas dos décadas, debido a la deforestación asociada a actividades humanas como la camaronicultura y el desarrollo turístico (Valiela *et al.*, 2001).

#### IMPORTANCIA Y DISTRIBUCIÓN EN EL PAÍS

En México los ecosistemas de manglar se distribuyen en los bordes de lagunas, estuarios y sistemas deltaicos costeros, por lo general en zonas con clima predominantemente tropical, tanto en el Mar Caribe, Golfo de México y Océano Pacífico, alcanzando en este último el límite septentrional de su distribución geográfica hacia la parte norte de Baja California (López-Portillo y Ezcurra, 2002). En el Golfo de México y el Caribe se distribuyen desde Tamaulipas hasta Quintana Roo en forma de sistemas aislados o fragmentos, donde la mayor riqueza

específica se encuentra en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, comprendida en un área entre 3 116 y 3 127 km<sup>2</sup> de manglar (Lot-Helgueras *et al.*, 1975; INEGI, 2000; Agraz *et al.*, 2006).

Si se comparan los inventarios nacionales forestales de 1971 (SARH, 1971) y la Serie II de INEGI de 2000, hay una pérdida de cobertura de alrededor de 34 %. Otros factores que afectan a los manglares son los cambios en la hidrodinámica por la apertura o cierre artificial de barras y la contaminación por descarga de agroquímicos, petroquímicos y aguas urbanas (Kovacks *et al.*, 2001). Por otro lado, la percepción generalizada de que son sitios insalubres y por tanto deben ser “mejorados” para cultivos o para fines turísticos y urbanos ha ocasionado numerosos conflictos entre el uso que se quiere dar a los terrenos costeros y su conservación.

Los datos sobre su cobertura no son precisos, pues las distintas estimaciones presentan diferencias de 8 900 km<sup>2</sup> entre valores extremos reportados, lo que implica un ámbito de 0.71 % al 0.27 % de la superficie total de manglares en México. De igual forma, las tasas de pérdida fluctúan entre 2.9 % a cerca del 5 % de pérdida anual (Agraz *et al.*, 2006). Por ejemplo, Conabio (2008) estima de manera preliminar una superficie de manglar para todo el litoral mexicano de 655 667 ha, de las cuales el 43 % se encuentran reguladas por alguna categoría de protección de las leyes mexicanas. La validación de estas cifras por Conabio está actualmente en proceso. Estas diferencias en las estimaciones de la cobertura y pérdida se deben a los distintos métodos usados para su cálculo, como fotografías aéreas o imágenes de satélite, donde es necesario llevar a cabo una verificación de campo para distinguir a los manglares de otras comunidades vegetales (Ruiz-Luna *et al.*, 2008).

Otro aspecto a considerar es que los manglares, de México en particular y del mundo en general, se consideran como un sólo tipo de comunidad en las estimaciones aéreas realizadas. Sin embargo, fisonómicamente pueden ser desde bosques mixtos hasta

matorrales monoespecíficos y estar compuestos por diferentes asociaciones de especies. La distinción y clasificación de las distintas comunidades de manglar es de importancia estratégica para definir políticas de uso que aseguren la conservación de las comunidades más frágiles o más expuestas tanto a la perturbación natural como a la antropogénica.

## LOS MANGLARES

En sus casi 750 km de litoral, el estado de Veracruz cuenta con un clima cálido húmedo, con temperatura promedio de 22 a 26 °C y temperaturas mínimas en el mes de enero de 14 °C aproximadamente. Hay un claro gradiente latitudinal que en precipitación significa un cambio de menos de 2 000 mm para la porción norte a cerca de 4 000 mm en la porción sur, concomitantemente con un aumento en la temperatura máxima y mínima, que junto con la orografía y la hidrografía influyen en la estructura y diversidad del manglar.

El rango latitudinal también puede manifestarse en la fisonomía y fenología de los árboles. Por ejemplo, el área foliar del mangle rojo aumenta de 20 a 45 cm<sup>2</sup> en un ámbito de nueve grados de latitud (Rico-Gray y Palacios-Ríos, 1996); mientras que en el mangle negro la masa foliar por área (MFA) fluctúa de 0.028 y 0.014 gm/cm<sup>2</sup> en un ámbito de cinco grados de latitud (Méndez-Alonzo *et al.*, 2008). Los valores altos de este índice corresponden a los sitios con mayor precipitación y temperatura (Sontecompan, Veracruz).

En el estado de Veracruz la distribución de los manglares está asociada a la presencia de lagunas costeras y estuarios y hay fundamentalmente tres asociaciones de manglar: 1) monoespecíficos de *Avicennia germinans* asociados a las planicies lodosas, 2) monoespecíficos de *Rhizophora mangle* en franjas ubicados en las orillas de lagunas, ríos, esteros, entre otros, y 3) mixtos, donde se presentan las tres especies de manglar (*A. germinans*, *R. mangle* y

*Laguncularia racemosa*). Hay también bandas estrechas del mangle botoncillo *Conocarpus erectus* en suelos arenosos y ligeramente más altos. En el apéndice IV.1 se podrán consultar las principales áreas de manglar del estado.

## SUPERFICIE DE MANGLARES

Para la delimitación de las áreas de manglar en el entorno costero veracruzano se generaron polígonos que contuvieran los ecosistemas de manglar, de forma que hacia el interior continental el límite fueron las dunas, hacia la costa el límite tierra-mar, y hacia el norte y al sureste los ríos Pánuco y Tonalá, respectivamente. Se observó que el límite del área hacia el continente es altamente variable (de 5 a 30 km de anchura) y está asociado al relieve de los humedales. Esto es porque hay correspondencia geomorfológica entre los escalones morfoestructurales, los tipos de relieve de la zona costera y la distribución de los humedales, entre ellos, los manglares.

En el litoral veracruzano, las comunidades de manglar se distribuyen de manera discontinua, en al menos 814 fragmentos (figura 1). Estos fragmentos están en su mayoría contenidos en 34 sistemas de manglar asociados a lagunas costeras, estuarios y planicies de inundación que cubren 43 194 ha (apéndice IV.1). Este valor estimado es intermedio a los reportados anteriormente, que están entre 34 089 ha y 46 121 ha (Moreno-Casasola *et al.*, 2002; Agraz *et al.*, 2006; Conabio, 2008).

Las zonas con mayor superficie de manglar corresponden a planicies fluviales amplias con lagunas internas y elevada descarga de agua dulce proveniente de escurrimientos superficiales, sub-superficiales y subterráneos, protegidas por los cordones de dunas (figuras 2 y 3). La mayor cobertura de manglar se localiza en el sur del estado en la desembocadura de la cuenca del río Papaloapan, en el complejo lagunar de Alvarado (42 % del total). Le sigue la laguna de Tamiahua (19 %) y el estuario del

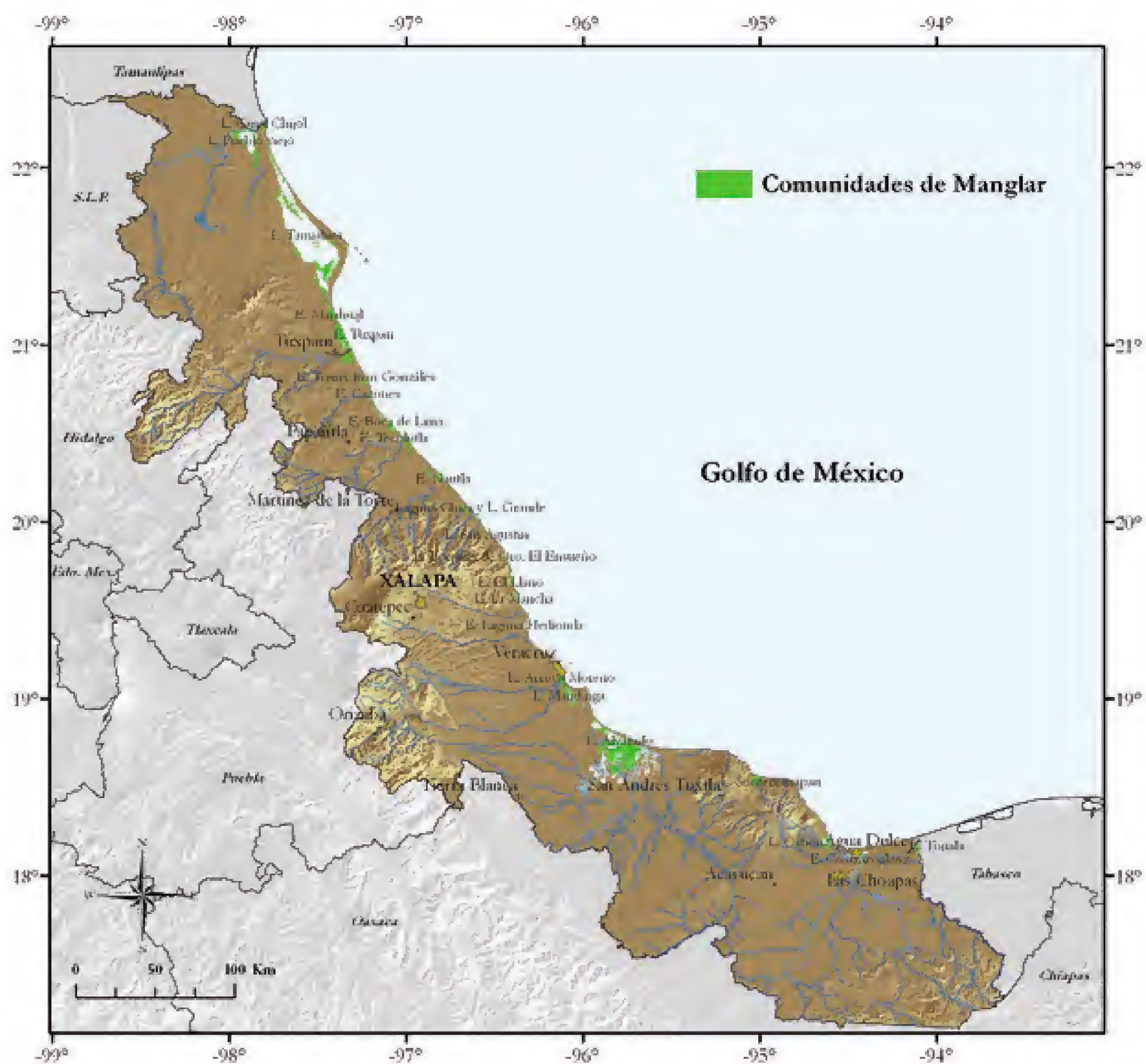


FIGURA 1. Distribución geográfica de los ecosistemas de los principales manglares del estado de Veracruz

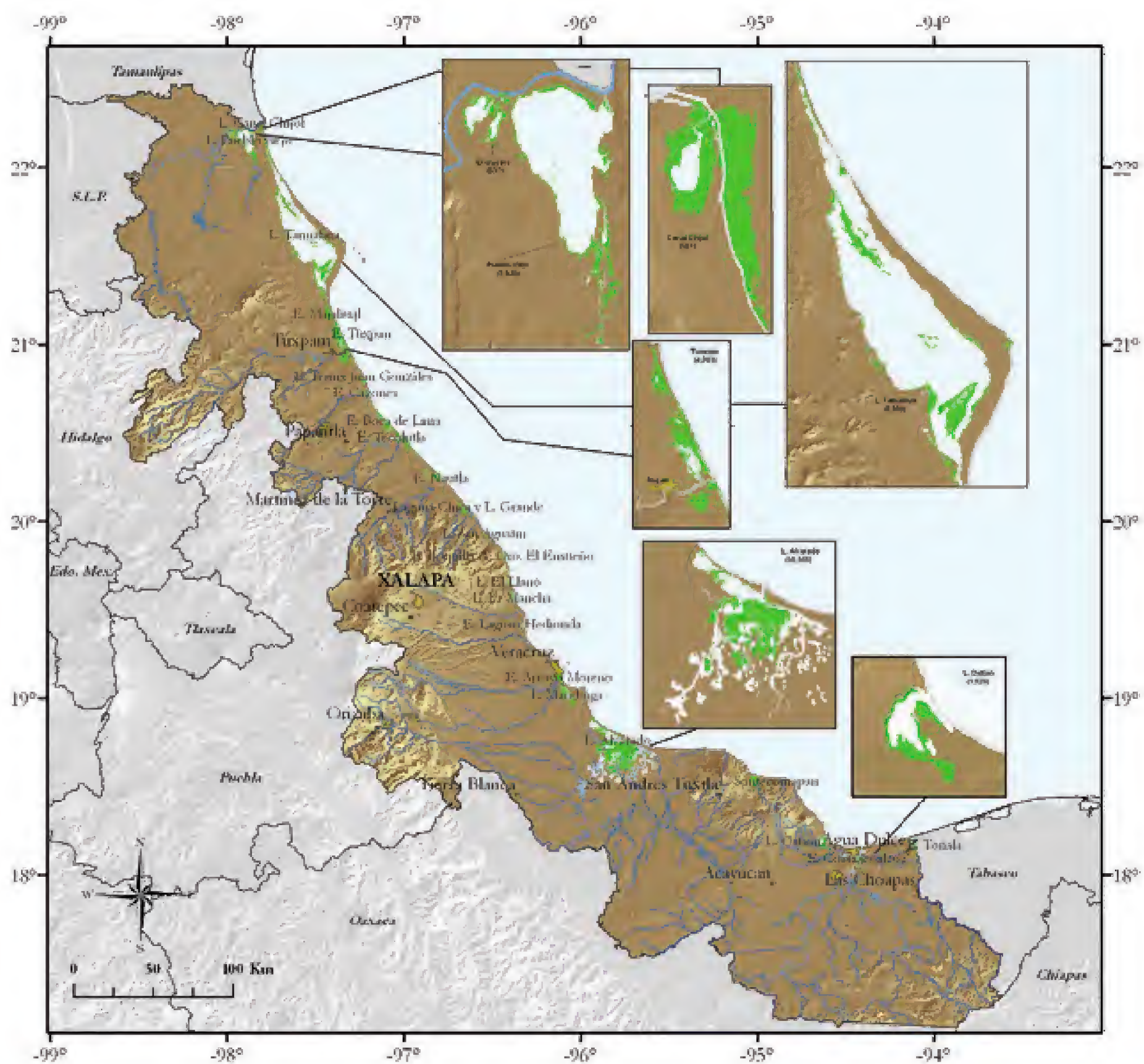


FIGURA 2. Localización de algunos de los sistemas de manglar más representativos del estado de Veracruz. La superficie que cubre el manglar aparece en color verde y las hectáreas que cubre aparecen entre paréntesis.

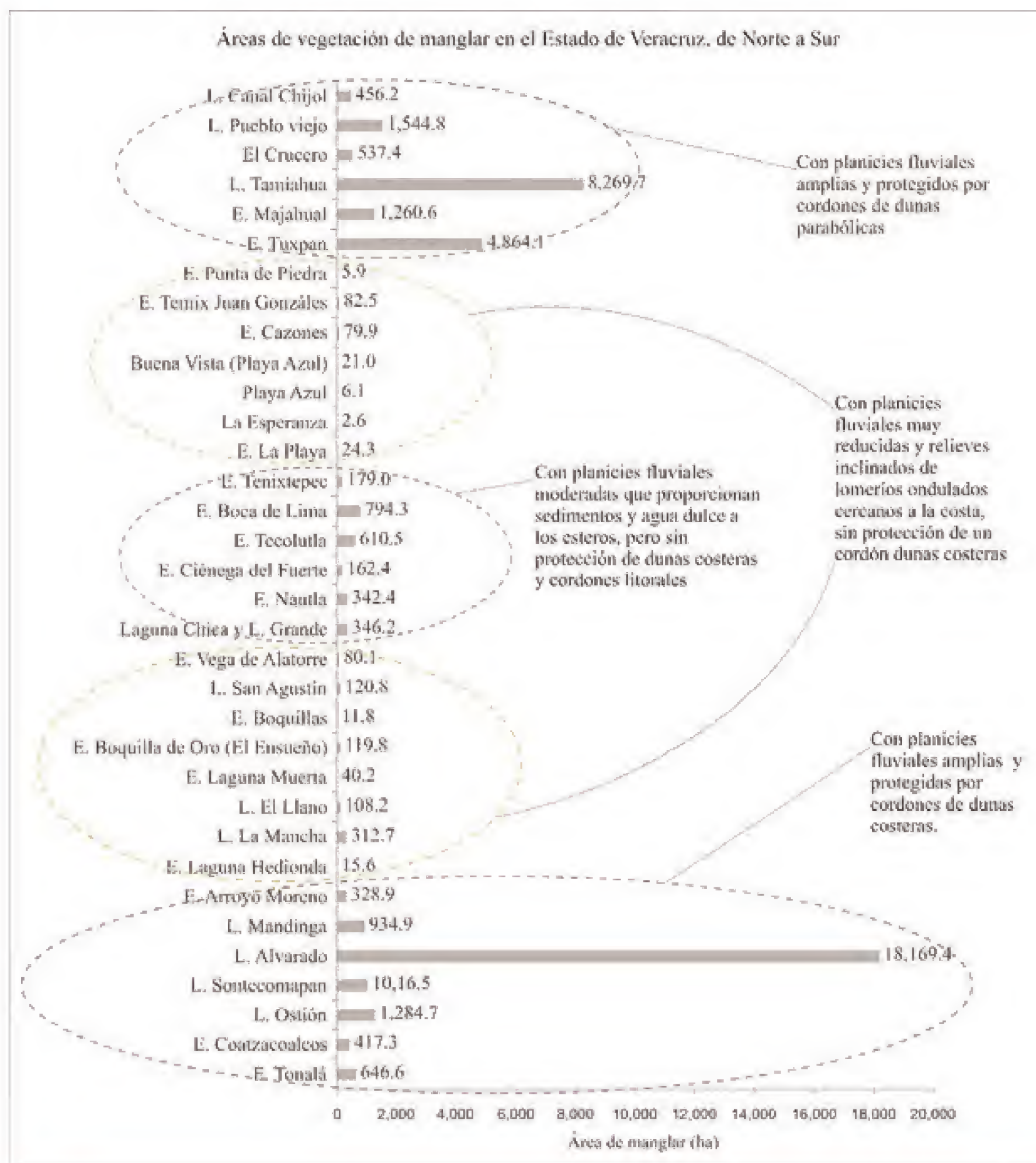


FIGURA 3. Distribución y extensión de los ecosistemas de manglar del estado de Veracruz. Se presentan de norte-arriba a sur-abajo, y describe la relación entre los rasgos geomorfológicos y los ecosistemas de manglar. Los números al lado de las barras indican las hectáreas de manglar en cada sistema

río Tuxpan (11 %), al norte del estado. Además en el estuario del río Tuxpan se identificaron 296 fragmentos, 140 en la laguna de Tamiahua y 79 en el sistema lagunar de Alvarado (apéndice IV.1, figura 2). En el resto de las localidades el área de manglar puede ocupar áreas de tres a más de 1 500 ha. Las áreas relativamente pequeñas están en sistemas costeros sin protección y/o con planicies de inundación reducida, como las lagunas de El Llano y La Mancha, con una superficie de 108 y 313 ha de manglar, respectivamente (figura 3). Moreno Casasola *et al.* (2002) estimaron que alrededor de la tercera parte (34 %) del área de manglar está formada por fragmentos menores de 5 000 ha, 33 % por fragmentos entre 5 000 y 10 000 ha y el resto por superficies entre 10 000 y 15 000 ha. No obstante que la distribución de los manglares en el estado de Veracruz es en superficies pequeñas, estas coberturas presentan características de diversidad y estructura similares a las superficies grandes que se mencionan para otros estados de la República Mexicana. De aquí la importancia de proteger y conservar estas áreas, preservando sus funciones ecológicas de resguardo de la línea de costa.

#### SERVICIOS AMBIENTALES

Los manglares en Veracruz (y humedales en general) deberían ser respetados como el límite natural para cualquier tipo de desarrollo, ya que constituyen el escalón intermedio entre la tierra y el mar. Son también una zona de amortiguamiento de los eventos naturales, como las inundaciones, que devienen en catástrofes sociales cuando se permite la ocupación urbana de estas zonas. Este límite entre la tierra y el mar, más las zonas que son cubiertas por agua de mareas en las partes interiores de los estuarios y las lagunas costeras, constituyen un riesgo mayor si se considera que el nivel medio del mar aumentará en las próximas décadas y que la frecuencia de eventos extremos (como inundaciones y

huracanes) ha aumentado en las últimas décadas (Garduño, 1995; Tejeda, 2006).

Son también zonas de alta productividad, que se exporta al mar en forma de detritos. Estos provienen de la hojarasca y la madera caída como parte del proceso natural de renovación de los árboles. Se estima que la hojarasca constituye la tercera parte de la productividad primaria neta; las otras dos partes las compone el incremento de la biomasa en forma de raíces, troncos, ramas y hojas en pie. En este sentido, hacen falta datos acerca de la variación latitudinal en la caída de hojarasca y la fenología de las especies de manglar, en especial sus periodos de producción de hojas, floración y fructificación (López-Portillo y Ezcurra, 1985; Aké-Castillo *et al.*, 2006; Utrera-López y Moreno-Casasola, 2008). El aporte de detrito proveniente del manglar al sistema acuático constituye una fuente de alimento para numerosas especies animales durante sus diferentes etapas de vida. Esto constituye una función ecológica de fundamental importancia y que, de hecho, desencadenó hace 30 años las políticas para su preservación (Odum y Heald, 1972, 1975). En resumen, las funciones de los manglares que destacan para la zona costera de Veracruz son *a)* protección de la línea de costa, en constante modificación por huracanes, tormentas y nortes; *b)* áreas de alta producción pesquera, especialmente en las lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Alvarado, y *c)* áreas de captura de carbono. Todos estos son temas que deben ser explorados a fondo en Veracruz para mejorar el uso y manejo que se le da al manglar en Veracruz.

En cuanto a su protección legal, las especies de manglar están consideradas bajo protección especial en la NOM-ECOL-059-SEMARNAT-2001 y la NOM-022-SEMARNAT-2003. Recientemente también se añadió el artículo 60 TER de la Ley General de Vida Silvestre, que tiene como propósito frenar las constantes acciones de transformación de estos ecosistemas y promover su conservación y regulación con bases. Sin embargo, los efectos por la expansión

urbana, industrial y agropecuaria siguen presionando de manera importante áreas puntuales de manglar en Veracruz. Sólo resta mencionar que a la fecha hay seis manglares protegidos en Veracruz como sitios Ramsar: La Mancha y El Llano (02/02/04), Manglares y humedales de la Laguna de Sontecomapan (02/02/04), Sistema Lagunar de Alvarado (02/02/04), Humedales de la Laguna La Popotera (05/06/05), Laguna de Tamiahua (27/11/05), Manglares y humedales de Tuxpan (02/02/06) (Ramsar, 2002).

Cabe mencionar que aun en estos sitios quedan por definir políticas de manejo de los manglares a fin de garantizar que sus funciones se mantengan ante el contexto de presión creciente de uso de suelo. Además existe una marcada desintegración del valor que tienen los ecosistemas de manglar entre las comunidades que dependen directamente de los recursos que ofrece y las dependencias e instituciones responsables de gestionar políticas de uso y/o conservación de estos ecosistemas.

#### LITERATURA CITADA

- ABURTO-OROPEZA O, E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray y E. Sala, 2008, Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 10456-10459.
- AGRAZ C., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo, J.J. Jiménez-Zacarias, 2006, *Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México*, Universidad Autónoma de Campeche, 45 pp.
- AIZPURU M., F. Achard y F. Blasco, 2000, Global Assessment of Cover Change of the Mangrove Forests using satellite imagery at medium to high resolution, en: *EEC Research project 15017-1999-05 FIED ISP FR*, Joint Research center, Ispra,
- AKÉ-CASTILLO, J.A., G. Vázquez y J. López-Portillo, 2006, Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico, *Hydrobiología* 559: 101-111.
- BARG, U.C., 1994, *Orientaciones para la promoción de la ordenación medioambiental del desarrollo de la acuicultura costera (basadas en un estudio selectivo de experiencias e ideas)*, Documento Técnico de Pesca, núm. 328, FAO, Roma, 138 pp. [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/003/T0697S/T0697S00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/T0697S/T0697S00.htm) fecha de consulta: 04/08/2006
- CALDERÓN C., O. Aburto y E. Ezcurra, 2008, El valor de los manglares, *Biodiversitas* 82: 2-6, Conabio, México.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (Conabio), 2008, *Los Manglares de México*, 36 pp.
- COSTANZA, R., R. d'Arge, R. deGroot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, y M. van den Belt, 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature* 387: 253-260.
- GARDUÑO, R., 1995, Conjeturas para el siglo próximo: Los riesgos por hidrometeoros en el estado de Veracruz ante el cambio climático global, en: A. Tejeda, I. Mora, E. Jáuregui, Riesgos por fenómenos naturales en el estado de Veracruz, *La Ciencia y el Hombre* 7: 225-245.
- GOLLEY F., H.T. Odum y R.F. Wilson, 1962, The Structure and Metabolism of a Puerto Rican Red Mangrove Forest in May, *Ecology* 43: 9-19.
- HERNÁNDEZ-TREJO, H., A.G. Priego-Santander, J.A. López-Portillo e E. Isunza-Vera, 2006, Los paisajes físico-geográficos de los manglares de la Laguna La Mancha, Veracruz, México, *Interciencia* 31(3): 211-219.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 2000, *Inventario Nacional Forestal*, Serie II.
- KATHIRESAN, K. y Bingham, B.L., 2001, Biology of mangroves and mangrove ecosystems, *Advances in marine biology* 40: 81-251.
- Kovacs, J.M., J. Wang y M. Blanco-Correa, 2001, Mapping disturbances in a mangrove forest using multi-

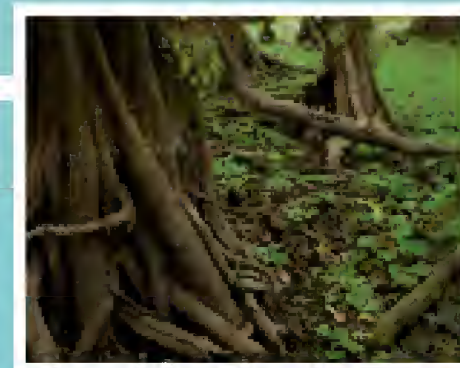
- date Landsat TM imagery, *Environmental Management* 27: 763-776.
- LEWIS III, R.R., 2005, Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forest, *Ecological Engineering* 24: 403-418.
- LOA-LOZA, E., 1994, Los manglares de México: sinopsis general para su manejo, en: Daniel O. Suman (ed.), *El ecosistema de manglar en la cuenca del Caribe: su manejo y conservación*, Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. University of Miami and the Tinker Foundation, Nueva York, EUA, pp. 144-151.
- LÓPEZ-PORTILLO, J. y E. Ezcurra, 1985, Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one year cycle in a mud-flat at the Laguna de Mecoacan, Tabasco, Mexico, *Biotrópica* 17: 186-190.
- , 2002, Los manglares de México: Una revisión, *Madera y Bosques* (núm. especial): 27-51.
- LOT-HELGUERAS, A., Vázquez-Yanes, C. y Menéndez, F.L., 1975, Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf Coast of Mexico, en: G.E. Alash, S.C. Snedaker y H.Y. Teas (eds.), *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves*, Universidad de Florida, pp. 52-61.
- MENÉNDEZ, C.L., A. Priego, y R. Vandama, 1994, Guanal, una propuesta de Plan de Manejo Integrado de los Manglares, en D.O. Suman (ed.), *El ecosistema de manglar en la cuenca del Caribe: Su manejo y conservación*, Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami y The Tinker Foundation, Nueva York, EUA, pp. 102-118.
- MÉNDEZ-ALONZO, R., J. López-Portillo y V.H. Rivera-Monroy, 2008, Latitudinal variation in leaf and tree traits of the mangrove *Avicennia germinans* (Avicenniaceae) in the central region of the Gulf of Mexico, *Biotropica* 40: 449-456.
- MORENO-CASASOLA, P., J.L. Rojas-Galaviz, D. Zárate-Lomelí, M. Ortíz Pérez, A.L. Lara-Domínguez, y T. Saavedra Vázquez, 2002, Diagnóstico de los manglares de Veracruz: Distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática, *Madera y Bosques* (núm. especial): 61-88.
- NAYLOR, R.L., R.J. Goldberg, J.H. Primavera, N. Kautsky, M.C.M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, J. Lubchenco, H. Mooney y M. Troell, 2000, Effect of aquaculture on world fish supplies, *Nature* 405: 1017-1024.
- ODUM, W.E. y E.J. Heald, 1972, Trophic analysis of an estuarine mangrove community, *Bulletin of Marine Science* 22: 671-738.
- , 1975, The detritus-based food web of an estuarine mangrove community, en: M. Wiley, (ed.), *Estuarine Research*, vol. 1., Academic Press, Nueva York, pp. 265-286.
- RAMSAR. 2002. Resolución VIII.32, Conservación, manejo integral y uso sostenible de los ecosistemas de manglar y sus recursos, [http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios\\_ramsar.html](http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios_ramsar.html).
- RICO-GRAY, V., y M. Palacios-Ríos, 1996, Leaf area variation in *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) along a latitudinal gradient in Mexico, *Global Ecology and Biogeography Letters* 5: 30-35.
- RUIZ-LUNA, A., J. Acosta-Velázquez, y C.A. Berlanga-Robles, 2008, On the reliability of the data of the extent of mangroves: A case study in Mexico, *Ocean and Coastal Management* 51: 342-351.
- SALM, R.V., J. Clark, E. Siirila, 2000, *Marine and Coastal Protected Areas: A guide for planners and managers*, IUCN, Washington D.C. EUA, 371 pp.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH), 1971, *Inventario Nacional Forestal de Gran Visión*, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre.
- TEJEDA A., 2006, *Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante 2005*. Universidad Veracruzana, <http://www.ciesas-golfo.edu.mx/inundaciones/>
- TWILLEY, R.R., 1998, Mangrove Wetlands. Southern Forested Wetlands, en M.G. Messina y W.H. Conner, (eds.), *Ecology and Management*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 445-473.

UPADHYAY, V.P., A. Rajiv Ranjan y J.S. Singh, 2002, Human-mangrove conflicts: the way out, *Current Science* 83: 1328-1336.

UTRERA-LÓPEZ, M.E. y P. Moreno-Casasola, 2008, Mangrove litter dynamics in La Mancha Lagoon, Veracruz, México, *Wetland Ecology and Management* 16: 11-22.

VALIELA, I., J.L. Bowen y J.K. York, 2001, Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments, *BioScience* 51: 807-815.

# La biodiversidad de los humedales



Patricia Moreno-Casasola  
Dulce María Infante Mata  
Hugo López-Rosas  
Luis Alberto Peralta Peláez  
Gonzalo Castillo-Campos  
Ana Cecilia Travieso-Bello  
Wendy Ariana Méndez Cortina  
Graciela Sánchez-Ríos

## INTRODUCCIÓN

Los humedales han jugado un papel muy importante para la humanidad en todos los continentes. Los valles fértiles del Nilo, Éufrates y Tigris dieron lugar a las culturas de los egipcios y sumerios (Boule, 1994). En América sucedió algo equivalente. En las regiones americanas de grandes humedales como el Amazonas, la densidad de población fue de 10 a 20 veces mayor que en las tierras altas de los alrededores (Denevan, 1976). En México, varias culturas guardaron una estrecha relación con los humedales. Rojas (1990) caracteriza los tipos de agricultura prehispánica y describe una agricultura intensiva en los pantanos y zonas más drenadas, sobre campos elevados (pasillos en los que se ha elevado el nivel del suelo combinados con zanjas) y chinampas. Los olmecas

surgieron en las planicies costeras inundables del sur de Veracruz y Tabasco, zona intensamente irrigada por los numerosos afluentes de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá (Coe y Diehl, 1980).

Los ecosistemas de humedales se definen como las zonas de transición entre sistemas terrestres y acuáticos en donde el manto freático normalmente está en o cerca de la superficie, o bien el suelo se cubre con agua poco profunda. Se considera que un humedal debe tener uno o más de los siguientes tres atributos: 1) por lo menos periódicamente, el suelo soporta predominantemente plantas hidrófitas; 2) el sustrato es predominantemente suelo hídrico no drenado; y 3) el sustrato se satura con agua o se cubre con agua poco profunda en algún momento durante la estación de crecimiento de cada año (Cowardin *et al.*, 1979). La convención Ramsar\* de

---

\* La Convención sobre los Humedales firmada en Ramsar, Irán, en 1971, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos. Hay actualmente 154 Partes Contratantes en la Convención y 1 650 humedales, con una superficie total de 149.6 millones de hectáreas, designados para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar (<http://www.ramsar.org/indexsp.htm>).

humedales prioritarios da una definición mucho más amplia: como “ecosistemas tanto naturales como artificiales que se caracterizan por estar permanente o temporalmente inundados, ya sea por aguas dulces, estuarinas (salobres) o salinas, las cuales pueden estar estancadas o corrientes e incluyen las regiones ribereñas, costeras y marinas que no excedan los seis metros de profundidad con respecto al nivel medio de las mareas bajas”.

Los humedales conjuntan una enorme variedad de comunidades vegetales con distinta composición, formas de vida y estructura. Frecuentemente se les considera como un solo tipo de ecosistema, comparable a los bosques o pastizales. Sin embargo, los humedales conjuntan gran parte de la variabilidad ambiental que se puede encontrar entre los ecosistemas más secos y forman una serie de tipos que de manera general son comparables, difiriendo principalmente en su grado de humedad o inundación (Wheeler *et al.*, 2002). Así, los humedales incluyen los manglares, marismas, selvas inundables, bosques y selvas riparios, comunidades con vegetación flotante ya sea libre flotadora o enraizada, con vegetación sumergida, tulares, popales, carrizales, palmares, entre otros. Los humedales de México ocupan una extensión mayor en la costa que en tierra adentro. Pueden tener tamaños variados desde unos cuantos metros cuadrados hasta cientos de hectáreas (Mitsch y Gosselink, 2000), con formas distintas dependientes de la geomorfología; los hay de agua dulce, salobre y salados. Se distribuyen desde las zonas marinas (arrecifes, playas), deltas de ríos, esteros, lagunas, hasta la zona montañosa. En el estado de Veracruz convergen todas estas zonas, formando una gran variedad de ambientes que favorecen la presencia de humedales.

La vegetación juega un papel importante en el mantenimiento de la diversidad biológica ya que es la fuente de alimento de muchos animales y un lugar propicio para la anidación y refugio de especies de taxa de peces, insectos, mamíferos, reptiles, aves y anfibios entre otros (Cronk y Fennessy, 2001; Peralta-Peláez, 2007).

El objetivo principal de este trabajo es reunir la información ambiental y florística de los humedales veracruzanos. Para ello se revisó la información disponible: (Orozco y Lot, 1976; Gutiérrez, 1985; Cházaro, 1986; Gutiérrez y Zolá, 1987; Siemens *et al.*, 1988; Lot, 1991; Moreno-Casasola *et al.*, 1996; Lot *et al.*, 1998; Santiago *et al.*, 1998; Vázquez, 1998; Lot *et al.*, 1999; Travieso-Bello, 2000; Castillo-Campos y Medina, 2002; Madrigal, 2003; Lot, 2004; López *et al.*, 2006, Castillo-Campos y Travieso-Bello, 2006, Peralta-Peláez, 2007, Moreno-Casasola *et al.*, 2009) y se llevó a cabo una consulta a la base de datos del Herbario XAL (Instituto de Ecología A.C.). Además se revisaron las fichas de los sitios RAMSAR en Veracruz ([http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?pageid=53,3840615&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?pageid=53,3840615&_dad=portal&_schema=PORTAL)). Se consultaron los diversos fascículos de la *Flora de Veracruz* y de la base de datos de nomenclatura botánica Missouri Botanical Garden's VAST (VAScular Tropicos) (<http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>), para la validación de los nombres científicos. Ello permitió conjuntar una primera lista de especies asociadas a humedales. Este listado sirvió de base para calcular el número de especies y familias, la forma de crecimiento predominante y el tipo de humedal en que se reportaban. La información generada y analizada proporciona elementos para establecer necesidades de colecta, investigación, conservación y manejo de la flora de humedales del estado, y da una idea de la riqueza existente y la necesidad de contar con planes de manejo para su conservación.

## AMBIENTE FÍSICO

La compleja fisiografía del estado, la heterogeneidad climática, la extensa planicie costera y la abundancia de lluvias, que conforman una extensa red de ríos y arroyos, ayudan a explicar la riqueza de humedales que se presentan en el estado de Veracruz, y que abarcan desde los de montaña hasta los costeros.

## FLORA

Se registraron un total de 209 familias conformadas y un total de 1 504 especies (apéndice IV.2). El cuadro 1 muestra las familias que registraron más de 10 géneros. La familia Poaceae fue la que tuvo más especies (115 especies y 46 géneros) seguido por la familia Asteraceae, con el mayor número de géneros (60) y con 100 especies. La familia Cyperaceae registró 11 géneros y 75 especies y la Fabaceae 35 géneros y 74 especies.

Las especies de los humedales incluyen aquellas pertenecientes a la vegetación acuática y subacuática (*sensu* Lot *et al.*, 1993) o hidrófila, y son especies que ocurren casi siempre bajo condiciones naturales de humedales y que requieren de la inundación aunque sea temporalmente para completar su ciclo de vida. También hay especies facultativas y son aquellas que pueden presentarse tanto en humedales como no humedales y se pueden dividir en función de qué tan frecuente u ocasional es su presencia en estos ecosistemas. Finalmente están las especies terrestres, es decir, aquellas que raramente se encuentran en los humedales. Ambos extremos son las más fáciles de identificar, pues muchas de estas especies son indicadoras de condiciones.

De acuerdo con Novelo y Ramos (2005), el estado de Veracruz es uno de los estados mejor conocidos desde el punto de vista botánico, en cuanto a vegetación acuática estricta (hidrófitas) se refiere. En 1991 Lot desarrolló un estudio sobre la flora acuática del estado de Veracruz y registró cuatro familias de pteridofitas (con ocho especies), una de gimnospermas (una especie), 20 de monocotiledóneas (61 especies), y 42 de dicotiledóneas (95 especies), dando un total de 165 especies. De la flora reportada, 78 corresponden a herbáceas acuáticas, 47 a herbáceas subacuáticas, 30 a árboles, seis a arbustos y cuatro a arborescentes (palmas, bambú). De las herbáceas acuáticas, el 39 % fueron enraizadas emergentes, el 18 % enraizadas de hojas flotantes, 29 % enraizadas sumergidas y 14 % libremente

CUADRO 1. Familias de plantas presentes en los humedales del estado de Veracruz. Se presentan únicamente familias con 10 o más géneros.

FAMILIAS	ESPECIES	GÉNEROS
Poaceae	115	46
Asteraceae	100	60
Cyperaceae	75	11
Fabaceae	74	35
Rubiaceae	47	27
Euphorbiaceae	46	17
Solanaceae	42	12
Mimosaceae	36	12
Melastomataceae	35	15
Acanthaceae	29	14
Verbenaceae	28	15
Lamiaceae	24	7
Moraceae	23	8
Convolvulaceae	22	7
Orchidaceae	22	14
Amaranthaceae	20	10
Malvaceae	19	13
Onagraceae	18	5
Caesalpinaceae	18	6
Boraginaceae	18	6
Piperaceae	16	2
Bignoniaceae	16	13
Polygoniaceae	16	3
Lythraceae	15	5
Myrtaceae	14	7
Pteridaceae	13	7
Cucurbitaceae	12	9
Bromeliaceae	11	3
Areaceae	11	8

flotantes. Entre las leñosas, el 50 % se localizaron en ambientes riparios, 40 % en zonas inundadas sin corriente y 10 % en ambientes salinos o salobres. En el mismo estudio, además de las hidrófitas, se registraron 90 especies asociadas a humedales.

En la figura 1 puede verse que hay comunidades, y sobre todo regiones, en las que se han reali-

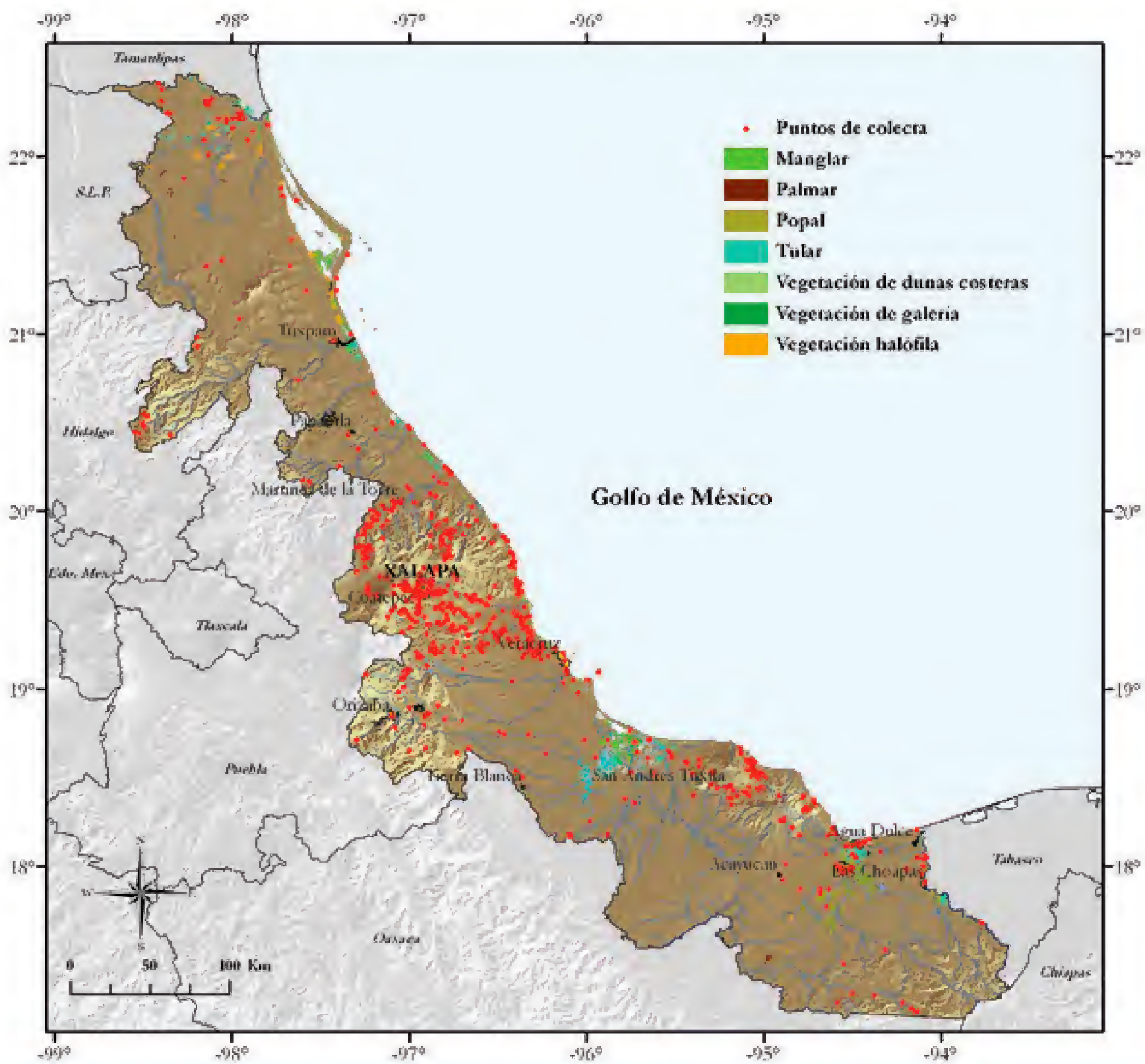


FIGURA 1. Distribución de los humedales en Veracruz y de las colectas georreferenciadas de plantas de humedales depositadas en el Herbario XAL (Instituto de Ecología, A.C.). Elaborada por Rosario Landgrave.

zando numerosas colectas, sobre todo en las cuencas de la zona centro del estado, Actopan y Jamapa, los ríos Bobos y Diamante, y al sur las lagunas de Alvarado, Catemaco y Sontecomapan. En cambio, hay otras zonas en las cuales hay humedales importantes y el esfuerzo de colecta es aún escaso, por ejemplo, al norte del estado en la parte alta del río

Pánuco y las lagunas Tames y Chairel, laguna de Tamiahua, el río Tuxpan y la laguna de Tampachoco, el río Cazones y el San Marcos, el complejo hidrológico del río Necaxa y Tecolutla, además del río Nautla. Mientras que en la zona centro, en los humedales que se forman por el río Atoyac, y en la zona sur, en la región del río Muer-

tos, el Papalopan, San Juan, el río Coatzacoalcos, el Uxpanapa y el río Tonalá, ha habido poco esfuerzo para realizar colectas.

En el presente trabajo, el análisis del tipo de humedal donde se colectó cada especie muestra que el mayor porcentaje de especies corresponde a los bosques y selvas ribereñas (figuras 2a y 2b), seguido por los tulares-popales (figuras 3 y 4) y las selvas inundables (figura 5). Los valores aparecen en el cuadro 2 (ver apéndice IV.2). Para el manglar (figura 6) se registraron aparte de las cuatro especies de mangle, 91 especies más como acompañantes, lo que muestra que los manglares pueden ser más diversos de lo que regularmente se considera, aunque el número de individuos sea bajo (ver trabajo de Travieso-Bello, 2000). Los palmares posiblemente estén submuestreados y un trabajo más detallado puede registrar un mayor número de especies, ya que simplemente a nivel de esta comunidad, en Veracruz existen los palmares de *Sabal mexicana* (figura 7), *Attalea butyraceae* (Mutis ex L.F.) Wess Boer, *Roystonea dunlapiana* P.H. Allen y *R. regia* (Kunth) O.F. Cook (figura 8), *Acelorraphe wrightii* (Griseb. & H. Wendl.) H. Wendl. ex Becc. Finalmente, el potrero con pastizal inundable (figura 9) presentó 57 especies.

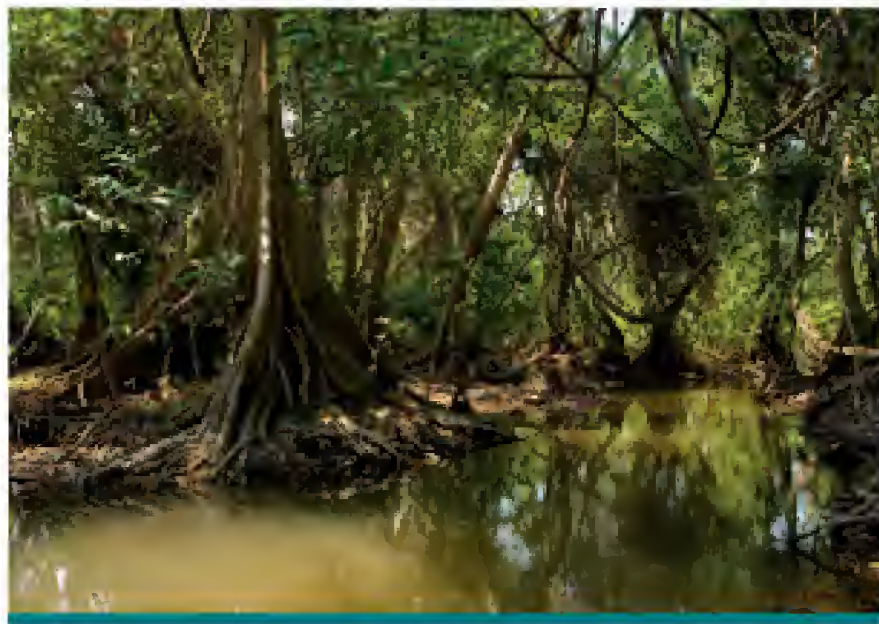


FIGURA 2. a) Selva inundable riparia dominada por zapote o apompo (*Pachira aquatica*), Ciénega del Fuerte, municipio de Tecolutla (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).

Representa una comunidad transformada por las actividades humanas, principalmente la ganadería o el cultivo de arroz, pero que aún mantiene características del humedal, como son los suelos o el régimen de inundación, aunque éste haya sido parcialmente modificado. Pudo haber sido anteriormente un popal, un tular o aún una selva inundable. Hoy en día constituye una comunidad frecuente en la planicie costera de Veracruz.

La forma de crecimiento más frecuente de las especies de humedales en Veracruz fueron las hierbas (55 %), seguida por los arbustos (19 %), los árboles (18 %), y las lianas y bejucos (8 %) (cuadro 3). Se registraron tres cactáceas y once palmas.

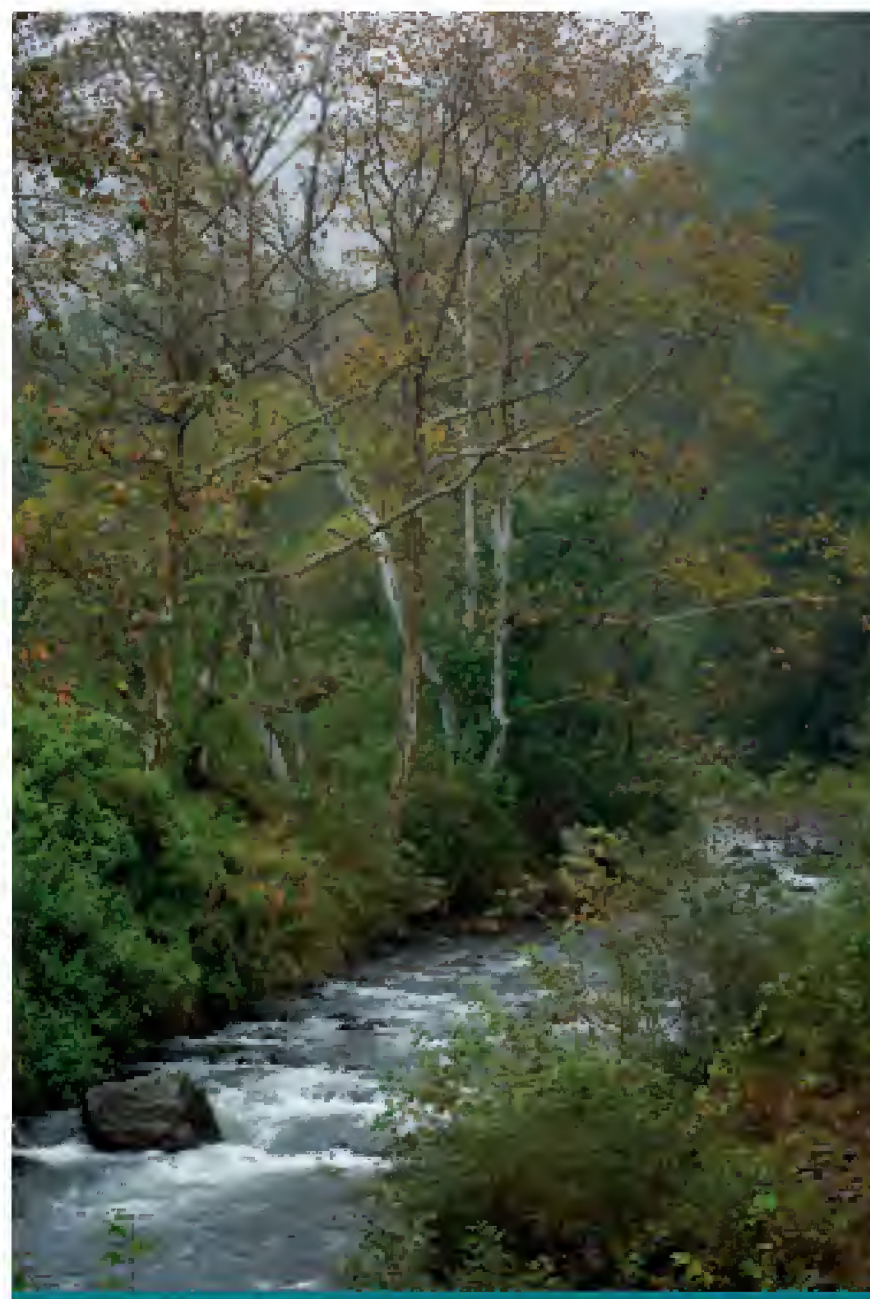


FIGURA 2. b) bosque de galería dominado por hayas (*Platanus mexicana*) en los alrededores de Xalapa (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).



FIGURA 3. Tular dominado por *Typha domingensis* en la zona de La Mancha, municipio de Actopan (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).



FIGURA 4. Popal de *Sagittaria lancifolia* en La Mancha, municipio de Actopan (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).

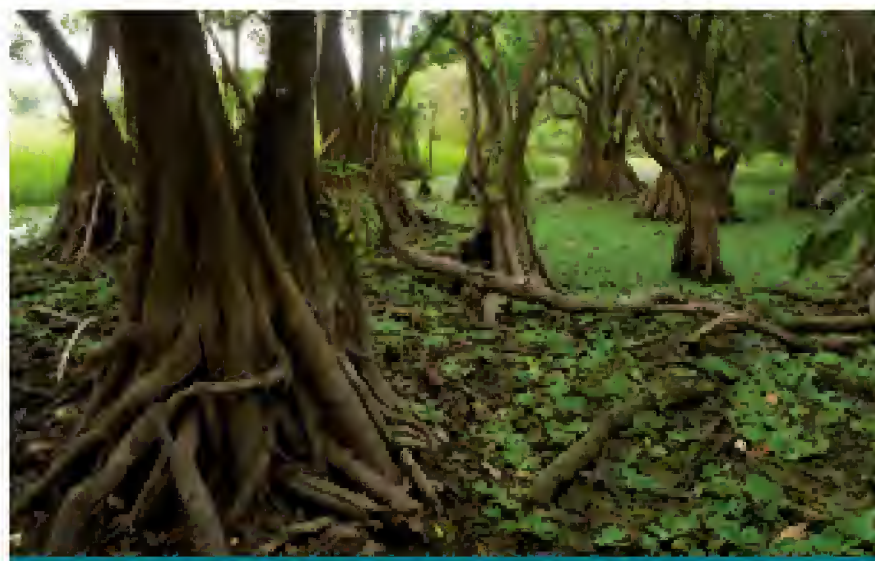


FIGURA 5. Selva inundable dominada por *Annona glabra*, y la libre flotadora *Pistia stratiotes*, localizada en la zona norte de la laguneta interdunaria de La Mancha (Centro de Investigaciones Costeras La Mancha), municipio de Actopan (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).



FIGURA 6. Manglar dominado por *Rhizophora mangle*, en Caño Grande en la laguna La Mancha, municipio de Actopan (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).



FIGURA 7. Palmar de *Sabal mexicana* (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).

CUADRO 2. Número de especies registradas para cada tipo de humedal.

TIPO DE HUMEDAL	NÚMERO DE ESPECIES	PORCENTAJE
Vegetación ribereña	1010	38
Bosque tropical perennifolio	564	21
Bosque tropical caducifolio	242	9
Vegetación acuática	208	8
Tular-Popal	199	6.9
Selva inundable	153	6
Pastizal	116	4
Manglar	96	3.8
Potrero inundable	57	1.8
Palmar inundable	26	0.9
Playa	8	0.4
Hondonada de duna	6	0.2

Se mantuvo el nombre de la comunidad vegetal reportada por los autores o en los ejemplares de herbario. El porcentaje se obtuvo a partir del total de especies registradas en todos los ambientes.

CUADRO 3. Formas biológicas de las especies de humedales, se muestra su abundancia en porcentaje.

FORMA DE CRECIMIENTO	NÚMERO DE ESPECIES	PORCENTAJE
Árbol	258	18
Arborescente	5	0.1
Arbusto	290	19
Lianas o bejucos	125	8
Hierbas	823	55

#### ENDEMISMOS Y ESPECIES BAJO ALGUNA CATEGORÍA DE PROTECCIÓN

De las 1 504 especies registradas, únicamente el 2 % (23 especies), está incluido en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat, 2002) (cuadro 4). Respecto de las especies protegidas 8 están sujetas a protección especial, 13 amenazadas y dos en peligro de extinción. Estas últimas son: *Ceratozamia miqueliana* (Zamiaceae) y *Ormosia isthmensis* Standl. En el caso de la orquídea *Laelia anceps*, la subespecie *dawsonii* es la que se

encuentra en la Norma, al igual que en el caso de la Rubiaceae *Crusea hispida* subsp. *grandiflora* (Paul G. Wilson) Borhidi. La figura 10 muestra una imagen de *Laelia anceps*.



FIGURA 8. Palmar de *Roystonea dunlapiana* (palma yagua) (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).



FIGURA 9. Humedal transformado a pastizal y utilizado como potrero inundable en la zona de La Mancha, municipio de Actopan. Los potreros inundables son un paisaje común en el estado de Veracruz. En este caso la especie dominante es *Echinochloa pyramidalis* (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).

CUADRO 4. Listado de especies de humedales sujetas a alguna categoría de protección según NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat, 2002).

ESPECIE	FAMILIA	CATEGORÍA DE PROTECCIÓN	DISTRIBUCIÓN
<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl.	Acanthaceae	A	No endémica
<i>Saurauia pedunculata</i> Hook. 1	Actinidiaceae	Pr	No endémica
<i>Echinodorus grandiflorus</i> (Cham. & Schltdl.) Micheli	Alismatacea	A	No endémica
<i>Echinodorus tenellus</i> (Mart. ex Schult. & Schult. f.) Buchenau	Alismatacea	A	No endémica
<i>Spondias mombin</i> L. 2	Anacardiaceae	A	No endémica
<i>Roystonea dunlapiana</i> P.H. Allen	Arecaceae	Pr	No endémica
<i>Carpinus caroliniana</i> Walter	Betulaceae	A	No endémica
<i>Tillandsia imperialis</i> E. Morren ex Mez	Bromeliaceae	A	No endémica
<i>Conocarpus erectus</i> L.	Combretacea	Pr	No endémica
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn.	Combretacea	Pr	No endémica
<i>Sapium macrocarpum</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae	A	No endémica
<i>Tetrorchidium rotundatum</i> Standl.	Euphorbiaceae	A	No endémica
<i>Ormosia isthmensis</i> Standl.	Fabaceae	P	No endémica
<i>Juglans pyriformis</i> Liebm.	Juglandaceae	A	No endémica
<i>Magnolia schiedeana</i> Schltdl.	Magnoliaceae	A	No endémica
<i>Marattia weinmanniifolia</i> Liebm.	Marattiaceae	Pr	No endémica
<i>Nelumbo lutea</i> Willd.	Nelumbonaceae	A	No endémica
<i>Nuphar luteum</i> Sibth. & Sm.	Nymphaeaceae	A	No endémica
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Rhizophoraceae	Pr	No endémica
<i>Symplocos coccinea</i> Bonpl.	Symplocaceae	Pr	No endémica
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Verbenaceae	Pr	No endémica
<i>Ceratozamia miqueliana</i> H. Wendl.	Zamiaceae	P	Endémica
<i>Zamia loddigesii</i> Miq.	Zamiaceae	A	No endémica

Categorías de protección: PE= En peligro de extinción; A= Amenazadas y Pr= Sujetas a protección especial. 1. *Saurauia pedunculata* Hook. aparece con el sinónimo *Saurauia serrata* D.C. en la NOM 059; 2. *Spondias mombin* L. aparece con el sinónimo *Spondias radlkoferi* J.D. Smith. en la NOM 059.



FIGURA 10. Imagen de *Laelia anceps* (Orchidaceae) (Foto: Phil Brewster).

Las cuatro especies de mangle están sujetas a protección especial y son el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*). Ello ha permitido que para el ecosistema de manglar existan leyes específicas para su protección en nuestro país.

Otras especies herbáceas de humedales se encuentran amenazadas (A) e incluyen tanto especies hidrófilas como facultativas. Entre ellas está el nenúfar amarillo (*Nuphar luteum*). Esta especie se encuentra en espacios de agua abiertos y de poca corriente, al igual que *Nymphaea ampla*, especie común en los humedales de Veracruz (figura 11).



FIGURA 11. Imagen de *Nymphaea ampla* (Foto: Gerardo Sánchez Vigil).

#### ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

Hay especies que se han introducido de manera accidental y en ocasiones deliberada, y que están produciendo problemas importantes en los humedales. La Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) enlista las 100 especies invasoras más dañinas e incluye al lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), la caña (*Arundo donax*), el arbusto *Mimosa pigra* (Junk, 2002), el mosquito de la malaria (*Anopheles quadrimaculatus*), y la tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*). El lirio acuático fue introducido durante el Porfiriato (Cervantes y Rojas, 2000), asociado probablemente a prácticas piscícolas y a partir de entonces ha invadido numerosos cuerpos de agua y presas (Niño y Lot, 1983), obligando a mantener un programa constante de limpieza que, desafortunadamente, las políticas estatales y municipales no contemplan. Otra planta que ha empezado a invadir los cuerpos de agua de México es *Hydrilla verticillata* (Novelo y Martínez, 1989), en Tamaulipas, aunque aún no hay reportes para Veracruz.

Por otro lado, para incrementar la productividad pecuaria se han introducido muchas especies forrajeras de manera deliberada. El siglo XX trajo consigo la introducción de pastos mejorados y pastos exóti-

cos, sobre todo africanos a las zonas tropicales (Parsons, 1972), destacando el zacate pará (*Brachiaria mutica*) y diversas especies de pasto alemán (*Echinochloa colonum*, *E. crusgalli* y *E. pyramidalis*). Estas últimas son muy tolerantes a la inundación (COTECOCA, 1991). Estudios realizados muestran que esta última es difícil de erradicar y altera las propiedades físico-químicas del humedal, reduciendo la permeabilidad del suelo y por tanto alterando las funciones y servicios ambientales que presta el humedal (Travieso-Bello, 2005; Travieso-Bello *et al.*, 2005; López-Rosas, 2007; López-Rosas *et al.*, 2006).

El análisis de la información sobre la biodiversidad de los humedales veracruzanos permitió saber la situación actual del conocimiento en esta área. Las 1 504 especies registradas son un ejemplo de la diversidad vegetal asociada a las diversas fuentes de agua y de la heterogeneidad fisiográfica del estado. La diversidad de plantas de humedales seguramente aumentará y muchas de este listado se desecharán conforme se incrementen los muestreos y el conocimiento de la ecología de las plantas, ya que en Veracruz existen áreas de humedales en las que para tener una visión objetiva de la riqueza vegetal que albergan hace falta un esfuerzo de muestreo y la generación de mayor conocimiento sobre estos ecosistemas. Cabe hacer notar que en el listado se incluyen plantas como el cacto, *Opuntia stricta*, que no se asocia con humedales, sin embargo, es una especie frecuente en las hondonadas o depresiones de los sistemas de dunas costeras, los cuales en años muy húmedos se inundan por varias semanas y esta especie es capaz de sobrevivir. Otro ejemplo es *Ceratozamia miqueliana*, colectada en las selvas del sur de Veracruz, las cuales en algunas épocas del año tienen suelos anegados. Quedan aspectos pendientes por abordar como la distribución de las especies, su nivel de tolerancia a la inundación, la distribución de las especies invasoras y sus efectos sobre la flora y fauna nativa y sobre los ecosistemas en general, la ecología de los distintos tipos de ecosistemas

y, sobre todo, el estado de conservación tanto de los humedales como las amenazas que pesan sobre las fuentes de agua asociadas a los humedales.

Según Arriaga-Cabrera *et al.* (2000), dentro de las 76 ecorregiones prioritarias más importantes para la conservación en el estado de Veracruz están los ríos San Juan, Pánuco, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta. Dentro de esta clasificación, las ecorregiones hidrológicas con la prioridad más alta para la conservación se encuentran en los estados de Tamaulipas-Veracruz, por ser consideradas mundialmente importantes y como zonas críticas y en peligro. Esto se ve reflejado en la denominación de nueve sitios Ramsar en Veracruz de 2002 a 2006. Estos son Cascadas de Texolo y su entorno, humedales de la Laguna La Popotera y de La Mancha y El Llano, Laguna de Tamiahua, Manglares de Sontecomapan, Manglares y humedales de Tuxpan, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Sistema de Lagunas Interdunarias de la ciudad de Veracruz y Sistema Lagunar Alvarado (Conanp, 2006).

#### LITERATURA CITADA

- ARRIAGA-CABRERA, L., V. Aguilar Sierra y J.S. Alcocer-Durand, 2000, *Aguas continentales y diversidad biológica de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 327 pp.
- BOULE, M.E., 1994, An early history of wetland ecology, en W.J. Mitsch (ed.), *Global Wetlands: Old World and New*, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, pp. 57-74.
- CASTILLO-CAMPOS, G. y M. Medina, 2002, *Árboles y arbustos de la reserva natural de La Mancha, Veracruz*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., 144 pp.
- CASTILLO-CAMPOS, G. y A.C. Travieso-Bello, 2006, Flora; en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., pp. 169-202.
- CERVANTES, J.M.S. y T. Rojas, 2000, Introducción del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) a México durante el Porfiriato, *Quiipa* 13(2):177-190.
- COE, M.D. y R.A. Diehl, 1980, *In the Land of the Olmec: the Archaeology of San Lorenzo Tenochtitlan*, vol. I, University of Texas Press.
- CONANP, 2006, *Humedales prioritarios de México*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D. F., 80 pp.
- COTECOCA, 1991, *Las gramíneas de México*, t. III, SARH, México.
- COWARDIN, L.M., V. Carter, F.C. Golet y E.T. LaRoe, 1979, *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*, U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., 131pp.
- CRONK, J.K. y M.S. Fennessy, 2001, *Wetlands plants, biology and ecology*, Lewis Publishers, Baton Rouge, 440 pp.
- CHÁZARO, M., 1986, *La vegetación*, serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 87 pp.
- DENEVAN, W.M., 1976, The Aboriginal population of Amazonia, en W.M. Denevan (ed.), *The Native Population of the Americas*, University of Wisconsin Press, Madison, pp. 205-234.
- GUTIÉRREZ, B.C., 1985, *Descripción de la vegetación de la zona inundable de Nevería, Ver.*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 96 pp.
- GUTIÉRREZ, B.C. y M. Zolá, 1987, Hidrófitas de Nevería, Veracruz, México, *Biótica* 12(1): 21-34. (<http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>) (<http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?paqid=53.3840615&dad=portal&schema=PORTAL>)
- JUNK, W.J., 2002, Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands, *Environmental Conservation* 29: 414-435.
- LÓPEZ-ROSAS, H., P. Moreno-Casasola y I.A. Mendelshon, 2006, Effects of experimental disturbances on a

- tropical freshwater marsh invaded by the african grass *Echinochloa pyramidalis*, *Wetlands* 26(2): 593-604.
- LÓPEZ-ROSAS, H., 2007, *Respuesta de un humedal transformado por la invasión de la gramínea exótica Echinochloa pyramidalis (Lam.) Hitchc. & A. Chase a los disturbios inducidos (cambios en el hidropereodo, apertura de espacios y modificación de la intensidad lumínica)*, tesis doctoral, Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos, Instituto de Ecología, Xalapa, 142 pp.
- LOT, A., 1991, *Vegetación y flora vascular acuática del estado de Veracruz*, tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 226 pp.
- , 2004, Flora y Vegetación de humedales de agua dulce en la zona costera del Golfo de México, en M. Caso, I. Pisanty & E. Ezcurra (eds.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología, Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, pp. 521-553.
- LOT, A., A. Novelo y P. Ramírez-García, 1993, Diversity of Mexican Aquatic Vascular Plant Flora, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa, (eds.), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York, pp. 577-591.
- LOT, A., A. Novelo, M. Olvera y P. Ramírez-García, 1999, *Catálogo de angiospermas acuáticas de México*, serie Cuadernos del Instituto de Biología 33, Instituto de Biología, UNAM, México, 161 pp.
- LOT, A., A. Novelo y P. Ramírez-García, 1998, Diversity of mexican aquatic vascular plant flora, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot. y J. Fa (eds.), *Biological Diversity of Mexico. Origins and distribution*, Nueva York, pp. 577-591.
- MADRIGAL, C.R.J., 2003, *Estructura de la vegetación riparia y producción de hojarasca en selva continua y riparios que atraviesan potreros en la Sierra de los Tuxtlas, Ver. México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México, 126 pp.
- MITSCH, W.J. y J.G. Gosselink, 2000, *Wetlands*, J. Wiley & Sons. Inc., Nueva York, 920 pp.
- MORENO-CASASOLA, P., H. López-Rosas y S. Garza, 1996, La vegetación de los humedales Mexicanos, en F.J. Abarca y M. Cervantes (eds.), *Manual para el manejo y conservación de los humedales de México*, Publicación especial bajo colaboración de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Ecología, U.S. Fish and Wildlife Service, Arizona Game and Fish Department y Wetlands International the Americas-Prorama México.
- MORENO-CASASOLA P., López-Rosas H., Infante-Mata D., Peralta-Peláez L., Travieso-Bello A. y Warner B. 2009. Environmental and anthropogenic factors associated with coastal wetland differentiation in La Mancha, Veracruz, Mexico. *Plant Ecology* 200 (1): 37-52.
- NIÑO, M.S. y A. Lot, 1983, Estudio demográfico del lirio acuático *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms: dinámica de crecimiento en dos localidades selectas de México, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 45: 71-83.
- NOVELO, A. y M. Martínez, 1989, *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae), problemática maleza acuática de reciente introducción en México, *Anales del Instituto de Biología*, UNAM, serie Botánica 67(2): 303-327.
- NOVELO, A. y L. Ramos, 2005, Vegetación acuática, en: Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (eds.), *Biodiversidad del estado de Tabasco*, Instituto de Biología/UNAM/Conabio, México, pp. 111-135.
- OROZCO, S.A. y A. Lot, 1976, La vegetación de las zonas inundables del sureste de Veracruz, *Biotica* 1(1): 1-44.
- PARSONS, J.J., 1972, Spread of African pasture grasses to the American tropics, *Journal of Range Management* 25: 12-17.
- PERALTA PELÁEZ, L.A., 2007, *Indices biológicos integrados de la salud de las lagunas interdunarias*, doctorado en Ecología y Manejo de Recursos, Instituto de Ecología, Xalapa. Ver.
- ROJAS, R.T., 1990, La agricultura en la época prehispánica, en Rojas, R.T. (coord.), *La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días*, Conaculta/Grijalbo, pp. 15-138.

- SANTIAGO, C.E., M. Vázquez Torres, L. Torres Hernández, J. Alejandro Rosas, H. Barney Guillermo, 1998, Vegetación del humedal de Alvarado, en G. Silva-López, G. Vargas-Montero y J.V. Toro (eds.), *Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan, Veracruz*, Gobierno del Estado de Veracruz.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002, Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestre- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo, *Diario Oficial de la Federación*, México.
- SIEMENS, A.H., R.J. Hebda, M. Navarrete-Hernández, D.R. Piperno, J.K. Stein y M.G. Zolá-Báez, 1988, Evidence for a cultivar and a chronology from patterned wetlands in Central Veracruz, Mexico, *Science* 242: 105-107.
- TRAVIESO-BELLO, A.C., 2000, *Biodiversidad del paisaje costero de La Mancha, Actopan, Veracruz*, tesis de maestría, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México.
- , 2005, *Evaluación de indicadores de sustentabilidad de la ganadería bovina en la costa de Veracruz central, México*. tesis doctoral, Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver.
- TRAVIESO-BELLO, A.C., P. Moreno-Casasola y A. Campos, 2005, Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales, *Interciencia* 30(1): 12-18.
- VÁZQUEZ T.M., 1998, Humedal de Alvarado: diversidad vegetal, en Vázquez T. M. (ed.), *Biodiversidad y problemática en el humedal de Alvarado, Veracruz, México*, Universidad Veracruzana, Xalapa, pp. 143-168.
- WHEELER, B.D., R.P. Money y S.C., Shaw, 2002, Freshwater wetlands, en M.R. Perrow y A.J. Davy (eds.), *Handbook of Ecological Restoration. Restoration in practice*, Cambridge University Press, Cambridge, vol. 2, pp. 325-354.

# Flora de las playas y los ambientes arenosos (dunas) de las costas



Patricia Moreno-Casasola  
Silvia Castillo Argüero  
María Luisa Martínez Vázquez

## INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz tiene una amplia extensión de costas que abarcan 750 km, lo cual representa alrededor del 4 % del litoral mexicano. A lo largo de esta vasta región es posible encontrar una gran variedad de condiciones físicas y químicas, regímenes climáticos y geoformas. La variabilidad topográfica y climática, junto con los gradientes mar-tierra característicos de estos ambientes, interactúan generando diferentes microhábitats para una gran cantidad de especies. El resultado es una alta biodiversidad en una zona con una extensión relativamente restringida. A lo largo de las costas del estado podemos encontrar dunas de arena sin vegetación y totalmente móviles, dunas parcial o totalmente cubiertas, pastizales, hondonadas con humedales, matorrales, selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia. La flora de estos ambientes es un reflejo de la alta heterogeneidad del paisaje costero veracruzano y es muy importante para la conservación de la biodiversidad del estado, ya que

el desarrollo de zonas urbanas y polos turísticos en las costas es acelerado, resultando en la fragmentación del hábitat e incluso la pérdida total de estos ambientes y de sus especies.

Las dunas costeras constituyen acumulaciones de arena ubicadas a lo largo de las costas y que están expuestas a la acción del viento. La playa las separa del mar. La arena es producto de la erosión de las rocas y es transportada río abajo. Posteriormente, las corrientes marinas la transportan hacia la playa, donde, una vez seca, es transportada por el viento y se acumula alrededor de objetos, como las plantas. La arena puede tener diferentes características, dependiendo de su composición, desde netamente silíceas hasta calcáreas. El sustrato arenoso es una característica inherente de las comunidades que se desarrollan sobre las playas y dunas costeras. Las comunidades de dunas costeras ocupan 11 533 ha, lo cual corresponde al 0.6 % de la cubierta vegetal del estado (D. Challenger, com. pers.). A lo largo de las costas veracruzanas existen las dunas costeras más extensas y de mayor altura de todo el Golfo de

México. Las formas son muy variadas. En el norte del estado están los campos de cordones de dunas bajos y paralelos a la línea de costa. En el centro se encuentran las dunas de mayor altura (30 m) que pueden ser parabólicas (como en Doña Juana, en Cansaburros o Alvarado), combinadas con campos de dunas transversales transgresivas. En el sur del estado los campos de dunas vuelven a ser de menor altura y están conformados nuevamente por cordones paralelos a la línea de costa. La orientación predominante de los campos de dunas veracruzanas es norte-sur, debido a la prevalencia de los vientos provenientes del norte. La orientación norte-sur de la costa veracruzana da como resultado que las dunas, en general, estén orientadas paralelamente a la costa. Sin embargo, esto no ocurre así en el sur del estado, donde la costa está orientada este-oeste, por lo que en este caso, las dunas avanzan hacia tierra adentro (Hesp *et al.*, datos no publicados) y producen fuertes problemas en ciudades como Coatzacoalcos, donde la arena que constantemente se acumula en la playa cubre el malecón

En este trabajo se presenta la información ambiental y florística del litoral veracruzano, para aquellos ambientes de sustrato arenoso (playas y dunas) que no están sujetos a inundaciones periódicas o permanentes, como sucede con los manglares o humedales. Se ha utilizado toda la información disponible y a nuestro alcance (Castillo y Moreno-Casasola, 1996; Castillo y Moreno-Casasola, 1998; Moreno-Casasola *et al.*, 1998; Castillo-Campos y Travieso, 2006; base de datos del herbario XAL). Este trabajo sienta la línea base del conocimiento general que compila los trabajos locales y regionales y actualiza las investigaciones realizadas por varios autores. Este tipo de inventarios servirá como herramienta fundamental para la planeación, el desarrollo y manejo sustentable de la costa. La información generada y analizada proporciona elementos para establecer necesidades de conservación y manejo de la flora costera del estado, y para plantear los medios para salvaguardarla, considerando los propios de-

sarrollos urbanos y las actividades humanas. El listado florístico recopilado para el presente trabajo, representa el muestreo realizado principalmente en la zona central y sur de Veracruz (figura 1). Como puede verse, la zona norte ha sido poco trabajada y aún en el centro y sur quedan zonas que han sido poco colectadas.

## DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE

De acuerdo con la composición y estructura de las comunidades florísticas sobre dunas costeras del Golfo y Caribe de México, Moreno-Casasola (1991) reconoce tres grupos de flora. El estado de Veracruz comprende dos de ellos, el de la zona norte con influencia de la flora del norte del Golfo de México y el del sur que abarca también Tabasco, más ligado con la flora de las selvas tropicales y con especies endémicas fijadoras de dunas. Por otro lado, con base en las características geomorfológicas costeras, el litoral del estado de Veracruz se divide en siete regiones (Ortiz-Pérez, 2006). La región norte del estado presenta una planicie costera amplia y una plataforma continental estrecha. Existe una gran isla de barrera formada por sedimentos en gran parte del río Pánuco llamada Cabo Rojo y que bordea a la laguna Tamiahua (región geomorfológica costera "Tamiahua"). La topografía es relativamente sencilla y está formada por playas bajas arenosas con exposición abierta al mar, interrumpidas sólo por las desembocaduras de los ríos (Ortiz-Pérez, 2006) y cordones de dunas de baja altura, cubiertos de vegetación en la mayoría de los casos. La región geomorfológica costera "Tuxpan-Nautla" presenta esta misma topografía y constituye una región de lagunas antiguas, azolvadas, formando planicies de inundación y marismas. Estas dos regiones coinciden con el límite sur de la distribución de algunas especies muy abundantes en Tamaulipas y el norte del Golfo de México, como *Uniola paniculata*.

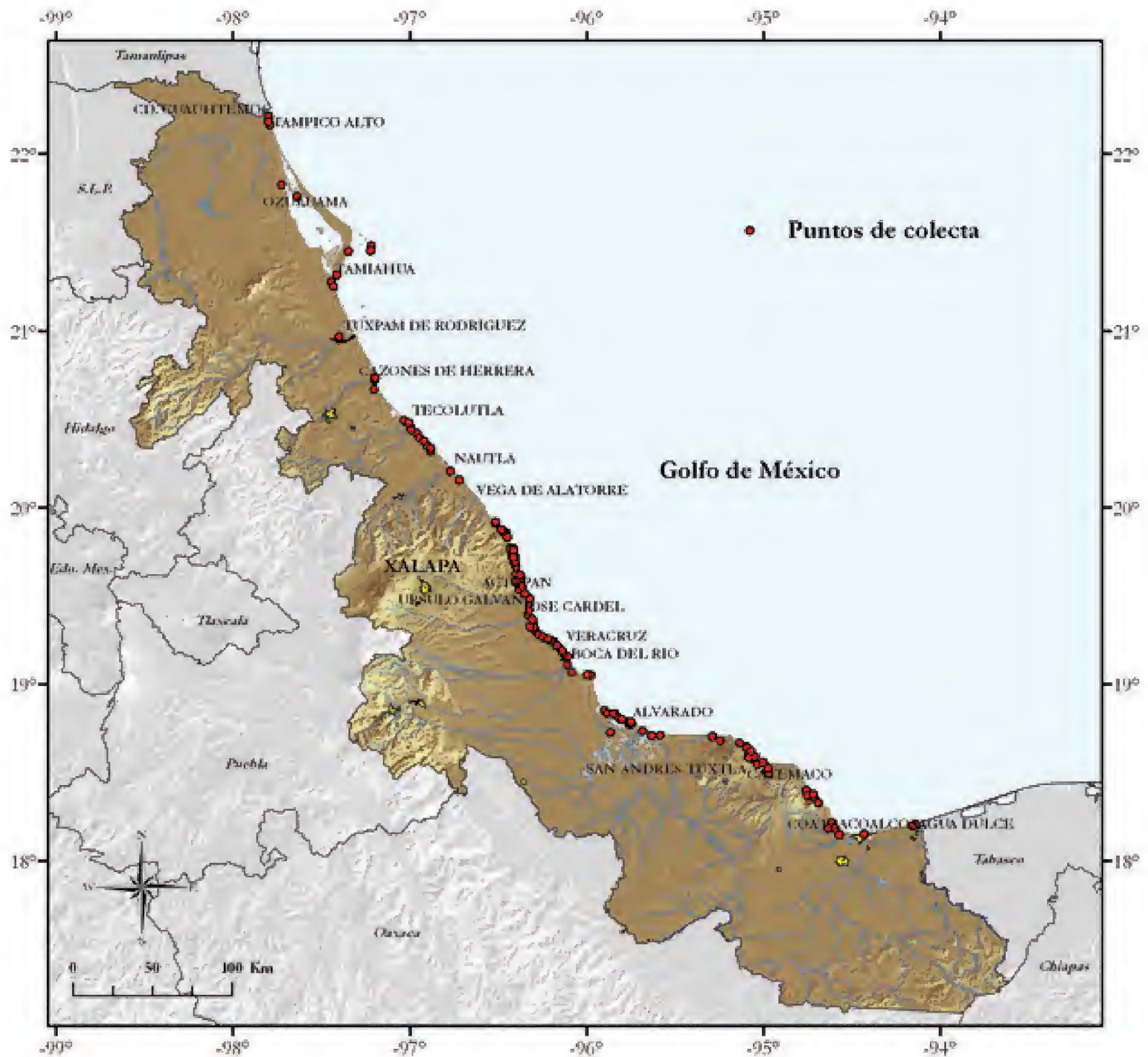


FIGURA 1. Distribución de las colectas georreferenciadas de plantas de dunas depositadas en el Herbario XAL.

El resto del estado está formado por las regiones geomorfológicas “Laguna Verde-La Mancha”, “Veracruzana”, “Papaloapan”, “Los Tuxtlas” y “región del Istmo”, aunque desde el punto de vista florístico no hay diferencias. En la zona central del estado, desde Nautla hasta La Mancha (Actopan),

se forma una costa mixta con puntas rocosas volcánicas, y entre ellas amplias entrantes abiertas al mar con playas arenosas y campos de dunas activas. También existen lomeríos producto de la llegada del Eje Neovolcánico a la costa, a la altura del municipio de Actopan y de Alto Lucero. Hacia el

sur, rumbo al Puerto de Veracruz, se amplía la planicie costera con playas arenosas y vastos campos de dunas inestables, próximas al mar y parcialmente fijas con vegetación hacia tierra adentro. En estas regiones centrales se forman campos de dunas parabólicas o dunas transversales transgresivas con orientación norte-sur (figura 2).



FIGURA 2. Vista de las dunas móviles del ejido de San Isidro, al norte de ciudad José Cardel. Puede apreciarse como la colonización se inicia en las zonas más húmedas, en algunos casos inundadas, de la base de las dunas (Foto: Patricia Moreno).

Hacia el centro-sur aparece, por un lado, el macizo volcánico de Los Tuxtlas y, por otro, en la desembocadura del Papaloapan se encuentra una barrera arenosa, amplia y elevada que resguarda al sistema lagunar estuarino. Tanto en la región de Los Tuxtlas como en la región del sur del estado, desde Laguna del Ostión hasta el Río Tonalá aparecen costas rocosas mezcladas con costas arenosas con extensas dunas (Ortiz-Pérez, 2006). En la región de Alvarado es donde se localizan los sistemas de dunas costeras de mayor extensión y altura, llegando a alcanzar los 60 m de altura y cubriendo varios kilómetros tierra adentro y a lo largo de la costa. Nuevamente, al igual que en el norte, la topografía de la costa del centro-sur es relativamente sencilla, con cordones de dunas de baja altura, paralelos a la

costa, los cuales están también cubiertos por vegetación en la mayoría de los casos. Los cordones de dunas de las regiones norte y centro-sur se funden gradualmente con otro tipo de comunidades, como marismas, manglares, selvas o pastizales. Las playas de la región centro son anchas, mientras que en las regiones norte y centro-sur de Veracruz las playas pueden ser angostas o anchas.

La presencia de la Cordillera Neovolcánica y de la Sierra de Los Tuxtlas hace que la arena también tenga un importante componente de origen volcánico. Igualmente, los sistemas de arrecifes del Puerto de Veracruz y de Tuxpan aportan elementos calcáreos a la arena del estado (Moreno-Casasola *et al.*, 1998).

Las dunas veracruzanas presentan diferentes grados de cobertura vegetal y de estabilización. Mientras mayor es la cobertura vegetal, menor es la movilidad del sustrato. La variación en el grado de estabilización resulta en una amplia gama de microambientes, con lo que aumenta la diversidad de especies.

La temperatura de las costas veracruzanas es cálida, fluctúa entre los 24 y 28 °C (temperatura media anual). La precipitación es mucho más variable. El norte del estado es relativamente más seco (entre 1 000 y 1 400 mm anuales); el centro es más húmedo (1 400 a 1 600 mm anuales), y el sur es la región más lluviosa (1 600 a 3 000 mm anuales) (Moreno-Casasola *et al.*, 1998). En toda la zona, la lluvia cae principalmente en los meses de verano, mientras que en la temporada de secas sólo se precipita el 10 % del total anual. La variación climatológica de las costas también influye en las comunidades vegetales costeras.

Los “nortes” (o frentes fríos) y los huracanes son fenómenos climatológicos que anualmente se presentan en la zona y que modifican el régimen de lluvias de la costa. Durante los “nortes” aumenta la presencia de lluvia invernal y los vientos alcanzan altas velocidades, ocasionando intensos movimientos de arena, manteniendo así la dinámica del sis-

tema. Los huracanes por su parte, también traen vientos muy fuertes y precipitaciones mucho más elevadas. Se tiene registrado que alrededor de 15 huracanes han hecho tierra en las costas veracruzanas entre 1950 y 2000.

## FLORA

Se tienen registradas 96 familias (véase apéndice IV.3), siendo las más abundantes Poaceae (con 89 especies), Asteraceae (66), Papilionoideae (50), Cyperaceae (32), Euphorbiaceae (31), Rubiaceae (28), Mimosoideae (21), Solanaceae (19), Verbenaceae (17), Boraginaceae (16), Caesalpinioideae (13) y Apocynaceae, Convolvulaceae, Malvaceae y Moraceae (9). El resto cuenta con menos de nueve especies, y 28 familias están representadas por una sola especie. Entre las familias con mayor número de representantes, varias coinciden con las citadas para las playas y dunas arenosas de México (Moreno-Casasola *et al.*, 1998), aunque en Veracruz las Rubiaceae y las Moraceae alcanzan proporcionalmente valores mayores.

El listado recopilado revela la presencia de 349 géneros y 653 especies (véase apéndice IV.3). El número de especies representa poco menos del 40 % del total de especies registradas por Moreno-Casasola *et al.* (1998) para todos los litorales mexicanos (1 638 especies). Los géneros con mayor número de especies pertenecen a las familias de las Poaceae, Cyperaceae, Mimosoidea y Papilionoidea. En orden decreciente por el número de especies que comprenden, los géneros con mayor número de especies son *Paspalum* (Poaceae) (14 especies), *Cyperus* (Cyperaceae) (13), *Eragrostis* (Poaceae) (10), *Desmodium* (Papilionoidea), *Panicum* (Poaceae) y *Solanum* (Solanaceae) (9), *Fimbristylis* (Cyperaceae), *Passiflora* (Passifloraceae), *Andropogon* y *Cenchrus* (Poaceae) (7) y *Cordia*, (Boraginaceae) *Acacia* (Mimosoideae) y *Tillandsia* (Bromeliaceae) con seis.

Algunas de las especies están ampliamente distribuidas a lo largo del estado. Por ejemplo, en las playas y/o zonas de pioneras en las dunas móviles están *Sesuvium portulacastrum*, *Ipomoea imperatii*, *Ipomoea pes-caprae* (figura 3), *Chamaecrista chamaecristoides* (figura 4), *Palafoxia lindenii* (figura 5), *Croton punctatus*. Otras especies crecen en los pastizales y los matorrales como son *Bidens pilosa* y *B. odorata*, *Opuntia stricta* var. *dillenii*, *Commelina erecta*, *Cnidoscolus herbaceus*, *Crotalaria incana*, *Nectandra salicifolia*, *Randia aculeata*, *Gliricidia sepium*, *Bursera simaruba*, entre otros. En las depresiones húmedas son frecuentes *Cyperus articulatus*, *Lippia nodiflora* e *Hydrocotyle bonariensis*. En cambio, otras especies presentan ámbitos geográficos más restringidos como *Okenia hypogaea*, que únicamente se localiza en el centro del estado. En las zonas con arenas de mayor contenido de carbonato de calcio, como las islas del Sistema Arrecifal Veracruzano e Isla Lobos, aparecen elementos comunes entre Veracruz y la flora costera del Caribe, como *Suriana maritima*, *Tournefortia gnaphalodes* y *Coccoloba uvifera*. Estas especies guardan relación con el tercer grupo florístico del Golfo y Caribe de México (Moreno-Casasola, 1991).



FIGURA 3. Imagen de *Ipomoea pes-caprae*, especie pantropical colonizadora de las playas (Foto: Patricia Moreno).



FIGURA 4. Vista de *Chamaecrista chamaecristoides*, una de las principales especies fijadoras de dunas, colonizando una duna móvil (Foto: Patricia Moreno).

Es evidente que los ambientes arenosos del estado de Veracruz (playas y dunas costeras) albergan un elevado número de especies debido a su estructura geomorfológica, en la cual se acumulan grandes depósitos de arena que se van estabilizando con la vegetación y que conforman distintos microambientes. Esta cantidad y variabilidad de condiciones ambientales produce una gran riqueza y heteroge-



FIGURA 5. Imagen de *Palafoxia lindenii*, especie fijadora de dunas y endémica de la zona central del Golfo de México (Foto: Patricia Moreno).

neidad de hábitats que favorecen la presencia de numerosas especies vegetales con formas de crecimiento y adaptaciones muy diferentes, entre ellas al movimiento de arena (Martínez y Moreno-Casasola, 1996). En las zonas móviles los factores físicos como altas temperaturas, sequía y enterramiento son drásticos (Moreno-Casasola, 2004). Cuando hay erosión intensa se forman depresiones y el manto freático está cercano al nivel del suelo, ocurriendo ocasionalmente inundaciones locales o pudiéndose establecer lagos interdunarios como los del Puerto de Veracruz (Las Conchas, Tarimoya). Finalmente, la playa constituye otro ambiente donde la salinidad y los disturbios producidos por tormentas y huracanes han seleccionado a un bajo número de especies tolerantes a estas condiciones. Cada zona tiene una flora y dinámica particular (Moreno-Casasola y Vázquez, 1999) que está en función de la época de lluvias, del movimiento del sustrato, de las fluctuaciones en la profundidad del manto freático y de la exposición a la salinidad. Es decir, la tolerancia a ambientes extremos es un atributo de las especies de estos ambientes, sobre todo de aquellos expuestos a alta salinidad, a inundaciones recurrentes o a un sustrato en movimiento que puede cubrir a las plantas por completo (Moreno-Casasola y Vázquez, 2006).

Castillo y Moreno-Casasola (1996) clasificaron a las especies en tres tipos: especies que solamente se distribuyen en playas y dunas costeras, especies frecuentes en ambientes perturbados y especies características de otras comunidades (como selvas y humedales) que encuentran en las zonas estabilizadas de las dunas ambientes propicios. Para Veracruz, entre las 81 especies típicamente costeras están: *Sesuvium portulacastrum*, *Amaranthus greggii*, *Palafoxia lindenii*, *Batis maritima*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Cakile lanceolata*, *Chamaecrista chamaecristoides*, *Ipomoea pes-caprae*, *Caesalpinia crista*, *Okenia hypogaeae*, *Coccoloba uvifera* entre otras (ver apéndice IV.3). Se han encontrado 258 especies frecuentes en ambientes secundarios y entre las más

conocidas están: *Iresine celosia*, *Tabernaemontana alba*, *Asclepias curassavica*, *Bidens pilosa*, *Mikania micrantha*, *Solidago sempervirens*, *Casuarina equisetifolia*, *Cucumis melo*, *Ricinus communis* y varias especies de *Solanum*. Finalmente, se registraron 330 especies frecuentes en otro tipo de comunidades maduras. Las más abundantes pertenecen a las selvas bajas principalmente y a las selvas medianas (*Citharexylum caudatum*, *Karwinskia humboldtiana*, varias especies de *Ficus*, *Hyperbaena jalcomulcensis*, *Psittacanthus schiedeanus*, *Nectandra salicifolia*, *Cnidioscolus aconitifolius*, *Diospyros verae-crucis* y *Merremia quinquefolia*).

La presencia de gran número de especies comunes en otros tipos de vegetación así como secundarias, permite entender el que muchas especies solamente se hayan registrado una o dos veces en los sistemas de dunas del litoral (Castillo y Moreno-Casasola, 1998), resultando frecuentemente de la vecindad con otras comunidades como selvas y acahuales. Ello permite que el número de especies registrado sea alto y que se incremente aún más conforme se colecte en otros sistemas de dunas.

La existencia de estos microambientes también da lugar a la presencia de muy diversas formas de crecimiento. Las hierbas erectas son las más abundantes (251 especies), seguidas por los arbustos (128), árboles (99), herbáceas amacolladas (81) y trepadoras (76). Las formas de crecimiento menos frecuentes son las rastreras (19 especies), epífitas y parásitas (8), las palmas (5) y, por último, las suculentas (3).

#### ENDEMISMOS Y ESPECIES BAJO ALGUNA CATEGORÍA DE PROTECCIÓN

En los diversos microambientes de las dunas se encuentran 18 especies endémicas (ver apéndice IV.3). Algunas de ellas son características de los diferentes microambientes de la zona costera. Por ejemplo, *Florestina*, *Palafoxia*, *Chamaecrista* y

*Citharexylum* habitan sobre todo en la zona de pioneras donde hay arena móvil y llegan a crecer en los pastizales. En cambio, *Bauhinia*, *Ginoria*, *Hyperbaena*, *Mastichodendron*, *Dioon* y *Zamia* forman parte de los matorrales y selvas bajas sobre dunas costeras. En el apéndice IV.3 se indica el tipo de endemismo al que pertenecen.

Once especies están consideradas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat, 2002). Como amenazadas se enlistan: *Spondias radlkoferi*, *Tabebuia chrysantha*, *Tillandsia concolor*, *Dioon edule*, *Zamia furfuracea*, *Bravaisia integerrima*, *Thrinax radiata* y *Mastichodendron capiri*. Bajo protección especial están *Spiranthes torta* y *Conocarpus erectus*, la cual ocasionalmente se encuentra en las playas. Finalmente, *Melocactus delessertianus* está considerada en peligro de extinción.

Otro conjunto de especies son exóticas, esto es que son especie no nativas del estado (o de México) y que han sido introducidas a través de cultivos o se han naturalizado, es decir, que han invadido estos ambientes costeros y ahora ocurren naturalmente. Entre ellas están *Cocos nucifera*, *Xanthium strumarium*, *Casuarina equisetifolia*, *Citrullus lanatus*, *Cucumis melo*, *Momordica charantia*, *Arundo donax*, *Cenchrus ciliaris*, *Digitaria bicornis*, *Rhynchelytrum repens*, *Datura stramonium* y *Panicum maximum* (Sosa y Gómez-Pompa, 1994). Tres de las especies que están incrementando su presencia en las dunas son *R. repens* y *C. ciliaris*, ambas dispersadas por el humano (y probablemente en el pelaje de algunos mamíferos), que cada vez más, por razones de entretenimiento o científicas, caminan más sobre las dunas ayudando a su dispersión. La tercera es *P. maximum*, introducida por los ganaderos a los sistemas de dunas donde pastorean su ganado, y la cual posteriormente se propaga por sí misma o bien es ayudada por el ganado. Las dunas costeras constituyen un sistema con baja cantidad de nutrientes y con problemas de aridez. Sin embargo, muchas especies toleran estas condiciones. De hecho, la cubierta de vegetación de las dunas estabilizadas fre-

cuentemente presenta manchones abiertos o de vegetación rala, donde especies provenientes de otros sistemas fácilmente pueden encontrar condiciones adecuadas para establecerse exitosamente. Esta alta susceptibilidad a la invasión de especies, tanto nativas como exóticas, es característica de los ambientes de dunas costeras y contribuye a la riqueza de estos ambientes (Castillo y Moreno-Casasola, 1996). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la misma susceptibilidad a la invasión también puede dar como resultado la dominancia de especies invasoras (*Panicum maximum*) que genera comunidades prácticamente monoespecíficas (Moreno-Casasola *et al.*, 2008). En estos casos, la invasión de especies reduce la biodiversidad, en lugar de enriquecerla, y se pueden eliminar especies endémicas colonizadoras de arena móvil como *Chamaecrista chamaecristoides* y *Palafoxia lindenii*.

#### COMUNIDADES VEGETALES

En general, en el litoral mexicano predominan las familias con una filiación tropical (Moreno-Casasola *et al.*, 1998). Una gran parte de las costas ocurre en latitudes tropicales y por lo tanto están bordeadas de diversos tipos de selvas secas y húmedas que aportan elementos a los hábitats más estabilizados de las dunas. En algunos sistemas en los cuales no ha habido tala de árboles, llegan a establecerse selvas bajas caducifolias (La Mancha, Alvarado) y aun selvas medianas subcaducifolias cuyo único vestigio en Veracruz se localiza en La Mancha en los terrenos del Centro de Investigaciones Costeras (Castillo-Campos, 2006). El 25.3 % de las especies registradas para las dunas en Veracruz forman parte de este tipo de selvas.

Las comunidades más ampliamente distribuidas y con mayor número de especies son los matorrales y pastizales, los cuales se entremezclan formando un paisaje moteado. Incluyen el 55.2 % de las especies. Las zonas húmedas tienen una cubierta herbácea y

arbustiva formada por el 8.7 %, mientras que las zonas de pioneras con arena móvil y las playas presentan coberturas herbáceas o arbustivas bajas y abiertas, incluyendo al 2.2 y 7.8 % de las especies, respectivamente.

#### CONCLUSIONES: PROBLEMÁTICA

El ambiente costero del litoral veracruzano es muy variado y heterogéneo, resultando en una alta diversidad vegetal que representa el 40 % del total de la flora de las costas mexicanas. En las costas del estado se desarrollan diferentes comunidades vegetales y un conjunto entremezclado de diferentes etapas sucesionales. La gran cantidad de especies pertenecientes a comunidades vegetales diversas (como selvas y encinares) y que también crecen sobre los sustratos arenosos, contribuyen de manera importante a la riqueza de los ambientes costeros del estado. Por otro lado, la gran diversidad de ambientes resulta en la presencia de 18 especies endémicas, varias de ellas exclusivas de los ambientes costeros mexicanos. El mantenimiento de la alta heterogeneidad y dinamismo de las dunas costeras veracruzanas es lo que permite la alta diversidad de especies. Para la conservación de esta gran riqueza es necesario que los planes de manejo mantengan esta heterogeneidad de ambientes, etapas sucesionales y tipos de comunidades. Los sistemas de dunas requieren desde las etapas de dunas móviles donde habitan las especies endémicas estabilizadoras de dunas, los sistemas inundables donde hay especies acuáticas, hasta los sistemas estabilizados cubiertos por pastizales y selvas. En el largo plazo, el sistema pasa por distintos grados de estabilización-desestabilización, lo cual permite el mantenimiento de su diversidad. Asimismo, es importante la conectividad de este sistema con otras superficies de selvas y acahuals tierra adentro, ya que mucha de la riqueza de las dunas estabilizadas proviene de estas comunidades tierra adentro. Es por esta razón que se ha

registrado un elevado número de especies como provenientes de otras comunidades y que Castillo y Moreno-Casasola (1996) consideran a las dunas costeras como un sistema que es fácilmente invadido por especies nativas y por especies exóticas.

En Veracruz, la costa es especialmente importante, ya que alrededor del 20 % (4 203), de sus poblaciones, y el 27 % (1 898 013) de sus habitantes se encuentran a menos de 20 km de su litoral. El 65 % (14 398) de las poblaciones y el 52 % de los habitantes (3 596 774) viven a menos de 100 msnm. Sin duda las costas veracruzanas son importantes centros de turismo y de desarrollos urbanos. Esta tendencia, aunque benéfica económicamente, genera un fuerte impacto ambiental, en términos de degradación de la calidad del agua, sedimentación de los ríos, incremento en los niveles de contaminación, disminución de la acción protectora de las costas y la pérdida de hábitat para la vida silvestre, entre otros. Este deterioro ambiental se ve exacerbado, sobre todo, porque la legislación, la planeación y la zonificación de actividades en las costas mexicanas son pobres. Por lo anterior, es urgente, por un lado, generar conocimiento que permita diagnosticar el estado actual de estos sistemas y evaluar los servicios ambientales que ofrecen. Por otro lado, deben contemplarse localmente medidas de protección, como pasarelas de madera y estacionamientos que permitan guiar a las personas hacia ciertas áreas, de modo que se evite que los cada vez más frecuentes visitantes pisoteen un sistema tan frágil y diseminen especies no deseables.

Las dunas costeras, al igual que otros ecosistemas naturales, ofrecen a la sociedad humana diversos bienes y servicios ambientales, como son: regulación de disturbios, control de la erosión, formación de suelos, ciclo de nutrientes, polinización, control biológico, hábitat, producción de materia prima, mantenimiento del acervo genético de la biodiversidad, recreación y belleza escénica, cultural y protección contra tormentas y huracanes (Martínez *et al.*, 2007). Entre ellos, un servicio ambiental particular-

mente importante para las costas mexicanas es el de protección contra el efecto destructor de tormentas y huracanes.

Tres ejemplos lamentables ocurridos recientemente demuestran la importancia de los ecosistemas naturales para la protección contra desastres: son el caso del tsunami que impactó el sureste asiático en diciembre de 2004 y los huracanes Katrina y Stan que tuvieron efectos devastadores en Nueva Orleans y el estado de Chiapas, en 2005. En los tres casos las pérdidas humanas y económicas fueron cuantiosas. También en los tres casos se observó que en las zonas protegidas por ecosistemas naturales, los daños materiales y humanos fueron mucho menores (Danielsen *et al.*, 2005) que donde la degradación ambiental era extrema. Las dunas, con su gran movilidad, pueden amortiguar las marejadas producidas por estos eventos meteorológicos y disminuir así el impacto de los mismos. El valor de los servicios ambientales de protección contra eventos naturales es innegable (Costanza *et al.*, 2008).

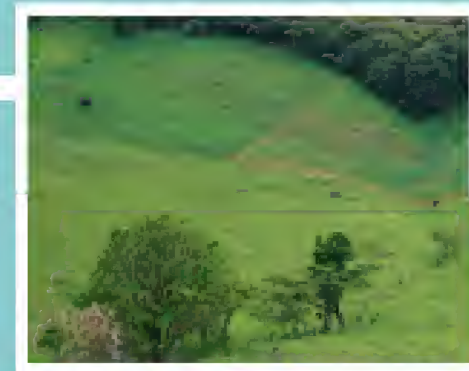
El mantenimiento de la estructura y funcionalidad de las dunas costeras permite la conservación de la biodiversidad y, a la vez, garantiza el suministro de servicios ambientales tan importantes como el de protección contra fenómenos climatológicos potencialmente desastrosos.

#### LITERATURA CITADA

- CASTILLO, S. y P. Moreno-Casasola, 1996, Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. *J. Coastal Conserv.* 2: 13-22.
- , 1998, Análisis de la flora de dunas costeras del Golfo y Caribe de México, *Acta Botánica Mexicana* 45: 55-80.
- CASTILLO-CAMPOS, G., 2006, Las selvas, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., pp. 221-230.

- CASTILLO-CAMPOS, G. y A.C. Travieso-Bello, 2006, La flora, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver., pp. 171-204.
- COSTANZA, R., O. Pérez-Maqueo, M. Martínez, P. Sutton, S.J. Anderson y K. Mulder, 2008, The value of coastal wetlands for hurricane protection, *Ambio* 37: 241-248.
- DANIELSEN, F., Sorensen, M.K., Olwig, M.F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N.D., Hiraishi, T., Karunagaran, V.M., Rasmussen, M.S., Hansen, L.B., Quarto, A., Suryadiputra, N., 2005, The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation, *Science* 310: 643
- MARTÍNEZ, M.L., A. Intralawan, G. Vázquez, O. Pérez-Maqueo, P. Sutton y R. Landgrave, R., 2007, The coasts of our world: Ecological, economic and social importance, *Ecological Economics* 63: 254-272.
- MARTÍNEZ, M.L. y P. Moreno-Casasola, 1996, Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species, *J. Coastal Research* 12 (2): 406-419.
- MORENO-CASASOLA, P., 1991, Sand Dune Studies on the Eastern Coast of Mexico. Proceedings Canadian Symposium on Coastal Dunes 1990, Guelph, Ontario, Canada: 215-230.
- , P., 2004, Playas y dunas del Golfo de México. Una visión de su situación actual, en M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Semarnat/ (INE)/Inecol/Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, pp. 491-520.
- MORENO-CASASOLA, P., I. Espejel, S. Castillo, G. Castillo-Campos, R. Durán, J.J. Pérez-Navarro, J.L. León, I. Olmsted, J. Trejo-Torres, 1998, Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México, en G. Halffter (ed.), *Biodiversidad en Iberoamérica*, vol. 2, CYTED-INECOL, Xalapa, Ver., pp. 177-258.
- MORENO-CASASOLA, P., Martínez, M.L., Castillo-Campos, G., 2008, Rehabilitation of a coastal dunes system along the Gulf of Mexico, *Ecoscience* 15: 44-52.
- MORENO-CASASOLA, P. y G. Vázquez, 1999, The relationship between vegetation, dynamics and water level in tropical dune slacks, *Journal of Vegetation Science* 10: 515-524.
- MORENO-CASASOLA, P. y G. Vázquez, 2006, Las comunidades de las dunas, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., pp. 285-310.
- ORTIZ-PÉREZ, M.A., 2006, Características físicas de las costas: base para su regionalización. El caso de la costa veracruzana, en P. Moreno-Casasola, E. Pérez-Barbosa y A.C. Travieso-Bello (eds.), *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*, Instituto de Ecología y Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas, (Semarnat/Gobierno del Estado de Veracruz, Xalapa, Ver., México, vol. I, 81-96.
- SEMARNAT, 2002, Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación* (segunda parte) del 6 de marzo de 2002, 82 pp.
- SOSA, V. y A. Gómez-Pompa, 1994, Lista florística, *Flora de Veracruz* 82: 1-254.

# Diversidad y estructura de la vegetación en fragmentos de selva de Los Tuxtlas



Víctor Arroyo-Rodríguez  
Salvador Mandujano  
Julieta Benítez-Malvido

## INTRODUCCIÓN

La pérdida y fragmentación de las selvas altas en todo el mundo amenazan su integridad. A medida que el grado de fragmentación aumenta, los fragmentos de selva remanente disminuyen en tamaño y aumenta su aislamiento. Los cambios en la estructura y configuración de los fragmentos tienen importantes implicaciones para la conservación de las selvas, ya que pueden afectar numerosos procesos ecológicos y ecosistémicos, como son la dispersión y colonización de nuevos sitios, la dinámica poblacional de plantas y animales y los flujos de energía, entre otros (Fahrig, 1998; Saunders *et al.*, 1991).

El incremento en la incidencia de la radiación solar y el viento cerca de los bordes de los fragmentos provoca importantes cambios microambientales que pueden afectar negativamente la supervivencia de muchas especies de plantas (procesos denominados efectos de borde) (Saunders *et al.*, 1991). Estudios en fragmentos de la Amazonia Central han demostrado que cerca de los bordes se acelera la tasa de mortali-

dad de árboles emergentes, especialmente de aquellas especies típicas del bosque maduro (Laurance *et al.*, 1998). La muerte de estos grandes árboles abre claros en la selva que favorecen el reclutamiento de especies secundarias, adaptadas a vivir en ambientes perturbados. Así, cerca de los bordes de los fragmentos se producen importantes modificaciones en la diversidad y estructura de la selva original (Malcolm, 1994; Turner *et al.*, 1996; Benítez-Malvido y Martínez-Ramos, 2003), las cuales son más notables en los primeros 100 m de borde (Laurance y Yensen, 1991; Laurance *et al.*, 1998, 2002).

En México, la deforestación ha ocasionado la pérdida del 90 % de las selvas del trópico húmedo (Flores-Villela y Gerez, 1994). Este suceso ha sido particularmente importante en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, donde se estima que para la década de los 90, el 84 % de la selva original había desaparecido (Dirzo y García, 1992). En esta región, la selva alta perennifolia es el tipo de vegetación más afectado por la deforestación, siendo su cobertura remanente actual de tan sólo el 5 % de la

original (Castillo-Campos y Laborde, 2004). Por lo tanto, es urgente la conservación de estos bosques remanentes, ya que la región de Los Tuxtlas representa la frontera boreal de la selva alta americana (Dirzo y García, 1992) y contiene la mitad de las especies de plantas presentes en todo el estado de Veracruz, 3 356, aproximadamente (Castillo-Campos y Laborde, 2004).

## MÉTODO

Con el fin de evaluar los cambios en la vegetación derivados del proceso de fragmentación de la selva de Los Tuxtlas, y proponer algunas estrategias de manejo para la conservación de estos bosques, analizamos la diversidad y estructura de la vegetación de 45 fragmentos de selva (<1 a 700 ha) en tres paisajes con diferente grado de fragmentación (cuadro 1), y la comparamos con la vegetación de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas (EBTLT) (ver mapa detallado en Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2009a). Puesto que se ha reportado que los efectos de borde son más notables en los primeros 100 m de borde (Laurance y Yensen, 1991; Laurance *et al.*, 1998, 2002), identificamos los fragmentos que presentaban o no interior para examinar los posibles efectos de borde sobre la vegetación. En cada fragmento muestreamos una superficie de 1 000 m<sup>2</sup> y registramos todas las plantas con un diámetro a la altura del pecho (DAP) = 2.5 cm. Las especies fueron clasificadas con base en sus necesidades lumínicas de germinación como: especies primarias, secundarias y demandantes de luz (Vázquez-Yanes y Guevara, 1985; Hill y Curran, 2003). Las especies primarias sólo germinan y se desarrollan bajo la sombra del bosque. Las especies secundarias se establecen y desarrollan sólo en claros y cerca de los bordes del bosque. En cambio, las especies demandantes de luz pueden crecer y sobrevivir en bosques primarios y secundarios, pero requieren mucha cantidad de luz en los primeros estados de desarrollo.

CUADRO 1. Características de los tres paisajes analizados en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (análisis de devianza,  $P < 0.05$ ).

CARACTERÍSTICAS	NORTEÑO	SUREÑO	CENTRAL
Tamaño del paisaje (ha)	4 656	4 965	5 046
Área total ocupada por selva (ha)	1 107	542	216
Proporción de selva	23.8 %	10.9 %	4.3 %
Número de fragmentos de selva	74	88	46
Tamaño de fragmentos (ha)			
Media	15.2 <sup>A</sup>	6.2 <sup>B</sup>	4.7 <sup>B</sup>
Intervalo (mínimo-máximo)	0.5 a 265.5	0.6 a 75.6	0.6 a 68.8
Aislamiento de fragmentos (m)			
Media	102.7 <sup>A</sup>	112.7 <sup>A</sup>	288.7 <sup>B</sup>
Intervalo (mínimo-máximo)	11 a 920	10 a 438	12 a 1 288

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la EBTLT y los fragmentos analizados registramos un total de 9 451 plantas pertenecientes a 75 familias, 207 géneros y 367 especies (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2009b; apéndice IV.4), las cuales representan 58 % de las especies de dicotiledóneas reportadas para la EBTLT (627 especies; Ibarra-Manríquez *et al.*, 1995, 1996a, b), y cerca del 20 % de todas las especies de plantas reportadas para la selva alta perennifolia de esta región (1 873 spp.; Castillo-Campos y Laborde, 2004). Las familias con mayor número de especies fueron Moraceae (19 especies), Rubiaceae (19), Fabaceae (14), Lauraceae (14), Euphorbiaceae (13) y Mimosaceae (13). El número promedio de especies por fragmento fue de 58 (intervalo = 23 a 84). Como se ha reportado para bosques tropicales (Denslow, 1987), los árboles fueron el componente más diverso y abundante en todos los fragmentos de estudio. En particular, el 69 % de las especies identificadas fueron árboles, el 11 % arbustos, el 17 % lianas y el 3 % hierbas y palmas. La mayoría de las especies fueron primarias (52 %), seguidas de especies demandantes de luz (22 %), especies secundarias (24 %) y especies cultivadas (2 %). Es importante señalar que del total de especies identificadas, seis (2 %) se encuentran amenazadas según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (Semarnat, 2002) [ocú (*Calophyllum*

*brasiliense*), tepejilote (*Chamaedorea alternans*), chocho blanco (*Geonoma oxycarpa*), jobo (*Spondias radlkoferi*), amate blanco (*Tetrorchidium rotundatum*) y *Talauma mexicana*], y dos (0.5 %) se encuentran en peligro de extinción [tronador (*Mortoni dendron guatemalense*) y picho (*Vatairea lundellii*)].

Nuestros datos indican que a medida que disminuye la proporción de selva remanente en los paisajes, también se reduce el tamaño medio de los fragmentos y aumenta su aislamiento (cuadro 1). Estas características pueden aumentar la vulnerabilidad de las poblaciones de plantas y animales, ya que además de sufrir un mayor efecto de borde (debido al menor tamaño de los fragmentos) la probabilidad de que sean colonizados disminuye drásticamente (Saunders *et al.*, 1991; Hanski, 1999). Estos procesos pueden explicar que el pai-

saje central (más deforestado, con fragmentos de menor tamaño y más aislados entre sí) presentara la menor riqueza total de especies, menor riqueza de especies primarias, menor riqueza de árboles y menor riqueza de especies en alguna categoría de riesgo (cuadro 2). En contraste, el paisaje con mayor proporción de selva remanente (paisaje norteño) presentó los fragmentos de mayor tamaño y menor aislamiento entre sí, siendo el paisaje con un dosel superior más rico en especies, con mayor riqueza y área basal de arbustos, mayor riqueza de lianas y con mayor área basal de especies en alguna categoría de riesgo (cuadro 2).

Como sucede al considerar toda la superficie de la región (Guevara *et al.*, 2004b), en los paisajes analizados la mayoría de los fragmentos fueron pequeños (75 % menores a 5 ha, 18 % entre 5 y 20

CUADRO 2. Diversidad y estructura de la vegetación en 45 fragmentos (15 por paisaje) muestreados en Los Tuxtlas, Veracruz. Se reportan los promedios y desviaciones estándar (entre paréntesis) para cada paisaje. Valores con letra diferente en superíndice, son estadísticamente diferentes (análisis de devianza,  $P < 0.05$ ).

CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN	PAISAJE NORTEÑO	PAISAJE SUREÑO	PAISAJE CENTRAL
Riqueza de especies considerando:			
Todas las plantas	61.1 (12.9) <sup>A</sup>	64.9 (8.7) <sup>A</sup>	49.1 (14.2) <sup>B</sup>
Plantas DAP 2.5-30 cm	49.6 (13.3) <sup>A</sup>	58.1 (9.2) <sup>B</sup>	38.7 (15.5) <sup>A</sup>
Plantas DAP > 60 cm	6.0 (4.4) <sup>A</sup>	3.4 (2.0) <sup>B</sup>	4.2 (1.7) <sup>B</sup>
Especies primarias	29.0 (8.3) <sup>A</sup>	33.1 (7.1) <sup>A</sup>	21.1 (9.3) <sup>B</sup>
Árboles	46.5 (9.5) <sup>A</sup>	54.5 (7.3) <sup>B</sup>	40.7 (10.7) <sup>A</sup>
Arbustos	6.5 (2.6) <sup>A</sup>	4.1 (1.3) <sup>B</sup>	4.2 (2.4) <sup>B</sup>
Lianas	5.3 (3.0) <sup>A</sup>	3.8 (1.7) <sup>B</sup>	2.6 (2.1) <sup>C</sup>
Especies amenazadas	2.9 (1.5) <sup>A</sup>	3.1 (0.7) <sup>A</sup>	1.5 (1.0) <sup>B</sup>
Abundancia de plantas considerando:			
Todas las plantas	189.8 (58.5) <sup>A</sup>	269.3 (51.0) <sup>B</sup>	171.0 (57.1) <sup>A</sup>
Plantas DAP 2.5-30 cm	145.9 (52.4) <sup>A</sup>	235.6 (51.6) <sup>B</sup>	131.7 (55.2) <sup>A</sup>
Especies demandantes	46.7 (25.9) <sup>A</sup>	80.6 (28.9) <sup>B</sup>	35.4 (21.1) <sup>A</sup>
Árboles	130.1 (44.2) <sup>A</sup>	215.4 (50.6) <sup>B</sup>	132.9 (43.9) <sup>A</sup>
Lianas	7.5 (6.3) <sup>A</sup>	10.6 (7.0) <sup>A</sup>	3.4 (3.1) <sup>B</sup>
Área basal total (m <sup>2</sup> ) considerando:			
Plantas DAP 2.5-30 cm	0.8 (0.3) <sup>A</sup>	1.1 (0.2) <sup>B</sup>	0.8 (0.3) <sup>A</sup>
Especies secundarias	1.3 (0.7) <sup>A</sup>	0.7 (0.5) <sup>B</sup>	1.2 (0.8) <sup>A</sup>
Arbustos	0.4 (0.5) <sup>A</sup>	0.1 (0.04) <sup>B</sup>	0.2 (0.1) <sup>B</sup>
Especies amenazadas	0.8 (0.8) <sup>A</sup>	0.4 (0.2) <sup>B</sup>	0.4 (0.4) <sup>B</sup>

ha, 7 % mayores a 20 ha). Considerando que los efectos de borde se dan principalmente en los primeros 100 m de borde (Laurance y Yensen, 1991; Laurance *et al.*, 1998, 2002), sólo 7 fragmentos presentan un área libre de estos efectos (fragmentos con interior). Esto tiene importantes implicaciones para la comunidad de plantas y animales presente en los fragmentos. Por ejemplo, encontramos que la composición y estructura de la vegetación de la EBTLT fue más similar a la de los fragmentos con interior que a los fragmentos sin interior (figura 1). Comparado con los fragmentos más pequeños sin interior, la EBTLT presentó una mayor densidad de

árboles grandes de especies primarias, pero menor riqueza y densidad de especies secundarias. Por el contrario, en los fragmentos sin interior encontramos un dosel superior con menor riqueza de especies, menor densidad de árboles y de menor tamaño (menor área basal) (figura 1).

Considerando las 10 especies más importantes dentro de cada comunidad (identificadas mediante un índice de valor de importancia), encontramos que en la EBTLT dominaron especies primarias, en los fragmentos con interior dominaron especies primarias y demandantes de luz, mientras que en los fragmentos más pequeños y sin interior hubo una

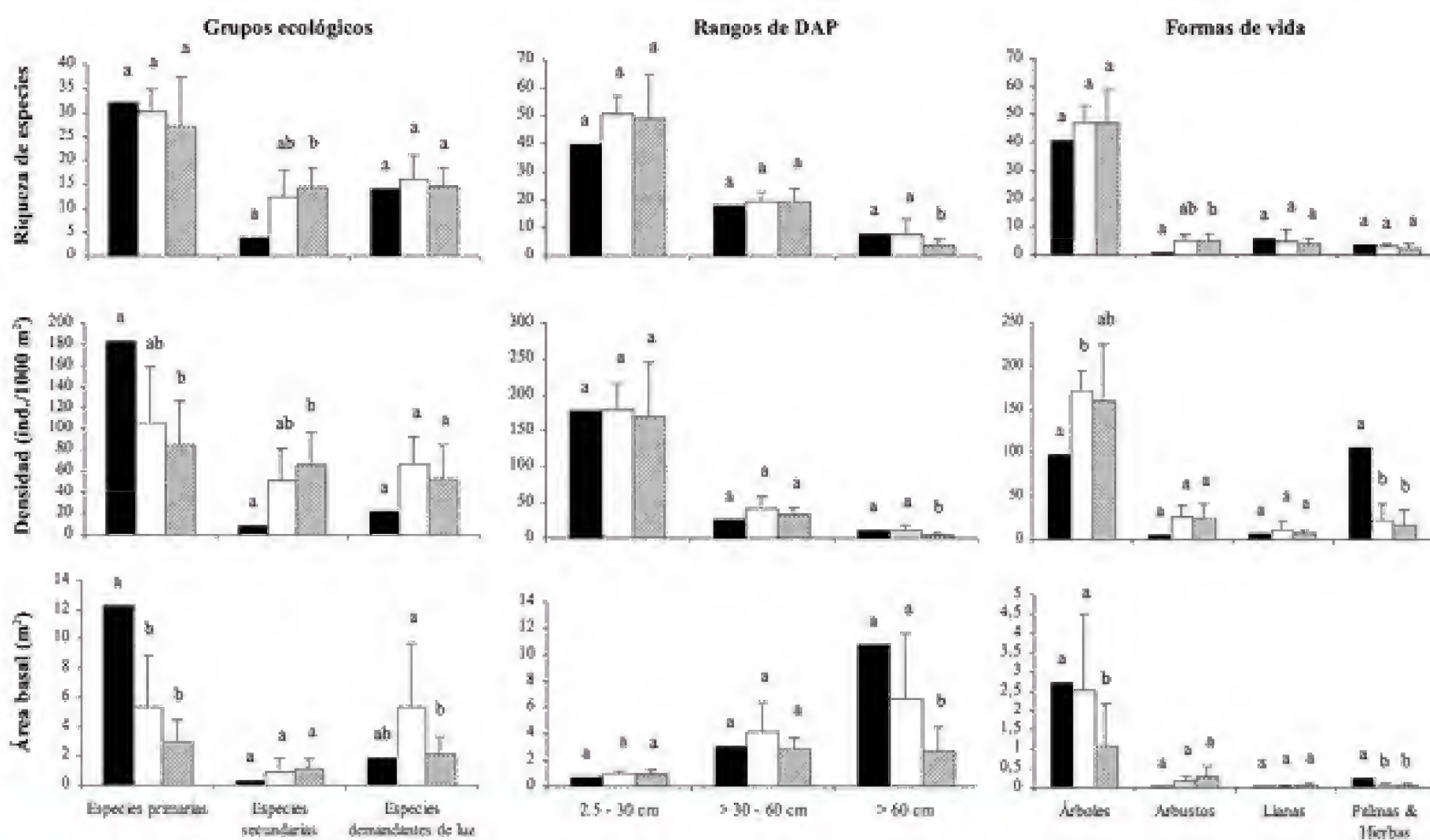


FIGURA 1. Comparación de la riqueza, densidad y área basal (media  $\pm$  desviación estándar) por grupos ecológicos, rangos de diámetro a la altura del pecho (DAP) y formas de vida, entre la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas (columnas negras), siete fragmentos con interior (columnas blancas), y 37 fragmentos sin interior (columnas rayadas). Letras diferentes muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

mayor dominancia de especies secundarias (cuadro 3). Esto sugiere que, comparado con la EBTLT, todos los fragmentos presentan una vegetación alterada. Especies primarias pertenecientes a las familias Arecaceae [chocho (*Astrocaryum mexicanum*) y tepejilote (*Chamaedorea tepejilote*)], Moraceae [ojoche (*Brosimum alicastrum*), abasbabi (*Poulsenia armata*), tomatillo (*Pseudolmedia oxyphyllaria*)], Lauraceae

(*Nectandra* spp.) y Fabaceae [palo de burra (*Dussia mexicana*)], que son típicas de la selva alta poco perturbada, tuvieron escasa representatividad en los fragmentos. Aquí fueron más importantes especies demandantes de luz como el corpo (*Vochysia guatemalensis*), el nompi (*Tapirira mexicana*), el palo de agua (*Dendropanax arboreus*) y el palo mulato (*Bursera simaruba*), así como especies secundarias como

CUADRO 3. Abundancia y área basal totales y relativas (%) de las diez especies de plantas con mayor índice de valor de importancia (IVI) registradas en la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, en siete fragmentos grandes con interior y 37 fragmentos pequeños sin interior. Grupos ecológicos (GE): especies primarias (Pri), secundarias (Sec) y demandantes de luz (Dem).

ESPECIE	FAMILIA	GE	ABUNDANCIA		ÁREA BASAL		
			Núm.	%	m <sup>2</sup>	%	IVI
Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas							
<i>Astrocaryum mexicanum</i>	Arecaceae	Prim	90	41.9	0.2	1.7	53
<i>Poulsenia armata</i>	Moraceae	Prim	5	2.3	2.2	15.0	22
<i>Brosimum alicastrum</i>	Moraceae	Prim	3	1.4	2.1	14.1	17
<i>Dussia mexicana</i>	Fabaceae	Prim	1	0.5	2.1	14.7	16
<i>Nectandra ambigens</i>	Lauraceae	Prim	3	1.4	1.6	11.3	15
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	Moraceae	Prim	13	6.0	0.4	2.7	15
<i>Cordia megalantha</i>	Boraginaceae	Dem	2	0.9	1.4	9.9	13
<i>Guarea glabra</i> raza <i>bijuga</i>	Meliaceae	Prim	5	2.3	0.8	5.7	11
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Arecaceae	Prim	14	6.5	0.0	0.1	10
<i>Cynometra retusa</i>	Caesalpinaceae	Prim	7	3.3	0.2	1.4	10
Fragmentos con interior (n = 7)							
<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae	Prim	20	1.2	8.7	10.7	14
<i>Orthion oblanceolatum</i>	Violaceae	Dem	76	4.7	4.3	5.2	11
<i>Astrocaryum mexicanum</i>	Arecaceae	Prim	116	7.2	0.3	0.3	11
<i>Tapirira mexicana</i>	Anacardiaceae	Dem	34	2.1	3.0	3.7	8
<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	Dem	30	1.9	2.9	3.6	7
<i>Ficus yoponensis</i>	Moraceae	Dem	6	0.4	4.9	6.0	7
<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	Dem	27	1.7	2.4	3.0	7
<i>Siparuna andina</i>	Monimiaceae	Sec	46	2.9	0.7	0.9	7
<i>Cymbopetalum baillonii</i>	Annonaceae	Prim	31	1.9	1.8	2.2	6
<i>Faramea occidentalis</i>	Rubiaceae	Prim	45	2.8	0.3	0.3	6
Fragmentos sin interior (n = 37)							
<i>Astrocaryum mexicanum</i>	Arecaceae	Prim	418	5.5	1.1	0.5	9
<i>Croton schiedeanus</i>	Euphorbiaceae	Sec	302	4.0	5.4	2.3	9
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Vochysiaceae	Dem	272	3.6	8.4	3.6	9
<i>Siparuna andina</i>	Monimiaceae	Sec	342	4.5	2.1	0.9	8
<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	Dem	161	2.1	8.5	3.6	8
<i>Brosimum alicastrum</i>	Moraceae	Prim	50	0.7	13.9	5.9	7
<i>Rollinia mucosa</i>	Annonaceae	Prim	131	1.7	9.5	4.0	7
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	Apocynaceae	Sec	243	3.2	3.2	1.4	7
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	Moraceae	Prim	171	2.2	4.1	1.8	6
<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	Dem	107	1.4	5.7	2.4	5

el limoncillo (*Siparuna andina*), el cascarillo (*Croton schiedeanus*) y el huevo de burro (*Stemmadenia donnell-smithii*). Este último grupo de plantas fue más importante en los fragmentos sin interior, lo cual coincide con numerosos reportes en selvas donde encuentran que la fragmentación favorece la colonización de especies secundarias (Benítez-Malvido, 1998; Hill y Curran, 2003; Arroyo-Rodríguez y Mandujano, 2006).

#### IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA SELVA ALTA EN LOS TUXTLAS

Nuestros resultados indican que a medida que disminuye el tamaño de los fragmentos, la composición florística y la estructura general de la selva se modifica enormemente. El tamaño de los fragmentos determina la superficie del fragmento que va a estar sujeta a efectos de borde. Considerando que los efectos de borde se den en los primeros 100 m, encontramos que sólo siete fragmentos tienen área libre de estos efectos. Al comparar la vegetación de los fragmentos con y sin interior, con la vegetación de la EBTLT, encontramos que los fragmentos sin interior tienen una vegetación más parecida a la EBTLT que las fracciones sin interior. Por lo tanto, si queremos conservar la selva alta original es necesario conservar y restaurar los fragmentos de selva de mayor tamaño, para incrementar en lo posible las áreas de selva libres de los efectos de borde.

En esta región el tamaño de los fragmentos de selva está relacionado positivamente con la elevación, ya que las fuertes pendientes los hace más inaccesibles para el hombre (Mendoza *et al.*, 2005; figura 2). Puesto que la selva alta se distribuye principalmente por debajo de los 700 msnm (Castillo-Campos y Laborde, 2004), y las tierras bajas han sido las que han sufrido una mayor deforestación (Guevara *et al.*, 2004a), es urgente la restauración de los fragmentos de selva de las tierras bajas.



FIGURA 2. Debido fundamentalmente a prácticas agrícolas y ganaderas, la selva remanente en la región de Los Tuxtlas cubre tan sólo el 5 % del área original, y se distribuye principalmente en las zonas más inaccesibles de los cerros (Foto: Arturo González-Zamora).

Creemos que los proyectos de manejo y restauración de la selva no pueden hacerse sólo a escala de fragmento, sino a escala paisajística, ya que de esta manera podemos integrar multitud de factores que varían espacialmente (tamaño y aislamiento de los fragmentos) para localizar las áreas prioritarias de conservación. En este sentido, es importante señalar que en la región han surgido iniciativas por parte de algunas comunidades de campesinos que, preocupados por la conservación de la selva, están creando pequeñas reservas privadas. Por tanto, si se desarrollan programas a escala paisajística se pueden coordinar los esfuerzos de los campesinos para que estos proyectos tengan un mayor impacto en la conservación de la selva.

Finalmente, cabe recalcar la importancia que tienen los fragmentos pequeños para la conservación de la diversidad biológica regional y estatal (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2006; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2009). Los fragmentos más pequeños presentaron una gran riqueza de especies, ya que contienen un gran número de especies secundarias y demandantes de luz. La diversidad de plan-

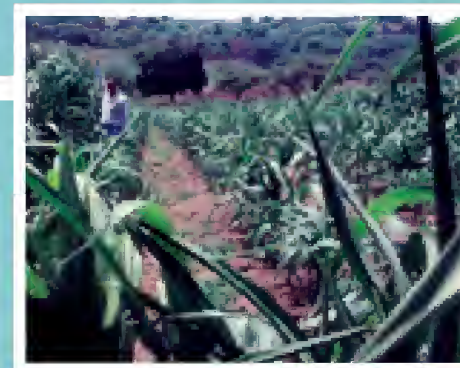
tas en los trópicos actualmente está fuertemente ligada a la vegetación secundaria (Gómez-Pompa, 1971; Martínez-Ramos, 1994), la cual es cada vez más común en paisajes del estado de Veracruz (Zamora y Castillo-Campos, 1997; Williams-Linera *et al.*, 2002; Castillo-Campos y Laborde, 2004). Por tanto, es importante establecer programas de conservación para impedir que desaparezcan estos fragmentos pequeños, ya que pueden servir como reservorios de biodiversidad a escala regional, representan refugios para muchas especies amenazadas y en peligro de extinción, y aumentan la conectividad del paisaje, reduciendo el inminente peligro de aislamiento de las poblaciones de plantas y animales.

#### LITERATURA CITADA

- ARROYO-RODRÍGUEZ, V., J.C. Dunn, J. Benítez-Malvido y S. Mandujano, 2009b, Angiosperms, Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, Mexico, *Check List* 5: 787-799.
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V., y S. Mandujano, 2006, The importance of tropical rain forest fragments to the conservation of plant species diversity in Los Tuxtlas, Mexico, *Biodiversity and Conservation* 15: 4159-4179.
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V., Pineda E., Escobar F., y J. Benítez-Malvido. 2009a. Conservation value of small patches to plant species diversity in highly fragmented landscapes. *Conservation Biology* 23: 729-739.
- BENÍTEZ-MALVIDO, J., 1998, Impact of forest fragmentation on seedling abundance in a tropical rain forest, *Conservation Biology* 2: 380-389.
- BENÍTEZ-MALVIDO, J., y M. Martínez-Ramos, 2003, Impact of forest fragmentation on understory plant species richness in Amazonia, *Conservation Biology* 17: 389-400.
- CASTILLO-CAMPOS, G. y J. Laborde, 2004, La vegetación, en Guevara, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (eds.), *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*. Instituto de Ecología, y Unión Europea, Xalapa, pp. 231-265.
- DENSLOW, J.S., 1987, Tropical rain forest gaps and tree species diversity, *Annual Review of Ecological Systems* 18: 432-452.
- DIRZO, R. y M.C. García, 1992, Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical area in Veracruz, Mexico, *Conservation Biology* 6: 84-90.
- FAHRIG, L., 1998, When does fragmentation of breeding habitat affect population survival?, *Ecological Modelling* 105: 273-292.
- FLORES-VILLELA, O. y P. Gerez, 1994, *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*, Ediciones Técnico Científicas, México, 439 pp.
- GÓMEZ-POMPA, A., 1971, Posible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical, *Biotropica* 3: 125-135.
- GUEVARA, S., G. Sánchez-Ríos y R. Landgrave, 2004a, La deforestación, en Guevara, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (eds.), *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*, Instituto de Ecología y Unión Europea, Xalapa, pp. 85-108.
- GUEVARA, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos, 2004b, La fragmentación, en Guevara, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (eds.), *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*, Instituto de Ecología y Unión Europea, Xalapa, pp. 111-134.
- HANSKI, I., 1999, *Metapopulation ecology*, Oxford University Press, 313 pp.
- HILL, J.L. y P.J. Curran, 2003, Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation, *Journal of Biogeography* 30: 1391-1403.
- IBARRA-MANRÍQUEZ, G. y S. Sinaca-Colín, 1995, Lista florística comentada de la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas", Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 43: 75-115.
- IBARRA-MANRÍQUEZ, G. y S. Sinaca-Colín, 1996a, Estación de Biología Tropical 'Los Tuxtlas', Veracruz, México: Lista florística comentada (Mimosaceae a Verbenaceae), *Revista de Biología Tropical* 44: 41-60.

- IBARRA-MANRÍQUEZ, G. y S. Sinaca-Colín, 1996b, Lista florística comentada de plantas de la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas", Veracruz, México: (Violaceae-Zingiberaceae), *Revista de Biología Tropical* 44: 427-447.
- LAURANCE, W.F. y E. Yensen, 1991, Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats, *Biological Conservation* 55: 77-92.
- LAURANCE, W.F., L.V. Ferreira, J.M. Rankin-de Merona y S.G. Laurance, 1998, Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities, *Ecology* 79: 2032-2040.
- LAURANCE, W.F., T.E. Lovejoy, H.L. Vasconcelos, E.M. Bruna, R.K. Dirham, P.C. Stouffer, C. Gascon, R.O. Bierregaard, S.G. Laurance y E. Sampaio, 2002, Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation, *Conservation Biology* 16: 605-618.
- MALCOLM, J.R., 1994, Edge effects in central Amazonian forest fragments, *Ecology* 75: 2438-2445.
- MARTÍNEZ-RAMOS, M., 1994, Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 54: 179-224.
- MENDOZA, E., J. Fay y R. Dirzo, 2005, A quantitative analysis of forest fragmentation in Los Tuxtlas, southeast Mexico: patterns and implications for conservation, *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 451-467.
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN'S VAST, 1995, (VASCular Tropicos) nomenclatural database and associated authority files. Publicado en Internet <http://www.mobot.org>. (acceso en 2007).
- SAUNDERS, D.A., R.J. Hobbs y C.R. Margules, 1991, Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review, *Conservation Biology* 5: 18-32.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002, Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo, *Diario Oficial de la Federación*, México.
- TURNER, I.M., K.S. Chua, J.S. Ong, B.C. Soong y H.T.W. Tan, 1996, A century of plant species loss from an isolated fragment of lowland tropical rain forest, *Conservation Biology* 10: 1229-1244.
- VÁZQUEZ-YANES, C. y S. Guevara, 1985, Caracterización de los grupos ecológicos de árboles de la selva húmeda, en Gómez-Pompa, A. y S. del Amo (eds.), *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz*, vol. II, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, pp. 67-78.
- WILLIAMS-LINERA, G., R.H. Manson y E. Isunza-Vera, 2002, La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México, *Madera y Bosques* 8: 73-89.
- ZAMORA, P. y G. Castillo-Campos, 1997, *Vegetación y Flora del municipio de Tlalnelhuayocan, Veracruz*, Textos Universitarios, Universidad Veracruzana, Xalapa. 88 pp.

# Diversidad florística en potreros de Los Tuxtlas



Francisco Javier Laborde  
Sergio A. Guevara Sada  
Graciela Sánchez-Ríos

Hasta hace relativamente poco tiempo Veracruz era un estado eminentemente forestal, su cobertura vegetal original incluía bosques templados en sus tierras altas (generalmente en altitudes mayores a 1 000 msnm), selvas tropicales en sus tierras bajas (por debajo de 800 msnm) y una importante extensión de bosque de niebla o bosque mesófilo de montaña (Gómez-Pompa, 1980). Con base en el mapa de vegetación potencial de la República Mexicana (Rzedowski, 1990), se observa que originalmente la selva húmeda (*i.e.* bosque tropical perennifolio, *sensu* Rzedowski, 1978) veracruzana cubría cerca de 5 millones de hectáreas (alrededor de 70 % de la superficie estatal); la selva seca o estacional (*i.e.* bosque tropical caducifolio y espinoso *sensu* Rzedowski, 1978) alrededor de 1 millón de ha (casi 15 % de Veracruz); el bosque templado (bosque de coníferas y de encinos, *sensu* Rzedowski, 1978) cubría 370 mil ha (alrededor de 5 %), y el bosque de niebla (bosque mesófilo de montaña, *sensu* Rzedowski, 1978) casi 400 mil ha (6 %). El resto (4 %, 250 mil ha, aproximadamente) correspondía a otros

tipos de vegetación, tales como manglar, tular, popal, sabana, palmar, etc. Sin embargo, como es ampliamente conocido, hoy en día la superficie forestal veracruzana se ha reducido a una proporción muy pequeña de su extensión original. Los disminuidos vestigios o fragmentos forestales que aún quedan están inmersos en, o rodeados por, extensas áreas taladas convertidas en campos agrícolas o pastizales ganaderos.

En la actualidad el tipo de cobertura vegetal más extenso de Veracruz corresponde a los pastizales artificiales o potreros, que en el año 2000 ocuparon 3.1 millones de ha, seguido por la superficie de cultivos, con 1.9 millones de ha (Palacio-Prieto *et al.*, 2000; INEGI, 2003). La cobertura forestal para esta fecha se ha reducido a 1.5 millones de ha, de las cuales menos de un millón son de selva húmeda (14 % del estado). La velocidad de expansión de los potreros en Veracruz ha sido impresionante: antes de 1950 no llegaban a dos millones de hectáreas y para la década de los 90 rebasaban los cuatro millones de ha (figura 1). Esta dramática expansión se

correlaciona con el incremento del hato ganadero, que pasó de menos de 500 mil cabezas de bovinos antes de 1930 a cerca de dos millones en 1950, y para mediados de los 70 había rebasado ya los cuatro millones (González-Montagut, 1999). Durante los años 90 se redujo, por fin, la tasa de expansión de los potreros en Veracruz.

La expansión ganadera se ha dado a costa de las superficies agrícolas, de los bosques y selvas veracruzanas. En particular, en las tierras bajas del estado tenemos inmensas extensiones de potreros ganaderos, ocupando terrenos que hasta hace relativamente poco tiempo estaban cubiertos por selvas. En términos o escalas de tiempo ecológicas la contracción de las selvas ha sido prácticamente instantánea. Muchas especies arbóreas de la selva tienen ciclos de vida largos que superan los 100 años y particularmente en el caso de las especies que forman el dosel de la selva, sus longevidades superan los 300 años (Lieberman y Lieberman, 1987), por lo que la gran mayoría de los

grandes árboles de la selva que todavía están de pie, germinaron y crecieron cuando la extensión de la selva veracruzana era mucho mayor y prácticamente continua. A pesar de su enorme extensión se conoce muy poco acerca de la composición florística, estructura y ecología de los potreros que actualmente ocupan áreas anteriormente cubiertas por selvas húmedas. En este trabajo se describe la vegetación de los potreros de la sierra de Los Tuxtlas, centrando el análisis en su riqueza y composición florística, como un primer paso para conocer los potreros veracruzanos y su diversidad florística.

### ¿QUÉ ES UN POTRERO?

Antes de continuar, debemos abrir un paréntesis para definir el término potrero. Un potrero es un pastizal artificial establecido y mantenido por el hombre para la cría y engorda de animales. Se denomina como

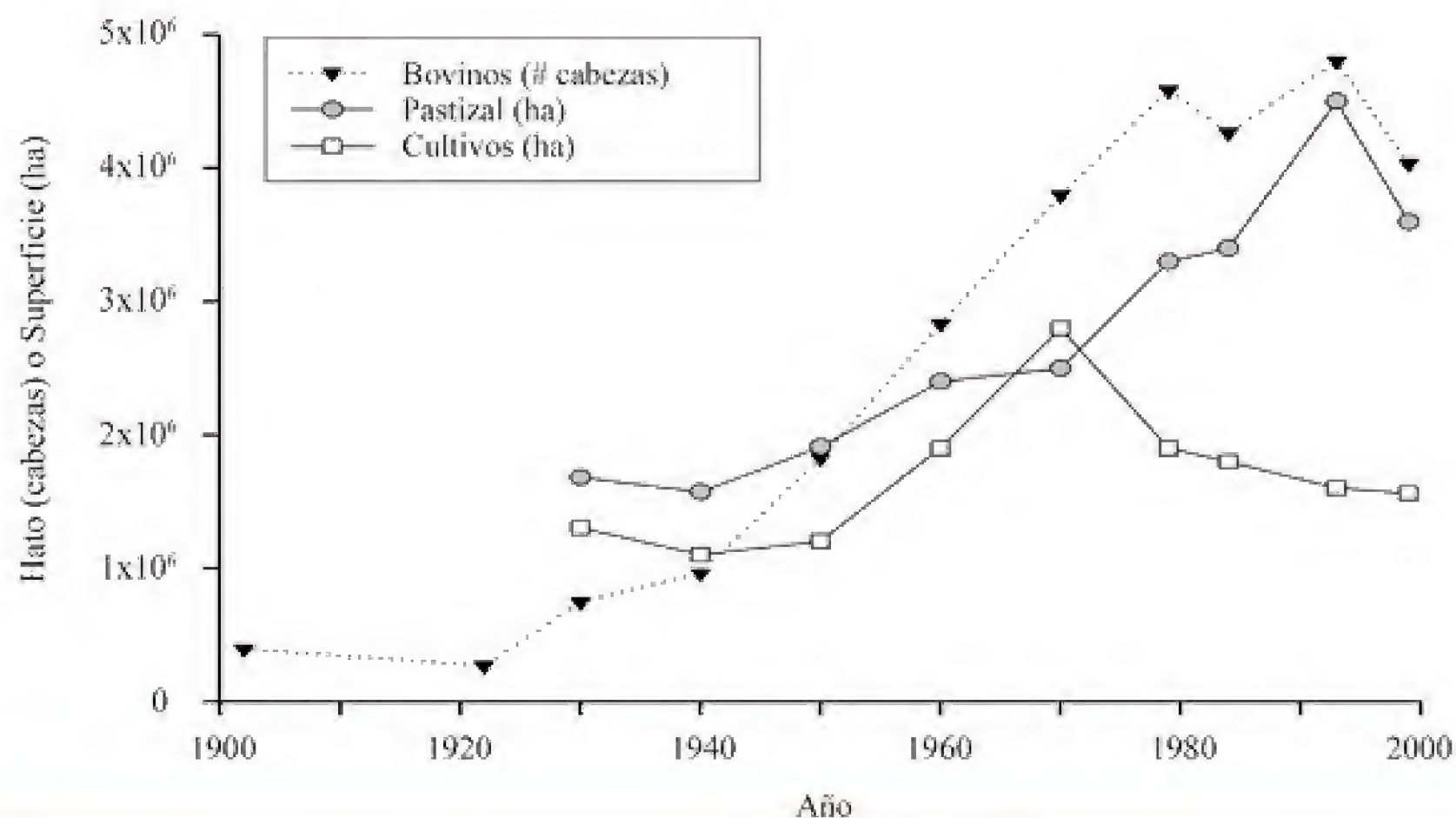


FIGURA 1. Evolución del hato ganadero en Veracruz y de la superficie agropecuaria. (González-Montagut, 1999; Palacio-Prieto *et al.*, 2000; INEGI, 2003).

pastizal a todo tipo de vegetación dominado en cobertura por pastos (especies de la familia Poaceae, antes Gramineae), en los que también son comunes otras especies herbáceas. Los pastizales naturales se diferencian entre sí por su composición florística y las características climáticas y edáficas de las regiones en donde crecen, como, por ejemplo, la sabana tropical, la pradera alpina y el pastizal semiárido. En el caso de los pastizales artificiales se suelen distinguir dos grandes categorías: 1) los cultivados, en los que se siembra el pasto forrajero mediante semilla o estructuras vegetativas como los estolones, y 2) los inducidos, en los que sin involucrar la siembra de pastos se promueve el aumento de su cobertura y dominancia mediante la remoción de la vegetación original, frecuentemente empleando el fuego, seguido por la introducción de los herbívoros domésticos, cuyo pisoteo y pastoreo controlados favorecen a los pastos. Los pastizales artificiales son mantenidos mediante el control de la densidad o carga animal, así como de la duración y alternancia de periodos de pastoreo y descanso, lo cual suele ser complementado por aspersión de herbicidas selectivos (de hoja ancha; que eliminan dicotiledóneas), chapeos con machete o deshierbes manuales y por el uso del fuego.

Los pastizales cultivados y los inducidos pueden establecerse en áreas que anteriormente estaban ocupadas por matorrales, sabanas, bosques, etc., sin embargo, cuando la vegetación original era forestal (el caso de selvas y bosques), el pastizal artificial que los reemplaza comúnmente incluye árboles en su interior, muchos de ellos remanentes o vestigios del bosque o selva original. Lo anterior es particularmente común en México, Centroamérica y varios países de Sudamérica en donde a este tipo de pastizal se le conoce como potrero; es decir, el potrero es un tipo de pastizal artificial que incluye árboles como un componente estructural esencial. De hecho, la palabra potrero, en América se define como: “finca rústica, cercada y con árboles destinada principalmente a la cría y sostenimiento de toda especie de ganado” (Real Academia Española, 1970).

## LOS POTREROS DE LA SIERRA DE LOS TUXTLAS

La sierra de Los Tuxtlas es una cordillera de origen volcánico localizada al sur de Veracruz sobre la costa del Golfo de México. Tiene 80 km de largo en dirección NO-SE y hasta 50 km en su parte más ancha, abarcando un total de 330 mil ha de superficie terrestre. Se estima que alrededor de 210 mil ha de la sierra estaban originalmente cubiertas por selva húmeda, pero para el año de 1991 esta superficie se había reducido a menos del 15 % (31 mil ha). En 1991 los potreros cubrían 160 mil ha en toda la sierra (48 % del total), convirtiéndose en el tipo de cobertura vegetal más extenso de Los Tuxtlas, seguido por las áreas bajo cultivo con 81 mil ha (24 %). La superficie agropecuaria desplazó en su mayor parte a la selva húmeda, sin embargo, también ha ocupado porciones de otros tipos de vegetación natural de la sierra, tales como encinar, pinar, manglar y bosque de niebla (Guevara *et al.*, 2004a).

Nuestros estudios de la vegetación y ecología de los potreros se han centrado en una zona relativamente pequeña de la sierra, ubicada al NE del volcán San Martín Tuxtla y sobre la costa del Golfo de México, entre las coordenadas 18° 34' y 18° 39' de latitud Norte y entre 95° 02' y 95° 07' de longitud Oeste. La zona es de aproximadamente 8 por 9 km y abarca una superficie terrestre de 5 500 ha, que son parte de los municipios de San Andrés Tuxtla y de Catemaco. Toda esta área estaba cubierta por selva húmeda hasta 1940, fecha en la que comienza su colonización y deforestación. En 1991 quedaban menos de 2 mil ha de selva (36 % del original) repartida en poco más de 100 fragmentos, de los cuales únicamente tres eran mayores a 100 ha. Para esta fecha, alrededor de 3 mil ha correspondía a potreros (figura 2). La zona incluye a la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas de la UNAM (EBT-UNAM), cuyas 640 ha constituyen uno de los sitios mejor colectados y explorados en todo México, ya que durante más de tres décadas se ha realizado un

intenso trabajo botánico en sus terrenos, difícilmente igualado en otras áreas del país. El listado florístico más actualizado de la EBT-UNAM reporta un total de 940 especies de plantas pertenecientes a 137 familias (Ibarra-Manríquez y Sinaca, 1995).

Los elementos arbóreos de los potreros y campos agrícolas generalmente son ignorados por biólogos y

ecólogos en sus investigaciones sobre la biodiversidad. Lo anterior ha contribuido a mantener la errónea impresión de que los paisajes ganaderos veracruzanos están totalmente desarbolados y solamente contienen unas cuantas especies de plantas. Como se puede apreciar en la figura 2 el paisaje actual dista mucho de estar totalmente desprovisto

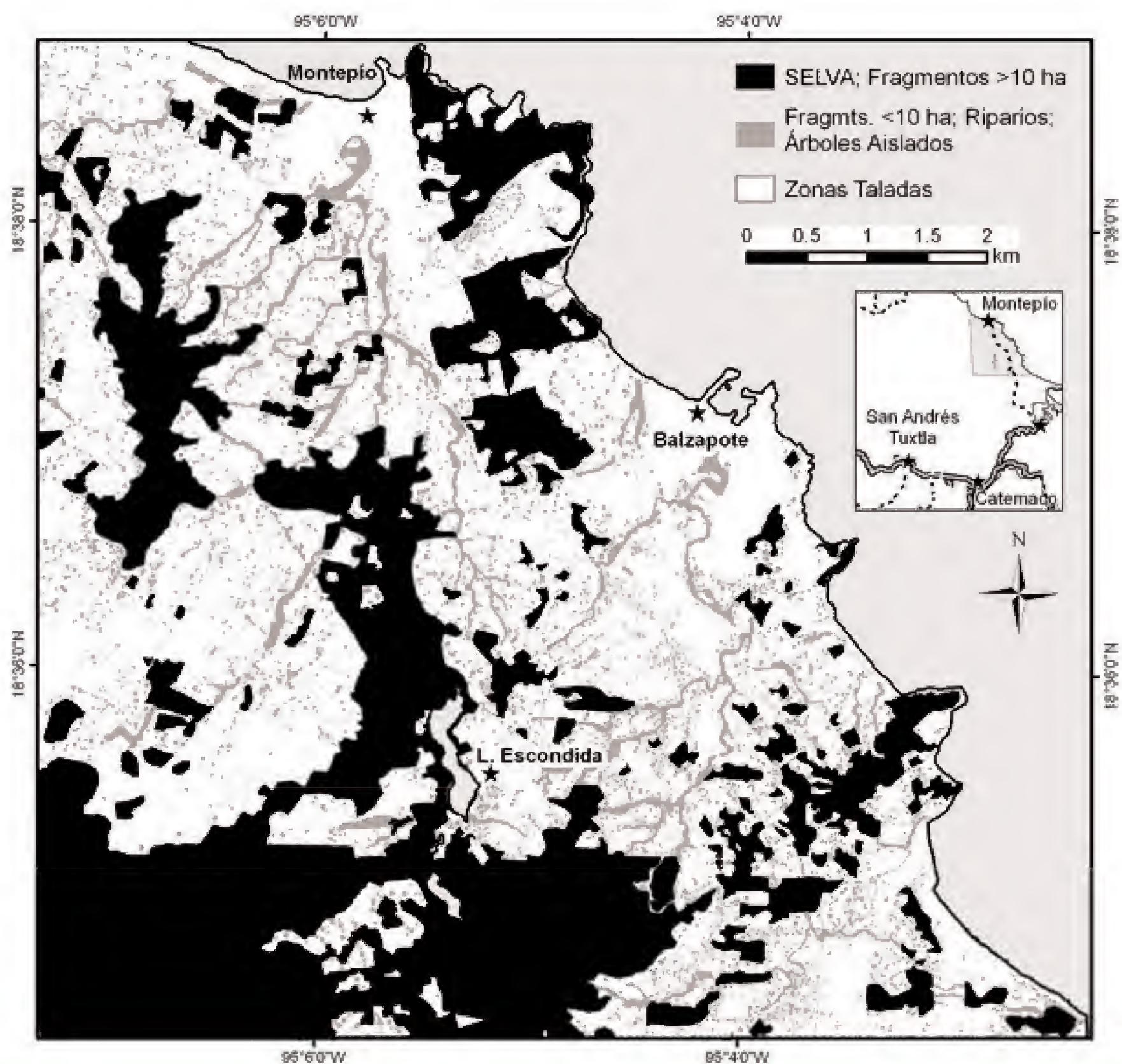


FIGURA 2. Paisaje transformado en donde se ubican los potreros estudiados. (Elaborado con base en foto aérea 1991, INEGI).

de árboles, ya que, inmersos en las zonas abiertas por el hombre o rodeadas por ellas, encontramos numerosos y esparcidos árboles o conjuntos de árboles que le dan al paisaje transformado una fisonomía peculiar. Los elementos arbóreos del paisaje que podemos encontrar en las zonas transformadas por el hombre incluyen pequeños fragmentos de selva remanente, franjas ribereñas, cercas vivas y árboles aislados (para una descripción detallada del origen y manejo de estos elementos arbóreos véase Barrera-López, 2003; Guevara *et al.*, 2005).

A continuación se presenta un resumen de los resultados de varios muestreos de la vegetación de potreros ubicados dentro de la zona mostrada en la figura 2, pertenecientes a tres localidades: los ejidos Balzapote y Laguna Escondida y la colonia agrícola-ganadera La Palma, colindantes entre sí y con la EBT-UNAM. En todos los casos, los potreros estudiados tenían más de 15 años de pastoreo continuo al momento del muestreo. Es necesario aclarar, que se ha depurado y actualizado el listado florístico con base en revisiones taxonómicas recientes y es por ello que algunos de los conteos presentados aquí no coinciden con cifras publicadas anteriormente.

Para conocer cuáles especies de plantas crecen en los potreros fue necesario utilizar diferentes técnicas de muestreo, que incluyeron desde cuadros de 2 por 2 m hasta unidades de muestreo de decenas de hectáreas, subiendo además a la copa de los árboles para registrar las plantas que crecen sobre ellos. Lo anterior se debe en gran parte a la amplia gama de tamaños y formas de crecimiento de las plantas encontradas en los potreros, que van desde pequeñas hierbas menores a 20 cm de longitud, hasta enormes árboles de 30 m de altura con copas que superan los 500 m<sup>2</sup> de cobertura. A lo anterior habría que agregar la heterogeneidad de los elementos arbóreos del potrero, mismos que podemos encontrar ampliamente diseminados como árboles solitarios o en formaciones lineales y compactas, todo lo cual nos ha obligado a utilizar diferentes técnicas de muestreo.

### Diversidad florística por componente del potrero

En las áreas totalmente abiertas del potrero, es decir, sin sombra arbórea, se ha registrado una notable riqueza de especies de plantas vasculares (cuadro 1). Casi tres cuartas partes de esta riqueza corresponde a plantas herbáceas ruderales, que comúnmente encontramos en sitios frecuentemente perturbados por actividades humanas, siendo mucho menor la proporción de especies primarias de la selva, así como de especies secundarias o pioneras, comunes en campos abandonados (acahuales) o en claros grandes o bordes de selva (Lira-Noriega *et al.*, 2007). En cada uno de los 200 cuadros muestreados se detectaron entre cuatro y siete especies de pastos, cuya superficie de cobertura siempre fue superior al 50 % del área del cuadro y en la mayoría de ellos superó el 75 %. Además, en 90 % de los cuadros se encontró al menos a una especie de la familia Leguminosae. La especie dominante fue el pasto africano conocido localmente como “estrella” (*Cynodon plectostachyus*), que alcanzó los valores de cobertura relativa más altos del muestreo. Destacaron también por su alta cobertura, las “gramas” o pastos nativos: *Axonopus compressus*, *A. affinis* y *Paspalum conjugatum*, junto con las malezas *Hyptis atrorubens* y *Mimosa pudica*.

La vegetación de los potreros activos (*i.e.* bajo pastoreo de bovinos), cambia al acercarse a la sombra de los árboles que forman parte del potrero. Bajo la copa de 50 árboles aislados, todos mayores a 20 m de altura y remanentes del dosel original de la selva, se ha detectado una relevante riqueza de especies y familias bajo su sombra aun con vacas pastando en sus alrededores (Guevara *et al.*, 1992). Poco más de la mitad de las especies detectadas bajo estos árboles son primarias de la selva, mientras que las ruderales representan sólo un tercio de la riqueza (cuadro 1). Las gramas *Axonopus* spp. y *P. conjugatum* fueron las dominantes por alcanzar los valores de cobertura más altos. La trepadora hemiepífita *Syngonium podophyllum* y el “cornezuelo” (*Acacia*

*cornigera*), un arbusto secundario, se destacan por ser comunes alrededor de los árboles aislados. En la sombra de los árboles del potrero encontramos numerosas plántulas y juveniles de plantas leñosas (árboles, arbustos y lianas), que contribuyeron con la mitad (51 %) de la riqueza detectada en este muestreo. El ramoneo del ganado, los frecuentes chapeos con machete y la aspersión de herbicidas selectivos, no impiden el establecimiento de estas especies leñosas, pero sí su crecimiento posterior, manteniendo la fisonomía herbácea de la vegetación y dominancia de los pastos, aun bajo la copa de los árboles aislados.

La situación anterior cambió radicalmente al detener los deshierbes practicados por los ganaderos y el ramoneo del ganado bajo la copa de cinco “amates” (*Ficus* spp.) aislados, cuya área bajo la copa se cercó con alambre de púas para simular el abandono del potrero. En tan sólo tres años de exclusión del ganado, se desarrolló bajo la copa de los Amates cercados, un sotobosque cerrado y relativamente alto (cuatro a seis m de altura), formado por arbustos y arbolitos secundarios de rápido crecimiento, que generaron una densa sombra bajo la cual prácticamente desaparecieron los pastos y malezas que cubrían el sitio al inicio del experimento, favoreciendo, al mismo tiempo, el establecimiento de numerosas especies arbóreas y arbustivas de la selva (Guevara *et al.*, 2004b). La mayoría de las especies detectadas en este muestreo son de la selva madura, registrándose también una importante proporción de especies secundarias (cuadro 1). Las especies más abundantes fueron el arbusto pionero, conocido localmente como “canutillo” (*Piper hispidum*) y el árbol secundario “casarillo blanco” (*Croton pyramidalis*).



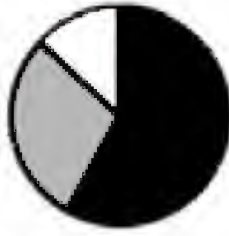




Aunque las cercas vivas representan al elemento arbóreo más conspicuo y extendido de los potreros, son también el más pobre en especies (cuadro 1). El “palo mulato” (*Bursera simaruba*) es el que más se utiliza como poste de cerca, y solamente las leguminosas conocidas como “cocuite” (*Gliricidia sepium*)

y “cosquelite o colorín” (*Erythrina folkersii*) son también importantes (Barrera-Láez, 2003). En promedio detectamos cinco especies por cada 50 m lineales de cerca viva, con una muy alta variación entre cercas; alcanzando la más diversa hasta 11 especies, mientras las más pobres están compuestas de una sola especie (*B. simaruba*).

En las franjas de árboles que los ganaderos dejan sin talar a la orilla del río para proteger su cauce (*i.e.* franjas ribereñas), casi tres cuartas partes de las especies de plantas que crecen ahí son primarias de la selva (cuadro 1). Principalmente se trata de árboles altos del dosel y subdosel, pero también de numerosas especies de menor talla que crecen en el sotobosque de la selva. Aunque las especies pioneras y secundarias representaron una menor proporción de la riqueza, entre ellas se encontraron algunas de las especies más abundantes de los márgenes de los ríos (Barrera-Láez, 2003; Guevara y Sánchez-Ríos, datos no publ.). La especie más abundante fue la palma del sotobosque conocida como “chocho” (*Astrocaryum mexicanum*), seguida por el árbol “casarillo” (*Croton schiedanus*) y el arbusto pionero “limoncillo” (*Siparuna andina*). Otras especies abundantes fueron los arbustos secundarios *Myriocarpa longipes*, *A. cornigera* y *Piper sanctum* así como el árbol de “jobo” local (*Spondias radlkoferi*). Una gran cantidad de las especies registradas en las franjas ribereñas tienen abundancias muy bajas (cuadro 1).

En 30 potreros cuya superficie combinada totalizó 173 ha de muestreo, se contaron un total de 866 árboles aislados pertenecientes a 98 especies de 37 familias (Guevara *et al.*, 2005). La gran mayoría de las especies son de la selva, siendo muy pocas las especies arbóreas ruderales o cultivadas (cítricos principalmente). La especie más abundante como árbol aislado fue el “cedro” (*Cedrela odorata*), sin embargo, es notoria una variación muy alta entre potreros, ya que en varios no hay ningún árbol de esta especie, mientras que en tan sólo dos potreros se detectaron tres cuartas partes del total de sus individuos. Después de *C. odorata*, las especies más

CUADRO 1. Familias y especies más comunes en cada elemento del potrero.

ELEMENTO DEL POTRERO	FAMILIAS MÁS RICAS (NÚMERO SPP.) Y TOTALES	ESPECIES DOMINANTES <sup>1</sup> , RIQUEZA TOTAL Y NÚMERO SPP. RARAS	TIPOLOGÍA O GREMIO*
Potrero abierto <sup>1</sup> 20 potreros 200 cuadros (4m c/u) Total: 800 m <sup>2</sup>	Asteraceae (26) Poaceae (24) Leguminosae (20) Euphorbiaceae (16)  57 en total 30 con ≤2 spp.	<i>Cynod. plect.</i> (23.1 % cob.) <i>Axono. spp.</i> (19.1 %) <i>Hypti. atror.</i> (15.3 %) <i>Mimos. pudic.</i> (14.0 %) <i>Pasp. conju.</i> (5.8 %) 216 en total 118 con ≤0.05 % cob.	
Bajo árbs. aisl. con vacas <sup>2</sup> 5 a.a./13 potr. 150 cuadros (4m <sup>2</sup> c/u) Total: 600 m <sup>2</sup>	Leguminosae (22) Asteraceae (15) Euphorbiaceae (13) Solanaceae (11) Rubiaceae (11) Poaceae (11) Araceae (10) 79 en total 46 con < 2 spp.	<i>Axono. spp.</i> (17.3 % cob.) <i>Pasp. conju.</i> (11.6 %) <i>Hypti. atror.</i> (8.1 %) <i>Syngo. podop.</i> (5.6 %) <i>Cynod. plect.</i> (5.3 %) <i>Mimos. pudic.</i> (4.9 %) <i>Acaci. corni.</i> (3.3 %) 225 en total 141 con ≥0.05 % cob.	
Bajo árbs. aisl. sin vacas <sup>3</sup> 5 a.a./ 3 potr. 15 transectos (6-15 x1m c/u) Total: 136 m <sup>2</sup> 621 ind.	Leguminosae (10) Euphorbiaceae (7) Solanaceae (7) 43 en total 17 con ≤2 spp.	<i>Piper. hispi.</i> (12.5 % abu.) <i>Croto. pyram.</i> (10.5 %) <i>Pavon. schie.</i> (7.2 %) <i>Acaly. diver.</i> (6.3 %) <i>Cupan. glabr.</i> (4.7 %) <i>Psych. limon.</i> (3.8 %) 95 en total 48 con ≤2 ind.	
Cerca viva <sup>4</sup> 14 potreros 14 transectos (50x1m c/u) Total: 700 m <sup>2</sup> 372 ind.	Leguminosae (4) Euphorbiaceae (3) 17 en total 12 con 1 spp.	<i>Burse. simar.</i> (48.9 % abu.) <i>Gliri. sepiu.</i> (18.3 %) <i>Eryth. folke.</i> (11.8 %) 25 en total 8 con 1 ind.	
Franja riparia <sup>4</sup> 13 potreros 13 transectos (50x4m c/u) Total: 2,600 m <sup>2</sup> 612 ind.	Leguminosae (16) Moraceae (11) Euphorbiaceae (9) Flacourtiaceae (5) Lauraceae (5) Myrsinaceae (5) 42 en total 20 con 1 spp.	<i>Astro. mexic.</i> (7.5 % abu.) <i>Croto. schie.</i> (5.9 %) <i>Sipar. andin.</i> (5.6 %) <i>Myrio. longi.</i> (4.3 %) <i>Acaci. corni.</i> (3.8 %) <i>Spond. radlk.</i> (3.8 %) 121 en total 64 con ≤2 ind.	
Árboles aislados <sup>4</sup> 30 potreros (1 a 20 ha c/u) Total: 173 ha 866 ind.	Leguminosae (19) Moraceae (9) Lauraceae (6) Sapotaceae (5) 37 en total 19 con ≤2 spp.	<i>Cedre. odora.</i> (15.1 % abu.) <i>Burse. simar.</i> (6.1 %) <i>Zanth. kelle.</i> (5.3 %) <i>Necta. ambig.</i> (5.2 %) <i>Ficus yopon.</i> (4.2 %) <i>Pouls. armat.</i> (3.5 %) <i>Spond. radlk.</i> (3.5 %) 98 en total 35 con ≤2 ind.	
Epífitas <sup>5</sup> 1 potrero 110 árboles Total: 15 ha 857 ind.	Orchidaceae (22) Araceae (16) Pteridophyta (10) 16 en total 6 con 1 spp.	<i>Syngo. podop.</i> (11.3 % abu.) <i>Pleop. astro.</i> (7.7 %) <i>Polyp. polyp.</i> (7.6 %) <i>Aechm. bract.</i> (5.2 %) <i>Campy. angus.</i> (5.1 %) <i>Monst. acumi.</i> (4.6 %) 76 en total 40 con ≤5 ind.	

<sup>1</sup>Abreviaturas: cinco primeras letras del género y de la especie (% cobertura relativa o % abundancia relativa). \*Tipología o gremio: % especies primarias de selva (en negro); % secundarias o pioneras (gris); % ruderales (blanco); y % desconocido por tratarse de nuevos registros (rayado)  
FUENTES: <sup>1</sup>Lira-Noriega et al., 2007; <sup>2</sup>Guevara et al. 1992; <sup>3</sup>Guevara et al., 2004b; <sup>4</sup>Guevara et al., 2005; <sup>5</sup>Hietz-Seifert et al., 1996.

abundantes fueron *B. simaruba* y varias especies del dosel de la selva (cuadro 1). Para muchas especies se encontraron solamente a uno o dos individuos como árboles aislados en los potreros muestreados.

En un potrero de 15 ha de extensión se tomaron muestras de las plantas que crecen sobre 38 árboles aislados y sobre 72 árboles ubicados en una franja ribereña adyacente, fueron registradas en total 76 especies de plantas de 16 familias (Hietz-Seifert *et al.*, 1996). La gran mayoría de las especies epífitas encontradas en los potreros son comunes en la selva de Los Tuxtlas. Once de las especies registradas no habían sido reportadas para la zona previamente a nuestro muestreo (cuadro 1). La especie más abundante fue la Araceae hemiepífita *S. podophyllum*, seguida por los helechos epífitos *Pleopeltis astrolepis* y *Polypodium polypodioides* y la Bromelia *Aechmea bracteata*. La mitad de las especies registradas (40 spp., incluyendo 15 de orquídeas) podrían considerarse como raras, puesto que registramos menos de cinco individuos de cada una de ellas.

### Riqueza por forma de crecimiento

La superficie combinada de todos los muestreos no excede las 200 ha de potreros. El total de plantas registradas en todo el conjunto de elementos que componen el potrero, asciende a 513 especies pertenecientes a 99 familias (Apéndice IV.5). De este total hubo 25 en las que no se logró determinar el nombre específico pero sí el género, y otras 13 para las que solamente se determinó la familia a la que pertenecen. Las familias con mayor riqueza fueron: Leguminosae con 41 especies (que incluye a Fabaceae 23, Mimosaceae 11 y Caesalpinaceae 7), Asterraceae con 34, Poaceae 27, Euphorbiaceae 25, Orchidaceae 24, Rubiaceae 23, Araceae 20, Moraceae 18, Solanaceae 17 y Piperaceae 14.

Poco más del 80 % de las especies de plantas registradas en los potreros (424 spp.) está incluido en el listado más completo y actualizado de la EBT-

UNAM, representando 45 % de la riqueza florística encontrada en las cerca de 700 ha de la reserva de dicha Estación (Ibarra-Manríquez y Sinaca, 1995). Además de la notable riqueza detectada, llama la atención la variedad de formas de crecimiento de las plantas encontradas en los potreros (cuadro 2).

La forma de crecimiento en la que se registró el mayor número de especies fue la de la herbácea (que incluye a los pastos), con 163 especies (51 monocotiledóneas y 112 dicotiledóneas), con casi un tercio (31 %) de la riqueza total de los potreros muestreados (cuadro 2). De las hierbas localizadas en los potreros, 113 (29 monocotiledóneas y 84 dicotiledóneas) aparecen en el listado de la EBT-UNAM (Ibarra-Manríquez y Sinaca, 1995), casi todas reconocidas como especies ruderales que no crecen al interior de la selva, el resto no había sido reportado previamente para la zona antes de nuestros estudios, y son también ruderales. Fue en los sitios totalmente expuestos al sol en los que se registró mayor riqueza (136 spp.) y proporción de hierbas (63 % de la riqueza).

La variedad de las hierbas fue seguida muy de cerca por la de los árboles, con 140 especies arbóreas registradas en los potreros (27 % de la riqueza total), de las cuales 129 se reportan en el listado de la EBT-UNAM, de las 11 restantes seis son cultivadas (cítricos, nanche, chicozapote, guayaba). En los potreros fueron inventariadas 80 especies de árboles cuyos adultos son capaces de superar los 15 m de altura y que además forman parte del dosel o subdosel de la selva, representando 61 % de la flora arbórea de esta talla reportada para la EBT-UNAM. Los elementos del paisaje más ricos en especies arbóreas fueron las franjas ribereñas y los árboles aislados, con cerca de 90 especies registradas en cada elemento (cuadro 2). Se destacan las franjas ribereñas por concentrar una riqueza muy alta en un área relativamente pequeña, sin embargo, su distribución espacial en el paisaje se restringe a sitios puntuales que corresponden al cauce de los ríos permanentes, mientras que los árboles aislados están esparcidos por todos lados y su presencia en el paisaje es vasta (figura 2).

CUADRO 2. Riqueza de especies por forma de crecimiento en los diferentes elementos del paisaje muestreados en potreros de Los Tuxtlas, Veracruz. Se indica la superficie de muestreo para cada elemento (en m<sup>2</sup> o ha)

ELEMENTO DEL PAISAJE	Potrero abierto	Cerca viva	Franja ribereña	Árboles aislados	ARBOLADO DEL POTRERO			Total	EBT-UNAM*	
					Encima <sup>1</sup>	Debajo <sup>2</sup>	Debajo <sup>3</sup>		En Potrero	En listado
Forma Crecimiento	800 m <sup>2</sup>	700 m <sup>2</sup>	2 600 m <sup>2</sup>	173 ha	15 ha	600 m <sup>2</sup>	136 m <sup>2</sup>	<200 ha	<200 ha	640 ha
Árboles medianos y altos (>15 m)	10	17	56	65	-	44	26	80	80	131
Árboles pequeños (<15 m)	7	7	32	24	-	24	22	60	49	**102
Arbustos	21	0	19	2	-	26	27	46	41	**76
Lianas	12	0	2	0	0	20	6	32	31	91
Trepadoras	15	0	0	0	6	14	1	29	25	81
Epífitas y hemiepífitas	2	1	7	7	69	17	2	81	68	161
Helechos y palmas	13	0	2	0	1	11	2	22	17	64
Hierbas monocotiledóneas	39	0	1	0	-	24	2	51	29	76
Hierbas dicotiledóneas	97	0	2	0	-	45	7	112	84	158
Total	216	25	121	98	76	225	95	513	424	940

<sup>1</sup>Plantas encontradas sobre 110 árboles del potrero (38 aislados y 72 de franja ribereña). <sup>2</sup>Muestreo bajo la copa de 50 árboles aislados en potreros activos. <sup>3</sup>Muestreo bajo la copa de 5 árboles aislados que cercamos durante tres años, excluyendo al ganado.

\*Listado de la Estación "Los Tuxtlas" de la UNAM (EBT-UNAM): especies encontradas en los potreros y total reportado por Ibarra-Manríquez y Sinaca, 1995.

\*\*55 especies reportadas por Ibarra-Manríquez y Sinaca (*op. cit.*) como arbolitos, son en realidad arbustos (*sensu* Burger, 1971, 1983).

También se detectó un alto número de especies de arbustos en los potreros, con casi la mitad (54 %) de la riqueza total reportada para la EBT-UNAM (cuadro 2). Fue en las franjas ribereñas en donde se registró la mayor densidad de arbustos adultos. Además, creciendo sobre el tronco o las ramas de árboles grandes del potrero, se encontró una notable riqueza de plantas epífitas y hemiepífitas, que representa la mitad de la riqueza reportada para la selva de la EBT-UNAM.

Sin lugar a dudas la conversión de selva en campos agrícolas y ganaderos ha provocado una drástica y terrible reducción de la diversidad biológica de Veracruz, sin embargo, nuestros estudios demuestran que sería muy conveniente desarrollar y estimular prácticas de manejo agropecuario que mantengan un profuso y diverso arbolado en los potreros y campos agrícolas, ya que en ellos se puede conservar una amplia riqueza de la selva original, situación imposible cuando todos los árboles

son eliminados. Es gracias a la presencia de los árboles al interior del potrero que se desarrolla una variedad de plantas tan alta, registrada en los muestreos, incluyendo árboles, arbustos, lianas, epífitas y hemiepífitas de la selva. En realidad los potreros estudiados constituyen un agroecosistema complejo en el cual se mezclan elementos florísticos de la vegetación forestal original (*i.e.* remanentes o vestigios de la selva) con elementos florísticos cuya presencia en el sitio es inducida por las actividades humanas o fueron deliberadamente sembrados (*i.e.* plantas ruderales o cultivadas).

Las especies ruderales representan el único conjunto de plantas capaz de producir semillas y perpetuarse en los potreros bajo el régimen actual de manejo pecuario. Estas especies suelen tener un impacto directo sobre el rendimiento pecuario, pues entre ellas encontramos especies poco palatables o aun tóxicas para bovinos y demás animales domésticos. Otras pueden interferir con el creci-

miento de los pastos forrajeros o constituir recursos vitales para plagas diversas. Sin embargo, para la gran mayoría de estas especies se desconocen los aspectos más básicos de su biología, tampoco se sabe de dónde ni cómo llegaron a los potreros actuales y de hecho para varias de ellas ni siquiera se sabía que estaban ahí antes de nuestros muestreos (Lira-Noriega *et al.*, 2007). En cuanto a las plantas de las especies que son de la selva original, todo parece indicar que desaparecerán de los potreros si las prácticas de manejo actuales no se modifican, ya que impiden su regeneración.

#### EL ARBOLADO DEL POTRERO: ¿EFÍMERO O PERDURABLE?

Con excepción de los individuos del “palo mulato” (*B. simaruba*), que se usan como postes en las cercas vivas, y los del “cedro” (*C. odorata*), que se dejan crecer en el potrero, así como los cítricos y otros frutales cultivados, la mayor proporción de los árboles que se ven actualmente en los potreros de Los Tuxtlas, germinaron y crecieron formando parte de una extensa selva, en donde la alteración humana era mínima o inexistente. Dada la drástica transformación del hábitat natural, que resulta de la conversión de selvas en potreros, es muy posible que el arbolado que vemos dentro de ellos muera sin ser reemplazado (Gómez-Pompa *et al.*, 1972; Janzen, 1986), y otras plantas asociadas a él (epífitas, lianas, etc.) también desaparecerán, reduciéndose radicalmente la riqueza florística.

Entre los muchos problemas que los árboles de la selva enfrentan para reproducirse en los potreros, destacan como los principales “cuellos de botella” la producción y dispersión de sus semillas, así como el establecimiento y sobrevivencia de sus plántulas y juveniles. Las especies arbóreas de la selva húmeda dependen de animales que polinizan sus flores para producir semillas. Las semillas de estas especies, generalmente contenidas en frutos carnosos, necesi-

tan ser dispersadas por vertebrados frugívoros. A su vez, los animales que son vectores del polen o de las semillas de los árboles dependen del dosel arbóreo de la selva para su supervivencia y, por lo general, evitan las áreas taladas por el hombre. Difícilmente podemos imaginar un hábitat tan diferente al umbrío y húmedo sotobosque de la selva como el de las zonas abiertas del potrero, en donde las condiciones edáficas y microclimáticas resultan adversas para la supervivencia y crecimiento de las plántulas y juveniles de árboles de la selva. Además, en los potreros suelen habitar organismos que difícilmente encontraríamos al interior de la selva, tales como pastos y malezas ruderales así como animales granívoros y herbívoros de zonas abiertas, que pueden interferir o de plano impedir el crecimiento de plántulas arbóreas (Janzen, 1986; Guevara *et al.*, 1992, 2005; Holl, 1999).

Los “cuellos de botella” mencionados anteriormente han sido la base para señalar que las selvas húmedas son particularmente frágiles al establecimiento de potreros y a cualquier otro sistema de explotación agropecuario que sea extensivo y de carácter permanente (Gómez-Pompa *et al.*, 1972). El arbolado de los potreros podría estar constituido por lo que Janzen (1986) denomina “muertos vivientes”, es decir, individuos fisiológicamente vivos que no tienen posibilidad alguna de contribuir con descendientes fértiles para la próxima generación. Al realizar un recorrido por los potreros de la zona estudiada, es ostensible la ausencia de plántulas y juveniles de especies arbóreas, particularmente en las áreas totalmente abiertas, dominadas por gramíneas, lo cual sustenta la sospecha de que los árboles de la selva no pueden regenerarse en las áreas convertidas a potrero. Sin embargo, nuestros estudios confirman que lo anterior no es del todo cierto, particularmente al inspeccionar detalladamente las áreas que están bajo la influencia de la sombra del arbolado del potrero, en donde se detectaron plántulas de numerosas especies arbóreas y arbustivas, así como otras plantas de selva (Guevara *et al.*,

1992). Los resultados muestran que la presencia de árboles grandes al interior del potrero, contrarresta de manera muy efectiva las principales barreras que impiden el establecimiento de nuevos árboles en el potrero. El arbolado del potrero atrae aves y murciélagos frugívoros quienes depositan bajo su copa numerosas semillas de árboles y arbustos. Las condiciones microclimáticas y edáficas del potrero son modificadas bajo la copa del arbolado, favoreciendo a las plantas de la selva y mermando a los pastos y malezas heliófitas (Guevara *et al.*, 2004b, 2005).

El reemplazo y mantenimiento del arbolado en los potreros estudiados no parece una tarea difícil, para ello es necesario controlar los chapeos y aspersión de herbicidas, así como el ramoneo del ganado, por debajo de la copa del arbolado o en una porción reducida del mismo. La rica y diversa vegetación arbórea que se regenera bajo estas condiciones, permite seleccionar nuevos individuos que sean de especies arbóreas de la selva para sustituir al arbolado actual (Guevara *et al.*, 2005). En Los Tuxtlas todavía existe un alto potencial de regeneración arbórea al interior de los potreros que se tiene que aprender a manipular y optimizar mediante prácticas de manejo pecuario y de paisaje adecuadas para lograrlo.

#### POTREROS ARBOLADOS Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

La conversión de la selva en potreros no se ha traducido aún en la pérdida total de la diversidad florística del ecosistema original, ni tampoco se ha llegado a una situación irreversible que imposibilite la regeneración de la vegetación nativa a pesar de la severa alteración ecológica del paisaje estudiado. De hecho, después de casi medio siglo de haberse iniciado la deforestación de la selva en la zona, así como de varias décadas de pastoreo continuo de los potreros, éstos mantienen todavía una muy variada riqueza de especies de plantas y un componente

importante de ellas son especies de la selva original. Los árboles de selva y demás plantas de selva asociados a ellos que todavía encontramos al interior de los potreros, constituyen fuentes de propágulos o semilleros idóneos, que nos permitirían asegurar y acelerar la restauración de la selva en los campos ganaderos (Laborde *et al.*, 2008), siempre y cuando se garantice la conservación y flujo de los animales que son los vectores del polen y de las semillas de las plantas de la selva en el paisaje fragmentado y transformado por las actividades humanas.

La relativamente reciente deforestación de la zona (en escalas de tiempo ecológicas), explica en parte la alta riqueza florística detectada, sin embargo, también son cruciales las prácticas selectivas de tala o apertura de la selva, así como el manejo posterior del arbolado dejado en pie que han realizado los pobladores del sitio. El arbolado de las zonas transformadas por el hombre es fuente de leña, madera, frutos comestibles y varios otros recursos (condimentos, resinas, medicinas, etc.), cuya importancia y uso para los pobladores disminuye continuamente, situación que sería muy importante revertir para revalorar y garantizar la permanencia de árboles al interior de los predios. En la actualidad el arbolado de los potreros se usa primordialmente como sombra para el ganado, protección al cauce de los ríos y como postes vivos para fijar el alambre que subdivide los predios (Barrera-López, 2003; Guevara *et al.*, 2005).

Un aspecto que no podemos dejar de señalar es que, bien manejado, el arbolado de los potreros tiene un gran potencial no solo en la conservación de la biodiversidad nativa, sino también en el uso y beneficio forestal, que está siendo desperdiciado. Por desgracia, actualmente son muy pocas las especies tropicales que, además del cedro (*C. odorata*), sean apreciadas como maderables o para otros usos forestales. En los potreros veracruzanos pueden crecer fácilmente diversas especies nativas pertenecientes a las familias Meliaceae, Lauraceae y Sapotaceae entre otras, cuya madera es de exce-

lente calidad y podrían convertirse en un recurso importante para la industria maderera. Algo similar puede decirse de numerosas especies arbóreas comestibles (frutos principalmente) que sólo se aprecian de manera local pero que podrían comercializarse en ciudades cercanas. Por último, debe mencionarse el enorme potencial que numerosas especies arbóreas y arbustivas de la selva tienen como forraje para el ganado, particularmente durante la época de seca o estiaje en la que los pastos no crecen y el ganado pierde peso; localmente se emplean de manera esporádica al cocuite, cosquelite y palo mulato, como forraje de emergencia. Sin lugar a dudas el uso del follaje de estas especies podría perfeccionarse para, incluso, engordar a los animales durante el estiaje, pero además muchas especies nativas de Leguminosae, Moraceae, etc., podrían ser de una calidad forrajera excelente y su uso debería impulsarse.

Los potreros veracruzanos que podrían contener una riqueza florística tan alta como la estudiada aquí, se circunscriben a zonas o paisajes en los que la deforestación es relativamente reciente y en donde todavía encontramos remanentes o fragmentos de selva o bosque original. Dichos fragmentos representan el último refugio para los animales que dispersan el polen o las semillas de los árboles y otras plantas de la selva; sin ellos es prácticamente imposible la regeneración del diverso arbolado de los potreros. El potencial de conservación, a futuro, de la poca selva veracruzana que aún queda sería sustancialmente incrementado si las áreas agropecuarias que la rodean estuvieran constituidas por potreros o campos de cultivo arbolados, en los que se implementaran prácticas alternativas que favorecieran la regeneración del profuso y rico arbolado nativo, sin detener la producción agropecuaria.

## LITERATURA CITADA

- BARRERA-LÁEZ, O., 2003, *Uso y manejo de árboles en potreros de Los Tuxtlas, Ver.*, tesis de licenciatura, Facultad Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 80 pp.
- BURGER, W.C. (ed.), 1971, Flora Costaricensis. Fieldiana, *Botany* 35, 40.
- , 1983, Flora Costaricensis. Fieldiana, *Botany Nuevas Series* 13, 18, 23, 28, 33, 35, 36.
- GONZÁLEZ-MONTAGUT, R., 1999, Factors that contributed to the expansion of cattle ranching in Veracruz, Mexico, *Mexican Studies* 15:101-130.
- GÓMEZ-POMPA, A., C. Vázquez-Yanes y S. Guevara, 1972, The tropical rain forest: a non-renewable resource, *Science* 177: 762-765.
- GÓMEZ-POMPA, A., 1980, *Ecología de la vegetación del estado de Veracruz*, CECSA, México, 91 pp.
- GUEVARA, S., J. Meave, P. Moreno-Casasola y J. Laborde, 1992, Floristic composition and structure of vegetation under isolated trees in neotropical pastures, *Journal of Vegetation Science* 3: 655-664.
- GUEVARA, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos, 2004a, *Los Tuxtlas: el paisaje de la sierra*, Instituto de Ecología y Unión Europea, Xalapa, Ver., 288 pp.
- GUEVARA, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos, 2004b, Rain forest regeneration beneath the canopy of fig trees isolated in pastures of Los Tuxtlas, Mexico, *Biotropica* 36: 99-108.
- , 2005, Los árboles que la selva dejó atrás, *Interciencia* 30: 595-601.
- HIETZ-SEIFERT, V., P. Hietz y S. Guevara, 1996, Epiphyte vegetation and diversity in forest-derived pastures in southern Veracruz, México, *Biological Conservation* 75: 103-11.
- HOLL, K.D., 1999, Factors limiting tropical rainforest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate and soil, *Biotropica* 31: 229-242.
- IBARRA-MANRÍQUEZ, G. y S. Sinaca, 1995, Lista florística comentada de la Estación de Biología Tropical

- 'Los Tuxtla', Veracruz. México. *Revista de Biología Tropical* 43: 75-115.
- INEGI, 2003, Sistema para la consulta del anuario estadístico (SCAE) del estado de Veracruz-Llave, disco compacto, edición 2002, México.
- IPNI: The International Plant Names Index, 2004, Publicado en internet <http://www.ipni.org> (acceso 21 de marzo 2007).
- JANZEN, D.H., 1986, The future of tropical ecology, *Annual Review of Ecology & Systematics* 17: 305-324.
- LABORDE, J., S. Guevara y G. Sánchez-Ríos, 2008, Tree and shrub seed dispersal in pastures: the importance of rainforest trees outside forest fragments, *Ecoscience* 15: 6-16.
- LIEBERMAN, D y M. Lieberman, 1987, Forest tree growth and dynamics at la selva, Costa Rica (1969-1982), *Journal of Tropical Ecology* 347-358.
- LIRA-NORIEGA, A., S. Guevara, J. Laborde y G. Sánchez-Ríos, 2007, Composición florística en potreros de Los Tuxtla, Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 80: 59-87.
- Palacio-Prieto, J.L., et al., 2000, La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000, *Investigaciones Geográficas* 43: 183-203.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1970, *Diccionario de la Lengua Española*, 19ª edición, Espasa-Calpe, Madrid, 1 424 pp.
- RZEDOWSKI, J., 1978, *Vegetación de México*, Limusa, México, 432 pp.
- , 1990, Vegetación Potencial. IV.8.2, *Atlas Nacional de México*, vol. II, Instituto de Geografía, UNAM, México, 1: 4 000 000.



# Biodiversidad en ecosistemas modificados por actividades agropecuarias



Ana Cecilia Travieso-Bello  
Ana Victoria Ros Torres

## INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz se encuentra entre los tres estados que han sufrido la mayor transformación ecológica. La comparación de la vegetación potencial (Rzedowski, 1990) con la vegetación existente en el año 2000 mostró que el estado ha perdido 91.2 % de la vegetación primaria y más del 72 % de su superficie ha sido transformada para usos productivos y urbanos (Challenger, 2003). En el periodo 1993-2002, perdió 19 % de su cobertura vegetal natural, ocupando el primer lugar nacional (Semarnat, 2006). Por ello, se estima que Veracruz tiene más especies de flora y fauna en riesgo de extinción que cualquier otro estado mexicano (Challenger, 2003).

Las actividades agropecuarias han tenido un papel importante en esta transformación, con 49 % de la superficie estatal dedicada al pastoreo y 27.9 % a cultivos. En la superficie cultivada predominan (83 %) los siguientes cultivos: maíz, caña de azúcar, café y cítricos. Esta situación coloca al estado de

Veracruz como primer productor nacional de bovinos, de caña de azúcar y de cítricos, como segundo de café cereza y tercero de maíz (INIFAP, 2006; Sagarpa, 2006).

El reemplazo de ecosistemas nativos por sistemas de producción agrícola y pecuaria (agrosistemas) ha provocado la división del paisaje natural en partes más pequeñas (véase cuadro 1). A este proceso se le denomina fragmentación y genera una matriz de parches de vegetación natural de diversos tamaños, formas, grados de modificación y de conectividad entre sí, generalmente rodeados por áreas de cultivo (Forman y Godron, 1986; Forman, 1995).

La pérdida de conectividad entre los fragmentos de parches naturales puede afectar los patrones de movimiento y dispersión de las especies, provocando el aislamiento genético entre poblaciones, que en su efecto negativo más extremo podría implicar la extinción local de algunas especies (Soulé, 1987; Saunders, 1990; Forman, 1995). Por tanto, la biodiversidad es quizás el parámetro principal para medir el efecto directo o indirecto de las

actividades humanas sobre el ecosistema (Halffter y Ezcurra, 1992; Folke *et al.*, 1996).

La diversidad biológica puede medirse a través de la riqueza de especies en una comunidad, en el paisaje y mediante la complementariedad. La riqueza de especies es el número total de especies distintas registradas en una comunidad particular, mientras que la riqueza de especies en el paisaje es igual al número total de especies diferentes registradas en el conjunto de comunidades que integran el paisaje (Whittaker, 1972). La complementariedad es el número de especies exclusivas de un sitio en relación al total de especies registradas para el paisaje y muestra el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Colwell y Coddington, 1994).

El estudio de los agrosistemas se ha dirigido principalmente hacia aspectos agronómicos, productivos y económicos, por lo que se conoce muy poco su efecto sobre la diversidad biológica, aspecto esencial para establecer estrategias de aprovechamiento sustentable del paisaje productivo, así como el manejo integral y la conservación de los recursos naturales.

En este trabajo se compara la diversidad que mantienen algunos cultivos de importancia económica para el estado, en relación con los ecosistemas naturales que reemplazan, a través de varios ejemplos documentados en la literatura, para el centro del estado de Veracruz. Específicamente se caracteriza

la diversidad de fanerógamas y de murciélagos en dos paisajes distintos, transformados por actividades agropecuarias. Posteriormente se compara la diversidad de varios grupos (plantas leñosas, hormigas, aves, murciélagos y mamíferos medianos) en distintos tipos de cafetales con la vegetación natural que reemplazan y se brindan recomendaciones para la conservación de la biodiversidad.

## FANERÓGAMAS DE LA MANCHA

El paisaje costero de La Mancha, en el municipio de Actopan, Veracruz, se caracteriza por una gran heterogeneidad de geoformas y tipos de suelos, registrándose cinco tipos de vegetación natural, vegetación secundaria, cultivos de caña de azúcar, maíz, mango y pastizales. La vegetación natural se concentra en el litoral, mientras que hacia el continente se observa una matriz de pastizales, cultivos y pequeños fragmentos de vegetación natural con diversos grados de transformación. La riqueza de especies y el número de especies primarias es mayor en el litoral en relación con el interior del continente, donde dominan las especies secundarias asociadas a los cultivos (cuadro 2). Esto se debe a la mayor heterogeneidad ambiental y al menor grado de intervención humana del litoral en comparación con las partes medias y altas de la cuenca (Travieso-Bello, 2000).

CUADRO 1. Superficie agrícola y producción de los principales cultivos del estado de Veracruz.

CULTIVO	SUPERFICIE CULTIVADA (HECTÁREAS)	TONELADAS PRODUCIDAS	TOTAL NACIONAL %	LUGAR NACIONAL
Maíz	1 096 212.90	1 968 661.29	8.1	3º de 8
Caña de azúcar	193 727.99	12 550 917.00	38.4	1º de 15
Café cereza	152 996.49	396 692.24	21.6	2º de 15
Naranja valenciana	147 805.14	1 797 881.52	59.3	1º de 15
Limón persa	25 781.70	464 054.00	57.8	1º de 16

FUENTE: INEGI (2004) y Sagarpa (2006).

Se registraron 355 especies de fanerógamas, con un alto porcentaje de especies secundarias. La mayor riqueza de especies se concentra en la vegetación de dunas costeras y la selva baja caducifolia. El tular-popal y la selva baja caducifolia se distinguen por un alto número de especies exclusivas y por tanto, una alta complementariedad. En contraste, los cultivos tienen una menor riqueza, predominan las especies secundarias, que en su mayoría se comparten con otros tipos de vegetación y usos del suelo, presentándose una baja complementariedad. En el paisaje la complementariedad es aproximadamente de 54 % (cuadro 2) por lo que es esencial conservar los distintos tipos de vegetación natural para mantener su diversidad vegetal.

### MURCIÉLAGOS DE JALCOMULCO

El paisaje de Jalcomulco, Veracruz, se caracteriza por acantilados, barrancas y la presencia del río Los Pescados. Se encuentran fragmentos de cuatro tipos de vegetación natural, vegetación secundaria y cultivos de maíz y mango (cuadro 3).

Se registraron dos familias, 13 géneros y 20 especies de murciélagos. El mayor número de especies corresponde a la selva mediana subcaducifolia (cuadro 2, apéndice IV.6.1). No se encontraron grandes diferencias en la riqueza de especies entre tipos de vegetación natural y usos del suelo (Moreno-Ortega, 2000). La complementariedad del paisaje es muy baja, las dos especies ausentes en la selva mediana subcaducifolia se registraron en la vegetación riparia, por lo que estas dos comunidades en conjunto reúnen el total de especies del paisaje. Los agrosistemas, el palmar y la selva baja caducifolia no aportan especies distintas.

La forma de los elementos del paisaje y la conectividad entre ellos, establecida por los acantilados, cultivos arbolados, riparios y árboles aislados, ofrecen cobertura y alimento a los murciélagos, funcionando como corredores y áreas de alimentación para las especies de paso, provenientes de las comunidades más diversas, por lo que mantienen la diversidad de este grupo en el paisaje (Moreno-Ortega, 2000).

CUADRO 2. Diversidad de fanerógamas de la vegetación natural y los usos del suelo en La Mancha, Actopan, Veracruz.

VEGETACIÓN O USO DEL SUELO	RIQUEZA DE ESPECIES PRIMARIAS	RIQUEZA DE ESPECIES SECUNDARIAS	NÚM. DE ESPECIES PRIMARIAS EXCLUSIVAS	NÚM. DE ESPECIES SECUNDARIAS EXCLUSIVAS	COMPLEMENTARIEDAD (%)
Selva baja caducifolia	47	37	21	16	10.4
Manglar*	8	17	5	9	3.9
Tular-popal*	20	55	14	33	13.2
Pioneras sobre dunas*	21	17	8	7	4.2
Herbáceas y arbustivas sobre dunas*	45	64	0	7	2.0
Vegetación secundaria	5	19	0	0	0
Cultivo de caña de azúcar	0	39	0	15	4.2
Cultivo de maíz	0	38	0	16	4.5
Pastizal cultivado	1	67	0	20	5.6
Plantación de mango	0	61	0	23	6.5
Paisaje (total)	147	414	48	146	54.5

FUENTE: Travieso-Bello (2000).

\*Tipos de vegetación exclusivos del litoral.

## CAFETALES

En México el café se cultiva sobre las vertientes del Golfo de México y del Pacífico, en el centro y sur del país, en donde se ponen en contacto dos o más tipos de vegetación (Moguel y Toledo, 1999). Específicamente en el estado de Veracruz este cultivo se distribuye en las siguientes diez regiones: Atzalan, Acayucan, Chicontepec, Coatepec, Córdoba, Huatusco, Misantla, Papantla, Tezonapa y Zongolica. Los tipos de vegetación que reemplaza son principalmente el bosque mesófilo de montaña y las selvas.

De acuerdo al nivel de manejo y a la estructura de la vegetación, se distinguen cinco sistemas de producción de café en México (Moguel y Toledo, 1999), que se encuentran representados en Veracruz: dos tradicionales (rústico y policultivo tradicional), uno intermedio (policultivo comercial) y dos modernos (monocultivo con sombra y sin sombra).

El sistema rústico, presente en algunas zonas indígenas, elimina únicamente el estrato más bajo del bosque o selva donde se establece, manteniendo la cobertura arbórea original. El policultivo tradicional comprende un sistema de manejo sofisticado de especies nativas e introducidas, donde se incluyen numerosas plantas útiles. Presenta la máxima complejidad vegetal y de arquitectura y la mayor diversidad de usos, por lo que se considera la etapa más avanzada de manipulación del ecosistema forestal nativo. De éste se obtienen café y otros productos de subsistencia y para el mercado local. El policultivo comercial implica la remoción completa de la cobertura arbórea del bosque o selva original y la introducción de árboles principalmente cultivados, que proveen sombra al café o son útiles comercialmente como el plátano, la naranja y el cedro. El monocultivo con sombra utiliza exclusivamente leguminosas arbóreas cultivadas como sombra para el café, generalmente del género *Inga*. El monocultivo sin sombra carece de cobertura arbórea, por lo que el café está directamente expuesto al sol.

A continuación se comparan datos de diversidad para los cafetales bajo distintos sistemas de producción y sus ecosistemas de remplazo. Se consideran los siguientes grupos: plantas leñosas (López-Gómez, 2004), hormigas (Castillo-Ceballos, 2004), aves (Aguilar-Ortiz, 1982), murciélagos (Hernández-Salazar, 2006) y mamíferos medianos (Gallina *et al.*, 1996).

### Plantas leñosas de los cafetales

En la región Coatepec-Huatusco, específicamente en los alrededores de Xalapa, se compararon las plantas leñosas del bosque mesófilo de montaña, con las de los cafetales bajo sombra activos y abandonados (10-20 años de abandono), con sistema de producción del tipo policultivo.

Se registraron 52 familias, 107 géneros y 154 especies. La mayor riqueza se encontró en los fragmentos de bosque, seguidos por los cafetales abandonados y luego los cafetales activos. Dominaron en todos los casos los árboles sobre los arbustos y las especies nativas sobre las no nativas, éstas últimas al igual que las especies secundarias, se encuentran en mayor número en los cafetales (cuadro 4, apéndice IV.6.2).

La densidad de árboles y la estructura de los cafetales abandonados son similares al bosque mesófilo, no obstante, el remplazo del bosque por el cafetal provoca la pérdida de 49 especies (cuadro 4, apéndice IV.6.2).

Se comparten pocas especies entre sitios, aun con el mismo uso, por tanto, la diversidad de plantas leñosas en el paisaje es altamente complementaria (56.1 %). La variación en la composición de especies puede deberse al manejo del cultivo en cafetales activos y abandonados y al proceso sucesional en este último. En los fragmentos de bosque la composición variable se puede explicar por la perturbación humana o por las condiciones microclimáticas (López-Gómez, 2004). Por tanto, para

CUADRO 3. Diversidad de murciélagos en distintos tipos de vegetación natural y usos del suelo en Jalcomulco, Veracruz.

VEGETACIÓN O USO DEL SUELO	NÚMERO DE FAMILIAS	NÚMERO DE GÉNEROS	RIQUEZA DE ESPECIES	NÚM. DE ESPECIES EXCLUSIVAS	COMPLEMENTARIEDAD (%)
Selva mediana subcaducifolia	2	13	18	1	5
Selva baja caducifolia	2	8	11	0	0
Vegetación ribereña	2	8	13	0	0
Palmar	2	9	13	0	0
Vegetación secundaria	2	11	15	0	0
Plantación de mango	2	10	15	0	0
Cultivo de maíz	2	9	14	0	0
Paisaje (total)	2	13	20	1	5

FUENTE: Moreno-Ortega (2000).

conservar la diversidad de plantas leñosas en el paisaje se deben mantener los fragmentos de bosque y los distintos tipos de cafetales.

### Hormigas de los cafetales

En la región de Teocelo, Alborada, San Marcos y Tuzamapan, en el centro de Veracruz, se compararon las comunidades de hormigas del bosque mesófilo de montaña con los cafetales bajo policultivo tradicional, policultivo comercial, monocultivo con sombra y sin sombra. Se registraron 6 subfamilias, 32 géneros y 60 especies (cuadro 5, apéndice IV.6.3). Dominaron las omnívoras sobre las depredadoras, granívoras y micófagas, en proporciones similares para el bosque y los distintos tipos de cafetales (Castillo-Ceballos, 2004).

El bosque mesófilo de montaña presenta una mayor riqueza de géneros y especies y un mayor número de hormigas exclusivas en comparación con los distintos tipos de cafetales, los cuales prácticamente no se diferencian entre sí (cuadro 4), sin embargo, la composición de especies entre sitios varía considerablemente y se pierden 14 especies del bosque al remplazarse por cafetal.

La complementariedad del paisaje es del 53.3 %, porque los distintos manejos determinan distintas

coberturas vegetales, diferencias de iluminación y de temperatura, generando una mayor heterogeneidad ambiental, lo cual permite el establecimiento de especies con requerimientos distintos y por tanto, una mayor diversidad. Por ello, para mantener la diversidad regional de hormigas es importante conservar tanto el bosque como los distintos tipos de cafetales.

### Aves de los cafetales

La cañada de Teocelo, ubicada en el centro de Veracruz, se caracteriza por depresiones y pendientes muy pronunciadas y la presencia del río Texolo. En esta área se compararon las aves registradas en tres tipos de vegetación natural con los cafetales bajo policultivo. En estos cafetales se introducen plantas cultivadas, conservándose los tres estratos vegetales, así como los elementos del bosque caducifolio.

Se encontraron 29 familias y 135 especies de aves en el cafetal (Aguilar-Ortiz, 1982). Se comparte un número elevado de especies con el bosque caducifolio, la selva baja caducifolia y en menor medida con el pinar, debido probablemente a la similitud estructural y florística de este agrosistema con la vegetación natural, especialmente con el bosque caducifolio. Dominaron las aves que ocupan las partes media y

CUADRO 4. Diversidad de plantas leñosas en cafetales bajo sombra y fragmentos de bosque mesófilo de montaña, en el centro de Veracruz.

ASPECTOS A COMPARAR	FRAGMENTOS DE BOSQUE	CAFETALES ACTIVOS	CAFETALES ABANDONADOS	PAISAJE (TOTAL)
Núm. de familias	39	33	34	52
Núm. de géneros	66	52	64	107
Riqueza de especies	91	66	84	154
Núm. de especies exclusivas	49	17	21	87
Complementariedad (%)	53.8	25.8	24.7	56.1
Forma de vida (núm., %)				
- Árboles	50(54.9%)	47(71.2%)	50(59.5%)	91(59.1%)
- Arbustos	41(45.1%)	19(28.8%)	34(40.0%)	63(40.7%)
Origen (núm., %)				
- Nativo	84(92.3%)	36(54.6%)	61(71.8%)	117(75.5%)
- No nativo	7(7.7%)	30(45.4%)	23(27.4%)	37(24.0%)
Hábitat (núm., %)				
- Primario	67(73.6%)	21(31.8%)	38(44.7%)	86(55.5%)
- Secundario	24(26.4%)	45(68.2%)	46(54.8%)	68(44.1%)

FUENTE: Modificado de López-Gómez (2004)

superior de los árboles en el cafetal, así como las frugívoras e insectívoras, ya que los árboles ofrecen una gran variedad de frutos y las epífitas forman microambientes para distintos grupos de insectos. Se registró un mayor número de residentes y visitantes estacionales, seguidas por las invernantes y migratorias de paso (cuadro 6, apéndice IV.6.4).

La abundancia alternada y sostenida, a través de todo el año, de diversos recursos alimenticios como flores, frutos e insectos, la presencia de varios estratos que generan mayor heterogeneidad ambiental, así como la cobertura vegetal cerrada que brinda protección, permiten al cafetal mantener una alta riqueza de aves.

### Murciélagos de los cafetales

En las regiones de Huatusco-Totutla y Teocelo-Coatepec-Xalapa, en el centro de Veracruz, se compararon los murciélagos registrados en el bosque mesófilo de montaña y cafetales bajo distintos siste-

mas de producción: rústico, policultivo, con sombra y sin sombra.

En general, los distintos tipos de cafetales registraron una mayor riqueza de murciélagos y un mayor número de especies exclusivas que el bosque mesófilo de montaña; dominaron las especies frugívoras sobre las insectívoras, mientras que las nectarívoras y hematófagas son escasas. El bosque mesófilo estudiado es un fragmento con 16 años de regeneración, rodeado por áreas ganaderas (Hernández-Salazar, 2006) y no brindan la protección, ni los recursos alimenticios que requiere este grupo. No obstante, el remplazo del bosque por el cafetal provoca la pérdida de al menos una especie de murciélago (cuadro 7, apéndice IV.6.5).

Los cafetales con sombra tienen una mayor riqueza de especies que los cafetales bajo sol, destacándose los manejos rústico y el policultivo, que mantienen una cobertura arbórea heterogénea, que brinda alimento y protección a los murciélagos (Hernández-Salazar, 2006).

CUADRO 5. Diversidad y gremios tróficos de hormigas en el bosque mesófilo de montaña (BM) y en distintos tipos de cafetales en el centro de Veracruz.

ASPECTOS A COMPARAR	BM	PT	PC	McS EN GENERAL	MsS (TOTAL)	CAFETALES	PAISAJE
Núm. de subfamilias	5	3	5	5	5	6	6
Núm. de géneros	17	11	14	16	15	27	32
Riqueza de especies	30	21	21	24	21	46	60
Núm. de especies exclusivas	14	4	4	4	6	18	32
Complementariedad (%)	23.3	6.7	6.7	6.7	10.0	30.0	53.3
Gremios tróficos (núm., %)							
- Omnívoro	13(43.3%)	10(47.6%)	11(52.3%)	12(50%)	10(47.6%)	—	23(38.3%)
- Depredador	9(30%)	6(28.5%)	6(28.5%)	5(20.8%)	7(33.3%)	—	23(38.3%)
- Granívoro	7(23.3%)	5(23.8%)	4(19%)	5(20.8%)	3(14.2%)	—	11(18.3%)
- Micófago	1(3.3%)	0(0%)	0(0%)	2(8.3%)	1(4.7%)	—	3(5%)

FUENTE: Modificado de Castillo-Ceballos (2004).

PT: policultivo tradicional; PC: policultivo comercial; McS: monocultivo con sombra y MsS: monocultivo sin sombra.

CUADRO 6. Diversidad, estratificación, gremios tróficos y estacionalidad de aves en cafetales mixtos y sus ecosistemas de remplazo del centro de Veracruz.

ASPECTOS A COMPARAR	CAFETAL	PINAR	BOSQUE CADUCIFOLIO	SELVA BAJA CADUCIFOLIA
Riqueza de especies	135	95	137	133
Núm. de especies compartidas con el cafetal	—	46	120	80
Núm. de especies que sólo se comparten con un tipo de vegetación	1	1	26	14
Estratificación (núm., %)				
- Terrestre	15(11.0 %)	2(4.3 %)	14(11.7 %)	8(10.0 %)
- Arbustivo	18(13.2 %)	6(13.0 %)	17(14.2 %)	11(13.7 %)
- Arborescente inferior	34(25.0 %)	11(23.9 %)	32(26.7 %)	17(21.2 %)
- Arborescente medio	75(55.9 %)	26(58.7 %)	69(58.3 %)	44(55.0 %)
- Arborescente superior	66(49.3 %)	25(56.5 %)	57(48.3 %)	40(50.0 %)
Gremios tróficos (núm. %)				
- Frugívoro	71(52.2 %)	19(41.3 %)	59(49.2 %)	47(58.7 %)
- Nectarívoro	15(11.0 %)	6(13.0 %)	12(10.0 %)	7(8.7 %)
- Granívoro	15(11.0 %)	5(10.9 %)	14(11.7 %)	11(13.7 %)
- Insectívoro	75(55.9 %)	23(52.2 %)	67(56.7 %)	44(55.0 %)
- Carnívoro	5(3.7 %)	2(4.3 %)	5(4.2 %)	5(6.2 %)
Estacionalidad (núm. %)				
- Residente	48(35.3 %)	6(13.0 %)	45(37.5 %)	37(46.2 %)
- Invernante	25(19.1 %)	15(34.8 %)	23(20.0 %)	16(20.0 %)
- Migratoria de paso	14(10.3 %)	4(8.7 %)	14(11.7 %)	4(5.0 %)
- Visitante estacional	47(34.6 %)	20(43.5 %)	37(30.8 %)	21(26.2 %)

FUENTE: Modificado de Aguilar-Ortiz (1982)

CUADRO 7. Diversidad y gremios tróficos de murciélagos del bosque mesófilo de montaña y de cafetales en el centro de Veracruz.

ASPECTOS A COMPARAR	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	CAFETALES	PAISAJE
Núm. de familias	3	6	6
Núm. de Géneros	9	18	19
Riqueza de especies	10	24	25
Núm. de especies exclusivas	1	15	16
Complementariedad (%)	4	60	64
Gremios tróficos (núm. %)			
- Frugívoro	—	—	15(60 %)
- Nectarívoro	—	—	2(8 %)
- Insectívoro	—	—	7(24 %)
- Hematófago	—	—	1(4 %)

FUENTE: Modificado de Hernández-Salazar (2006)

### Mamíferos medianos de los cafetales

En Barranca Grande, cuarenta kilómetros al sur de la ciudad de Xalapa, se registraron seis órdenes, 12 familias y 24 especies de mamíferos medianos en cafetales bajo sombra, de los cuales 12 especies son terrestres, seis trepadoras, cinco arbóreas y una acuática. Dominan las frugívora-omnívoras (ocho especies) sobre las carnívoras (seis especies), insectívora-omnívoras (cuatro especies) y frugívora-granívoras (cuatro especies). Sólo se registró una especie herbívora-pastadora y una mirmecófaga (cuadro 8, apéndice IV.6.6).

La mayor altura y cobertura de los árboles determinó una mayor complejidad y heterogeneidad de las plantaciones de café y una mayor riqueza de mamíferos medianos, ya que 66.7 % de las especies incluyen fruta en su dieta y 45.8 % son de hábitos arbóreos y trepadores. Por otra parte, la diversidad de parches de cultivos de maíz, chile, frijol, vegetación riparia y bosque contribuyen a la conservación de este grupo (Gallina *et al.*, 1996).

Por tanto, para conservar la diversidad de los mamíferos medianos en las plantaciones de café es imprescindible mantener árboles de sombra que sir-

CUADRO 8. Riqueza de especies, locomoción y hábitos alimenticios de mamíferos medianos en dos tipos de cafetales del centro de Veracruz.

ASPECTOS A COMPARAR	CAFETAL CON SOMBRA	CAFETAL SIN SOMBRA
Riqueza de especies	24	13
Locomoción (núm., %)		
- Terrestres	12(50 %)	Potencialmente podrían perderse las especies arbóreas y trepadoras (45.8 %)
- Trepadores	6(25 %)	
- Arbóreos	5(20.8 %)	
- Acuáticos	1(4.2 %)	
Hábitos alimenticios (núm., %)		
- Herbívoro-pastador	1(4.2 %)	Potencialmente podrían afectarse las poblaciones de hábitos alimenticios frugívoros (50 %)
- Frugívoro-granívoro	4(16.7 %)	
- Frugívoro-omnívoro	8(33.3 %)	
- Insectívoro-omnívoro	4(16.7 %)	
- Mirmecófago	1(4.2 %)	
- Carnívoro	6(25 %)	

 FUENTE: Modificado de Gallina *et al.* (1996).

van de sustrato y produzcan frutos comestibles la mayor parte del año, que garanticen los requerimientos de hábitats de este grupo.

### PERSPECTIVAS PARA LA CONSERVACIÓN

En las zonas donde se mezclan distintos tipos de cultivos con parches de vegetación natural de diversas formas, tamaños, estructuras, complejidad, grados de modificación y conectividad, existe una mayor heterogeneidad ambiental que mantiene la diversidad a nivel de paisaje, tanto para fanerógamas como para murciélagos. Sin embargo, al remplazarse la vegetación natural se pierden especies propias de estos ecosistemas que no encuentran las condiciones de hábitats requeridas para su sobrevivencia.

Para conservar la biodiversidad en el paisaje se recomienda mantener los parches de vegetación natural menos modificados, de mayor tamaño y complejidad y con una alta heterogeneidad ambien-

tal, que contengan especies primarias y nativas, las cuales funcionarán como reservorios de flora y fauna para su dispersión en el paisaje. Además, es importante garantizar la conectividad del paisaje a través de corredores (riparios, cercos vivos, árboles aislados, etc.) que brinden refugio, alimento y sitios de descanso, según los requerimientos ecológicos y la capacidad de dispersión de las distintas especies.

En general, los cafetales que presentan una estructura y complejidad similar al ecosistema que sustituyen conservan un elevado número de especies de plantas leñosas, hormigas, aves, murciélagos y mamíferos, por lo que pueden considerarse reservorios de la biodiversidad regional. Sin embargo, en todos los casos se pierden especies con el reemplazo del ecosistema original.

Los cafetales bajo sombra mantienen una mayor diversidad de especies que los que se encuentran expuestos directamente al sol. La mayor altura de los árboles, la presencia de varios estratos, una cobertura más cerrada y una mayor diversidad de especies arbóreas, especialmente las que tienen frutos comestibles, propicia una mayor diversidad de fauna. Esto se debe a la dominancia de aves, murciélagos y mamíferos medianos con hábitos frugívoros, y su preferencia por las partes media y superior del estrato arbóreo. Por tanto, la transformación de cafetales bajo sombra a cafetales sin sombra, mediante la eliminación de la cobertura arbórea, podría provocar la pérdida local de muchas especies que usan este estrato.

De los sistemas de producción de café estudiados, el policultivo mantiene una mayor diversidad de especies y a su vez genera mayor cantidad de productos para el autoconsumo y la venta en el mercado, por lo que parece ser el más sustentable.

Existe una gran variación entre los parches del mismo tipo de vegetación natural y del mismo sistema de producción de café, por lo que la complementariedad del paisaje es alta. Esto se debe a la heterogeneidad ambiental, al proceso de fragmentación y a los distintos manejos del cafetal. Por ello, se

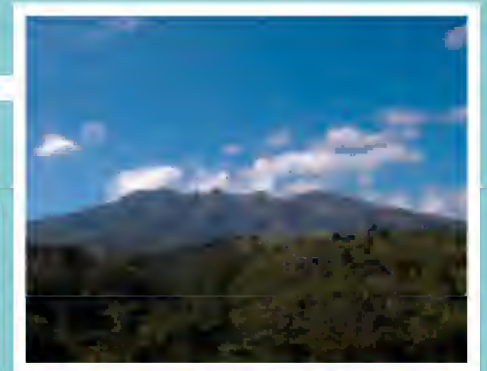
sugiere conservar parches naturales y manejados con distintas características, que brinden en su conjunto el mayor número de hábitats posibles para la conservación de la máxima diversidad.

#### LITERATURA CITADA

- AGUILAR-ORTIZ, F., 1982, Estudio ecológico de las aves del cafetal, en Ávila-Jiménez, E. y Gómez-Pompa, A. (eds.), *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre los Recursos Bióticos, CECSA, Xalapa, pp. 103-128.
- CASTILLO-CEBALLOS, M., 2004, *Diversidad de hormigas del suelo (Hymenoptera: Formicidae) en cafetales con distinto manejo en el centro de Veracruz, México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, 65 pp.
- CHALLENGER, A., 2003, La situación actual del medio ambiente en Veracruz: los servicios ambientales y la conservación ecológica, conferencia magistral, Seminario-Taller Internacional sobre Servicios Ambientales, Huatusco, Veracruz, México, [www.imacmexico.org](http://www.imacmexico.org).
- COLWELL, R. K. y J. A. Coddington, 1994, Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)* 345: 101-118.
- FOLKE, C., C. S. Holling y C. Perrings, 1996, Biological diversity, ecosystems and the human scale. *Ecological Applications* 6(4): 1018-1024.
- FORMAN, R.T.T., 1995, *Land mosaics: the ecology of landscape regions*, Cambridge University Press, Cambridge, 654 pp.
- y M. Godron, 1986, *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, Inc., Nueva York, 619 pp.
- GALLINA, S., S. Mandujano y A. González-Romero, 1996, Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 33: 13-27.
- HALFFTER, G. y E. Ezcurra, 1992, ¿Qué es la biodiversidad?, en Halffter, G. (comp.), *La diversidad biológica*

- en Iberoamérica I*, Acta Zoológica Volumen Especial, CYTED-D, Instituto de Ecología, A.C., Secretaría de Desarrollo Social, Xalapa, pp. 3-24.
- HERNÁNDEZ-SALAZAR, E., 2006, *Comparación de la riqueza de murciélagos en los cafetales establecidos en el bosque mesófilo de montaña en la zona central montañosa de Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, 50 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP), 2006, *Distribución del uso del suelo agrícola en el estado de Veracruz*, Centro de Investigación Regional Golfo-Centro. Sitio Experimental y Demostrativo Xalapa, Xalapa, Ver.
- LÓPEZ-GÓMEZ, A. M., 2004, *Los cafetales de sombra como reservorio de la biodiversidad de plantas leñosas del bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz*, tesis de maestría, Instituto de Ecología, Xalapa, 81 pp.
- MOGUEL, P. y V. M. Toledo, 1999, Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):1-12.
- MORENO-ORTEGA, C. E., 2000, *Diversidad de quirópteros en un paisaje del centro de Veracruz, México*, tesis de doctorado, Instituto de Ecología, Xalapa, 150 pp.
- RZEDOWSKI, J., 1990, Vegetación Potencial, *Atlas Nacional de México*, Sección Naturaleza, hoja IV.8.2, vol. II, mapa escala 1:4 000 000, Instituto de Geografía, UNAM, México
- SAUNDERS, D. A., 1990, Problems of survival in an extensively cultivated landscape: the case of Carnaby's Cockatoo *Calyptorhynchus funereus latirostris*. *Biological Conservation* 50: 99-135.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2006, Sistema de información agrícola de consulta, periodo 1980-2004, México, (<http://www.siap.gob.mx/>).
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006, *El medio ambiente en México 2005 en resumen*, México, 91 pp.
- SOULÉ, M. E., 1987, *Viable populations for conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, 206 pp.
- TRAVIESO-BELLO, A.C., 2000, *Biodiversidad del paisaje costero de La Mancha, Actopan, Ver.*, tesis de maestría, Instituto de Ecología, Xalapa, 119 pp.
- WHITTAKER, R. H., 1972, Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21(2-3): 213-251.

# La biodiversidad en el suelo: estudio de caso en la Sierra de Santa Marta (Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas)



Vista panorámica del Volcán Santa Marta.  
(Foto: I. Barois)

I. Barois, S. Negrete-Yankelevich, J.A. García, M. Santos, J. Álvarez-Sánchez, G. Castillo-Campos, S. Cram, C. Fragoso, F. Franco-Navarro, E. Martínez-Romero, E. Meza, M.A. Morón, P. Rodríguez, P. Rojas, V. Sosa, D. Trejo, L. Varela, J. Bueno-Villegas, J.A. Gómez y C. Sormani

## INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en el ecosistema suelo, a pesar de su riqueza ha sido poco estudiada, ya que por ser un ambiente compacto y opaco se ha dificultado trabajar en él. El suelo no es solamente la parte física en donde se anclan y crecen las raíces de las plantas, ni sólo el sitio donde muchos animales tienen sus madrigueras. Actualmente, el avance en las técnicas analíticas ha permitido mostrar qué tan vivo y dinámico es el suelo. Se ha tratado, también, de correlacionar la biodiversidad que está arriba del suelo y la que está abajo; hasta la fecha no se ha logrado obtener conclusiones claras debido a la falta de evidencias y al hecho de que los efectos de la biodiversidad del suelo sobre la productividad de las plantas, composición y diversidad, dependen de las condiciones particulares de cada ambiente (Wardle *et al.*, 2004).

En los ecosistemas terrestres la energía es capturada por las plantas a través de la fotosíntesis y es utilizada para respirar, como para formar su biomasa. La contraparte de este proceso es la descom-

posición de la materia orgánica (Heal *et al.*, 1997). Ésta permite, por un lado, que se reciclen los nutrientes, generando moléculas sencillas para ser absorbidas de nuevo por las plantas y, por otro lado, que se convierta en humus, el cual es una forma estable de la materia orgánica que funciona como alimento para los habitantes del suelo y como reservorio de nutrientes, mismo que se libera lentamente para las plantas (figura 1). Además, la materia orgánica también contribuye a la estructura del suelo, secuestra el bióxido de carbono, retiene los nutrientes y el agua, ayuda a amortiguar los cambios de temperatura, la erosión y compactación (Labrador-Moreno, 1996). De manera general aumenta la resiliencia del suelo (Kay y Angers, 2000).

## BIODIVERSIDAD DEL SUELO

El intervalo de tamaño de los organismos que habitan el suelo es amplio: va desde las bacterias unicelulares que miden fracciones de micras, pasando por

los hongos que producen muchas esporas y metros de filamentos (hifas), hasta los vertebrados que hacen madrigueras en él. Por ello la fauna del suelo se ha clasificado en la microfauna y mesofauna (<2 mm) que comprende los ácaros, colémbolos y nemátodos entre otros; la macrofauna (>2 mm) que incluye las lombrices de tierra, hormigas, termitas, ciempiés, milpiés y gallinas ciegas, etc., y la mega-fauna constituida por los vertebrados.

En un gramo de suelo existen más de 100 millones de bacterias, cientos de protozoarios y varias decenas de nemátodos, aparte de varios metros de hifas y cientos de esporas de hongos. En un metro cuadrado puede haber cientos de artrópodos (cochinillas, arañas, ciempiés, milpiés e insectos) y decenas de lombrices de tierra. Además, la mayoría de las plantas tienen sus raíces y sus semillas que se entierran (banco de semillas) en el suelo.

### Redes alimenticias (tróficas) y grupos funcionales

Los organismos del suelo forman redes alimenticias complejas, que se inician y concluyen con las bacterias y los hongos, capaces de descomponer cualquier material orgánico. Se denomina grupo funcional a un conjunto de organismos que pueden ser diferentes pero que efectúan una función semejante. Por ejemplo, diferentes especies de bacterias pueden conformar el grupo funcional de los fijadores de nitrógeno. Otro ejemplo evidente es el de los “ingenieros” del ecosistema que se encarga de incrementar la estructura del suelo. Esta “ingeniería” puede ser el resultado de sus movimientos en el suelo (galerías o madrigueras), de su alimentación a base de tierra (geófaga) o de su metabolismo. Por ejemplo, los hongos micorrizógenos secretan una sustancia cementante llamada glomalina (carbohidratos),

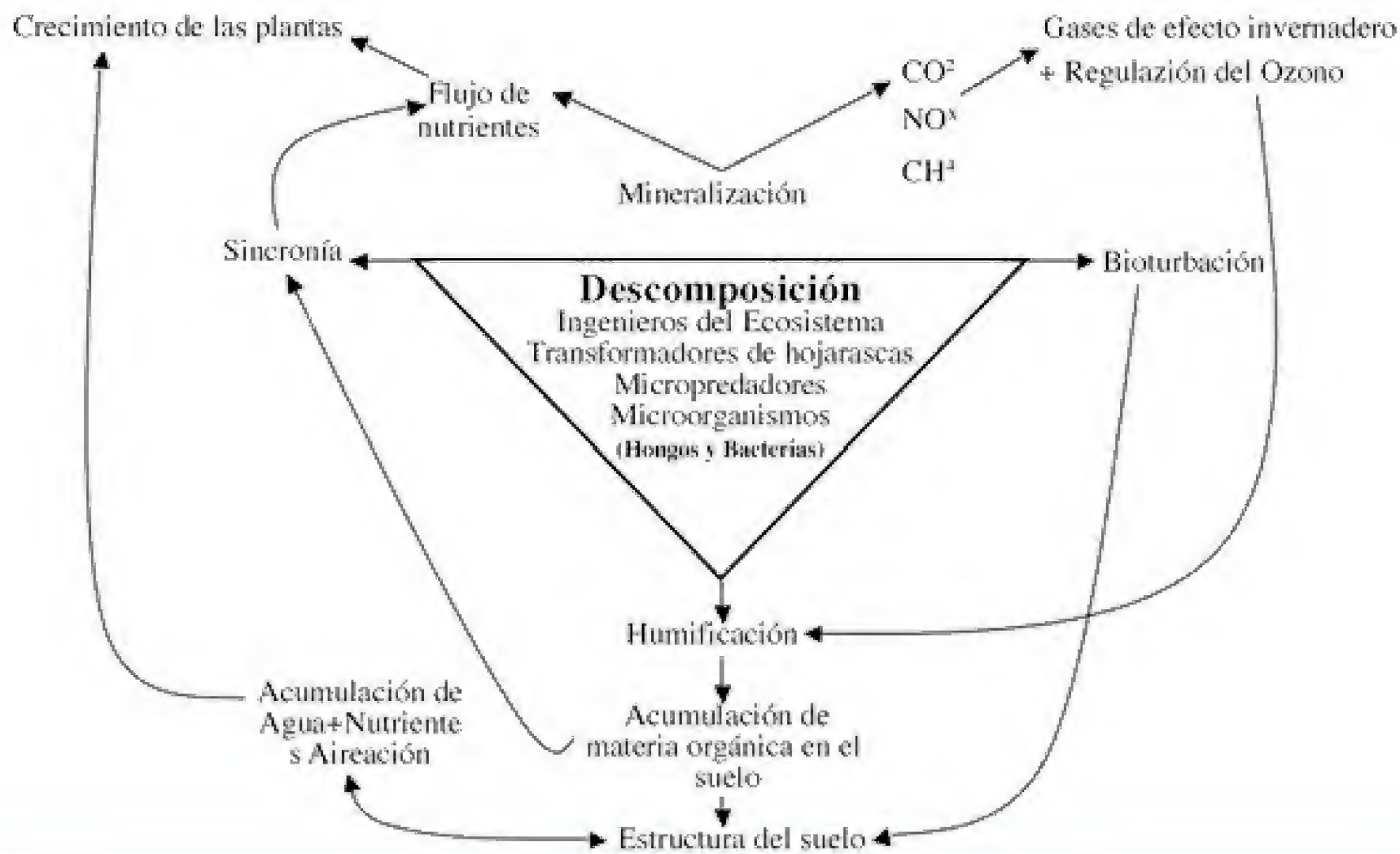


FIGURA 1. Dinámica del proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo (tomado de Lavelle y Spain, 2001).

que le da cohesión a los terrones y agregados (Wolfe, 2006); de la misma manera, las bacterias contribuyen a la estructura del suelo produciendo compuestos similares. Las lombrices de tierra geófagas igualmente tienen un impacto enorme en la estructura del suelo y la dinámica de la materia orgánica; una población de 33 000 lombrices en una hectárea de pastizal de Plan de las Hayas, Veracruz, puede ingerir y excretar anualmente más de 400 toneladas de suelo! (Lavelle *et al.*, 1987).

### Interacciones

Entre los organismos del suelo, por ser un medio compacto, opaco, heterogéneo y pobre en alimento, existen adaptaciones e interacciones para poder sobrevivir. Un ejemplo de esto se observa en la zona de influencia de la raíz de las plantas (rizósfera), donde hay una gran actividad. Las raíces activan a las bacterias y hongos secretando alimento de calidad (“exudados”); los exudados constituyen del 16 hasta el 33 % del carbono fijado en la fotosíntesis (Heal *et al.*, 1997) y promueven que las bacterias y hongos mineralicen y humifiquen la materia orgánica muerta y además produzcan hormonas vegetales, vitaminas y otros compuestos, los que a su vez estimulan el crecimiento de las plantas. Ciertas bacterias y hongos llevan a cabo asociaciones íntimas en las raíces, formando nódulos y micorrizas, respectivamente.

Dentro de la gran diversidad biológica que hay en el suelo, también se encuentran organismos patógenos que provocan enfermedades a las plantas. Por ejemplo, algunas bacterias, virus, hongos y algunos animales como los nemátodos y las larvas de los escarabajos pueden volverse plaga o ser vector de enfermedades. Sin embargo, estas enfermedades o actividades parasíticas suceden con mayor frecuencia cuando el suelo ha perdido su equilibrio y salud, en particular cuando su biodiversidad se ha empobrecido.

Cabe señalar que la biodiversidad del suelo depende del tipo de clima, del suelo mineral y tipo de vegetación y, a su vez, esta biodiversidad ejercerá un efecto en el sistema suelo.

En las últimas décadas, en México se ha empezado a estudiar el suelo con una visión integrada y de sistema ecológico. En particular Álvarez-Sánchez y Naranjo-García (2003) reunieron trabajos acerca del funcionamiento del suelo en la selva tropical húmeda de México. Por otro lado, Fragoso y Reyes (2001) compilaron varios artículos sobre el estado actual de la diversidad de algunos grupos funcionales del suelo.

### EL PROYECTO “CONSERVACIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DE LA BIODIVERSIDAD EN EL SUELO”

En el siglo pasado, cuando ocurrió la “revolución verde” en la agricultura, se creyó que era suficiente con manejar las propiedades físicas y químicas de los suelos para acrecentar su productividad, menospreciándose la importancia de su aspecto biológico. Con la llegada de los tractores, los fertilizantes inorgánicos, los plaguicidas y herbicidas químicos, más la irrigación y el monocultivo de plantas seleccionadas, se creyó que se tenían solucionados los problemas agrícolas. Sin embargo, el manejo desbalanceado de estos elementos acentuó problemas como la pérdida o erosión de suelo, la contaminación del agua ocasionó problemas de la salud debido a los agentes químicos, la salinización por riego con aguas ricas en sales y la proliferación de plagas por los monocultivos.

A raíz de la crisis en la agricultura desencadenada por la revolución verde y la falta de conocimiento sobre la biodiversidad y la biología del suelo, algunas agencias y organizaciones interesadas han apoyado investigaciones sobre el tema de la biología y ecología de los suelos. En particular se está llevando a cabo un amplio proyecto internacional denomi-

nado: “Conservación y Manejo Sostenible de la Biodiversidad en el Suelo” (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity, CSM-BGBD, por sus siglas en inglés) (CSM-BGBD 2002-2009). Éste es ejecutado por el Tropical Soil Biology and Fertility Institute (TSBF) del Centro de Investigaciones Agrícolas Tropicales (CIAT), en el que participan siete países: Indonesia, India, Uganda, Kenia, Costa de Marfil, Brasil y México. El financiamiento es del Fondo para el Medio Ambiente (GEF). En nuestro país es el Instituto de Ecología, A.C. quien está coordinando dicho proyecto, cuyo objetivo general es conocer la biodiversidad del suelo y proporcionar conocimientos y técnicas para manejar y conservar esta biodiversidad en paisajes tropicales.

Una fortaleza del proyecto BGBD es que conjunta la participación de varios especialistas en el estudio de organismos del suelo y de otras disciplinas, con campesinos y ONG. Es un proyecto integrador, tanto en el plano académico, al considerar al suelo como un todo, como en la vinculación con el sector campesino y en quienes toman decisiones. La intención es demostrar la importancia de la biodiversidad bajo el suelo para los servicios ambientales y la posibilidad de su manejo para hacer un uso sustentable del suelo como recurso productivo.

## Inventarios

La zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (Veracruz), en particular la zona del volcán Santa Marta, se escogió como sitio de trabajo en México debido a su gran biodiversidad arriba del suelo.

Los inventarios se llevaron a cabo en cuatro diferentes usos de suelo (selva, acahual, maizal y pastizal) y en tres ejidos (Adolfo López Mateos, municipio de Catemaco; San Fernando, municipio de Sotepan y Venustiano Carranza, municipio de Tatahuicapan).

Considerando que la biodiversidad del suelo es tan amplia, se efectuaron inventarios sólo de ciertos grupos importantes para la agricultura o que pudieran ser bioindicadores de la salud del suelo. Un grupo o una especie bioindicador se refiere a organismos cuya presencia o ausencia permiten rápidamente diagnosticar si dicho suelo ha sido altamente perturbado o se ha conservado.

Los grupos inventariados fueron: las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*), los hongos micorrizógenos (formadores de micorrizas) y fitopatógenos (capaces de producir enfermedad a plantas); de la microfauna, los nemátodos de vida libre o parásitos; de la mesofauna los colémbolos (*Collembola*), de la macrofauna, los ciempiés y milpiés (*Miriapoda* y *Diplopoda*), comejenes (*Termitidae*), las hormigas (*Formicidae*), los escarabajos (*Coleoptera*), las cucarachas (*Blattidae*) y las lombrices de tierra (*Oligochaeta*). Cada grupo fue inventariado con una metodología propia (Moreira *et al.*, 2008).

Una vez colectados o aislados los organismos, se pudieron identificar algunos sólo a nivel de orden o clase y otros hasta especie o morfo-especie (que puede ser una nueva especie o una especie ya identificada). También en cinco puntos de cada uso de suelo y en cada ejido se hicieron muestreos para caracterizar la vegetación primaria y secundaria en los diferentes usos de suelo (López-Cano, 2006), usando la metodología propuesta por Castillo-Campos (2003). Esto para estimar la diversidad alfa y beta entre las comunidades vegetales, y posteriormente hacer una correlación entre la biodiversidad arriba y abajo del suelo.

Para clasificar los tipos de suelos en cada ejido se efectuaron dos perfiles edafológicos, uno en el bosque y el otro en un uso de suelo. En cada punto del muestreo se determinaron, además, los parámetros físicos, químicos y bioquímicos, tales como: pH, densidad aparente, densidad relativa, porosidad, textura, humedad de suelo, conductividad eléctrica, C, N, P total, K, Mg, Ca, CIC, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>,

deshidrogenasas y b-glucosidasas. Algunos de los parámetros se presentan en el cuadro 1 (Ríos, 2006 y Mondragón, datos no publicados).

## Sitios

Los tres ejidos o sitios de estudio presentan características diferentes en cuanto a cubierta forestal, altitud, geoformas, precipitación, geología y tipo de suelo (cuadro1):

1. Adolfo López Mateos (LM) localizado entre los 18°24'56" y 18°26'33" de latitud norte y los 94°56'53" y 94°58'18" de longitud oeste. Se encuentra a 250 msnm dentro del municipio de Catemaco. La vegetación primaria es la Selva Alta Perennifolia y cubre aproximadamente el 75 % del ejido. Su tipo de suelo es un Andosol lúvico (FAO *et al.*, 1999).

Las especies y nombre común de árboles más abundantes son: *Trichilia breviflora* (carne de caballo 2), *Trichospermum galeottii* (coapetate), *Trophis mexicana* (ojoshi), *Alfaroa mexicana* (peinecillo), *Cynometra retusa* (zapotillo), *Guarea glabra* (cagalt), *Robinsonella mirandae* (manzanillo), *Pseudolmedia oxyphyllaria* (tomatillo), *Poulsenia armata* (abababi), *Saurauia scabrida* (pipicho). La transformación de la selva ha reducido considerablemente el número de especies de plantas, principalmente las especies de árboles (López-Cano, 2006).

2. San Fernando Sotepan (SF) localizado entre los 18°15'08" y 18°19'55" de latitud norte y los 94°52'00" y 94°54'06" de longitud oeste. Se encuentra a 850 msnm, dentro del municipio de Sotepan. La selva cubre aproximadamente el 50 % del ejido. Sus tipos de suelo son Lixisol crómico y Acrisol ándico (FAO *et al.*, 1999).

Este ejido, por su altura, posee elementos florísticos de bosque mesófilo como *Quercus af. insignis* (encino blanco o ttamukû), *Talauma mexicana* (moñiácu), *Alchornea latifolia* (palo de achiote) y *Liquidambar macrophylla*, por mencionar algunos, mientras que también posee elementos de selva alta o de transición como son: *Dendropanax arboreus* (palo de atole), *Randia pterocarpa* (palo de bejuco), *Trophis* sp. (escobillo), *Alfaroa mexicana*, entre otros.

3. Venustiano Carranza (VC) localizado entre los 18°19'09" y 18°21'50" de latitud norte y los 94°44'41" y 94°46'44" de longitud oeste. Se encuentra a 250 msnm, dentro del municipio de Tatahuicapan. La selva cubre aproximadamente el 25 % del ejido. Sus tipos de suelo son Lixisol crómico y Acrisol plúntico (FAO *et al.*, 1999).

El tipo de vegetación que solía cubrir grandes extensiones de terreno era la Selva Alta Perennifolia caracterizada por *Protium copal* (copal), *Robinsonella mirandae* (manzanillo), *Siparuna andina* (naranjillo), *Brosimum alicastrum* (ojoshi grande), *Gouania stipularis* (asta), *Dialium guianense* (paque), *Guarea grandifolia* (sabino), *Tapirira mexicana* (caobilla).

CUADRO 1. Características de las zonas de estudio López Mateos (LM), San Fernando (SF) y Venustiano Carranza (VC) en Los Tuxtlas Veracruz.

EJIDOS	ALTITUD (msnm)	PP mm/a	GEOLOGÍA	SUELO	GEOFORMAS Y PENDIENTE (%)	CUBIERTA FORESTAL (%)	pH	ARCILLAS
LM	238 ± 37	2500	ceniza y brecha	Andosol	montaña 40%	76	5.1 ± 0.2	21 ± 10
SF	994 ± 144	1182	basalto	Acrisol	lomeríos	49	5.0 ± 0.4	47 ± 17
VC	225 ± 44	2900	brecha	Lixisol	lomeríos	27	4.5 ± 0.3	55 ± 9

El sistema predominante en este ejido son los pastizales para ganado vacuno.

Entre los ejidos el número de especies en las selvas respectivas es muy similar (figura 2), aunque en López Mateos se reúne una gran diversidad en un espacio más pequeño. En este último, el acahual es el sistema que presenta más especies entre todos los ejidos y usos de suelo, mientras que el maizal en cambio es el uso de suelos que presenta menos especies. En el ejido Venustiano Carranza es en donde se presentan el mayor número de especies de pastizales de los tres sitios, además de ser el tipo de vegetación dominante en este ejido.

### Riqueza de los organismos del suelo

En el cuadro 2 se resumen los taxones encontrados en este estudio. Dentro de las bacterias fijadoras de nitrógeno se encontraron ocho especies y 17 morfoespecies, en particular de los géneros *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* y

*Burkholderia*, y geno-especies nuevas no descritas con anterioridad en la literatura. La especie más abundante fue *R. etli*, especie característica de campos de maíz y de frijol.

Dentro de los hongos micorrizógenos arbusculares se encontraron principalmente especies de los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, las especies identificadas hasta ahora son 26 y las que están como morfo-especies son 34, son probablemente nuevas 15 especies.

Dentro de los hongos fitopatógenos de la raíz encontramos principalmente los géneros *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, *Aspergillus* y *Penicillium*. También se aislaron hongos saprobios como *Bispora*, *Gilmaniella* y *Cunninghamella*, que promueven la descomposición de la materia orgánica, y hongos antagonistas a los fitopatógenos como es *Trichoderma*.

Los nemátodos fue uno de los grupos que mayor número de géneros presentó (130). Los nemátodos identificados se clasificaron en cinco grupos, de acuerdo con su hábito alimenticio, ello con el fin de

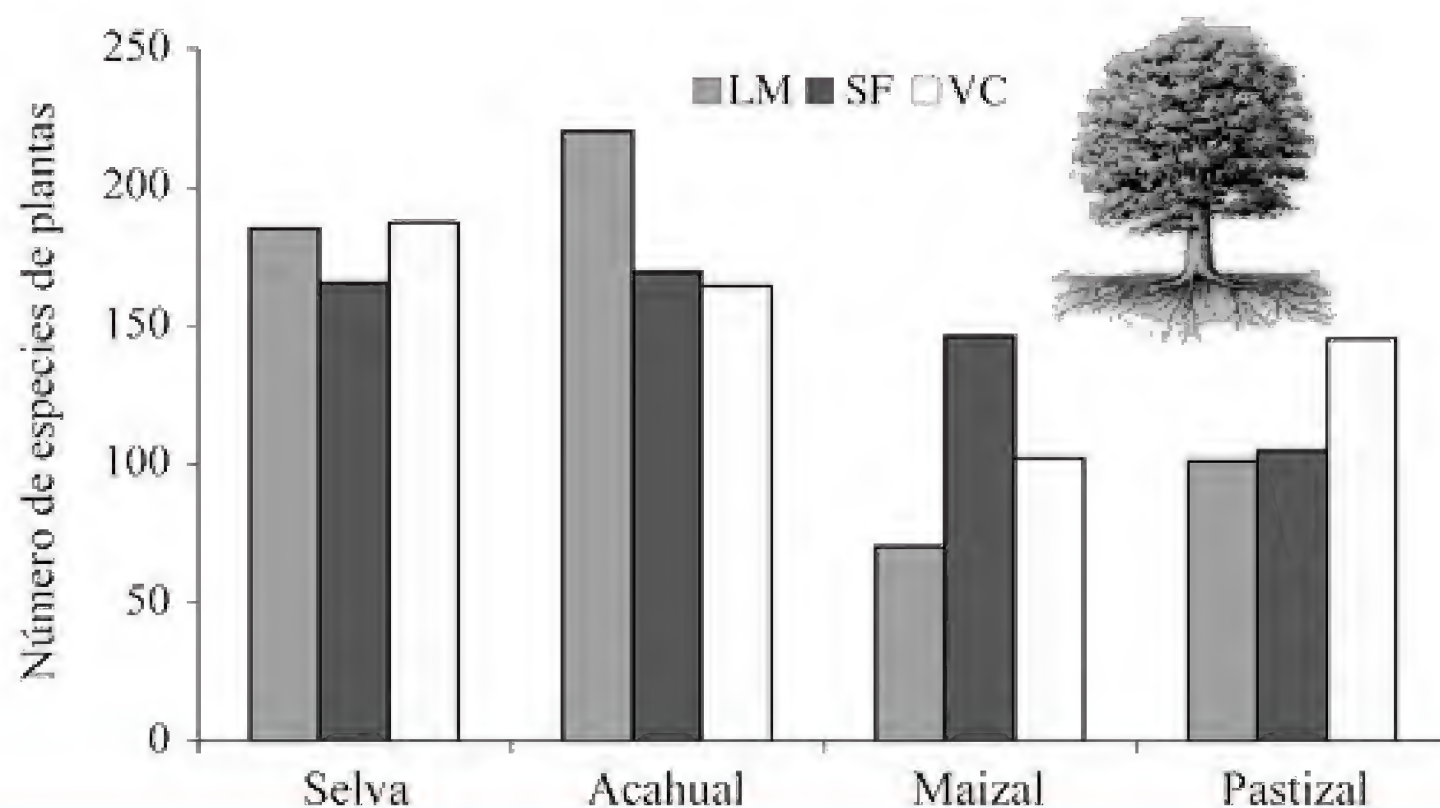


FIGURA 2. Número total de especies de plantas por uso de suelo en los tres ejidos, Adolfo López Mateos (LM), San Fernando (SF) y Venustiano Carranza (VC) de Los Tuxtlas, Veracruz.

CUADRO 2. Parámetros fisicoquímicos de los suelos de los ejidos Adolfo López Mateos (LM), San Fernando (SF) y Venustiano Carranza (VC) en la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, Veracruz (valores promedio de al menos 8 muestras + el error estándar).

	USO DE suelo	TIPO DE SUELO (FAO <i>et al.</i> 1999)	% Ct	% Nt	P-BRAY ppm	POROSIDAD %	C.E μS/cm	ARCILLA %	pH
LM	Selva	Andosol Lúvico	4.1 ± 1.0	0.48 ± 0.05	4.56 ± 1.08	77.2 ± 4.7	88	25.5	5.2
	Acahual		3.1 ± 0.8	0.61 ± 0.08	1.46 ± 0.83	76.1 ± 6.6	84	15.0	5.1
	Maizal		3.3 ± 0.9	0.63 ± 0.07	0.92 ± 0.31	71.5 ± 3.7	67	18.0	5.2
	Pastizal		3.9 ± 0.9	0.48 ± 0.04	3.46 ± 4.52	74.3 ± 3.4	80	28.8	5.2
SF	Selva	Acrisol ándico y Lixisol crómico	5.9 ± 1.5	0.60 ± 0.04	3.82 ± 1.27	77.9 ± 5.2	101	45.0	4.8
	Acahual		5.1 ± 0.9	0.47 ± 0.03	1.29 ± 0.43	69.8 ± 2.8	83	47.7	5.0
	Maizal		3.7 ± 0.6	0.26 ± 0.02	0.79 ± 0.62	66.8 ± 1.9	48	44.5	5.3
	Pastizal		5.2 ± 1.5	0.41 ± 0.02	0.55 ± 0.21	62.9 ± 12.6	52	54.8	5.0
VC	Selva	Acrisol plintico y Lixisol crómico	3.0 ± 0.6	0.44 ± 0.03	1.39 ± 0.51	71.9 ± 2.1	79	54.8	4.5
	Acahual		2.3 ± 0.3	0.36 ± 0.02	1.82 ± 1.32	66.6 ± 4.2	53	51.6	4.5
	Maizal		2.1 ± 0.4	0.34 ± 0.03	1.94 ± 0.76	63.9 ± 5.1	56	53.4	4.9
	Pastizal		2.9 ± 0.4	0.31 ± 0.02	0.38 ± 0.10	61.9 ± 5.2	46	60.4	4.5

conocer la estructura trófica de los nemátodos en el suelo. Los grupos tróficos conformados fueron: 1) los que comen bacterias (*Rhabditis*, *Plectus*, *Aphonolaimus*, *Acrobeles*, etc.); 2) los que comen hongos (*Aphelenchus*, *Tylenchus*, etc.); 3) los omnívoros (*Dorylaimus*, *Dorylaimoides*, *Aporcelaimus*, etc.); 4) los depredadores (*Miconchus*, *Monochus*, *Prionchulus*, etc.), y 5) los parásitos de plantas (*Meloidogyne*, *Discocriconemella*, *Hemicycliophora*, *Helicotylenchus*, etc.) (Franco-Navarro y Godínez-Vidal, 2006).

Los colémbolos se agruparon en siete familias y no fueron tan abundantes como se esperaba. Por su parte, las termitas fue un grupo poco diverso, ya que sólo se presentaron seis especies y tres morfo-especies, siendo el género más representado *Nasutitermes*. En cuanto a las cucarachas de campo, son pocas y presentaron solo seis especies y nueve morfo-especies. *Anaplecta* e *Ischnoptera* fueron los géneros más representados.

Para los ciempiés y milpiés se identificaron nueve especies y 39 morfo-especies. Los ciempiés mejor representados fueron los Geophilomorpha del género *Neogeophilus* sp4 (107 registros) y los Scolopendromorpha del género *Newportia* sp1 (40). Dentro de los milpiés, los géneros más repre-

sentados fueron *Prostemmilus* sp1 (45), *Glomeridesmus* sp1 (24) y *Hollistophalidae* sp1 (68).

Las hormigas y los escarabajos son los grupos que presentaron más especies y/o morfo-especies (141 y 189, respectivamente). Los géneros y especies más representadas para las hormigas fueron *Solenopsis geminata* (168) y *Solenopsis* sp3 (67), *Wasmania auropunctata* (84), *Octostruma balzani* (86), *Hypoponera opacior* (76) (Rojas *et al.*, 2006; Hernández, 2007). Es importante mencionar que se encontraron dos especies muy raras: *Tatuidris tatuasia* y *Thaumatomyrmex ferox*, que cuentan con muy pocos ejemplares en las colecciones del mundo y tres especies nuevas. Además se encontraron 11 especies de *Strumigenys*, género exclusivo de la hojarasca y que representa más del 90 % del número total de especies registradas con anterioridad para todo México (12).

Los escarabajos identificados se ubicaron dentro de 52 familias; las más representadas y con mayor abundancia de individuos fueron: Melolonthidae, Ptilodactylidae, Staphylinidae, Scarabeidae, Chrysomelidae, Carabidae y Elateridae. Cabe señalar que la familia Staphylinidae fue la que presentó más morfo-especies.

Las lombrices son un grupo poco diverso, y sólo se registraron 13 especies (tres de ellas son morfoespecies); siete especies fueron nativas u originarias de la región y seis son exóticas, introducidas por los asentamientos humanos. Las especies más representadas fueron las exóticas *Pontoscolex corethrurus* y *Dichogaster affinis*, seguidas por dos nativas: *Ramieyllona* sp. y *Lavello-drilus parvus* (Coria, 2005; Camarena, 2006). Cabe señalar que las lombrices de tierra fue el grupo dentro de la macrofauna que representó la mayor biomasa por m<sup>2</sup>.

#### EFFECTO DEL PAISAJE Y DEL USO DEL SUELO EN LOS DIFERENTES ORGANISMOS DEL SUELO Y EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO

Con los datos de los grupos de organismos y de los parámetros físicoquímicos se efectuaron análisis estadísticos: análisis de varianzas (anovas) y de componentes principales, para determinar el efecto del paisaje, del uso de suelo y de sus características sobre la biodiversidad en el suelo.

#### Efecto del paisaje

La diferencia más fuerte en riqueza de especies y diversidad ocurrió a escala del paisaje, es decir, entre ejidos (figura 3). El número de especies de hormigas disminuyó en el gradiente LM > SF > VC, mientras que las termitas presentaron el patrón inverso respecto a su diversidad. La diversidad de lombrices nativas fue escasa en el ejido de Venustiano Carranza, el cual se caracterizó por tener la mayor superficie de pastizal respecto del resto de los ejidos.

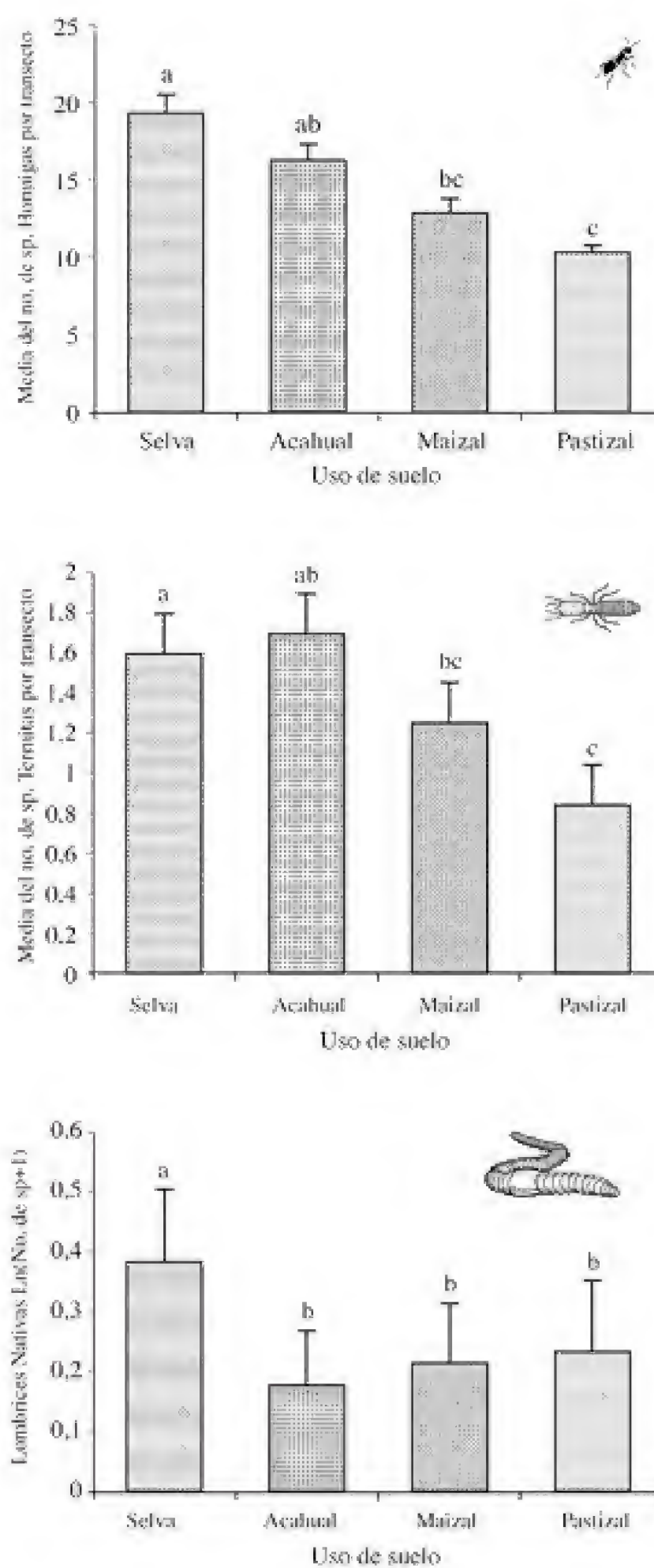


FIGURA 3. Número de especies de hormigas, termitas y lombrices en los tres ejidos, Adolfo López Mateos (LM), San Fernando (SF) y Venustiano Carranza (VC) de Los Tuxtlas, Veracruz. (La barra representa el error estándar y las letras diferencias significativas de acuerdo a la prueba HSD de Tukey).

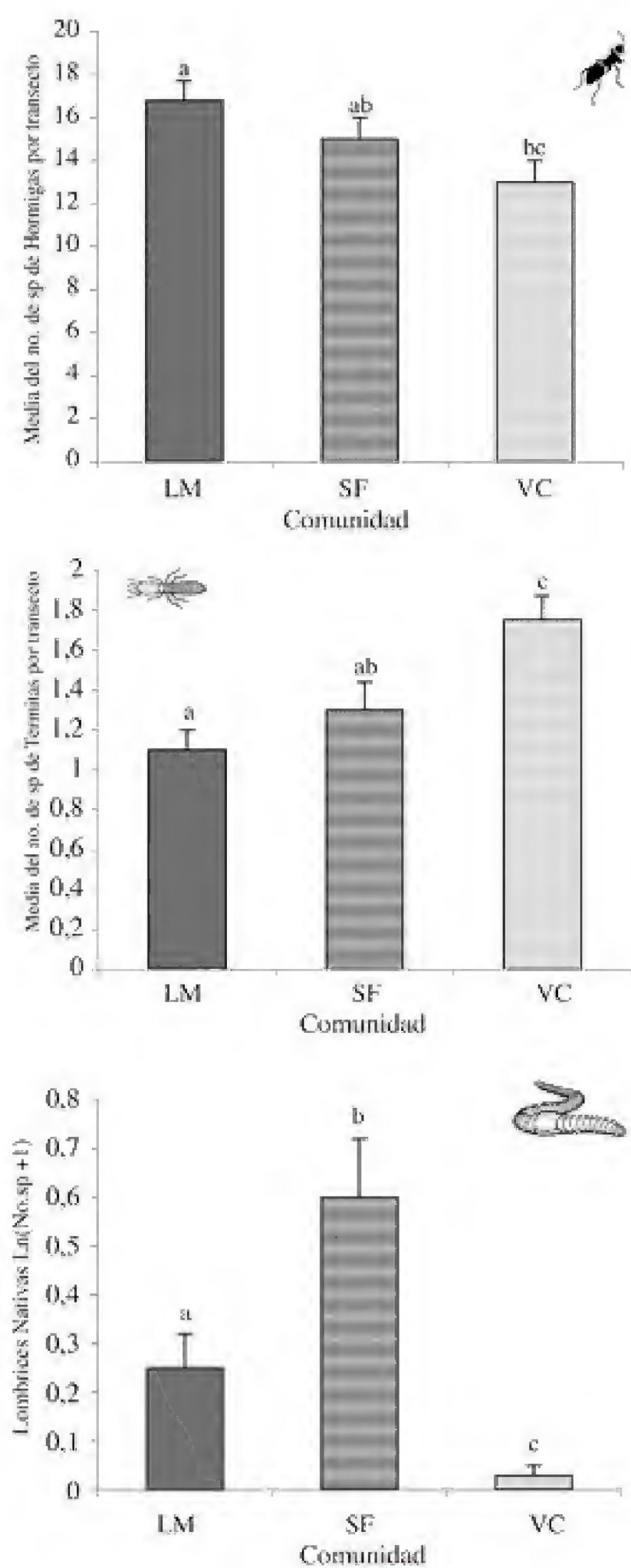


FIGURA 4. Número de especies de hormigas, termitas y lombrices en cuatro usos de suelo (selva, acahual, milpa y pastizal) de Los Tuxtlas, Veracruz. (La barra representa el error estándar y las letras diferencias significativas de acuerdo a la prueba HSD de Tukey).

### Efecto del uso del suelo

Los grupos de las hormigas y termitas también mostraron patrones claros en relación al efecto del uso del suelo en su diversidad. En todos los ejidos, su diversidad fue mayor en selva y acahual, mientras en pastizal y maizal fue menor. Las lombrices nativas también muestran una importante sensibilidad a las actividades productivas, ya que su diversidad disminuyó drásticamente con cualquier cambio de uso de suelo (figura 4). En el caso de los hongos micorrizógenos el maizal tuvo la diversidad más alta.

### Interacción entre paisaje y uso de suelo

Los nemátodos tuvieron más géneros en el ejido San Fernando, mostrando una disminución en su diversidad en el maizal. En la selva del ejido Adolfo López Mateos se presentó un número de géneros menor en nemátodos, hasta un tercio más bajo que el de la selva de San Fernando; además de que en los usos del suelo ésta siguió disminuyendo siendo la menor diversidad (en términos de riqueza de géneros) en los pastizales. En Venustiano Carranza fue en donde la diversidad de nemátodos fue la más baja tanto a nivel del paisaje como a nivel del uso de suelo; además el patrón de diversidad entre usos de suelo fue inverso al de los otros dos sitios, teniendo la selva una diversidad semejante a la del acahual y maizal, en tanto el pastizal registró la diversidad más alta (figura 5).

### Parámetros del suelo en los ejidos y usos de suelo

Existe un gradiente de fertilidad entre los tres ejidos que se debe a diferencias en los factores formadores del suelo en cada sitio; esto genera un desarrollo de suelos diferencial y se reconoce por los valores de pH, textura, conductividad eléctrica y bases intercambiables (cuadro 3), siendo López Mateos el

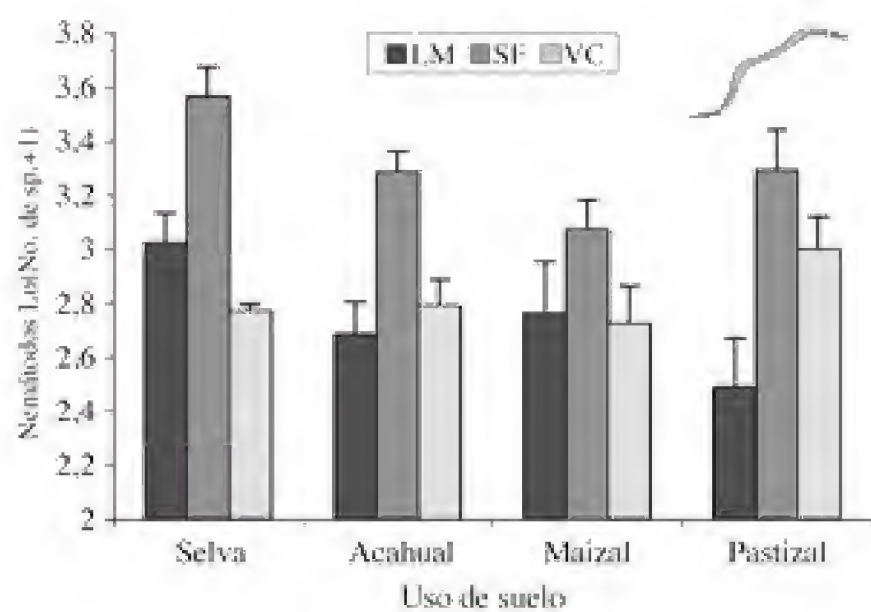


FIGURA 5. Número de especies de nemátodos por usos de suelo en los ejidos Adolfo López Mateos (LM), San Fernando (SF) y Venustiano Carranza (VC) en la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, Veracruz (la barra representa el error estándar).

suelo más fértil y Venustiano Carranza el más pobre debido a su mayor desarrollo y lixiviación, que resulta en valores de pH más bajos y en la pérdida de bases intercambiables. Al interior de los ejidos se reconocen procesos de degradación asociados al cambio de uso de suelo y existe una disminución de la fertilidad conforme aumenta la intensidad de uso del suelo: selva>acahual = pastizal>maíz. En los tres ejidos se reconocen diferencias entre los suelos de selva y los de maíz, por los contenidos más bajos de materia orgánica en los suelos cultivados con maíz, aunado a un aumento de la densidad aparente y una disminución en el porcentaje de porosidad. Las actividades de las enzimas b-glucosidasa y deshidrogenasa no resultaron estadísticamente diferentes al comparar los usos del suelo, pero sí se observa una disminución de las actividades en suelos con cultivo de maíz.

CUADRO 3. Taxones encontrados en cada grupo funcional inventariado en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Ver., en los ejidos de Adolfo López Mateos, San Fernando Sotepan y Venustiano Carranza (proyecto CSM-BGBD).

RESERVA DE LA BIOSFERA LOS TUXTLAS, VERACRUZ MÉXICO						
	FAMILIAS	GÉNEROS	ESPECIES	MORFO-ESPECIES	ESP+ MORFO	TOTAL DE REGISTROS
Bacterias Fijadoras de Nitrógeno		4	8	17	25	190
Hongos Micorrizógenos Arbusculares		8	26	33	59	928
Hongos Fitopatógenos de la Raíz		17	6	16	22	
Nemátodos		130				97 054
Chilópodos (Ciempiés)	4	6		16	16	275
Diplópodos (Milpiés)	20	19	9	23	32	466
Blattarios (Cucarachas)	4		6	9	15	156
Coleópteros (Escarabajos)	52			187	187	3 383
Termitas (Comejen)		7	6	3	9	140
Hormigas		49	44	97	141	1 535
Colémbolos	7					1 808
Oligochaeta (Lombrices de tierra)						
Nativas			4	3		1 166
Exóticas	3	8	6		13	

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El muestreo logró superar las expectativas de diversidad para varios grupos. Para los hongos micorrizógenos se encontró el 25 % de las especies conocidas en todo el mundo y 39 % más de las especies hasta la fecha registradas para México (Varela y Trejo, 2001). En el caso de los nemátodos, la cantidad de géneros encontrada es la más grande reportada hasta ahora para México, ello en comparación con el único estudio exhaustivo llevado a cabo en México sobre nemátodos de suelo y agua dulce (Zullini, 1973, 1977a y b); en dicho trabajo se reportó un total de 42 géneros y 67 especies. Respecto a las hormigas este muestreo permitió obtener 26 % más especies que en un estudio anterior en la misma zona (Cartas, 1993).

A pesar de los esfuerzos del proyecto y de la participación de especialistas en todo el país, hay varios grupos funcionales (hongos micorrizógenos y fitopatógenos, hormigas, coleópteros, milpiés y ciempiés) con una gran cantidad de morfo-especies. Esto se debe al inmenso reto que requiere su identificación. Algunas de estas morfo-especies son probablemente nuevas especies. Éste es sólo un ejemplo más de la carencia de especialistas en taxonomía de organismos del suelo en nuestro país y demuestra la necesidad de promover esta disciplina para que se genere un conocimiento y recursos humanos suficientes que permitan hacer identificaciones rápidas de dichos organismos. Sin este conocimiento detallado de la biodiversidad en el suelo será difícil tomar decisiones más acertadas para manejarla de manera sostenible.

Con la intención de contribuir al acervo y accesibilidad de información de biodiversidad de México, la base de datos de biodiversidad en el suelo, generada por el proyecto BGBD, va a ser incorporada al Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la Conabio (SNIB Proyecto FS001-2007).

Las lombrices nativas, hormigas, termitas y nemátodos resultaron buenos candidatos para ser

utilizados como indicadores de la salud del suelo, debido a la vulnerabilidad que presentan ante los cambios de uso de suelo. En particular la riqueza de especies de hormigas, termitas y lombrices nativas reflejan un gradiente de intensidad de uso del suelo, pero con grados diferentes de sensibilidad. Pero la tendencia es a la pérdida de diversidad conforme se intensifica el uso de suelo y a el amplio desarrollo de especies oportunistas como las hormigas del género *Solenopsis* y la lombriz *Pontoscolex corethrurus*. También el número de especies de *Rhizobia vs Bradyrhizobia* pueden reflejar qué tanto el suelo ha sido manejado. Se observó que en el maizal había principalmente especies de *Rhizobium* que fueron introducidas con el maíz y el frijol y que los *Bradyrhizobia*, noduladores nativos de la selva no fueron recuperados.

El decremento en términos de riqueza de especies no siempre sigue la disminución de la fertilidad. En el ejido Venustiano Carranza se registró el mayor número total de plantas en la selva, a pesar de ser el suelo más pobre, sin embargo, es necesario considerar que la cobertura del área muestreada en este estudio fue mucho mayor, comparada con la de los otros dos ejidos. Así también las termitas fueron más diversas en Venustiano Carranza, y los nemátodos especialmente en los pastizales, que es el uso de suelo mayor en este ejido. En éste, como en otros casos, sin duda existen otras características del paisaje o del manejo del suelo que también determinan su biodiversidad. En estudios posteriores se investigarán los papeles que juegan la distancia a la selva, la historia de uso del suelo y la diversidad espacial del paisaje.

Ahora que se conoce la biodiversidad del suelo en estos sitios, el proyecto BGBD, en su segunda fase, podrá monitorear cómo es afectada por el uso de suelo y se podrá determinar de qué manera se puede manejar el ecosistema o agroecosistema para conservarla. Además, observará el impacto funcional que tiene esta diversidad para lograr hacer un uso sostenible del suelo y mantener o mejorar los

servicios ambientales que ofrece el sistema. Por ejemplo, se podrá inocular, en ciertos usos de suelo o viveros, hongos micorrizógenos o hacer cultivos en rotación con leguminosas para aportar materia orgánica y nitrógeno al suelo y mejorar la salud y productividad de plantas comerciales. Si se tiene éxito, se establecerán parcelas demostrativas que promuevan este tipo de tecnologías y se darán a conocer a los tomadores de decisiones.

## LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J y E. Naranjo-García (eds.), 2003, *Ecología del Suelo en la Selva Húmeda de México*, Instituto de Ecología, Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM, Xalapa, Ver., México, 316 pp.
- CAMARENA, L.M., 2006, *Influencia de la deforestación sobre las comunidades de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) de selvas tropicales y sistemas agroforestales en el volcán Santa Marta, Los Tuxtlas, Ver.*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 68 pp.
- CARTAS, A., 1993, *Aspectos Ecológicos de la Formicofauna (Hymenoptera: Formicidae) del Volcán San Martín Pajapan, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., 78 pp.
- CASTILLO-CAMPOS, G., 2003, *Biodiversidad de la selva baja caducifolia en un sustrato rocoso de origen volcánico en el centro del estado de Veracruz*, tesis doctoral, UAM, México, pp 9-20.
- CORIA, M.L., 2004, *Influencia de la deforestación y el manejo sobre las comunidades de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) de milpas y pastizales en el volcán de Santa Marta de Los Tuxtlas, Ver.*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM, México, 71 pp.
- FAO, ISRIC y SICS, 1999, *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*, M-51 ISBN 92-5304141-2, Roma, 90 pp.
- FRAGOSO, C. y P. Reyes-Castillo (eds.), 2001, *Diversidad, Función y Manejo de la Biota Edáfica en México*, *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie) núm. especial 1, 238 pp.
- FRANCO-NAVARRO, F. y D. Godínez-Vidal, 2006, Soil nematode community under four land use intensities in the Mexican tropic, *Nematropica* 36(2): 125-126.
- HEAL, O.W., J.M. Anderson y M.J. Swift, 1997, Plant Litter quality and decomposition: an historical overview, en G. Caddish y K. Giller (eds.), *Driven by Nature plant litter quality and decomposition*, CAB International UK, pp. 3-30.
- HERNÁNDEZ, L., 2007, *Efecto de diferentes usos del suelo sobre las comunidades de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la Sierra de Santa Marta, Los Tuxtlas, Ver.*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, 80 pp.
- KAY, B.D. y D.A. Angers, 2000, Soil Structure, en Sumner, Malcolm, E. (ed.), *Handbook of soil science*, CRC Press Boca Raton, EUA, pp. 229-276.
- LABRADOR-MORENO, J., 1996, *La materia orgánica en los agrosistemas*, Ministerio de Agricultura y Pesca, España, 174 pp.
- LAVELLE, P., I. Barois, I. Cruz, C. Frago, A. Hernández, A. Pineda y P. Rangel, 1987, Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics, *Biology and Fertility of Soils* 5: 188-194.
- LAVELLE, P. y P.V. Spain, 2001, *Soil Ecology*, Kluwer Academia Publishers, The Netherlands, 654 pp.
- LÓPEZ-CANO, B., 2006, *Diversidad alfa y beta en 4 comunidades vegetales del ejido Adolfo López Mateos, Catemaco, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, 94 pp.
- MONDRAGÓN, G.A. *Evaluación de la actividad enzimática en suelos bajo diferente uso en Los Tuxtlas Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, (en proceso).
- MOREIRA, F., M. S., J. Huising y D. E. Bignell (eds.), 2008, *A Handbook of Tropical Soil Biology. Sampling and Characterization of Below-Ground Biodiversity*. Earthscan Publishers, Reino Unido, 218 pp.

- ROJAS, P., A. Ángeles, J. Amador y L. Hernández, 2006, Diversity of soil ants in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico: land use effects mediated by the amount of forested area, en Resúmenes del XV International Congress of the International Union for the Study of Social Insects, Washington, D.C., EUA.
- RÍOS, M.S.R.C., 2006, *Evaluación de los indicadores de degradación de suelos en el Ejido San Fernando, Veracruz México*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 148 pp.
- VARELA, L. y D. Trejo, 2001, Los Hongos Micorrizógenos Arbusculares como Componentes de la Biodiversidad del Suelo en México, *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie) núm. especial 1: 39-51.
- WARDLE, D.A., R.D. Bardgett, J.N. Klironomos, H. Setälä, W.H. van der Putten y D. H. Wall, 2004, Ecological linkages between aboveground and belowground Biota, *Science* 304: 1620-1633.
- WOLFE, D. 2006. Approaches to monitoring soil systems, en Ball, A. *et al.* (eds.), *Biological approaches to sustainable Soil Systems*, CRC, Boca Raton EUA, pp. 671-682.
- ZULLINI, A., 1973, *Some soil and freshwater nematodes from Chiapas (Mexico)*. *Subterranean fauna of Mexico*, part II, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, pp. 55-96.
- , 1977a, *Some freshwater nematodes of southern Mexico and Guatemala*. *Subterranean fauna of Mexico*, part III, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, pp. 75-85.
- , 1977b, *On certain moss nematodes of Central Mexico*. *Subterranean fauna of Mexico*, part III, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, pp. 87-90.



(Foto: Jorge Morales-Mávil)



---

# RECURSOS HÍDRICOS

## RESUMEN EJECUTIVO

Ana Laura Lara-Domínguez

Veracruz es un estado rico en recursos naturales, abundante agua y una gran extensión territorial. Sus recursos hidrológicos están conformados por una red de cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos agrupados administrativamente en dos Regiones Hidrológicas (Región IX Golfo Norte y Región X Golfo Centro) que fluyen a una amplia planicie costera correspondiente al 73 % (53 155 km<sup>2</sup>) del total del territorio veracruzano, donde se ubican al menos 16 lagunas costeras así como cuatro ríos o estuarios que descargan directamente a la zona marina adyacente, constituida por la plataforma continental, el talud y la llanura abisal.

La amplia red hidrográfica que existe en el estado, determina que el recurso sea accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas, y en el país se sitúa con un alto potencial hidrológico superficial. Se ha estimado que por el estado escurre aproximadamente el 30 % (121 000 hm<sup>3</sup>) del escurrimiento total nacional, destacando, por la magnitud de sus aportaciones,

las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con casi el 14 y 13 %, respectivamente. Asimismo, cuenta con 18 acuíferos con una recarga media anual de 3 085 hm<sup>3</sup>. Esto establece un balance positivo con una oferta potencial de agua de casi 53 273 hm<sup>3</sup>/año (aguas superficiales 50 188 hm<sup>3</sup>/año más la recarga de acuíferos 3 085 hm<sup>3</sup>/año) y una disponibilidad per cápita de 7 058 hm<sup>3</sup>/hab/año siendo ésta una oferta abundante de recursos hidrológicos.

Las lagunas costeras y estuarios, por su ubicación en la planicie costera, se caracterizan por la mezcla de agua dulce proveniente de los ríos y del agua de mar, creando un gradiente de salinidad. Esta propiedad le confiere importantes funciones ya que constituyen reservorios de biodiversidad representados por manglares, pantanos, marismas, vegetación acuática sumergida, que a su vez conforman hábitats de crianza y protección de la fauna acuática salobre, marina y de agua dulce, durante las diferentes etapas del ciclo de vida.

Finalmente, la zona marina del estado ha sido clave para el desarrollo tanto de Veracruz como del país. El litoral del estado tiene una longitud aproximada de 745 km, constituido por costas primarias volcánicas como Los Tuxtlas y costas secundarias formadas por deposición marina como la barra de la Laguna de Tamiahua. El drenaje fluvial que llega a la costa determina las características sedimentarias de la plataforma continental, así como la diversidad de ecosistemas costeros con una gran riqueza de especies.

La zona marina del estado de Veracruz presenta, a diferentes profundidades, masas de agua definidas por sus características de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Es importante resaltar que hasta el momento no se conoce la existencia de una zona de hipoxia, con concentraciones bajas de oxígeno (< 2.0 mg/l), frente a las costas del estado, como ocurre en el norte del Golfo de México en la desembocadura del río Mississippi. Otro rasgo importante en la zona marina es que existe una fuerte estacionalidad de las corrientes de agua, ya que van al sur en el periodo de septiembre a marzo, y hacia el norte en el periodo de mayo a agosto, con un periodo de transición de marzo a abril y de agosto a septiembre.

Debido a que en el estado de Veracruz confluyen aguas procedentes de diferentes estados de la República (México, Hidalgo, Puebla, Oaxaca) en la parte alta de la red hidrológica, de ahí van a la planicie costera y finalmente descargan en el mar, el agua tiene la función primordial de vincular los diferentes componentes del sistema. Por lo que un cambio en la concentración de nutrientes y flujos de energía puede manifestarse en un desequilibrio de los procesos ecológicos que ocurren en los diferentes ecosistemas.

Por ejemplo, los beneficios que la entidad tiene debido a la magnitud del escurrimiento, también afecta a las actividades humanas, ya que aproximadamente el 8 % del territorio está expuesto a inundaciones. Además, la mayoría del sistema hidrológico

muestra algún grado de degradación, siendo la situación de las aguas superficiales la más preocupante.

Las múltiples actividades del hombre, tanto en la zona terrestre como marina, han convertido a esta región de Veracruz en una de las más amenazadas en el Golfo de México. Por otra parte, los fenómenos naturales (ciclones o huracanes, nortes, trombas, lluvias fuertes, entre otros) que ocurren en las costas producen cambios en las características de los ecosistemas marinos y sus componentes.

Las principales fuentes que inducen problemas ambientales a los recursos hidrológicos por las actividades humanas, desde la parte alta de los ríos hasta la zona marina, son:

*Descargas de aguas negras sin tratar.* Contribuyen al crecimiento de microorganismos que determinan que se clasifique como inadecuada calidad del agua debido al elevado índice de coliformes, así como de bacterias patógenas. Esto ha sido exhibido en las lagunas de Tamiahua, Alvarado y del Ostión, ríos Coatzacoalcos y Tonalá y en la zona costera del Puerto de Veracruz. En 2005, el estado contaba con sólo 88 plantas de tratamiento de aguas, de las cuales el 28 % está en operación, por lo que la cobertura de saneamiento del agua es tan sólo del 11.4 %.

*Descargas y escurrimientos de compuestos químicos (biocidas).* Se emplean para aumentar la producción agropecuaria y eliminación de plagas domésticas. Tanto la naturaleza y magnitud del impacto dependerán de los compuestos activos y el ambiente, nivel de la cadena trófica donde incide y la edad de los organismos. Estas descargas de la agricultura son una fuente difusa de contaminación del subsuelo, de las aguas freáticas y de las aguas superficiales. Además de esto, no existe una política de optimización del uso del agua en Veracruz, por ejemplo, en agricultura aún se continúa empleando el sistema de riego de canales a cielo abierto, además tanto parcelas como canales no están revestidos por lo que el excedente de agua se infiltra arrastrando los agroquímicos que se utilizan en esta actividad.

La descarga de aguas residuales industriales representa una fuente de contaminación puntual de efectos muy severos. Entre las industrias que más contribuyen en la entidad se encuentran los beneficios de café, beneficios azucareros, alcoholeras, papeleras, industrias petroquímica y química. Las descargas industriales provenientes de la actividad petrolera están determinando que las concentraciones del petróleo y sus derivados sean altos en sedimentos en la zona costera en comparación con los oceánicos, así como los que se encuentran dispersos en la zona marina, principalmente en las áreas con intenso tráfico marino. Hasta el momento los niveles de hidrocarburos en peces y crustáceos son bajos, pero es una alerta para evitar que aumenten y lleguen a ser tóxicos. Por otro lado, se han registrado metales pesados en las descargas de la industria papeleras y los efectos en los seres vivos varían de acuerdo a las especies y condiciones ambientales donde se encuentren.

Para el uso sustentable del recurso agua en el estado de Veracruz es necesario tener una visión integral, definiendo a la cuenca como la unidad geográfica en la que ocurren la mayor parte de las fases del ciclo hidrológico de interés humano, por lo que se requiere entender los procesos de los ecosistemas que la conforman y operan dentro de ella. Mejorar el conocimiento de los procesos ecosistémicos es esencial para gestionar y salvaguardar los recursos hidrológicos y naturales del estado. Este conocimiento será también importante para desarrollar modelos destinados a comprender fenómenos complejos como, por ejemplo, los relacionados con el cambio climático. Los modelos que se generen serán herramientas preventivas para mitigar las posibles consecuencias de modificaciones ambientales de gran magnitud que pueden interferir con los procesos productivos actuales.



# Hidrología



Octavio Pérez-Maqueo  
Lyssette Muñoz-Villers  
Gabriela Vázquez  
Miguel Equihua Zamora  
Pedro León Romero

## RECURSOS HÍDRICOS

La Comisión Nacional del Agua (CNA) ha dividido al país en Regiones Hidrológico-Administrativas<sup>1</sup>, de las cuales dos involucran a Veracruz: la región IX Golfo Norte<sup>2</sup> y la X Golfo Centro<sup>3</sup>. Sin embargo, para fines de gestión estatal resulta apropiado usar la regionalización hecha en la Ley de Aguas del estado de Veracruz que reconoce cinco regiones: Bajo Pánuco, Norte de Veracruz, Centro de Veracruz, Papaloapan y Coatzacoalcos. La figura 1 muestra la

localización de estas regiones y su relación con las Regiones Hidrológico-Administrativas de la CNA, y el cuadro 1 resume sus principales características.

## ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

La red hidrográfica del estado está conformada por cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos, lo que constituye el recurso más accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas. El potencial

<sup>1</sup> Las regiones hidrológico-administrativas están conformadas por los municipios completos que en mayor proporción quedan dentro de las cuencas que conforman a cada región. En mayo de 1998 fueron publicados en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) los municipios que conforman cada una de las 13 regiones hidrológico-administrativas, y en octubre de 2000 fueron publicados algunos ajustes a esta regionalización (CNA, 2001).

<sup>2</sup> La Región Administrativa IX Golfo Norte cubre una extensión de 127 138 km<sup>2</sup>, que representa 6.5% del territorio nacional. Está conformada por 154 municipios: 40 de Hidalgo, 36 de San Luis Potosí, 30 de Tamaulipas, 23 de Veracruz, 14 de Querétaro, cinco de Guanajuato, cinco del Estado de México y uno de Nuevo León. Su escurrimiento superficial total es de 22 772 hm<sup>3</sup>/año

<sup>3</sup> La Región Administrativa X Golfo Centro cubre una extensión de 104 631 km<sup>2</sup> (5% del territorio nacional). Se integra con 443 municipios: 187 de Veracruz, 161 de Oaxaca, 90 de Puebla y cinco de Hidalgo. Su escurrimiento superficial total es de 98 930 hm<sup>3</sup>/año, por lo que a nivel nacional ocupa el segundo lugar, superada por la Región XI Frontera Sur (CNA, 2003b). (Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Comisión Nacional del Agua (CNA). Región X Golfo Centro, Mexico).

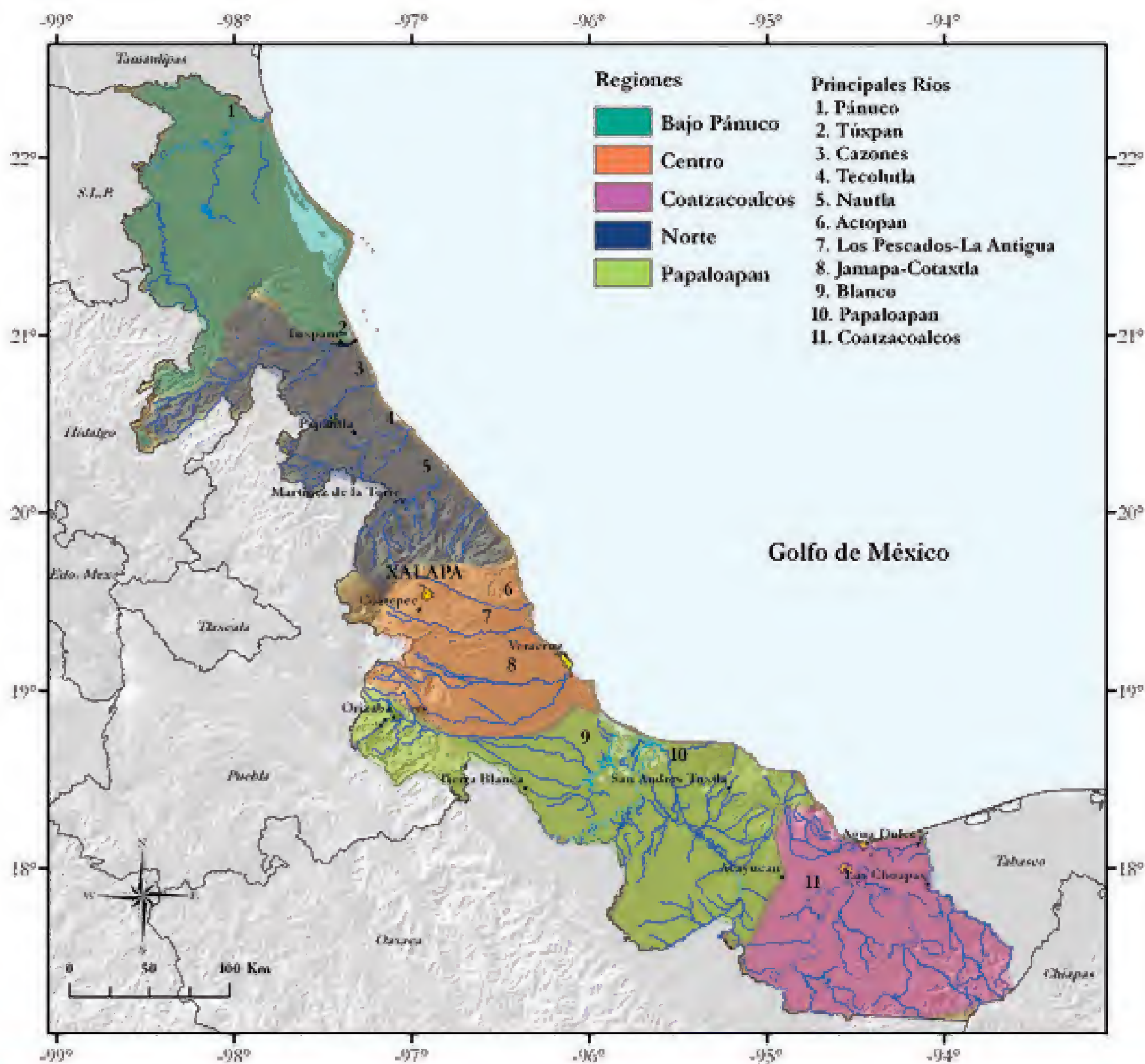


FIGURA 1. Regiones Hidrológicas de Veracruz. (Fuentes: CNA (1998) y Conabio (2003)).

hidrológico superficial de Veracruz es de los más altos del país. El escurrimiento superficial anual medio es de 121 000 hm<sup>3</sup> (millones de m<sup>3</sup>) –casi 30 % del escurrimiento superficial total nacional, que es aproximadamente de 410 000 hm<sup>3</sup>–. El escurrimiento natural (volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica) que se genera es de 50 188 hm<sup>3</sup>, y la disponibilidad per cápita para el

2005 fue de 7 058 m<sup>3</sup> (CSVA, 2005). Aunque el escurrimiento per cápita es alto, año con año se ha ido reduciendo y de acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población, esta tendencia se mantendrá al menos hasta el año 2020 (figura 2). Destacan, por la magnitud de su aportación, las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con aproximadamente el 14 y el 13 % del escurrimiento total del estado, respectivamente (cuadro 1).

CUADRO 1. Principales características de la Regiones Hidrológicas de Veracruz. (Fuente: modificado de CSVA, 2005).

REGIÓN	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> ) Y % DE SUPERFICIE ESTATAL	ESCURRIMIENTO hm <sup>3</sup>	CUENCAS	CIUDADES PRINCIPALES	NÚMERO DE MUNICIPIOS	POBLACIÓN (HABITANTES)
Bajo Pánuco	9 375 (13.11 %)	2 689	Bajo Pánuco y Tempoal	Pánuco, Anáhuac, Benito Juárez, Tantoyuca y Tempoal	15	457 636
Norte de Veracruz	17 585 (24.6 %)	9 934	Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla y Laguna de Tamiahua	Poza Rica de Hidalgo y Tuxpan de Rodríguez Cano	48	1 620 683
Centro de Veracruz	10 426 (14.58 %)	5 643	Alto Balsas Actopan, Antigua y Jamapa-Cotaxtla	Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río y Xalapa de Enríquez	58	2 081 897
Papaloapan	19 530 (27.32 %)	15 592	Río Blanco, San Juan, Tesechoacán y Papaloapan	Córdoba, San Andrés Tuxtla y Orizaba	68	1 950 515
Coatzacoalcos	14 576 (20.39 %)	16 330	Coatzacoalcos, Uxpanapa, Huazuntlán y Tonalá	Minatitlán y Coatzacoalcos	23	1 002 517

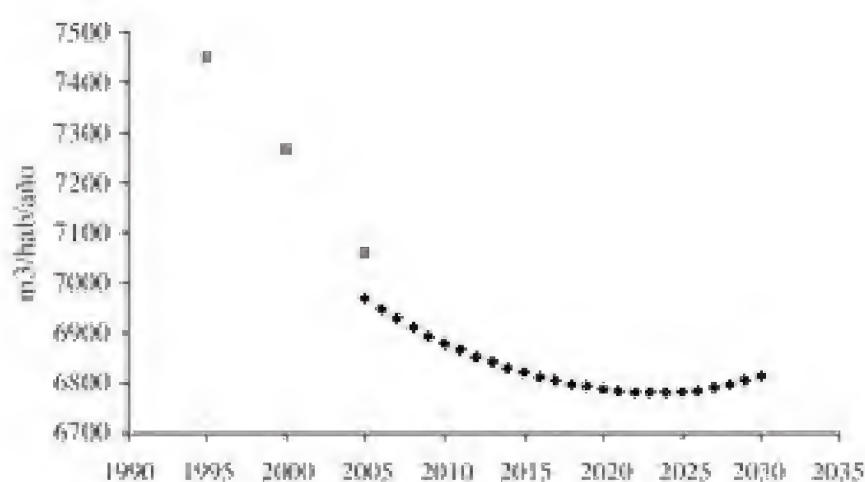


FIGURA 2. Escurrimiento per cápita para el estado de Veracruz. (Fuentes: CSVA, 2005 y Conapo, 2006) calculados con base al escurrimiento natural (7 058m<sup>3</sup>) reportado por CSVA (2005); los conteos de Población y Vivienda 1995, 2000 y 2005 (datos en cuadros, INEGI, <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10202>) y las proyecciones (datos en rombos) del Conapo (<http://www.conapo.gob.mx/00cifras/5.htm>). La diferencia en el valor para el 2005 se debe al ajuste realizado por Conapo al número de habitantes (Conapo, 2006).

## AGUA SUBTERRÁNEA

De acuerdo con la CNA, Veracruz cuenta con 18 acuíferos, los cuales tienen una recarga media anual de alrededor de 3 085 hm<sup>3</sup>. El balance hídrico realizado por la CNA presenta balances positivos, con una disponibilidad media anual en los principales acuíferos en el estado de acuerdo con lo señalado en el cuadro 2. No obstante, la CNA reporta que los acuíferos “costera de Veracruz” y “costera de Coatzacoalcos” presentan problemas de intrusión salina (CNA, 2003).

## CONCLUSIONES

La oferta potencial anual global de agua en Veracruz, es del orden de 53 273 hm<sup>3</sup>/año. Este total proviene de 50 188 hm<sup>3</sup>/año de aguas superficiales y 3 085 hm<sup>3</sup>/año que corresponden a la recarga de

CUADRO 2. Disponibilidad de agua en los principales acuíferos de Veracruz.

REGIÓN	NÚMERO CNA	ACUÍFERO	VOLÚMENES (hm <sup>3</sup> ANUALES)			CONDICIÓN
			Recarga	Salidas	Disponibilidad	
Bajo Pánuco	3017	Tampico-Misantla (1)	22.55	22.16	0.39	Equilibrio
Norte de Veracruz	3001	Poza Rica (1)	3.69	1.14	2.55	Subexplotado
	3002	Tecolutla (1)	14.75	6.47	8.28	Subexplotado
Centro	3003	Martínez de la Torre-Nautla	73.08	19.11	53.97	Subexplotado
	3014	Álamo-Tuxpan (1)	42.02	26.06	15.96	Subexplotado
	3004	Perote-Zalayeta	46.8	18.19	28.61	Subexplotado
	3005	Valle de Actopan	400.42	347.32	53.1	Subexplotado
	3006	Costera de Veracruz	508.27	336.69	171.58	Subexplotado
	3008	Cotaxtla	163	131.22	31.78	Subexplotado
	3018	Jalapa-Coatepec (2)				
Papaloapan	3007	Orizaba-Córdoba	109.5	93.74	15.76	Subexplotado
	3009	Omealca-Huixcolotla (1)	46.6	20.06	26.54	Subexplotado
	3010	Los Naranjos	1101.46	588.39	513.07	Subexplotado
	3011	Soteapan-Hueyapan (1)	23.74	5.85	17.88	Subexplotado
	3016	Sierra de San Andrés Tuxtla (1)	56.12	7.59	48.53	Subexplotado
	3019	Cuenca Río Papaloapan	129	70.52	58.48	Subexplotado
Coatzacoalcos	3020	Costera del Papaloapan (1)	172.66	28.58	144.08	Subexplotado
	3012	Costera Coatzacoalcos (1)	172.2	46.65	125.55	Subexplotado
		Total	3 085.86	1 769.74	1 316.11	

Modificado de CSVA (2005) .

(1) Disponibilidad no publicada por CNA.

(2) No se cuenta con información de este acuífero.

aguas subterráneas. Con estos valores se le puede ubicar con una disponibilidad per cápita de 7 058 m<sup>3</sup>/hab/año siendo ésta una oferta abundante de recursos hidrológicos. Paradójicamente, es posible que la abundancia en los escurrimientos superficiales haya sido inducida por la modificación del entorno natural, al sustituir las masas forestales originales por campos agrícolas y pecuarios. Por otra parte, la calidad del agua de los ríos o aguas superficiales que se encuentran en microcuencas con alto porcentaje de agricultura o zonas urbanas, generalmente es mala, ya que los ríos reciben contaminantes de diferentes tipos.

Para conservar la cantidad y calidad de los escurrimientos superficiales y subterráneos y poder darles diferentes usos, es recomendable tomar las siguientes medidas: conservar zonas boscosas que ayuden en la regulación de flujos y zonas riparias que sirvan de trampas de sedimentos y nutrientes para evitar el azolve y eutrofización de los sistemas

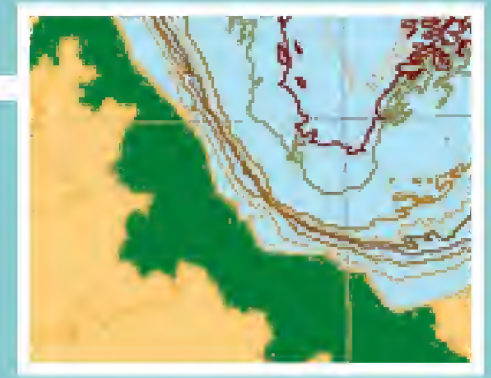
acuáticos, tanto superficiales como subterráneos. Además es importante evitar que se viertan desechos urbanos o industriales directamente en los sistemas.

AGRADECIMIENTOS. Parte de la información de este capítulo se obtuvo del proyecto apoyado por SEP CONACYT 43082.

#### LITERATURA CITADA

- CNA, 2003, Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Comisión Nacional del Agua (CNA), Región X Golfo Centro, Mexico.
- CSVA, 2005, Programa Hidráulico Estatal, Consejo Estatal Veracruzano del Agua.

## La zona marina



Carlos González-Gándara

### RASGOS DEL AMBIENTE MARINO

El litoral veracruzano tiene una longitud aproximada de 745 km, constituye un poco más del 10 % del total nacional. En él se presentan costas primarias volcánicas por flujo de lava y de tefra (*e.g.* Los Tuxtlas) y por deposición subaérea generada por el viento y los ríos; así como también de costas secundarias formadas por deposición marina (*e.g.* Laguna de Tamiahua) y arrecifes de coral (Contreras, 1993).

Uno de los rasgos relevantes de las costas de Veracruz lo constituye el drenaje fluvial producto de la desembocadura de los ríos Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, La Antigua, Jamapa, Blanco, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá. Éstos determinan en gran medida las características sedimentarias de la plataforma continental y la diversidad biológica que se manifiesta en una amplia gama de ecosistemas costeros y una gran riqueza de especies. Los rasgos geomorfológicos de la zona marina incluyen: 1) la plataforma continen-

tal, 2) el talud y 3) la llanura abisal; la primera, se extiende desde la costa hasta los 200 m de profundidad; en particular, Veracruz presenta la plataforma más angosta comparada con el resto del Golfo de México (figura 1). Aldeco-Ramírez y Sánchez-Juárez (2002) señalan que su anchura promedio es de 33.6 km y cubre un área aproximada de 23 700 km<sup>2</sup>. Ésta se vuelve más estrecha (6 a 16 km) en la zona volcánica de Los Tuxtlas (Toledo-Ocampo, 2005). Por su parte, el talud continental es un área de pendiente acentuada y sus dimensiones son amplias frente a las costas veracruzanas (figura 2). De la Lanza (1991) refiere que hacia el sur es diseado por valles submarinos que generan un relieve irregular y hacia el centro es sinuoso con domos salinos que forman cordones. La llanura abisal está formada por dos provincias, una provista de una serie de plegamientos orientados en sentido noreste-suroeste en el centro y norte de Veracruz y otra de domos salinos en el sur, las cuales están separadas por la fosa tectónica ubicada frente a la zona volcánica de Los Tuxtlas.

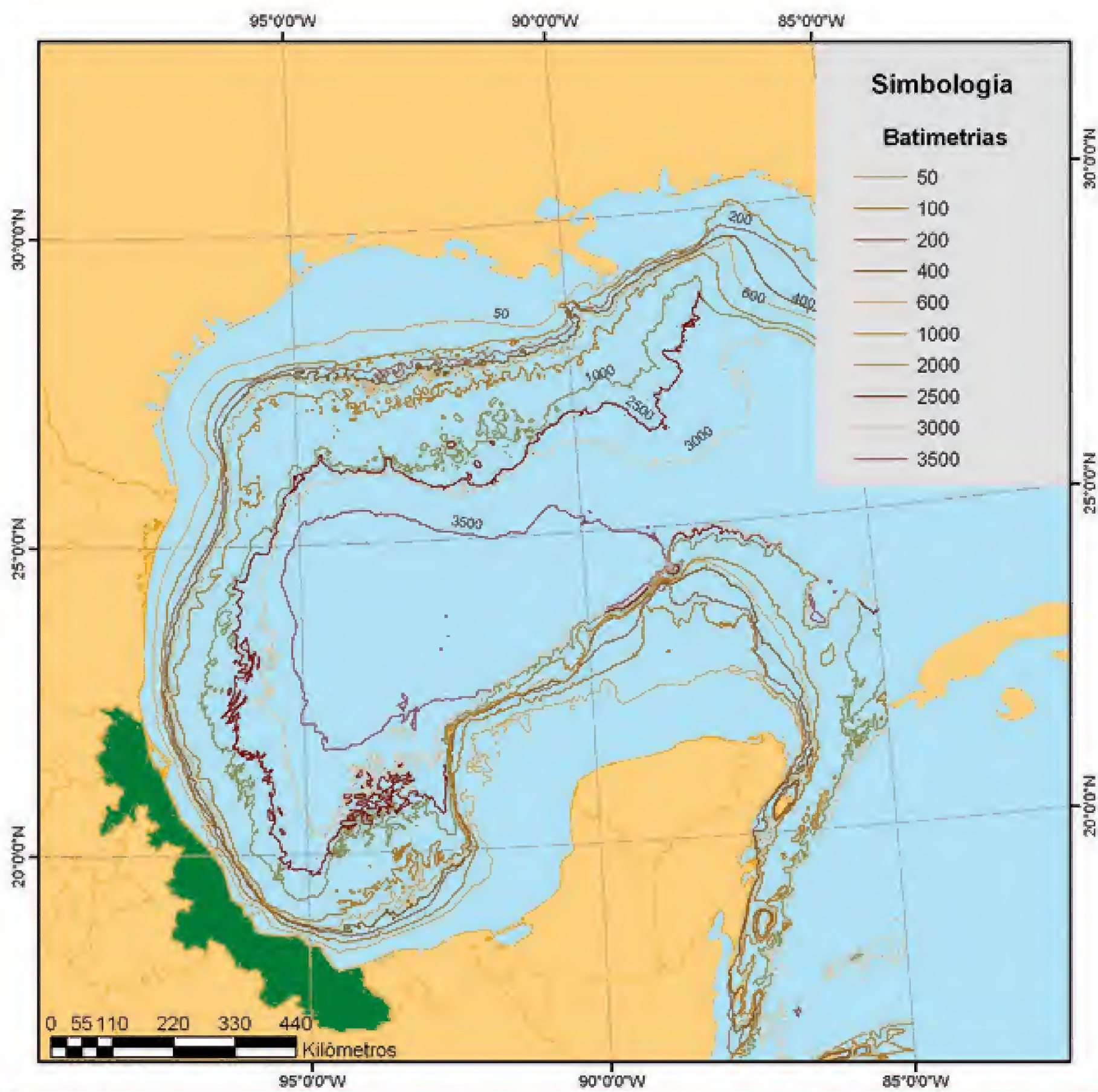


FIGURA 1. Batimetría del Golfo de México. Fuente: modificado de Martínez-López y Parés-Sierra, 1998 (Elaborado por: Marbella Martínez).

**Los sedimentos**

El drenaje de los ríos, la actividad volcánica, la deposición aérea y marina, así como las actividades agrícolas, ganaderas, industriales y comerciales han contribuido para definir las propiedades sedimenta-

rias marinas del estado. De manera general, las playas de Veracruz, al igual que otras del Golfo de México, presentan un alto contenido de cuarzo debido al transporte fluvial (Carranza-Edwards *et al.*, 2004). La plataforma continental de Veracruz es un ambiente de depósito representado por cinco

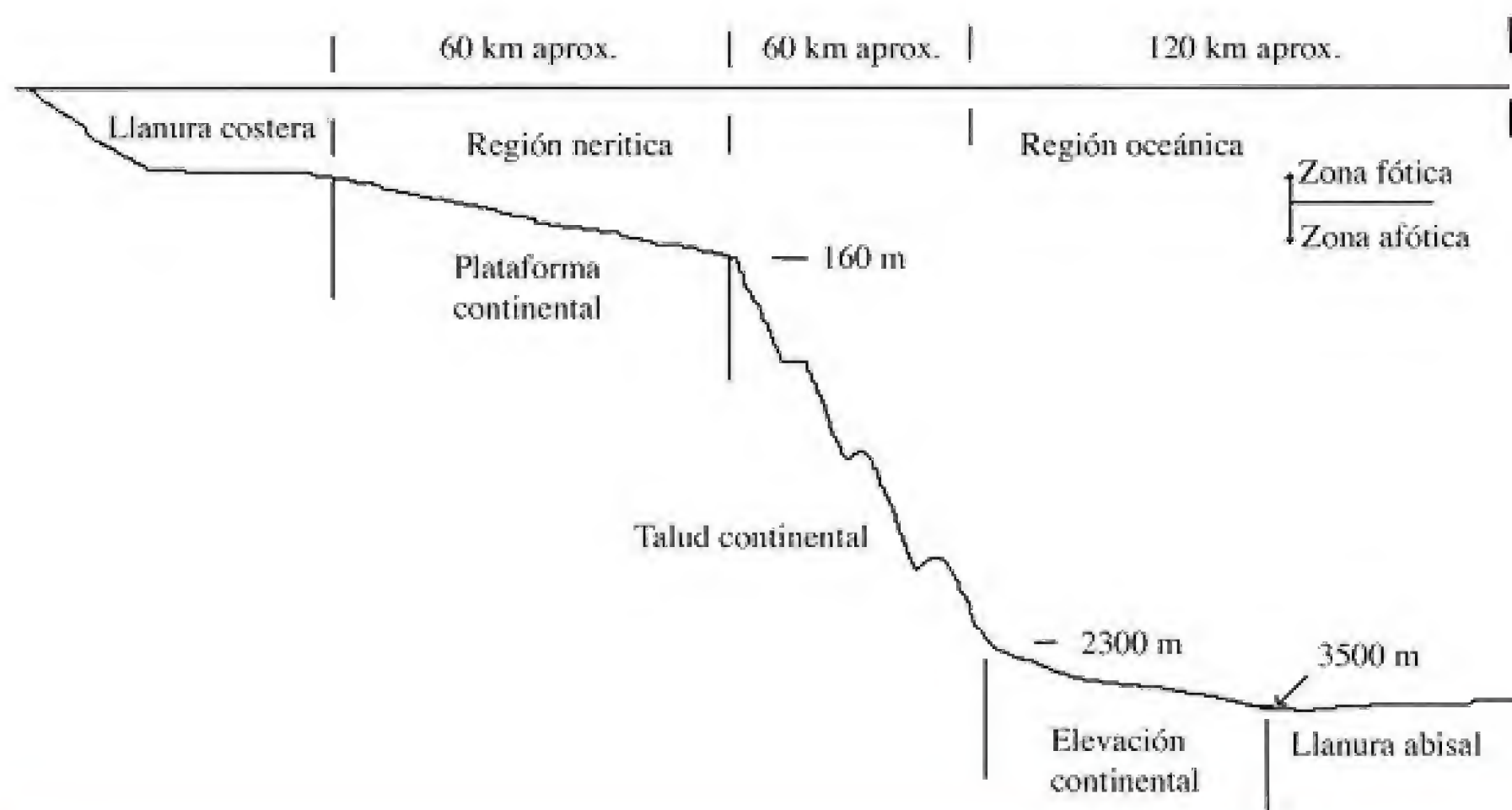


FIGURA 2. Rasgos de la zona marina de Veracruz. Fuente: Tomada de Aldeco-Ramírez y Sánchez-Juárez, 2002 (Elaborado por: Marbella Martínez).

litofacies: 1) arcillo-calcárea, 2) calcáreo-arcillosa, 3) arena-calcárea, 4) calcárea y 5) calcárea-arenosa (figura 3). Los sedimentos sobre la plataforma continental, en general, son más finos a medida que aumenta la profundidad (Campos-Castán, 1986). Entre Veracruz y la frontera con Tabasco se ubican dos zonas arenosas, una en el área de influencia de los arrecifes de Veracruz y Antón Lizardo y otra en el área de influencia del río Coatzacoalcos; las arcillas se ubican entre Roca Partida y el río Coatzacoalcos.

### Masas de agua

Las tres masas de agua marina que arriban a las costas de Veracruz son las mismas que ingresan al Golfo de México: 1) La masa que se forma al oeste del Mar de los Sargazos y el sureste de la corriente

del Golfo; 2) la que se forma al sureste de Brasil y 3) la que se forma en la parte meridional del Atlántico sur (Vázquez de la Cerda, 2004). Nowlin (1971) establece la existencia de varias masas de agua en el Golfo de México (figura 4). La capa superficial o de mezcla ocupa los primeros 100 a 150 m y es afectada por fenómenos climáticos atmosféricos, así como por el flujo de agua cálida y salina procedente del Caribe. Debajo de ésta se encuentra otra capa con más de 17 °C que posiblemente es resultado de la mezcla vertical de la masa de agua subtropical subsuperficial, que ocupa profundidades de 150 a 250 m, y se caracteriza por una salinidad máxima de 36.6 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) y bajo contenido de oxígeno. Por debajo de los 250 m y hasta los 900 m, se encuentra una capa con temperaturas que van de 19 a 6.3 °C y salinidades de 35 a 36 UPS. En esta capa se detecta un estrato de

mínimo oxígeno que se modifica de acuerdo a las características regionales, por ejemplo, en las aguas del oeste del Golfo de México, donde se ubica Veracruz, la capa de mínimo oxígeno ocurre desde los 200 hasta los 500 m de profundidad. Después de

los 900 m de profundidad, se localiza una capa de Agua Antártica Intermedia (AIA) que se caracteriza por una salinidad de 34.86 a 34.89 UPS y temperaturas de 6.2 °C. Por debajo de ésta y hasta los 1 400 m de profundidad, se ubica otra capa de transición



FIGURA 3. Distribución de sedimentos en el Golfo de México y Mar Caribe. FUENTE: De la Lanza, 1991(Elaborado por: Marbella Martínez).

caracterizada por una temperatura decreciente y una salinidad que aumenta hasta llegar a la zona que corresponde al Agua de Fondo, cuya temperatura es de 4 °C y una salinidad de 34.96 UPS a una profundidad de 1 500 m (Nowlin, 1971).

### Circulación

Los patrones de circulación en las costas de Veracruz se relacionan con la influencia de las aguas cálidas y salinas que entran a través del canal de Yucatán y salen por el estrecho de Florida, formando la Corriente del Lazo (De la

Lanza, 1991; Vázquez de la Cerda, 2004). La columna de agua de la plataforma de Veracruz presenta una fuerte estacionalidad, las corrientes se mueven al sur en el periodo de septiembre a marzo y hacia el norte en el periodo de mayo a agosto, con un periodo de transición de marzo a abril y de agosto a septiembre. Zavala-Hidalgo *et al.* (2003), refieren que éstas son las corrientes costeras más fuertes y variables del Golfo de México.

Por otra parte, las aguas de la plataforma marina de Veracruz presentan inversiones térmicas estables causadas por la advección de agua fría y de baja salinidad procedente de la plataforma de Louisiana y

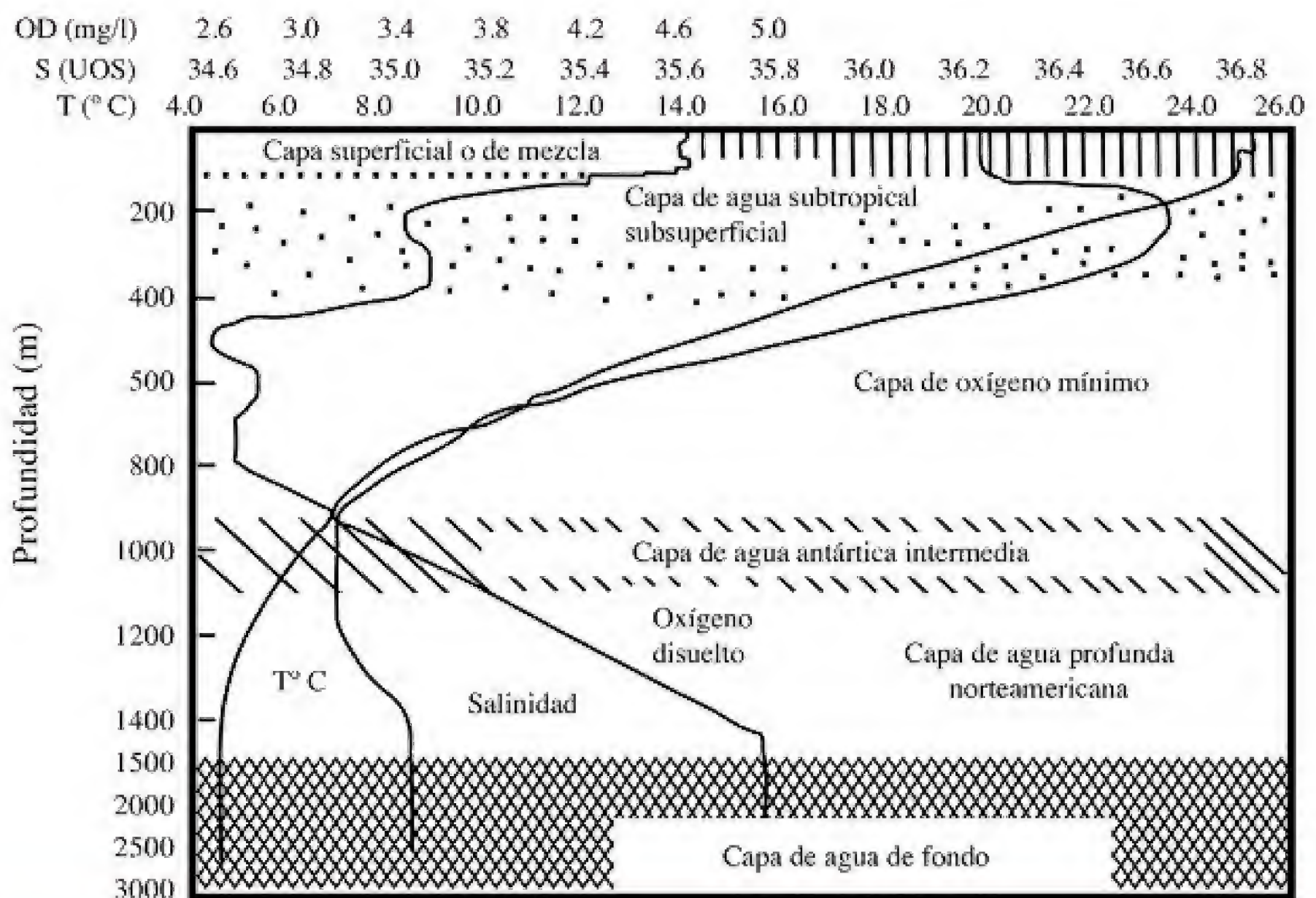


FIGURA 4. Diagrama vertical de las masas de agua del Golfo de México. FUENTE: Nowlin, 1971 (Elaborado por: Marbella Martínez).

Texas. En el verano, la estratificación vertical se incrementa con la llegada de agua cálida oceánica y la penetración de agua de baja salinidad procedente del drenaje continental (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003). Un rasgo importante que se produce en la plataforma de Tamaulipas y Veracruz es el afloramiento, que consiste en el movimiento de nutrientes de aguas profundas hacia las someras y que se debe a la penetración de agua de profundidad intermedia (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003).

### Las corrientes superficiales

Las corrientes superficiales en la zona marina de Veracruz presentan un flujo de agua que permanece casi constante y sin cambios significativos en su dirección, sin embargo, la velocidad es mayor en verano y menor en invierno (Secretaría de Marina, 1974). En la circulación superficial de verano del Golfo de México se han observado dos rasgos, una corriente al oeste localizada en el Banco de Campeche y otra hacia el norte de Veracruz, Tamaulipas y sur de Texas (Martínez-López y Parés-Sierra, 1998).

### Las mareas

Las mareas en Veracruz, al igual que ocurre para el Golfo de México, en general son diurnas. Los valores más altos del nivel del mar aumentan hacia el sur del estado, donde la estación de Coatzacoalcos presenta el valor más alto (189 a 213 cm), posiblemente debido a las características geomorfológicas de esta zona (De la Lanza, 1991).

### Los fenómenos meteorológicos

Las costas veracruzanas se ven afectadas por fenómenos como los nortes y los ciclones tropicales. Los nortes son

masas de aire polar que se desplazan de noroeste a noreste, con velocidades variables de 30 a 100 km por hora y rachas mayores. Para Veracruz, la mayor ocurrencia de éstos es durante los meses de octubre a abril. Por otro lado, los ciclones tropicales se manifiestan de junio a septiembre. Ambos fenómenos generan modificaciones en los ecosistemas y sus componentes.

### Los factores fisicoquímicos

La temperatura reportada para el Puerto de Veracruz indica una máxima de 39.5 °C y una mínima de 12.0 °C, por su parte, la salinidad es un factor asociado a la temperatura y sus valores para las costas de Veracruz oscilan entre 0.0 y 41.1 UPS. El oxígeno disuelto al igual que los parámetros anteriores es variable en las aguas litorales. Sus valores fluctúan entre 2.4 ml/l y los cambios son continuos e intensos debido a las etapas estacionales en la actividad biológica y la topografía, además de la mezcla de agua dulce continental con el agua marina. En contraste, en el mar abierto la oxiclina (cambio abrupto de la concentración de oxígeno disuelto con la profundidad) va de los 80 a los 240 m, siendo más somera en el invierno (100 a 160 m) y alcanza el mínimo (2.4ml/l) a los 300 m (Secretaría de Marina, 1982). A las masas de agua cuya concentración de oxígeno disuelto alcanza valores por debajo de 2 mg/l (1.4 ml) se les asocia el término hipoxia. Los valores de estos factores varían en función de: 1) la dinámica de las masas de agua, 2) las corrientes, 3) las mareas, 4) el drenaje fluvial y 5) las actividades humanas. Por ejemplo, la concentración de nitratos de origen fluvial promueve la producción primaria local, conllevando a una actividad biológica elevada que consume el oxígeno disuelto (Rabalais *et al.*, 2002).

### Nutrientes

El comportamiento de los nutrientes en la zona marina de Veracruz responde, en general, a la diná-

mica propia del ecosistema marino, donde los patrones de circulación están definidos por las estaciones del año, el ascenso y descenso de aguas del fondo debido a los giros ciclónicos y anticiclónicos, además de los aportes continentales. En el oeste del Golfo de México no se detectan nitratos superficiales, excepto en el verano frente a la Laguna Madre, Tamaulipas, donde los valores de 1.20  $\mu\text{g-at/l}$  aumentan hacia los 500 m hasta 30  $\mu\text{g-at/l}$ . Al igual que los nitratos, los nitritos tienen un comportamiento parecido, las concentraciones son de 0.2  $\mu\text{g-at/l}$  y en mar abierto aumentan hasta 0.3-0.4  $\mu\text{g-at/l}$  a 400 m de profundidad. El fósforo y su distribución son poco conocidos, los ortofosfatos mantienen niveles de 0.1 a 0.3  $\mu\text{g-at/l}$  hasta los 100 m de profundidad y luego se registran 2.5  $\mu\text{g-at/l}$  a 200 m como resultado del giro anticiclón mexicano (Moulin, 1980). La materia orgánica, los sólidos totales suspendidos y el material orgánico suspendido son muy abundantes en el Golfo de México, particularmente en las aguas que se desplazan sobre la plataforma continental, con 54.6 % y en las superficiales de mar abierto 49.5 %. El contenido decrece a los 10 m de profundidad hasta 22.7 %. El carbono orgánico disuelto presenta valores de 0.8  $\mu\text{g-at/l}$  frente a las costas de Veracruz en aguas superficiales (Fredericks y Sackett, 1970) y una variación estacional especialmente en zonas cercanas a la costa.

## CONCLUSIONES

La zona marina del estado de Veracruz presenta características sedimentarias, geomorfológicas y ecológicas que reflejan la influencia de los aportes fluviales, la actividad volcánica, la deposición aérea y atmosférica, las masas de agua y las actividades humanas.

Las propiedades fisicoquímicas de las áreas marinas de Veracruz se establecen por la dinámica de las masas de agua oceánica que definen los patrones de circulación y las corrientes superficiales. Los valores

de temperatura, oxígeno disuelto y nutrimentos, que en general son más altos en las partes someras con respecto a las profundas, se ven altamente influenciados por los fenómenos meteorológicos, los afloramientos, el drenaje continental y la estacionalidad.

Hasta el momento no se conoce de la existencia de una zona con concentraciones bajas de oxígeno frente a las costas del estado, como ocurre en el norte del Golfo de México en la desembocadura del río Mississippi.

**AGRADECIMIENTOS:** Al laboratorio de SIG del Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) de la Universidad Veracruzana por la elaboración de las figuras.

## LITERATURA CITADA

- ALDECO-RAMÍREZ, J. y J. M. Sánchez-Juárez A., 2002, Ambiente marino y estuarino. en Guzmán-Amaya, P., C. Quiroga-Brahms, C. Díaz-Luna, D. Fuentes-Castellanos, C. M. Contreras y G. Silva-López (coords.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad Veracruzana, pp. 2-11.
- CAMPOS-CASTÁN, J., 1986, Características sedimentológicas y microfaunísticas de la plataforma y talud continental entre Veracruz, Ver. y Frontera, Tab., Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina, Investigación Oceanográfica, *Geología Marina* 3(2):63-114.
- CARRANZA-EDWARDS, A. L. Rosales-Hoz, M. Caso-Chávez y E. Morales de la Garza, 2004, La geología ambiental de la zona litoral, en Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

- Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto de Ecología/ Harte Research Institute for Gulf of México Studies, pp. 571-601.
- CONTRERAS, E. F., 1993, *Ecosistemas costeros mexicanos*, 1ª ed. Conabio/UAM, México, 415 pp.
- DE LA LANZA, E. G. (comp.), 1991, *Oceanografía de mares mexicanos*, 1ª ed. AGT, México, 569 pp.
- FREDERICKS, D. A. y W. M. Sackett, 1970, Organic carbon in the Gulf of Mexico, *Journal Geophysical Research* 75(12): 2199-2206.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ, B. y A. Parés-Sierra, 1998, Circulación del Golfo de México inducida por mareas, viento y la Corriente de Yucatán, *Ciencias marinas* 24(1):65-93.
- MOULIN, R. J., 1980, *Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México*, Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía, 47 pp.
- NOWLIN, W. D., 1971, Winter circulation patterns and property distributions, en Capurro, L. R. A. y J. L. Reids (eds.), en *Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico*. Gulf Publishing Company, Houston, pp.3-51.
- RABALAIS, N.N., R.E. Turner y D. Scavia, 2002, Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River, *Bioscience* 52: 129-142.
- SECRETARÍA DE MARINA, 1974, *Atlas Oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe*, Sección I, Mareas y Corrientes OSM, núm. 100, 38 pp.
- SECRETARÍA DE MARINA, 1982, *Comportamiento físico químico del agua en el arrecife de Isla Verde, Ver.*, Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina, Veracruz, 70 pp.
- TOLEDO-OCAMPO, A., 2005, Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México, en Botello, A. V., Rendon-von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.), *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias*, 2ª ed, Universidad Autónoma de Campeche/ Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 25-51.
- VÁZQUEZ de la Cerda, A. M., 2004, Análisis descriptivo de las masas de agua oceánica que arriban al Golfo de México, en Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto de Ecología/Harte Research Institute for Gulf of México Studies, pp. 69-104.
- ZAVALA-HIDALGO, J., S. L. Morey y J. J. O'Brien, 2003, Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journ, Geophysical Research* 108(C12): 3389, doi:10.1029/2003JC001879.

# Lagunas costeras y estuarios



Ana Laura Lara-Domínguez  
Francisco Contreras Espinosa  
Ofelia Castañeda-López  
Everardo Barba-Macías  
Marco Aurelio Pérez-Hernández

## INTRODUCCIÓN

El litoral mexicano abarca 11 592.77 km<sup>2</sup>, y se caracteriza por sus variados y ricos ecosistemas costeros como: bahías, ensenadas, lagunas costeras y estuarios que, por siglos, han representado un sustento importante para los mexicanos. En todo el país existen entre 125 y 130 lagunas costeras que abarcan un área de 15 000 km<sup>2</sup>. Las lagunas costeras se definen geomorfológicamente como depresiones en la costa por debajo del promedio máximo de las mareas más altas, siempre protegidas de las fuerzas del mar por algún tipo de barrera que puede ser de tipo físico, principalmente de arena, y con comunicación con el mar de manera permanente o efímera; o barrera tipo hidrodinámica por la presencia de agua dulce y agua de mar (Lankford, 1977).

Otro rasgo importante en la zona costera es la descarga de los ríos directa al mar, a lo que se denomina como estuarios. Estos rasgos se definen hidrodinamicamente como cuerpos de agua costeros, semicerrados con conexión libre al mar y dentro del

cual el agua de mar se diluye significativamente con el agua dulce que proviene del drenaje terrestre (Pritchard, 1967). Tanto las lagunas costeras como los estuarios son ecosistemas que destacan por su importancia económica, ya que son áreas de pesca artesanal y medio de vida de miles de pescadores. Además, su importancia radica en la función ecológica de su alta productividad primaria que permite a estos ecosistemas ser un lugar de crianza, reproducción y resguardo de muchos organismos acuáticos de valor comercial, permitiendo así concentrar un gran espectro de la biodiversidad.

Las costas enfrentan graves efectos negativos no sólo por las actividades que ahí se desarrollan, sino por su interacción con zonas continentales (figura 3). Destacan las descargas domésticas e industriales, escurrimientos superficiales, arrastre y contaminación del suelo, aumento en la implementación de caminos costeros y el consecuente incremento en el tráfico de vehículos, la extracción petrolera, los desarrollos turísticos y sobre todo su fragilidad ante los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos



FIGURA 1. Esquema de la Laguna La Mancha, compuesta por fotografías aéreas (2006) proporcionadas por el Inecol (López-Portillo *et al.*, 2008).

(tormentas, huracanes, inundaciones, entre otros). Todo esto se refleja en procesos de deterioro que se resumen en dos puntos: 1) el incremento en la contaminación costera y 2) la pérdida y deterioro de los ecosistemas y recursos costeros (Vázquez-Botello *et al.*, 1996; Steer *et al.*, 1997).

En este sentido, en el litoral del estado de Veracruz los cuerpos lagunares cubren un área de 1 166 km<sup>2</sup> (7.4 % del total nacional). Las características de estos cuerpos son muy variables en cuanto a sedimentación y geomorfología que dependen principalmente del relieve, clima, oleaje, entre otros. En general, las costas del Golfo de México se clasifican como de mares marginales, ya que descienden gradualmente desde la Sierra Oriental de México, conformando una planicie costera típicamente amplia y de bajo relieve (Inman y Nordstrom, 1971; Carranza Edwards *et al.*, 1975; Lankford, 1977). En la planicie costera del estado de Veracruz se presentan costas de alto relieve en dos áreas: las elevaciones de Xalapa y los volcanes de Los Tuxtlas, que constituyen el final del cinturón volcánico Trans-Mexicano. Asimismo, el litoral del estado queda incluido en la zona denominada Costa Centro Oriental, y abarca, aproximadamente, 675 km de línea de costa en desarrollo longitudinal y casi 614 km de aguas protegidas o interiores (Ortiz Pérez y De la Lanza, 2006).



FIGURA 2. Vista panorámica de la boca conexión de la Laguna del Ostión abierta por los pescadores en octubre del 2007 (Foto: Ana Laura Lara-Domínguez).

Entre las lagunas más importantes en el estado están Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, Grande, San Agustín, Salada, Verde, El Llano, El Farallón, La Mancha (figura 1), Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión (figura 2). Así como los estuarios de los ríos Tuxpan, Tecolutla, Casitas-Nautla, La Antigua, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá, éste último constituye el límite con el estado de Tabasco.

#### LAS LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Las lagunas costeras del estado se dividen en cinco regiones de acuerdo a la regionalización propuesta por Moreno-Casasola *et al.* (2002) que se basa en la influencia marina y en los procesos costeros prevalentes; las regiones son: Región Norte, Región Centro Norte, Región Centro, Región Centro Sur y Región Sur (figura 3). Para el presente trabajo la Región Centro incluye Norte y Sur (Contreras Espinosa, 2006). En la figura 3 se muestra la localización de los principales cuerpos lagunares del estado, en el cuadro 1 las características de las principales lagunas del estado de Veracruz, mientras que en el cuadro 2 se muestra lo concerniente a los estuarios veracruzanos más importantes y en el cuadro 3 los trabajos de investigación que se han realizado en cada cuerpo de agua.

#### HIDROLOGÍA Y SUS IMPLICACIONES

El mantenimiento y conservación, así como la implementación de estrategias de recuperación y restauración de estos sistemas costeros depende de una correcta caracterización ambiental que tome en cuenta su forma, tamaño, escurrimientos y arroyos tributarios, número y tamaño de las bocas de conexión con el mar, así como su comportamiento a lo largo del año y el tipo de aporte de sedimentos de acuerdo a la cuenca hidrológica a la que está asociada, entre otros aspectos (figura 4).

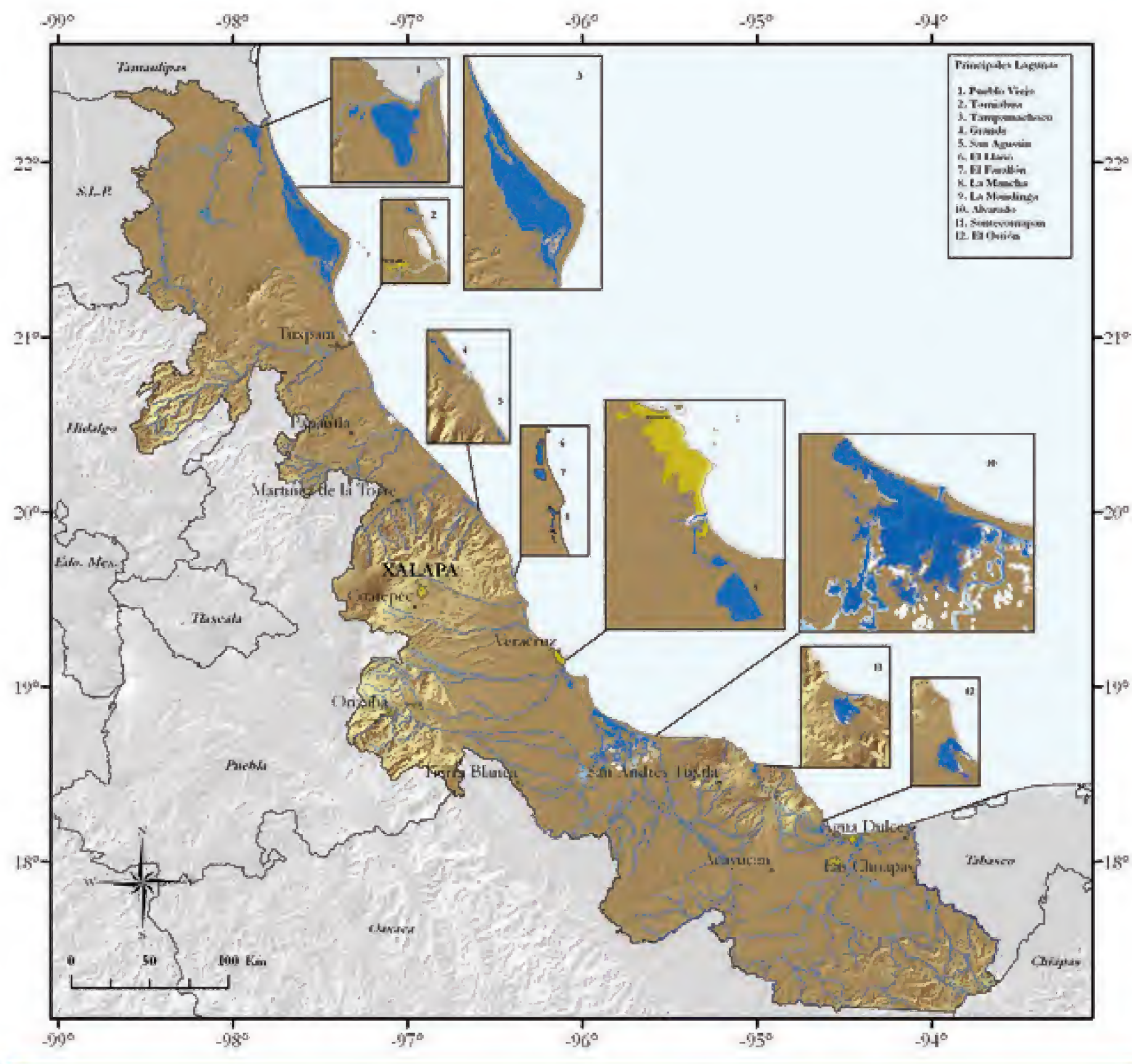


FIGURA 3. Distribución de los principales sistemas costeros (lagunas y estuarios) del estado de Veracruz.

Puesto que todos los procesos abióticos están íntimamente vinculados con la productividad primaria (cantidad total de materia creada por la actividad fotosintética), un aumento en ella puede provocar que los subsecuentes niveles tróficos se vean beneficiados con mayor transferencia de energía. Así, la cuantificación y seguimiento de este proceso básico

dará la clave de la salud y potencialidad del recurso (Contreras Espinosa *et al.*, 2002, 2006). Las condiciones físicas y tróficas de estos sistemas costeros determinarán su utilidad ecológica como áreas de crianza o para la captura de especies con valor comercial, como son jaibas, ostiones, camarones, peces, entre otros (Margalef, 1975).

CUADRO 1. Características físicas, químicas y biológicas de las lagunas costeras del estado de Veracruz.

LAGUNAS	LOCALIZACIÓN	EXTENSIÓN km <sup>2</sup>	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					BIODIVERSIDAD						IMPACTOS
			Salinidad	Temperatura	OD (mg/l)	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	PPN (mgC/m <sup>3</sup> /hr)	Aves	Moluscos	Crustáceos	Poliquetos	Peces	Otros	
<b>REGION : Norte</b>														
<b>MUNICIPIOS: Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama, Tamalín, Tamiahua, Tuxpan, Cazones de Herrera, Papantla, Tecolutla, Tantima y Pánuco</b>														
Pueblo Viejo	22°05' y 22°13' de latitud norte y 97°50' y 98°00' longitud oeste	88.7	mesohalina (10 a 20 ups)	25 a 30	4.0 a 5.0	40.0 a 50.0	< 100		35	--	--	77		Influencia del Río Panuco y los desechos industriales y domésticos. Problemas de eutroficación
Tamiahua	21°15' y 22°06' latitud norte y 97°23' y 97°46' longitud oeste	880.0	polihalina (20 a 30 ups)	25 a 30	6.0 a 7.0	0.0 a 10.0	100 a 200		62	26	64	143	56	Presencia de bacterias coliformes relacionadas con los asentamientos humanos; sobrepesca. Ha tenido problemas de contaminación por derrames de hidrocarburos
Tampamachoco	20°18' - 21°02' latitud norte y 97°19' y 97°22' longitud oeste	15.0	polihalina-euhalina (20 a 40 ups)	25 a 30	4.0 a 6.0	10.0 a 20.0 (1980), 20.0 a 30.0 (1990)	100 a 200		66	14	--	176	53	Severos problemas de eutroficación; importantes descargas de aguas residuales, y asociadas a las bacterias coliformes se han registrado frecuentemente bacterias de <i>Shigella</i> , <i>Salmonella</i> y <i>Vibrium</i> empeorando la calidad del agua
<b>REGION: Centro</b>														
<b>MUNICIPIOS: Martínez de la Torre, Nautla, Vega de Alatorre, Alto Lucero, Actopan, Úrsulo Galván, Antigua, Veracruz, Boca del Río, Alvarado, Medellín, Lerdo de Tejada y Ángel R. Cabada</b>														
Grande	20°03' y 20°09' latitud norte y 96°38' y 96°43' de longitud oeste	22.5							36	36	--	46		No hay información publicada sobre los factores que están impactado este sistema
San Agustín	19°55' y 19°56' latitud norte y 96°30' y 96°35' longitud oeste	--										33		No hay información publicada sobre los factores que están impactado este sistema
Salada y Verde	19°43' y 19°44' latitud norte y 96°24' y 96°25' longitud oeste	1.0												No hay información publicada sobre los factores que están impactado este sistema
El Llano	19°36' latitud norte y 96°21' longitud oeste	23.6								26		46		Por la boca de conexión cruza un ducto de Pemex que ha modificado significativamente el intercambio de agua entre la laguna y el mar.
Farallón	19°37' latitud norte y 96°36' longitud oeste	8.0						40						En los últimos 5 años ha perdido más de la mitad de su volumen de agua debido al aumento en las extracciones y la disminución de la recarga.
La Mancha	19°34' y 19°42' latitud norte y 96°27' y 96°32' longitud oeste	1.3	mesohalina (10 a 20 ups)	20 a 25	3.0 a 4.0	0.0 a 10.0	< 100	44	44	56	32	65	24	Es una laguna muy azolvada, presenta altas concentraciones de bacterias coliformes fecales, y por la boca cruza un ducto de Pemex con efectos de alteración tanto en la geomorfología como en la circulación estuarina.
Mandinga	19°00' y 19°06' latitud norte y 96°02' y 96°06' longitud oeste	32.5	polihalina (20 a 30 ups)	30 a 35	3.0 a 4.0	30.0 a 40.0		185	32			89	25	El mayor impacto proviene de los asentamientos humanos a su alrededor y de su creciente actividad turística.
Alvarado	18°43' y 18°59' latitud norte y 95°42' y 95°57' longitud oeste	118.0	mesohalina (10 a 20 ups)	25 a 30	4.0 a 5.0	20.0 a 30.0	200 a 300	154	62	32		120	18	Las áreas con mayor impacto se encuentran próximas al Puerto de Alvarado principalmente por las aguas residuales provenientes de la propia ciudad, con la presencia de coliformes fecales así como de plaguicidas como Edusolfán II, Edrín y Aldrín.
<b>REGION: Sur</b>														
<b>MUNICIPIOS: San Andrés Tuxtla, Catemaco, Tatahuicapan, Mecayapan, Pajapan, Coatzacoalcos y Agua Dulce</b>														
Sontecomapan	18°30' y 18°34' latitud norte y 95°00' y 95°04' longitud oeste	9.4	mesohalina (10 a 20 ups)	25 a 30	5.0 a 6.0	20.0 a 30.0	100 a 200		60			91		Se reportan elevadas concentraciones de metales pesados
Ostión	18°12' 35.3 y 18°09' 56.3" latitud norte y 94°37' 20.8" y 94°37' 22.3" longitud oeste	12.7	mesohalina (10 a 20 ups)	25 a 30	4.0 a 5.0	0.0 a 10.0	< 100			7		62		Se ubican en uno de los centros industriales petroleros más importantes del estado y para México, lo cual se ha reflejado en impactos ambientales muy significativos en la calidad de agua y ambiente.

CUADRO 2. Características físicas y biológicas de los estuarios del estado de Veracruz

REGIÓN	MUNICIPIOS	ESTUARIO	LOCALIZACIÓN	EXTENSIÓN km <sup>2</sup>	AVES	CRUSTÁCEOS	PECES	OTROS	IMPACTOS
Norte	Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama, Tamalín, Tamiagua, Tuxpan, Cazones de Herrera, Papantla, Tecolutla, Tantita y Pánuco	Tecolutla	20°27' y 20°29' latitud norte y 97°00' y 97°04' longitud oeste		106		60	8	Presencia de contaminantes fecales tanto de humanos como de animales
Centro	Martínez de la Torre, Nautla, Vega de la Torre, Alto Lucero, Actopan, Ursulo Galván, Antigua, Veracruz, Boca del Río, Alvarado, Medellín, Lerdo de Tejada y Ángel R. Cabada	Casitas- Nautla	20°06' y 20°15' latitud norte y 96°00' y 97°00' longitud oeste			17	37		No hay información publicada sobre los factores que están impactando este sistema
		La Antigua	19°29' de latitud norte y 96°18' longitud oeste				37		No hay información publicada sobre los factores que están impactando este sistema
Sur	San Andrés Tuxtla, Catemaco, Tatahuicapan, Mecayapan, Pajapa, Coatzacoalcos y Agua Dulce	Coatzacoalcos	18°10' y 17°46' latitud norte y 94°25' a 94°39' longitud oeste			51	46	22	Se ubican en uno de los centros industriales petroleros más importantes del estado y para México lo cual se ha reflejado en impactos ambientales muy significativos en la calidad del agua y del ambiente.
		Tonalá	17°14' y 18°15' latitud norte y entre 93°23' y 94°21' longitud oeste del estado	5 679	202	8	50	22	Se ubican en uno de los centros industriales petroleros más importantes y para México lo cual se ha reflejado en impactos ambientales muy significativos en la calidad del agua y del ambiente.



FIGURA 4. Vista panorámica de la Laguna del Ostión (Foto: Lara-Domínguez, enero del 2008).

Debido al gradiente latitudinal que caracteriza el litoral del estado de Veracruz, una de las principales diferencias en los parámetros abióticos que se observan en estos sistemas costeros es el clima, pues al norte del estado el clima es más seco y frío mientras que al sur predomina un régimen de lluvia más elevado, alcanzando hasta 2 500 mm anuales y elevadas temperaturas. Asimismo, las lagunas costeras de Veracruz comparten sus características en cuanto su comportamiento hidrológico; esto es, una mezcla de agua dulce y marina variable en función de su geomorfología, por lo que se consideran como sistemas típicamente estuarinos. Sin embargo, es posible detectar lagunas costeras con una influencia marcadamente marina, hasta ecosistemas en donde los aportes dulceacuícolas son dominantes a lo largo del año. Además, en esta costa coexisten cuerpos acuáticos con diferentes grados de conservación o deterioro (cuadro 1; figura 5).

CUADRO 3. Lista de trabajos que se han realizado en los cuerpos lagunares más importantes del estado de Veracruz.

CUERPO DE AGUA	TRABAJOS REALIZADOS.
LAGUNA DE PUEBLO VIEJO	Reguero y García-Cubas, 1993; Castillo Rivera <i>et al.</i> , 1994, 2005
LAGUNA DE TAMIAHUA	García-Cubas, 1978; Nava Montes, 1989; Raz Guzmán <i>et al.</i> , 1991; Franco y Chávez, 1993; Castañeda y Contreras Espinosa, 1994; Barreda Escorcía <i>et al.</i> , 1999; Castillo Rivera <i>et al.</i> , 1994; Díaz Ruiz <i>et al.</i> , 2003; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
LAGUNA DE TAMPAMACHOCO	Chávez 1967; Méndez, 1989; Reguero <i>et al.</i> , 1991; Pérez-Hernández y Torres-Orozco, 2000; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
LAGUNA GRANDE	De la Cruz <i>et al.</i> , 1985; García Cubas <i>et al.</i> , 1992; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , capítulo de Peces de Veracruz en este libro
LAGUNA SAN AGUSTÍN	Sánchez, 1989
LAGUNA SALADA Y VERDE	—
LAGUNA EL LLANO	Morales, 1984; Olivia, 1991
LAGUNA EL FARALLÓN	Ruelas-Monjardín <i>et al.</i> , 2005
LAGUNA LA MANCHA	Reyes, 1986; Flores <i>et al.</i> , 1988; Juárez <i>et al.</i> , 2006; Contreras Espinosa <i>et al.</i> , 2006, Paradowska, 2006; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
LAGUNA DE MANDINGA	Sánchez, 1978; De la Cruz <i>et al.</i> , 1985; Reguero y García-Cubas, 1991; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo de Peces de Veracruz en este libro
LAGUNA DE ALVARADO	Reguero y García-Cubas, 1989, 1991; Chávez y Franco, 1993; Franco <i>et al.</i> , 1996; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
LAGUNA DE SONTECOMAPAN	De la Cruz <i>et al.</i> , 1985; Aké-Castillo, <i>et al.</i> , 1995, 2006; García-Cubas y Reguero, 1995; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
LAGUNA DEL OSTIÓN	Bozada y Páez 1987; García, 1988; Díaz Ruiz <i>et al.</i> , 2008; Lara Domínguez <i>et al.</i> , 2008; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
ESTUARIO DEL RÍO TECOLUTLA	Bedia y Chinilla, 1982; Moreno, 1986; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
ESTUARIO CASITAS-NAUTLA	Franco <i>et al.</i> , 1982; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro
ESTUARIO LA ANTIGUA	Cubillas <i>et al.</i> , 1987; Pereyra y Pérez, 2006
ESTUARIO RÍO COATZACOALCOS	Bozada y Páez, 1987; Restrepo, 1995; Pereyra y Pérez, 2006
ESTUARIO DEL RÍO TONALÁ	Bozada y Páez, 1986; Herzig, 1986; Vazquez-Botello <i>et al.</i> , 1992; Pereyra y Pérez, 2006

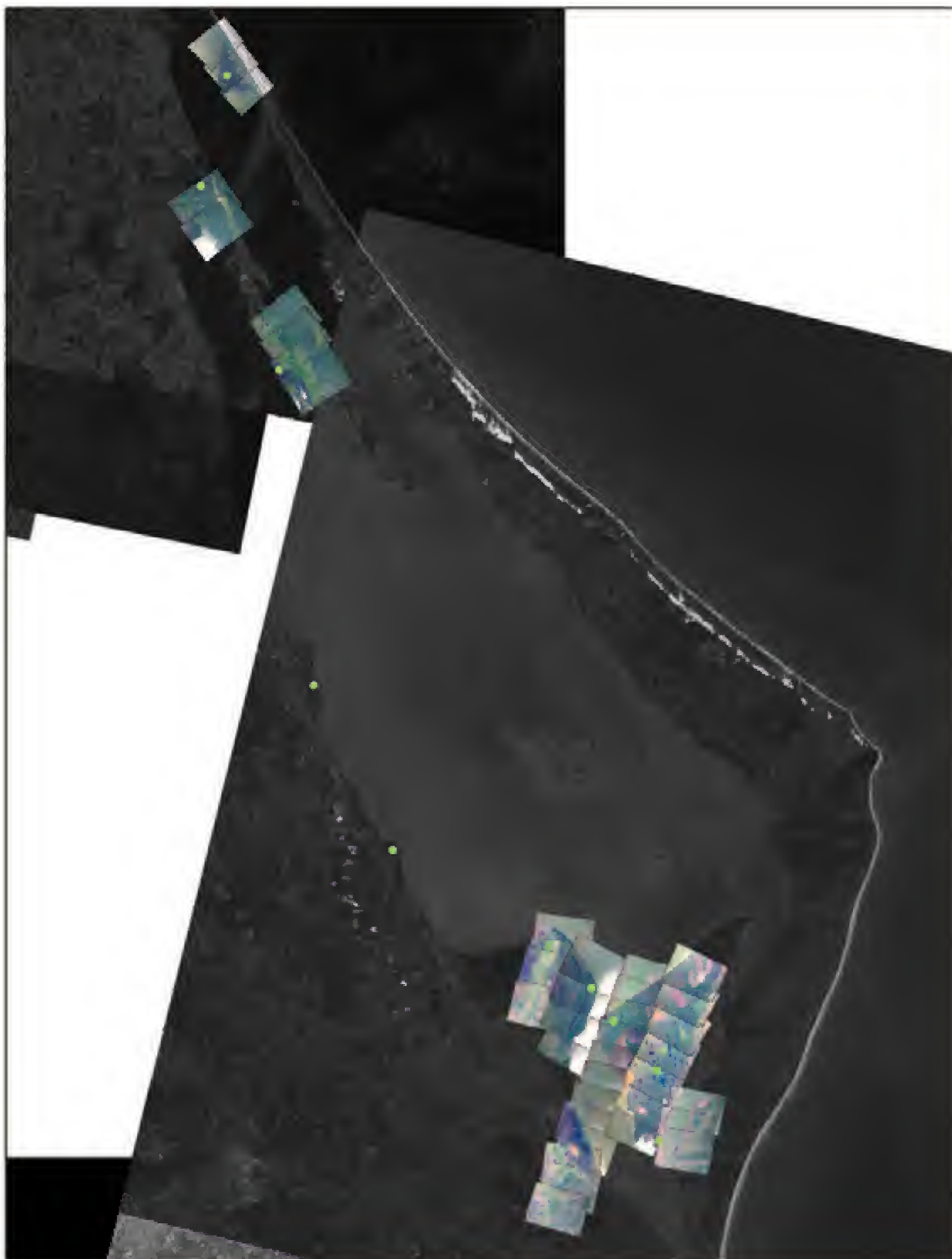


FIGURA 5. Esquema de la Laguna de Tamiahua, compuesta por imágenes SPOT 2005 proporcionadas por Conabio y fotografía aérea 2005 proporcionada por Inecol (López-Portillo *et al.*, 2008).

El grado de salinidad en la mayoría de las lagunas están dentro de un intervalo entre 10 y 30 unidades prácticas de salinidad (UPS), lo que indica una dominancia de aguas de meso a polihalinas (cuadro 1). El mantenimiento de valores promedio, en estos rangos, es un indicativo de la tendencia general de cada laguna, por ejemplo, los sistemas de Tlaxi-coyan y Calzadas, ubicadas en la planicie de drenaje del río Papaloapan, el primero, y del río Coatzacoalcos, el segundo, son áreas con bajas salinidades debido al aporte de los ríos que las drenan durante la mayor parte del año (Contreras Espinosa *et al.*, 2002, 2006). Este factor en los sistemas costeros es determinante en la estructura de las comunidades de flora y fauna acuática, ya que están constituidos por una amplia diversidad de organismos, desde componentes marinos a dulceacuícolas. La predominancia de uno u otro está en función de la influencia del río o el mar en el cuerpo de la laguna costera y estuario.

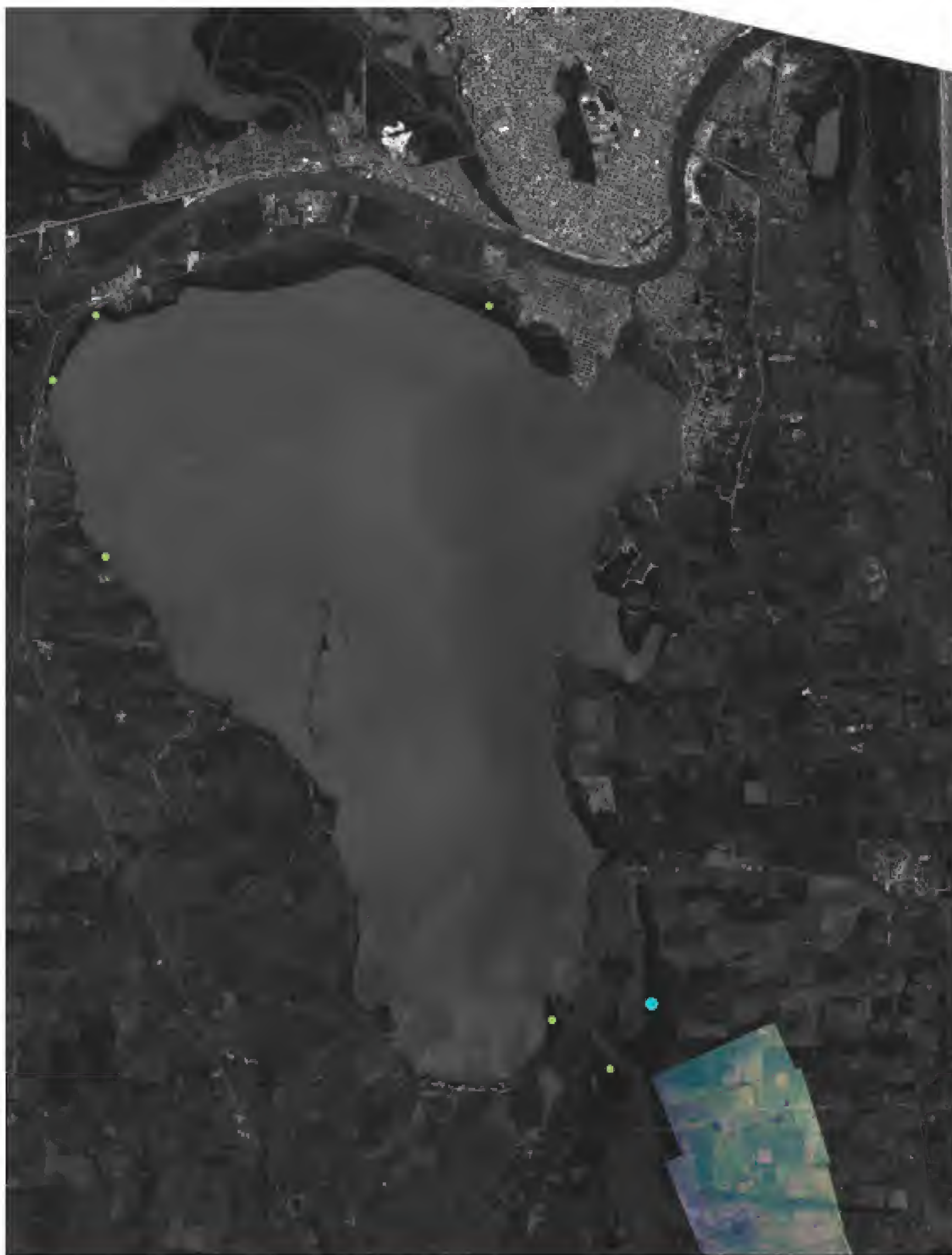
La temperatura del agua es una función de la ubicación latitudinal de las lagunas y estuarios, aunque por la localización entre latitudes tropicales y subtropicales, no existen valores extremos en esta variable. La temperatura presenta valores elevados similares a lo largo del año, fluctuando entre los 25 ° y los 30 °C (cuadro 1; Contreras Espinosa *et al.*, 2002, 2006). Es importante mencionar que el suministro de agua más caliente sobre sistemas tropicales afecta seriamente la ecología lagunar, debido a que los organismos propios de latitudes tropicales generalmente se encuentran muy próximos a sus límites de tolerancia térmica. Por ejemplo, durante la época de estiaje la temperatura del agua alcanza 30 °C por lo que un aumento de 5 °C (aumento calorífico calculado para una planta termoeléctrica) amenaza seriamente a los organismos que habitualmente se encuentran en estos ecosistemas (Contreras Espinosa y Zabalegui, 1988).

La concentración de oxígeno disuelto es tan importante para la vida acuática como lo es para la

vida terrestre, por lo que aguas con bajos niveles de oxígeno o sin éste caracterizan a las “zonas muertas” o sin oxígeno en la plataforma continental adyacente. En el cuadro 1 se observa que los valores promedio de oxígeno disuelto en los sistemas costeros de lagunas y estuarios fluctúa entre 3.0 y 7.0 mg/l. El contenido de oxígeno en estos sistemas está generalmente relacionado con los procesos de descomposición de la materia orgánica dentro de éstos, por ejemplo, la laguna La Mancha registra valores por debajo de los 2.0 mg/l (de hipóxico a anóxico) en la región de Caño Grande donde se observa una gran cantidad de materia orgánica y poco movimiento del agua, mientras que en la Laguna de Tamiahua se encuentran niveles promedio de oxígeno disuelto entre 6.0 y 7.0 mg/l, causados por un eficiente patrón de circulación y renovación de sus aguas interiores, así como por intensa actividad de productores primarios (cuadro 1).

Las lagunas costeras del estado de Veracruz presentan un rango de nutrientes de 0 a 5 µg-at/l (0 a 70 mg/m<sup>3</sup>) para el amonio, de 5 a 10 µg-at/l (70 a 140 mg/m<sup>3</sup>) de nitratos más nitritos y de 0 a 5 µg-at/l (0 a 155 mg/m<sup>3</sup>) de fosfatos. De las formas nitrogenadas, parece existir una dominancia de amonio con respecto a las concentraciones de nitratos más nitritos y podrían considerarse como típicos en esos sistemas costeros. Por ejemplo, el sistema de Calzadas ubicado en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, es un hábitat pantanoso que contiene cantidades significativas de nutrientes y otros compuestos, como el reflejo de intensos procesos de descomposición de materia orgánica proveniente de la vegetación sumergida. Debido a esto, los valores promedio de las formas nitrogenadas en esta laguna rebasan la media para el resto de los sistemas costeros, pero permiten hacer comparaciones con respecto a otros ecosistemas más abiertos.

Las formas fosfatadas se consideran como la principal causa de la presencia de biomasa fitoplanctónica, por lo que su interpretación y seguimiento



---

FIGURA 6. Esquema de la Laguna Pueblo Viejo, tomada en 2004 (López-Portillo *et al.*, 2008).

ofrece algunas claves en el comportamiento espacio-temporal de los ecosistemas acuáticos. Lo anterior, se basa en la relación que existe entre estas formas y la cantidad de clorofila *a* en agua (Contreras Espinosa y Kerekes, 1993). Los sistemas acuáticos costeros en donde se registraron los valores más altos en comparación del resto del litoral, son las lagunas de Tampamachoco, El Ostión y el área del río Calzadas en las cuales se encuentran concentraciones por arriba de los 10 µg-at/l.

Es importante destacar los cambios temporales detectados mediante una serie de estudios en la laguna de Tampamachoco durante dos ciclos: en el bienio 1980-1981 (Contreras Espinosa, 1983) y en 1990-1991, encontrándose diferencias significativas en la mayoría de los parámetros. Estos cambios podrían deberse a causas naturales, ya que los sistemas estuarinos tienden a la eutrofización (acumulación gradual de nutrientes), aunque también podrían deberse a la alteración que ha tenido a partir de la construcción de una planta termoeléctrica (Ramírez, 1989), y las descargas de desechos provenientes de asentamientos humanos, incluido un hospital. De esta forma los resultados reflejan un incremento en el contenido de nitrógeno total y considerablemente mayor de fósforo total, llegándose a cuantificar 1 375 mg-m<sup>3</sup> (1.3g/m<sup>3</sup>) del cual, el mayor porcentaje (del 32 al 86 %) es en la forma inorgánica.

En un estudio reciente donde la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos realizó un monitoreo de las condiciones de las lagunas costeras y estuarios a lo largo del litoral del estado de Veracruz, se clasificó (con base en la calidad del agua) al 76 % de las lagunas costeras y estuarios de propiedades pobres, 23 % como limpias y 1 % como buenas. El 32 % de los sistemas costeros presentaron valores altos de NID (nitrógeno inorgánico disuelto) con una concentración de 0.2 a 1.47 mg/l; 28 % con NID de 0.05 a 0.10 mg/l y el 40 % con menos de 0.05 mg/l (Macauley *et al.*, 2007).

La concentración de clorofila *a*, se considera como un índice de la biomasa fitoplanctónica y, por tanto, sus resultados evalúan la productividad primaria en la columna de agua. En el cuadro 1 se muestran los intervalos de concentración de clorofila *a* en los sistemas lagunares de Veracruz.

En ocasiones los valores por arriba de lo “normal” en clorofila *a* están ligados a procesos de eutrofización, dado que existe una cantidad “excedente” de biomasa fitoplanctónica, lo que usualmente provoca una sobresaturación de fitoplancton diurno y/o un agotamiento de oxígeno disuelto, principalmente durante la noche.

El incremento de fósforo en la laguna de Tampamachoco se refleja también en su relación N:P (inorgánicos), que en 1980 fue de 5:1 y en 1990 fue de 1:1 lo que propicia un considerable aumento de clorofila *a*, colocando a esta laguna en un estado trófico más alto que el cuantificado diez años atrás. Con respecto a este último parámetro, destacan las lagunas de Mandinga, Pueblo Viejo (figura 6) y Calzadas, por su acumulación de biomasa fitoplanctónica (cuadro 1).

## BIODIVERSIDAD Y SUS USOS

Las lagunas costeras son importantes por la diversidad que albergan y por sus características físicas y ambientales particulares. Los organismos que las habitan son considerados como “resistentes” o adaptados a variabilidad continua de las condiciones del entorno. Por tanto, la comunidad biótica, así como los factores ambientales, se encuentran en un delicado balance entre el disturbio y la inestabilidad.

El carácter ecotonal entre masas de agua dulce y agua salada permite tanto la colonización de organismos de origen acuático continental como de origen marino. Además de lo anterior, hay que destacar la presencia casi siempre permanente de extensas áreas en donde las condiciones salobres de

10 a 25 UPS (masas de agua con concentración de sales intermedia entre agua dulce y marina), genera un ambiente hidrológico idóneo para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y/o eficientemente adaptados a éstos.

De la elevada diversidad ambiental que ofrece la zona costera de Veracruz, destacan los ambientes dulceacuícola, estuarinos y marinos, debido a la complejidad de hábitats favorecida por los sustratos someros sin vegetación, los cubiertos con vegetación acuática sumergida, constituidos principalmente por pastos marinos, macroalgas y, finalmente, la vegetación marginal, compuesta por manglar y palmar. Estos tipos de hábitats proveen refugios y sitios de alimentación y crianza para un gran número de especies de peces juveniles e invertebrados de interés comercial (Thayer *et al.*, 1984). Este tipo de hábitats de pastos marinos son notables por albergar abundancia y riqueza específica de decápodos estuarinos (Heck y Crowder, 1991). En general los sistemas costeros de Veracruz, presentan áreas de manglar, pastos marinos y bancos de ostión (Lara-Domínguez, 2005; López-Portillo *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008; figura 7).



FIGURA 7. Pescador de la Laguna La Mancha lanzando la red de atarraya (Foto: Ana Laura Lara-Domínguez).

Esta complejidad de hábitats se ve reflejada en la diversidad de la fauna estuarina (Minello y Zimmerman, 1991; Rozas y Odum, 1987; Sánchez *et al.*, 1996); la biodiversidad acuática ha comenzado a utilizarse como un indicador de la salud de los sistemas lagunares, tanto en ambientes dulceacuícolas como los estuarinos y principalmente ha sido representada por la ictiofauna (Karr, 1991). Lo anterior se refleja con el desarrollo del Índice de Integridad Biótica Estuarina (EBI: Estuarine Biotic Integrity Index; Weisberg *et al.*, 1997; Deegan *et al.*, 1997).

Sin embargo, y como resultado del incremento de las perturbaciones, tanto naturales como humanas, se ha mantenido la pérdida del hábitat constituido por la vegetación acuática sumergida y marginal (Madden y Kemp, 1996). Esta pérdida en los hábitats acuáticos se refleja en alteraciones de los procesos geoquímicos y ecológicos que son imprescindibles (Kemp *et al.*, 1984; Lubbers *et al.*, 1990).

Estos sistemas también albergan importantes comunidades de aves, pues de las 1 038 especies de aves registradas para todo el país pertenecientes a 86 familias, 22 % se desarrollan en zonas acuáticas. Para el estado sobresale la región de Coatzacoalcos, ya que de los 22 órdenes de aves registradas para México, 18 están representados en esta región, así como casi el 50 % de todas las familias.

## CONCLUSIONES

Veracruz tiene en su litoral al menos 16 lagunas costeras y cuatro estuarios de importancia que constituyen un reservorio de biodiversidad representada por manglares, pantanos, marismas, vegetación acuática sumergida y que conforman un hábitat de crianza y protección de las diferentes etapas del ciclo de vida de la fauna acuática salobre, marina y de agua dulce.

Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran en una dinámica de cambio acelerado, producto de la

contaminación generada por las descargas puntuales de residuos urbanos e industriales sin tratamiento, así como por las descargas no puntuales que contienen residuos de agroquímicos. Además, presentan problemas de azolvamiento provocado por la deforestación en las partes altas de las cuencas que provocan un arrastre de sedimentos. Y por si fuera poco, existen problemas de sobreexplotación de especies pesqueras de importancia comercial.

Por todo lo anterior, es clara la necesidad de generar planes coordinados entre los tres niveles de gobierno y que se implementen a nivel de cuenca, con el fin de proteger las zonas lagunares que aún conservan sus características originales, así como restaurar las que han sido seriamente degradadas por las actividades humanas.

AGRADECIMIENTOS. A los pasantes de Biología, Alondra Berenice González Navarro y Ricardo Marín Perea por la captura de la primera versión del manuscrito, a la doctora Patricia Moreno Casasola por permitir el uso de la información del libro *Estrategia para el Manejo Costero Integral*. Al Instituto de Ecología, A.C. al gobierno de estado de Veracruz-La Llave, a la física Rosario Landgrave por la elaboración de la figura 1 donde se señala la distribución de las lagunas costeras y estuarios, y al físico Eduardo Sáinz-Hernández por la minuciosa revisión y comentarios al manuscrito.

#### LITERATURA CITADA

- AKÉ-CASTILLO, J.A., M.E. Meave y D.U. Hernández Becerril, 1995, Morphology and distribution of the diatom genus *Skelotenema* in a tropical lagoon, en *European Journal of Phycology* 30: 107-115.
- AKÉ-CASTILLO, J.A., G. Vázquez y J. López-Portillo, 2006, Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico, en *Hydrobiología* 559: 101-111.
- BARNES, R.S.K. (ed.), 1980, *Coastal lagoons*, Cambridge Studies in modern biology, Cambridge University Press, 106 pp.
- BARRERA-ESCORCIA, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández Galindo y F. Saavedra-Villeda, 1999, Evaluación microbiológica de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995, *Hidrobiológica* 9 (2): 125-134.
- BOZADA, L. y M. Páez, 1986, Fauna Acuática del río Tonalá, *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos* 7: 172 pp.
- , 1987, Fauna Acuática del río Coatzacoalcos, *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos* 8: 132 pp.
- CARRANZA E., A., M. Gutiérrez E. y R. Rodríguez T., 1975, Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas, *Anales del Centro Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 2 (1): 81-88.
- CASPERS, H., 1967, Estuaries: Analysis of definitions and biological considerations, en Lauff G.H. (ed.), *Estuaries*, American Association for the Advancement, *Science* 83: 6-8.
- CASTAÑEDA L.O. y F. Contreras Espinosa E., 1994, Golfo de México I. (de Tamaulipas y Veracruz), *Serie bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros* 3, UAMI-Conabio, 615 pp.
- CASTILLO-RIVERA, M., G. Moreno y R. Iniestra, 1994, Spatial, seasonal, and diet variation in abundance of the Bay Anchovy, *Anchoa mitchilli* (Teleostei: Engraulidae), in a tropical coastal lagoon of Mexico, *The Southwestern Naturalist* 39(3): 263-268.
- CASTILLO-RIVERA, M., R. Zárate, y L. Sanvicente-Añove, 2003, Patrones de diversidad de peces en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México, *Hidrobiológica* 13(4): 289-298.
- CLARK, J., 1974, *Coastal Ecosystems*, The Conservation Foundation, 178 pp.
- CLARK, R.C., 1992, *Integrated Management of Coastal Zones*, FAO Fisheries Technical Paper No. 327, Italia, 167 pp.

- COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO, 1984, *Atlas regional de áreas críticas, recursos vulnerables y prioridades de protección de la zona costera y medio marino del Pacífico Sudeste contra la contaminación por petróleo. Instructivo para su identificación y ubicación*, CPPS Universidad Regional del Plan de Acción en colaboración con PNUMA, Programa de Mares Regionales.
- CONTRERAS ESPINOSA, F., 1983, Variación en la hidrología y las concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Ver., México, *Biótica* 8 (2): 202-213.
- , 2006, *Las lagunas costeras de Veracruz*, en P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y C. Travieso (eds.), *Estrategia para el Manejo Costero Integral*, Instituto de Ecología/Gobierno del estado de Veracruz-La Llave, vol. 1: 478 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y L.M. Zabalegui, 1988, *Aprovechamiento del Litoral Mexicano. Centro de Eco-desarrollo*, Secretaría de Pesca, México, 128 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y J.J. Kerekes, 1993, Total phosphorous–chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in México, *Verh International Verein Limnology* 25: 448-451.
- CONTRERAS ESPINOSA F., O. Castañeda L. y A. García N., 1994, La clorofila *a*, como base para un índice trófico de las lagunas costeras mexicanas, *Anales del Instituto Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 21 (1-2): 55-66.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y O. Castañeda L., 1995, *Los Ecosistemas Costeros del estado de Veracruz*, Gobierno del estado de Veracruz/Sedap, 176 pp.
- CONTRERAS Espinosa E.F., O. Castañeda L., R. Torres A. y F. Gutiérrez M., 1996, Nutrientes en 39 Lagunas Costeras Mexicanas, *Revista de Biología Tropical* 44 (2): 417-425.
- CONTRERAS ESPINOSA E.F., O. Castañeda, E. Barba y M.A. Pérez, 2002, Caracterización e importancia de las Lagunas Costeras, en Instituto Nacional de la Pesca y Universidad Veracruzana (coord.), *La Pesca en Veracruz y sus Perspectivas de Desarrollo*, SAGARPA/INP/UV, 436 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y O. Castañeda, 2004, *Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos*, en M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.) *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*, Semarnat/INE/Inecol/HARP-Institute, vol. 1, 628 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y B.G. Warner, 2004, Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in México, *Hydrobiologia* 511: 233-243.
- CONTRERAS ESPINOSA, E.F., O. Castañeda y N. Rivera-Guzmán, 2006, La Laguna, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México, 576 pp.
- CHÁVEZ, R. y J. Franco, 1993, Respuesta de una comunidad de peces ante un impacto ambiental en Boca Camaronera, Alvarado, Veracruz, *Hidrobiológica* 2(1-2): 25-33.
- DEEGAN L.A., J.T. Finn, S.G. Ayvazian, C.A. Ryder-Kiefer y J. Bounaccorsi, 1997, Development and validation of an estuarine biotic integrity index, *Estuarios* 20 (3): 601-607.
- DÍAZ-RUIZ, S., M.A. Pérez-Hernández y A. Aguirre-León, 2003, Caracterización de los conjuntos de peces en una laguna costera tropical del noroeste del Golfo de México, *Ciencias Marinas* 29 (4B): 631-644.
- DÍAZ-RUIZ, S., A. Aguirre-León, M. Juárez, P. Sandoval, J.J. Matsumoto y J.A. Hernández, 2008, Evaluación ecológica de las comunidades de peces: Laguna La Mancha y Laguna el Ostión, Veracruz Golfo de México, en *Informe Etapa 02, Proyecto de Investigación: Evaluación de los Recursos Naturales y la Productividad Pesquera de dos Lagunas Costeras ante el Impacto del Cambio Climático y el Ascenso del Nivel Medio del Mar: Laguna La Mancha y Laguna el Ostión*, Veracruz Golfo De México, FOMIX 37014
- FLORES, F., A. García Cubas y A. Toledano, 1988, Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Laguna de La Mancha, Veracruz, México, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 15 (2): 235-258.

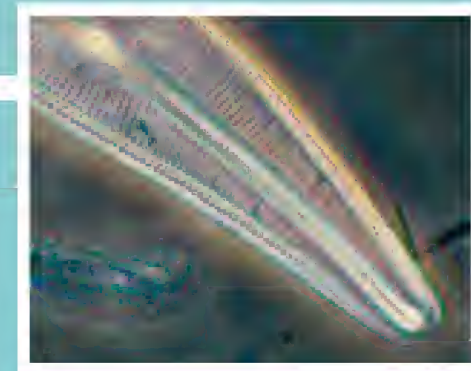
- FRANCO, J. y R. Chávez, 1993, Síntesis sobre el conocimiento de la ictiofauna de la laguna de Tamiahua, Veracruz, México, *Hidrobiológica* 2(1-2): 53-63
- FRANCO J., R. Chávez L., E. Peláez R. y C. Bedia S., 1996, Riqueza ictiofaunística del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, *Revista Zoológica* (núm. esp. 2): 17-32.
- GARCÍA CUBAS, A.M. Reguero y R. Elizarrarás, 1992, Moluscos del sistema lagunar Chica-Grande, Veracruz, México: sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 19(1): 71-101.
- GARCÍA CUBAS, A. y M. Reguero, 1995, Moluscos de la Laguna Sontecomapan, Veracruz, Mexico: sistemática y ecología, *Hidrobiológica* 5:1-24.
- HARGRAVE, B.T. y G.F. Conolly, 1978, A device to collect supernatant water for measurement of the flux of dissolved compound across sediment surface, *Limnology and Oceanography* 23: 1005-1010.
- HECK, K.L. JR. y L.B. Crowder, 1991, Habitat structure and predator-prey interactions in vegetated aquatic systems, en Bell, S.S., E D. McCoy y H.R. Mushinsky (eds.), *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*, pp. 281-299.
- HERZIG, M., 1986, Medio ambiente en Coatzacoalcos, las Aves. *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos* 4: 230 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), SECRETARÍA DE PESCA (Sepesca), 1987, *Carta básica nacional de información pesquera*. DGI: SNIIPP.
- INMAN, D.J. y C.E. Nordstrom, 1971, On the tectonic and morphologic classification of coast, *Journal of Geology* 49 (1): 1-21.
- JUÁREZ, A., J.L. Rojas Galaviz, C. Mora y D. Zárate Lomelí, 2006, Los peces, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México, 576 pp.
- KARR, J.R., 1991, Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management, *Ecological Applications* 1: 66-84,85.
- KEMP, W., W.R. Boynton, J.C. Stevenson y L.G. Ward, 1984, Influence of submersed vascular plants on ecological processes in upper Chesapeake Bay, en V.S. Kennedy, (ed.), *The estuary as a filter*, Academy Press, Nueva York.
- KLUMP, J.V. y C.S. Martens, 1981, Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 101-121.
- LARA-DOMÍNGUEZ, A.L., 2005, Pastos marinos, en P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso Bello (eds.), *Manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*, Instituto de Ecología/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Xalapa, Ver. México, 1266 pp.
- LARA-DOMÍNGUEZ A.L., E. Sáinz, R. Landgrave, A.B. González, R.A. Marín y J.W. Day, 2008, Evaluación ambiental y de las comunidades de peces en la boca de conexión de la Laguna La Mancha y Laguna el Ostión, Veracruz Golfo de México, en *Informe Etapa 02, Proyecto de Investigación: Evaluación de los Recursos Naturales y la Productividad Pesquera de dos Lagunas Costeras ante el Impacto del Cambio Climático y el Ascenso del Nivel Medio del Mar: Laguna La Mancha y Laguna el Ostión*, Veracruz Golfo de México, FOMIX 37014, 56 pp.
- LARA DOMÍNGUEZ, A.L., J. Franco López, C. Bedia Sánchez, L.G. Abarca Arenas, S. Díaz Ruiz, A. Aguirre León, C. González Gándara, M. Castillo-Rivera 2010. Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental. en *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Conabio.
- LANKFORD, R.R., 1997, Coastal lagoons of Mexico, Their origin and classification, en M Wiley (ed.), *Estuarine Process*, Academic Press, 230 pp.
- LIKENS, G.E. (ed.), 1972, *Nutrients y eutrophication*, Limnology and Oceanography, 1378 pp.
- LÓPEZ-PORTILLO J., V.M. Vásquez Reyes, L.R. Gómez Aguilar, 2008, *Atlas de los manglares de Veracruz distribución, estructura, cartografía e implicaciones para su manejo. Informe Técnico del Proyecto: Sistema costero del Estado de Veracruz: fisiografía, geomorfología, riesgos y ecología de manglares y dunas costeras: implicaciones para su manejo*, SEMARNAT-2002-CO1-0126, 62 pp.

- LUBBERS, L., W.R. Boynton y W.M. Kemp, 1990, Variations in structure of estuarine fish communities in relation to abundance of submersed vascular plants, *Marine Ecology Progress Series* 65: 1-14.
- MACAULEY, J.M., L.C. Harwell y H. Alafita, 2007, The ecological condition of Veracruz, México estuaries, *Environmental Monitoring and Assessment* 133: 177-185.
- MADDEN, C.J. y W.M. Kemp, 1996, Ecosystem model of an estuarine submersed plant community: calibration and simulation of eutrophication responses, *Estuarios* 19 (2B): 547-474.
- MARGALEF, R., 1974, *Ecología*, Omega, 953 pp.
- MARTENS, C.S., 1982, Biogeochemistry of organic-rich coastal lagoon sediment, *Oceanologica Acta*, vol. especial 5: 161-167.
- MARTÍNEZ, M.L., P. Hesp, N. Rodríguez y O. Jiménez, 2008, *Las dunas costeras del estado de Veracruz. Informe Técnico del Proyecto: Sistema costero del Estado de Veracruz: fisiografía, geomorfología, riesgos y ecología de manglares y dunas costeras: implicaciones para su manejo*, SEMARNAT-2002-CO1-0126, 15 pp.
- MINELLO, T.J. y R.J. Zimmerman, 1991, The role of estuarine habitats in regulating growth and survival of juvenile penaeid shrimp, en P.P.F. Deloach, W.J. Dougherty y M.A. Davidson (eds.), *Frontiers of shrimp research*, Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 22. Elsevier, Ámsterdam: 1-16.
- MORENO-CASASOLA, P., J.L. Rojas Galaviz, D. Zárate Lomelí, M.A. Ortiz, A.L. Lara-Domínguez y T. Saavedra, 2002, Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques* 8 (número especial 1): 61-88.
- ODUM, H.T. y B.J. Copeland, 1974, A functional classification of the coastal ecological system, en H.T. Odum, B.J. Copeland y E.A. McMahan (eds.), *Coastal Ecological System of the United States*, Conservation Foundation Washington, NOAA, I: 5-84.
- ODUM, P.E., 1980, La diversidad como función del flujo de energía, en W.H. van Dobben, y R.H. Lowe-McConnel (eds.), *Conceptos unificadores en ecología*, Blume Ecología, pp. 14-18.
- ORTIZ Pérez, M.A. y G. de la Lanza, 2006, *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*, Instituto de Geografía, UNAM, 152 pp.
- PARADOWSKA, K., 2006, El doblamiento y el territorio, en: P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa Ver. México, 576 pp.
- PEREYRA, D. y J.A. Pérez, 2006, Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el Estado de Veracruz, en Tejeda A. y C. Welsh (coords.), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana/COVECyT, 432 pp.
- PÉREZ-HERNÁNDEZ, M.A. y R.E. Torres-Orozco B., 2000, Evaluación de la riqueza de especies de peces en las lagunas costeras mexicanas: estudio de un caso en el Golfo de México, *Revista Biología Tropical* 48(2-3): 425-438.
- PRITCHARD, D.W. 1967, What is an estuary?: Physical viewpoin, en: G.H. Lauff (ed.), *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science 83: 3-5.
- RAMÍREZ G.R., 1989, *Diagnóstico ecológico de la laguna de Tampamachoco, Ver. Esquema conceptual*, Resumen del Coloquio de Investigación Hidrobiológica, Tampamachoco, UAM-X.
- REGUERO, M. y A. García Cubas, 1989, Moluscos de la laguna de Alvarado, Veracruz: Sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* UNAM, 16(2): 279-305.
- , 1991, Moluscos de la Laguna Camaronera, Veracruz, México: Sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 18(1): 1-23.
- , 1993, Moluscos de la laguna Pueblo Viejo, Veracruz, México: sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 20(1): 77-104.
- REGUERO, M., A. García-Cubas y G. Zúñiga, 1991, Moluscos de la Laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología, *Anales del Instituto de*

- Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 18(2): 289-328.
- RESTREPO, I. (coord.), 1995, *Desarrollo sustentable en el Golfo y Caribe de México*, Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. México, 270 pp.
- ROZAS, L.P.P. y E.W. Odum, 1987, Use of tidal freshwater marshes by fishes and macrofaunal crustaceans along a marsh stream-order gradient, *Estuarios* 10: 36-43.
- RUELAS-MONJARDÍN, L.C., J.M. Ham, 2005, *Acciones para el manejo y conservación de un cuerpo de agua estatal en peligro de extinción: el caso de la Laguna Farallón, Actopan, Ver.*, 1er Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico, 2-4 de mayo, 2005 / Boca del Río, Veracruz, México.
- SÁNCHEZ J., A., A Raz-Guzmán y E. Barbar, 1996, *Habitat value of seagrasses for decapods in tropical coastal lagoons of the southwestern Gulf of México: an overview*, Proceedings of an International Workshopp, Rottneest Island, Western Australia: 25-29.
- SHERPARD, F.P., 1973, *Submarine geology*, Harper and Row Pub., 517 pp.
- SNEDAKER, C.S. y CH.D. Getter, 1985, *Costas. Pautas para el manejo de los recursos costeros. Serie de Información sobre Recursos Renovables. Publicación, 2 sobre Manejo de Costas*, National Park Service, USD, 286 pp.
- STEER, R., Arias-Isaza F., Ramos A., Sierra-Correa P., Alonso D., Ocampo P., 1997, *Documento base para la elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas*, Documento de consultor para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie publicaciones especiales, 6413 pp.
- TÉLLEZ, H.J., 2004, *Condiciones meteorológicas en la ciudad y puerto de Veracruz, del siglo XVI al XXI*, Colección Historias de San Juan de Ulúa en la Historia, 5, INAH, México, 159 pp.
- THAYER, G.M., K.A. Bjorndal, J.C. Ogden; S.L. Williams y J.C. Ziemann, 1984, Role of larger herbivores in seagrass system, *Aquat. Bot.* 50: 201-205.
- TOLEDO, A., 1988, *Energía, Ambiente y Desarrollo*. Centro de Ecodesarrollo, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, 15, 384 pp
- UNESCO, 1981, *Coastal Lagoon research, present and future*. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 32, 97 pp.
- VÁZQUEZ-BOTELLO, A., G. PONCE VÉLEZ, A. TOLEDO, G. DÍAZ Y S. VILLANUEVA, 1992, Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México, *Ciencia y Desarrollo* 17(102): 28-48.
- VÁZQUEZ-BOTELLO, A., J.L. Rojas G., J.A. Benítez y D. Zárate L. (eds.), 1996, *Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnósis y Tendencias*, 1ª edición, Universidad Autónoma de Campeche Programa EPOMEX, Serie Científica, 5, 666 pp.
- WEISBERG, S.B., J.A. Ranasinghe, L.C. Schaffner, R.J. Díaz, D.M. Dauer y J.B. Frithsen, 1997, An Estuarine benthic index of biotic integrity (IB-IBI) for Chesapeake Bay, *Estuarios* 20 (1): 149-457.



# Ecología y productividad primaria de microalgas marinas y mixohalinas



Yuri B. Okolodkov  
Roberto Blanco Pérez

Entre las microalgas marinas se destacan dos grupos ecológicos principales en términos de abundancia, biomasa y productividad primaria: fitoplancton y microfítobentos, incluyendo las algas epífitas. Mientras las microalgas bentónicas se distribuyen en la zona costera alrededor de los continentes e islas, el fitoplancton es una parte importante de las redes tróficas en la zona costera así como en el mar abierto, además de ser el responsable en la generación de la mayor parte del oxígeno en el planeta. Algunas especies de microalgas pueden servir como indicadores de eutrofización natural o antropogénica, de las corrientes oceánicas y masas de agua, de los cambios climáticos regionales o globales. El problema de conservación de las microalgas todavía no es un objeto de investigación. Al contrario, frecuentemente los científicos están buscando las medidas para erradicar o mitigar las proliferaciones algales masivas que han tenido impacto en la salud humana o los ecosistemas costeros, debido a su toxicidad y otras características fisiológicas nocivas para el ser humano o los organismos marinos.

Los principales grupos taxonómicos del fitoplancton marino para el estado de Veracruz son en su mayoría diatomeas centrales y dinoflagelados (figuras 1-8). Además, se han registrado especies de cocolitofóridos, silicoflagelados, criptofitas y euglenofitas. Las algas verdes, cianofitas y crisofitas son más características para los ambientes dulceacuícolas. Algunas xantofitas han sido registradas exclusivamente en las aguas dulces. Algunos trabajos se dedican al estudio de la estructura y distribución de las comunidades fitoplanctónicas durante un periodo de tiempo limitado; comúnmente corresponden a la duración de un crucero. Usando el análisis diferencial de los índices de similitud entre estaciones oceanográficas, se determinaron dos comunidades diferentes, relacionadas principalmente con la temperatura y probablemente con las masas de agua (Avendaño-Sánchez y Sotomayor-Navarro, 1982). Estos autores observaron un aumento en la diversidad en la zona de interacción de las circulaciones ciclónicas y anticiclónicas. El estudio sobre la influencia de la descarga de aguas

calientes de una planta termoeléctrica a las comunidades fitoplanctónicas en la Laguna de Tampamachoco, durante seis periodos semanales de muestreo en 1993-1994, no mostró ningún cambio significativo en la estructura comunitaria, sino que ocasionó un decremento de su tasa fotosintética (Martínez-Arroyo *et al.*, 2000). En lagunas costeras se pueden observar dos tipos de comunidades al mismo tiempo, marinas y dulceacuícolas (Santoyo y Signoret, 1975). Tal vez en algunas lagunas con características estables de salinidad se puede observar la flora particular de las aguas salobres, sin embargo, ésta no ha sido registrada.

Las mareas rojas o florecimientos algales nocivos pueden ser ocasionados por varios organismos acuáticos, pero en su mayoría por dinoflagelados marinos. Los reportes sobre este tipo de eventos en las aguas veracruzanas son escasos. Estos han sido observados en octubre-noviembre de 1955, en octubre de 2002, en 2005 y 2006, causados por *Karenia brevis* (Davis) G. Hansen & Moestrup y *Peridinium quinquecorne* T.H. Abé, respectivamente (Ramírez-Granados, 1963; Barón-Campis *et al.*, 2005; Ramírez-Camarena y Hernández-Becerril, 2006; Okolodkov *et al.*, 2007). Por lo menos durante verano-otoño se encuentra en la columna de agua abundancia de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* H. Perag. Algunas de ellas producen el ácido domóico y son causantes potenciales del envenenamiento amnésico por consumo de mariscos. Además, existe un peligro potencial del fenómeno conocido como “marea café”, causado por un alga de la clase Pelagophyceae, *Aureoumbra lagunensis* Stockwell, DeYoe, Hargraves *et Johnson*. En 1990-1998, esta especie contribuyó con más de 95 % de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Madre, Texas (López-Barreiro *et al.*, 1999; Villareal *et al.*, 2004). Estos autores encontraron *A. lagunensis* en la Laguna Madre en el estado de Tamaulipas, sin embargo, el muestreo en la Laguna Pueblo Viejo y Laguna de Tamiahua, Veracruz, no dio resultados positivos.



FIGURA 1. *Peridinium quinquecorne*, dinoflagelado causante de florecimientos nocivos recurrentes en la zona costera de Veracruz. Escala: 10  $\mu$ m (Foto: tomada con microscopio electrónico de barrido por M. Hoppenrath).



FIGURA 2. Proliferación masiva de *P. quinquecorne* en la dársena del puerto de Veracruz (Foto: Yuri Okolodkov).

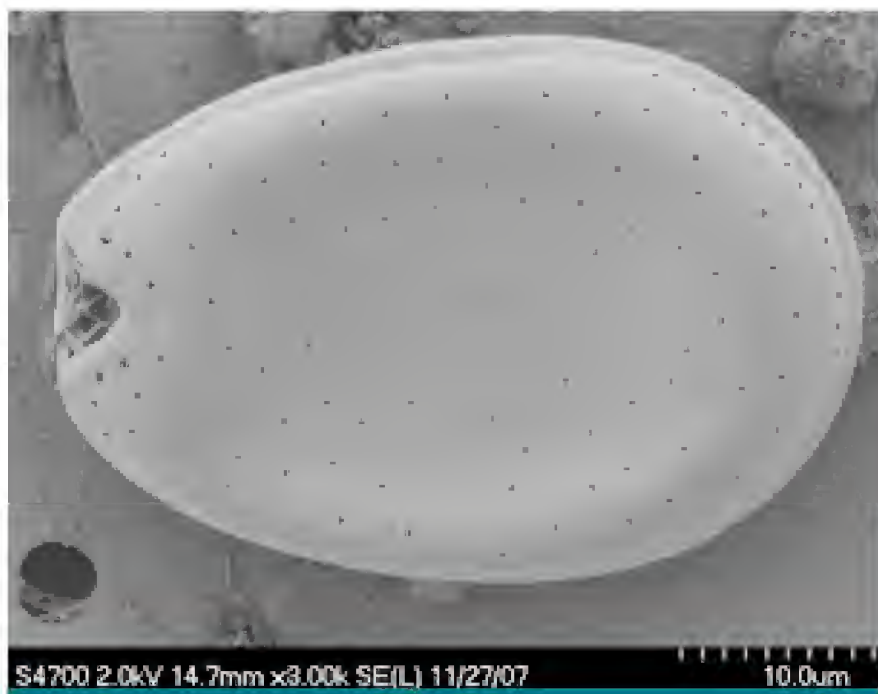


FIGURA 3. *Prorocentrum lima* (Ehrenb.) F. Stein, dinoflagelado epifítico que contribuye a la ciguatera en la zona tropical. Escala: 10  $\mu\text{m}$  (Foto: tomada con microscopio electrónico de barrido por M. Hoppenrath).



FIGURA 5. *Ornithocercus quadratus* F. Schütt, dinoflagelado oceánico que se presenta en asociación con la cianofita exosimbiótica *Synechococcus carcerarius* R.E. Norris (flechas). Escala: 10  $\mu\text{m}$  (Foto: Yuri Okolodkov).



FIGURA 4. Pasto marino *Thalassia testudinum* Banks ex König, un hábitat común para las microalgas y macroalgas filamentosas (Foto: Yuri Okolodkov).



FIGURA 6. Cianofita *Anabaena* sp., causante de florecimientos masivos en las lagunas costeras de Veracruz. Escala: 10  $\mu\text{m}$  (Foto: Yuri Okolodkov).

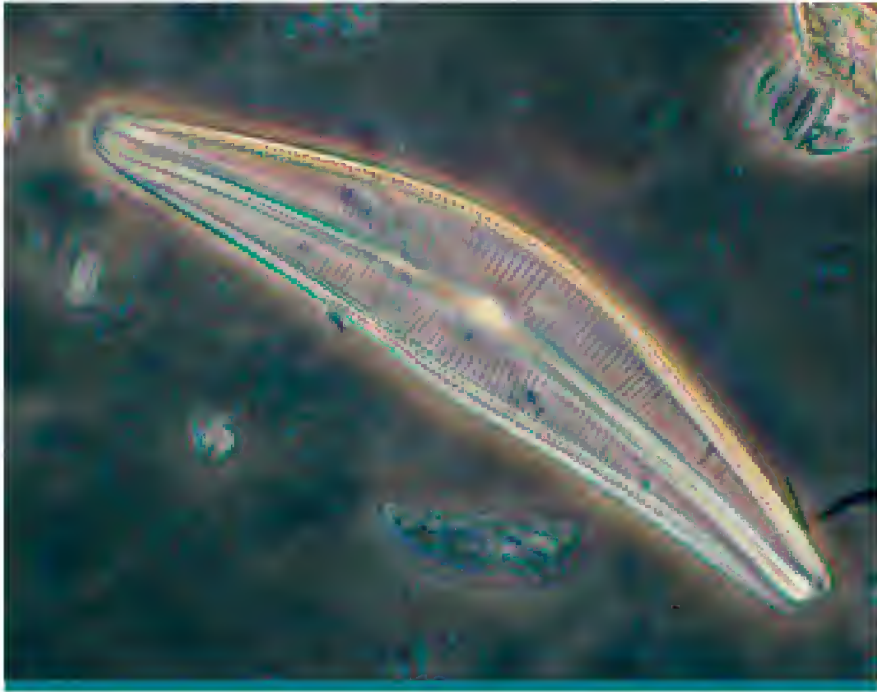


FIGURA 7. Frústula de la diatomea penada *Cymbella* sp., un integrante del microfitobentos. Escala: 10  $\mu$ m (Foto: Yuri Okolodkov).

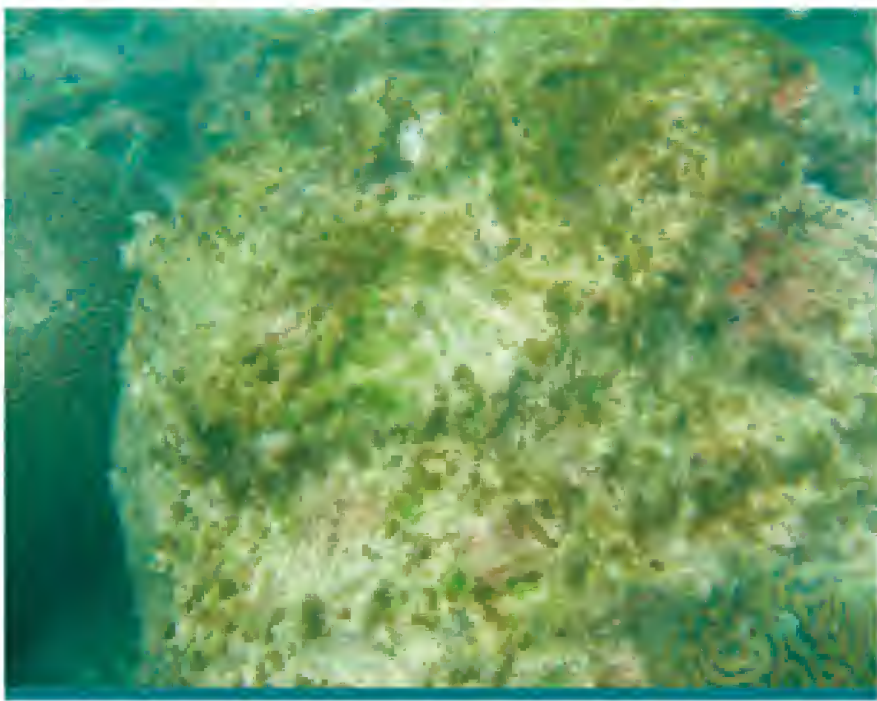


FIGURA 8. Cabezas de coral *Diploria strigosa* (Dana) están asociadas con macroalgas, un hábitat típico para microalgas bentónicas y epífitas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Foto: Yuri Okolodkov).

Los datos sobre la productividad primaria y de la biomasa del fitoplancton, en términos del contenido de clorofila *a* (Cl *a*) son escasos. Los estudios se realizaron principalmente en la Laguna de la Mancha (Villalobos *et al.*, 1984; Barreiro-Güemes y Martínez, 1990; Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés, 1991; Contreras-Espinosa *et al.*, 2005). Estos autores midieron la productividad primaria, el contenido de Cl *a* y calcularon la relación C:Cl *a* (cuadro 1). Esta última relación refleja la eficiencia fotosintética (Banse, 1974, 1977), mientras que la cantidad de Cl *a* en el agua ha sido considerada tradicionalmente como un índice de la biomasa fitoplanctónica y ha sido utilizada para detectar problemas de eutrofización (Castillo, 1983; Contreras-Espinosa *et al.*, 2005). Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés (1991) registraron los valores máximos de la productividad primaria durante las épocas de lluvias y nortes (octubre del 1989), especialmente en la zona cercana a la boca de intercomunicación con el mar. En 2002-2003 la productividad primaria fue menor durante la fase de boca abierta (agosto-octubre) en comparación al valor registrado para el periodo de boca cerrada (diciembre), y presentó un comportamiento inverso al de la Cl *a* (Contreras-Espinosa *et al.*, 2005). Se sugiere que la relación N:P (nitrógeno:fósforo) controla el proceso de fotosíntesis (Hecky y Kilham, 1988; Contreras-Espinosa *et al.*, 2005) y no la concentración de nutrientes. Los datos sobre la productividad primaria y la concentración de Cl *a* del mar abierto del estado de Veracruz son escasos.

Otros datos sobre la biomasa y productividad primaria fueron obtenidos en la Laguna Pueblo Viejo, la Laguna de Tampamachoco, el sistema estuarino Boca del Río-Mandinga, frente al río Coatzacoalcos y a la Laguna Alvarado (Castillo, 1983; Cantur, 1984, De la Lanza-Espino y Cantur, 1986; González-Ávila y Martínez-Arroyo, 1996; Martínez-Arroyo *et al.*, 2000, y otros). Las bacterias fotosintéticas también pueden contribuir significativamente a la productividad primaria (hasta con un

91 % anualmente) en los ecosistemas acuáticos. En esta laguna se encontraron bacterias fotótrofas no sulfurosas de la familia Rhodospirillaceae (Rojano-Vilchis *et al.*, 1998). En la misma laguna se mostró la presencia de bacterias fotosintéticas rojas de azufre de Chromatiaceae (Núñez-Cardona, 2002).

CUADRO 1. Productividad primaria, concentración de clorofila *a* (Cl *a*) y la relación C:Cl *a* en la Laguna de La Mancha (se dan valores promedios y entre paréntesis valores mínimos y máximos).

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA (mgC/m <sup>3</sup> /h)	Cl <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	C:Cl <i>a</i> (mgCm <sup>3</sup> h:mg <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	AUTOR
69.88 (19.8-123.4)	9.42 (4.3-23.3)	6.65 (2.13-23.7)	Villalobos <i>et al.</i> , 1984
120	no hay datos	14.8	Barreiro-Güemes y Martínez, 1990
77.8 (9.1-165.0)	19.32 (4.6-29.0)	5.84 (1.1-11.0)	Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés, 1991
(29.84-158.63)	(3.04-11.30)	(2.50-28.09)	Contreras-Espinosa <i>et al.</i> , 2005

Aunque muchos trabajos incluyen la información sobre los índices de diversidad, realmente el conocimiento sobre la diversidad específica es deficiente. Ellos adolecen del análisis taxonómico satisfactorio, sin mencionar exhaustivo, y los datos taxonómicos son frecuentemente reemplazados por un análisis estadístico. Los estudios de los ciclos anuales y circadianos de la comunidad planctónica son muy importantes, porque tienen el valor potencial de poder predecir los cambios causados por el factor antropogénico o detectar o pronosticar el desarrollo masivo de las especies potencialmente nocivas. Nuestro conocimiento de las comunidades y asociaciones fitoplanctónicas está basado, principalmente, en los estudios de la zona estuarina, en lagunas, mientras la información de las del mar abierto es escasa. El fenómeno

de los florecimientos algales nocivos nos obliga a establecer y poner en marcha un monitoreo intersectorial y más profesional, con el fin de predecir y mitigar los efectos negativos de las mareas rojas; el monitoreo debe incluir muchos elementos, tales como el cultivo de las algas nocivas y estudios interdisciplinarios con imágenes de satélite. El estado de Veracruz debe estar preparado y capacitado para una amenaza potencial, como la invasión de las algas de la clase Pelagophyceae, causantes de la “marea café”, que se ha detectado o presentado en los estados de Texas y Tamaulipas. Los estudios de la productividad primaria en las lagunas de Veracruz, cuyos pioneros fueron Villalobos *et al.* (1984) son importantes para la conservación, rehabilitación y restauración de los ecosistemas. Existen trabajos basados en estudios comparativos de la productividad de fitoplancton, manglares y de los manchones de *Halodule wrightii* Asch. (Cymodoceaceae) en las praderas (*e.g.*, Barreiro-Güemes y Martínez, 1990; Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés, 1991). Sin embargo, no hay publicaciones que nos permitan comparar la productividad de fitoplancton, de microalgas y macroalgas bentónicas. Además, no hay datos publicados sobre la productividad primaria en el mar abierto a las profundidades de más de 36-40 m. Relacionar e integrar la diversidad biológica con la productividad primaria es un reto importante y puede ser uno de los objetivos prioritarios en los estudios de biodiversidad para el estado de Veracruz, a mediano y largo plazo.

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos a Blanca Pérez-García de la UAM-Iztapalapa y a Ismael Gárate-Lizárraga del CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., por la revisión del manuscrito; a Mona Hoppenrath de Senckenberg Research Institute, German Center for Marine Biodiversity Research, Wilhelmshaven, Alemania, por las microfotografías electrónicas.

## LITERATURA CITADA

- AVENDAÑO-SÁNCHEZ, H. y O. Sotomayor-Navarro, 1982, Estructura y distribución de las comunidades fitoplanctónicas de la zona sureste del Golfo de México, verano de 1980, *Investigaciones Oceanográficas* (Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía, Biología Marina, México), 1(3): 79-96.
- BANSE, K., 1974, On the interpretation of data for the carbon-to-chlorophyll ratio of phytoplankton, *Limnology and Oceanography* 19: 695-699.
- , 1977, Determining the carbon-to-chlorophyll ratio of natural phytoplankton, *Marine Biology* 41: 199-212.
- BARÓN-CAMPIS, S., D.U. Hernández-Becerril, N.O. Juárez-Ruiz y C. Ramírez-Camarena, 2005, Marea roja producida por *Peridinium quinquecorne* en Veracruz, México (oct-nov, 2002): morfología del agente causal, *Hidrobiológica* 15(1): 73-78.
- BARREIRO-GÜEMES, M.T. y J. Balderas-Cortés, 1991, Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la laguna de La Mancha, Veracruz, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM* 18(2): 229-245.
- BARREIRO-GÜEMES, M.T. y M.T. Martínez A., 1990, Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la laguna de La Mancha, Veracruz, Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Oceanografía. p. 13.
- CANTUR, M.C., 1984, *Determinación de pigmentos del fitoplancton de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz*, tesis profesional, Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Zaragoza"/Iztacala, UNAM, México, 77 pp.
- CASTILLO T., A.G., 1983, *Productividad primaria en la laguna de Pueblo Viejo, Ver., en el periodo mayo-octubre de 1982*, tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 85 pp.
- CONTRERAS-ESPINOSA, F., N.E. Rivera-Guzmán y R. Segura-Aguilar, 2005, Nutrientes y productividad fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México, *Hidrobiológica* 15(3): 299-310.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. y M.C. Cantur, 1986, Cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmentos ( $D_{430}/D_{665}$ ) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Ver., *Universidad y Ciencia* 3(5): 31-41.
- GONZÁLEZ-ÁVILA, M.E. y A. Martínez-Arroyo, 1996, Estudio del efecto de la temperatura en la fotosíntesis de una comunidad fitoplanctónica marina, en una zona de operación termoeléctrica (Tuxpan, Veracruz, México), en I Reunión Internacional de Planctología y VIII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, Programa y Resúmenes, 23 a 26 de abril de 1996, Pátzcuaro, Michoacán, p. 21.
- HECKY, R.E. y R. Kilham, 1988, Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environment: A review of recent evidence on the effects of enrichment, *Limnology and Oceanography* 33: 796-822.
- LÓPEZ-BARREIRO, M.T., T. Villarreal y M.T. Barreiro-Güemes, 1999, Identificación por inmunofluorescencia de *Aureoumbra lagunensis*, especie causante de la marea café de Texas, en el Golfo de México, en X Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, III International Meeting of Planktology, 28-30 de abril de 1999, Mazatlán, Sinaloa, p. 12.
- MARTÍNEZ-ARROYO, A., S. Abundes, M.E. González y I. Rosas, 2000, On the influence of hot-water discharges on phytoplankton communities from a coastal zone of the Gulf of Mexico, *Water, Air and Soil Pollution* 119: 209-230.
- NÚÑEZ-CARDONA, M.T., 2002, Pigmentos fotosintéticos de las bacterias pláncicas de la Laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz, México, en XII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, V International Meeting of the Mexican Society of Planktology, 6-9 de mayo del 2002, Xalapa, Ver., p. 81.
- OKOLODKOV Y.B., G. Campos-Bautista, I. Gárate-Lizárraga, J.A.G. González-González, M. Hoppenrath y V. Arenas, 2007, Seasonal changes of benthic and epiphytic dinoflagellates in the Veracruz reef zone, Gulf of Mexico, *Aquatic Microbial Ecology* 47: 223-237.

- RAMÍREZ-CAMARENA, C. y D.U. Hernández-Becerril, 2006, Mareas rojas de *Karenia brevis* en costas mexicanas del Golfo de México: revisión de 1996 a 2005, en CD de Memorias del XIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, 13-15 de noviembre de 2006, Veracruz, México, pp. 93-94.
- RAMÍREZ-GRANADOS, R., 1963, Marea roja. Datos para su conocimiento y pronóstico. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca e Industria Conexas, serie: Trabajos de Divulgación 4(35): 1-9.
- ROJANO-VILCHIS, N.A., M.J. Ferrara-Guerrero y M.T. Núñez-Cardona, 1998, Caracterización de bacterias pláncnicas fotótrofas aisladas a partir de muestras de agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz (México), en IX Reunión de la Sociedad Mexicana de Planctología A.C. y II Reunión Internacional de Planctología, Programa y Resúmenes, 22-24 de abril del 1998, Mérida, Yucatán, p. 22.
- SANTOYO, R.H. y M. Signoret, 1975, Fitoplancton de la Laguna Salada y zona costera adyacente, Veracruz (septiembre, 1973), *Revista Latinoamericana de Microbiología* 17: 169-173.
- VILLALOBOS, F.A., V.R. De la Parra, B.E. Galván, O.J. Cacho R. y M.A. Izaguirre P., 1984, Estudio hidrobiológico de la laguna de La Mancha, Municipio de Actopan, Veracruz, 1979-1980, *Cuadernos de Divulgación*, INIREB 15: 1-51.
- VILLAREAL, T.A., T. Chirichella y E.J. Buskey. 2004. Regional distribution of the Texas brown tide (*Aureoumbra lagunensis*) in the Gulf of Mexico, en K.A. Steidinger, J.H. Landsberg, C.R. Tomas y G.A. Vargo (eds.), Harmful Algae 2002, Xth International Conference, St. Pete Beach, Florida, USA, October 21-25, 2002. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Institute of Oceanography, and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, pp. 374-376.



# Amenazas a los recursos hídricos



Octavio Pérez-Maqueo  
Lyssette Muñoz-Villers  
Gabriela Vázquez  
Miguel Equihua  
Pedro León Romero

*Hicimos de agua a cada ser vivo*  
EL CORÁN (SURA 21:30).

## INTRODUCCIÓN

El volumen total de agua en el mundo es de 1 385 984 510 000 hm<sup>3,1</sup>. De este total, 97 % se encuentra en los océanos, mares y bahías; 1.7 % en las capas de hielo y glaciares; 1.6 % es agua subterránea y sólo el 0.013 % (189 990 000 hm<sup>3</sup>) corresponde al agua dulce superficial líquida contenida en ríos, pantanos y lagos (Gleick, 1996). Los 189 990 000 hm<sup>3</sup> llenarían aproximadamente 189 300 000 depósitos de agua del tamaño del Estadio Azteca de la Ciudad de México. Distribuida en el mundo por el ciclo

hidrológico, a su vez impulsado por el flujo energético, el agua interviene en la mayoría de los otros ciclos biogeoquímicos y determina gran parte de las condiciones climatológicas en la troposfera<sup>2</sup>. Aunque la mayor parte del agua en el ciclo hidrológico terrestre es salina, es el agua dulce, con tan sólo el 3 % del total planetario, la que ha sido un catalizador en el desarrollo de nuestras civilizaciones. Los seres humanos necesitamos del agua de forma tal que las diferencias en su disponibilidad significan grandes contrastes en el bienestar y el desarrollo. La importancia que tiene el agua, tanto para el hombre como para los procesos funcionales de los ecosistemas, está reflejada en el capítulo 18 de la Agenda 21 adoptado en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992, donde se indica que:

<sup>1</sup> Un hm<sup>3</sup> es igual a un millón de metros cúbicos.

<sup>2</sup> Capa más baja de la atmósfera que se extiende desde la superficie de la Tierra hasta más allá de las nubes que se pueden ver normalmente.

...El agua se necesita en todos los aspectos de la vida. El objetivo es garantizar que se mantenga un abastecimiento adecuado de agua de buena calidad para las poblaciones, al tiempo que se preservan las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas dentro de los límites de capacidad de la naturaleza<sup>3</sup>.

Desafortunadamente, la presión sobre el sistema hidrológico tiende a aumentar junto con el crecimiento de la población, el desarrollo económico y los cambios potenciales del clima. Entre los principales retos que hay que enfrentar a nivel mundial se encuentran: la progresiva escasez relativa del agua por el incremento en la demanda y por la contaminación, el lento avance hacia el abastecimiento de agua limpia y saneamiento y los daños causados por eventos hidrometeorológicos extremos como sequías, huracanes e inundaciones. La situación es paradójica ya que algunas de las acciones que se han desarrollado para superar estos y otros obstáculos, han creado nuevos problemas. Evidentemente se requiere un enfoque integral para enfrentar la complejidad de la problemática actual (UNESCO-OMS, 2003). En este capítulo se presentan los principales problemas hidrológicos del estado y se analiza la relación de esta problemática con otros componentes del medio físico, biótico y social, desde una perspectiva ecológica integradora. Finalmente, se presentan las acciones que se llevan a cabo para solucionar estos problemas y las conclusiones del capítulo.

Veracruz es un estado rico en recursos naturales y con abundante agua. De las 110 regiones hidrológicas prioritarias identificadas por la Conabio, algunas de ellas se encuentran en Veracruz, como: río La Antigua, río Tecolutla, humedales del Papaloapan, San Vicente y San Juan, Los Tuxtlas, y la cuenca alta y media del Coatzacoalcos. Estas cinco regiones se definen como

prioritarias debido a su alta biodiversidad y, con excepción de la Antigua, todas están amenazadas. En los casos de Los Tuxtlas, río Tecolutla y la cuenca alta y media de Coatzacoalcos también son consideradas como prioritarias debido a la presencia de actividades productivas. Las dos últimas regiones también destacan por el desconocimiento científico que existe sobre ellas.

En nuestro estado están representados una gran parte de los ecosistemas acuáticos de México, por lo que también se encuentra entre las entidades mexicanas con mayor diversidad de especies (Semarnat, 2002). En Veracruz se han encontrado 144 especies de peces que representan el 28 % de todas las especies de México, de las cuales 10 se han reportado como endémicas y, entre ellas, cinco especies se encuentran en la categoría de “amenazadas”, tres en “peligro de extinción” y dos “sujetas a protección especial” (Mercado-Silva *et al.*, 2010). Por otro lado, los ríos con mayor diversidad de peces son el Pánuco con 75 especies (30 % endémicas), el Coatzacoalcos con 53 especies (13 % endémicas) y el Papaloapan con 47 especies (21 % endémicas) (Aguilar, 2003). Hay otras regiones muy diversas como la región de Los Tuxtlas en cuyos lagos, ríos, arroyos y cascadas se reporta un total de 33 especies de peces (Vázquez *et al.*, 2004).

En cuanto a la cantidad de agua, aproximadamente escurren por el estado 121 000 millones de m<sup>3</sup> al año. No obstante, Veracruz tiene importantes rezagos en la cobertura del servicio de agua y en algunas regiones como la parte norte del estado y la zona centro, las sequías son cada vez más agudas. Por otro lado, hay que aclarar que la alta disponibilidad de agua no se traduce espontáneamente en beneficios inmediatos para la población. Por ejemplo, la disponibilidad de agua y los indicadores de desarrollo socioeconómico en la región hidrológica Golfo X Centro muestran un comportamiento aná-

<sup>3</sup> UN, 1992, p. 275.

logo al nacional, esto es, que en las zonas de mayor disponibilidad de agua se concentra el menor desarrollo económico (figura 1). También hay que mencionar que en algunos casos el exceso de agua se convierte en un problema, ya que las inundaciones suelen ser frecuentes y el 8 % del territorio se encuentra expuesto a ellas.

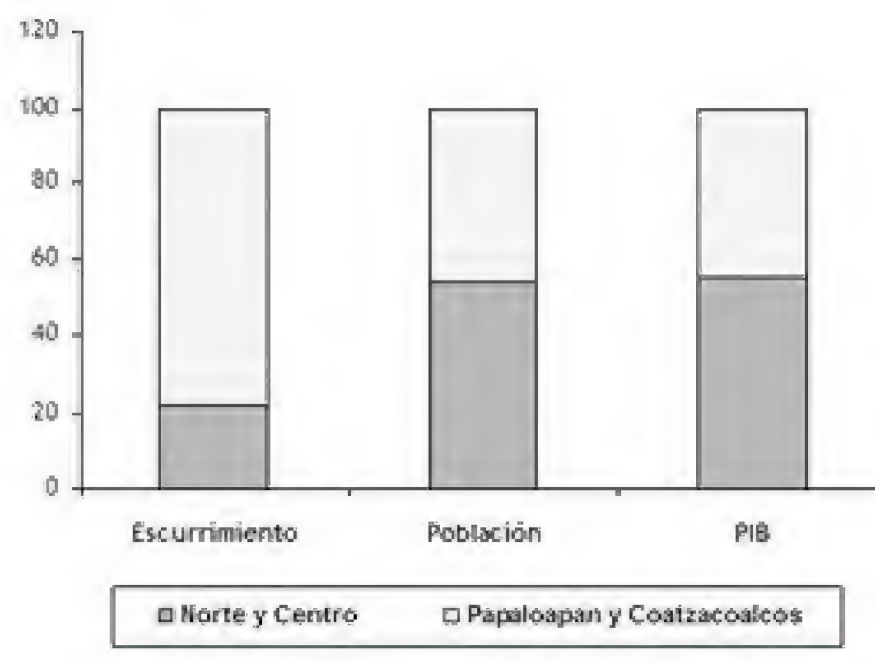


FIGURA 1. Porcentajes de escurrimiento, población y producto interno bruto en las regiones contenidas en la Gerencia X Golfo Centro. (Fuente: Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 (CNA, 2001) y Gerencia Regional Golfo Centro; Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025 de la Región X, Golfo Centro (CNA, 2001).

Sin duda, uno de los principales problemas en Veracruz es la calidad del agua. En las cinco regiones hidrológicas que se encuentran en el estado, las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales urbanas, industriales y agropecuarias (cuadro 1). El bajo saneamiento de las aguas residuales municipales se debe en parte a que se tienen 88 plantas de tratamiento en todo el estado, de las cuales únicamente el 28 % está en operación, por lo que la cobertura de saneamiento es sólo del 11.4 % (CSVA, 2005). Las descargas de origen municipal, junto con las del sector servicios, representan el 32 % del volumen descargado y el 24 % de la carga

contaminante. En general, las aguas residuales industriales representan una fuente de contaminación puntual de efectos muy severos. Entre las que más contribuyen en la entidad se encuentran los beneficios de café, beneficios azucareros, alcohólicas, papeleras, industrias petroquímica y química. Las industriales constituyen el 68 % del volumen descargado a ríos y cauces de forma puntual, además de que aportan el 76 % de la carga contaminante medida en términos de la carga orgánica (DBO<sup>5</sup>). Las descargas de los ingenios azucareros y de las instalaciones de Pemex representan el 50 % del volumen generado por el sector industrial, el 65 % de la carga orgánica y el 89 % de la demanda química de oxígeno (DQO) (CSVA, 2005).

Por otro lado, las descargas provenientes de la agricultura son una fuente difusa de contaminación del subsuelo, de las aguas freáticas y de las aguas superficiales. En Veracruz prevalece el sistema de riego de canales a cielo abierto, la mayoría de ellos sin revestir y también a nivel parcelario, donde el agua se deja correr en forma laminar sobre los terrenos de cultivo. Durante el proceso de riego, el agua excedente se infiltra, o el agua que corre superficialmente arrastra sustancias que se utilizan para la fertilización de la tierra (compuestos de nitrógeno y fósforo) y el control de plagas (CSVA, 2005). También existe contaminación del agua proveniente de algunas sustancias usadas para el manejo veterinario del ganado y que son excretadas en forma de compuestos metabólicamente activos, aunque se descarguen en proporciones aparentemente pequeñas. En el cuadro 1 se presentan las principales fuentes de contaminación de las diferentes descargas residuales sobre los sistemas acuáticos para cada región.

#### LA VISIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS NATURALES

La pérdida de recursos naturales, la escasez y el exceso de agua y la deficiente calidad de ésta son

CUADRO 1. Estado de contaminación de los principales ríos y cuencas de Veracruz. (Fuente: modificado de Calles y Gómez, 1997).

REGIÓN	ESTADO DE CONTAMINACIÓN
BAJO PÁNUCO	Cuencas contaminadas por aguas residuales de importantes concentraciones urbanas e industriales.
NORTE DE VERACRUZ	Las cuencas del Tuxpan, Cazones y Tecolutla están contaminadas por descargas de aguas residuales de origen municipal e industrial (petróleo). La cuenca del río Nautla presenta contaminación urbana, industrial y agropecuaria (ingenios, destiladoras, embotelladoras, beneficios de café).
CENTRO	La cuenca del río Actopan se reporta contaminada principalmente por descargas municipales, en las cercanías de los grandes centros urbanos como Xalapa y Banderilla. Recibe también fertilizantes y biocidas usados en los cultivos de chayote, mango y caña de azúcar. La cuenca del río La Antigua presenta descargas de ingenios azucareros, beneficios de café y aguas municipales no tratadas de Xalapa, Coatepec y Teocelo. La cuenca del río Jamapa-Cotaxtla se encuentra contaminada principalmente por materia orgánica y bacteriológica, por contaminantes químicos no biodegradables y por campos petroleros.
PAPALOAPAN	La cuenca del río Blanco presenta contaminación industrial, urbana y agrícola, principalmente por descargas de ingenios azucareros y beneficios de café. Uno de los principales contaminantes es materia orgánica. Algunas industrias utilizan sustancias tóxicas no biodegradables y bioacumulables. En la cuenca del Papaloapan, los ríos reciben desechos de la industria azucarera, papelera, cervecera, aguas negras municipales y escurrimientos de biocidas y fertilizantes.
COATZACOALCOS	En esta cuenca, la principal contaminación es industrial y en particular la industria petrolera. Se encuentra un alto número de complejos petroquímicos como Cosoleacaque, Pajaritos, Cangrejera, Morelos y la refinería Lázaro Cárdenas.

resultado y forman parte de interacciones funcionales complejas dentro de las cuencas. El agua y los elementos que circulan a través de las cuencas, ligan los diferentes componentes del sistema (vegetación, suelo y agua), por lo que un cambio en la concentración de nutrientes y flujos de energía puede manifestarse en el desequilibrio de los procesos ecológicos que ocurren en los diferentes sistemas. El estado de salud e integridad ecológica de los sistemas acuáticos pueden verse afectados por el uso de suelo de su cuenca de drenaje y, en consecuencia, por el estado de conservación de la vegetación. Al ser la cuenca la unidad geográfica en la que ocurren la mayor parte de las fases del ciclo hidrológico de interés humano, es necesario entender dentro de ella los procesos que operan en los ecosistemas que la conforman. Dicho entendimiento propicia una visión integral de dónde incorporar los componentes del medio social, físico y natural que interactúan a distintas escalas temporales y espaciales. Sólo a tra-

vés de la comprensión de estas interacciones, articuladas alrededor de la búsqueda del bienestar humano, es que será posible propiciar el uso sustentable de los recursos naturales (figura 2).

Dentro de estas interacciones, la relación entre las funciones de los ecosistemas y el componente biológico es clave. El desarrollo teórico dentro de la ecología y los estudios (tanto observacionales como experimentales) apoyan la idea que sostiene que los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas, así como las propiedades de los cuales se derivan éstos dependen de manera fundamental de la biodiversidad (Hooper *et al.*, 2005, véase el estudio de caso 1) A continuación se resaltan algunas de las principales interacciones, así como su repercusión en el bienestar de los habitantes del estado.

El color verde resalta procesos biológicos, el azul procesos físicos, el rojo procesos causados por actividades humanas y el negro procesos de realimentación hacia el bienestar humano en la región. El

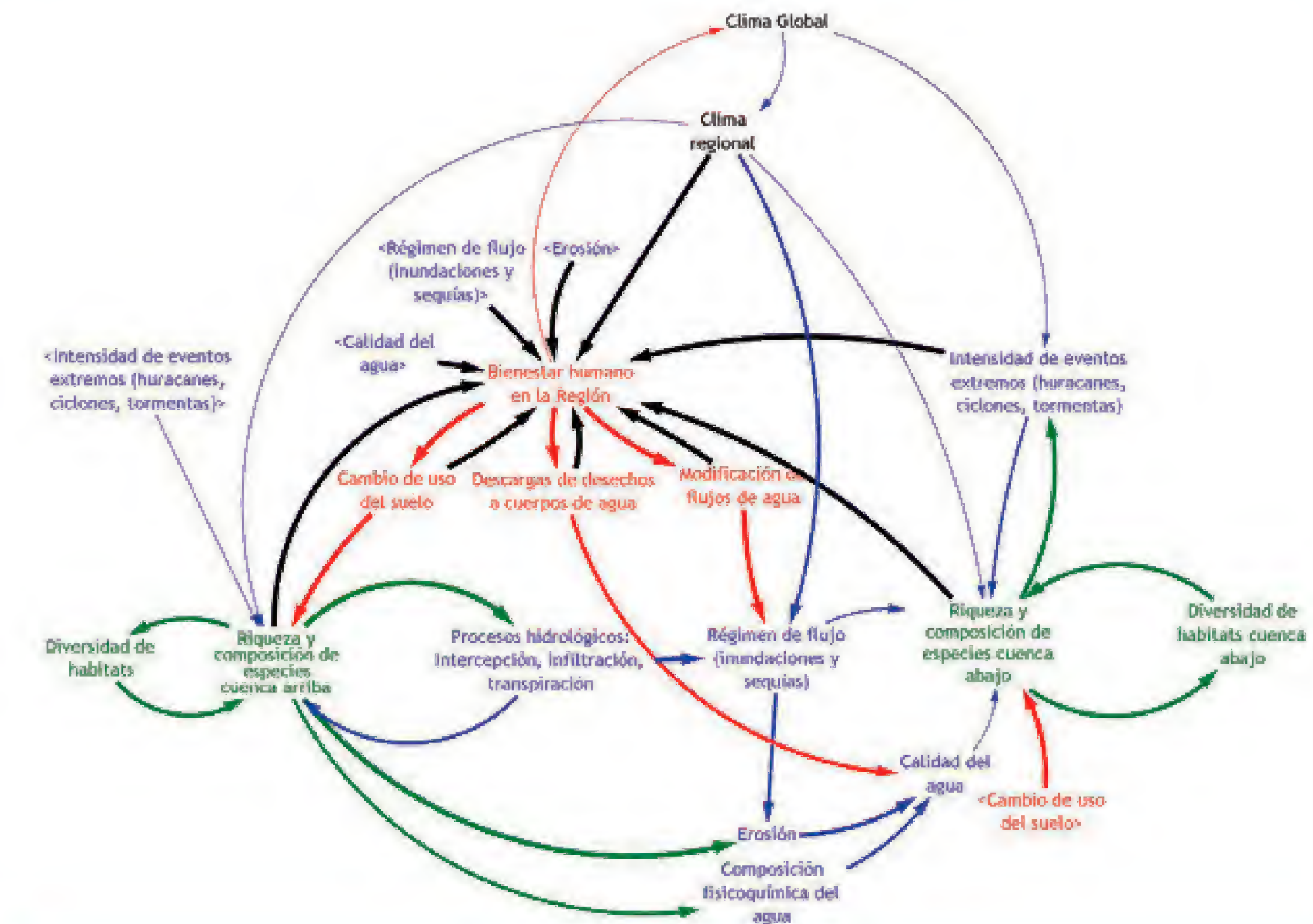


FIGURA 2. Interrelación entre algunas funciones hidrológicas, biodiversidad y bienestar humano.

grosor de las flechas indica escalas temporales (entre más anchas, menor tiempo en causar un cambio). Para facilitar la legibilidad de la figura fue necesario repetir los nombres de algunas variables, en estos casos el nombre está entre los signos < y >. Como se indica, la relación del ser humano con los ecosistemas tiene un efecto significativo. La búsqueda de bienestar nos ha llevado a transformar el entorno a través de distintos procesos como son: el cambio del uso del suelo hacia actividades productivas como la agricultura, la ganadería o actividades industriales; la modificación y la contaminación de cuerpos de agua y la emisión de contaminantes a la atmósfera, entre otros. Los beneficios que han traído consigo estos cambios han sido a costa de alteraciones en la

riqueza y la composición específica de distintos ecosistemas y el funcionamiento hidrológico. Paradójicamente, el bienestar humano muchas veces se ha empobrecido con estas acciones debido a la existencia de procesos de realimentación que operan sobre algunas de las interacciones del sistema.

### Relación entre el uso del suelo y los procesos hidrológicos

En la parte alta de las cuencas, las coberturas forestales estabilizan el flujo subsuperficial. Este aspecto destaca sobre todo en áreas tropicales y subtropicales como es el caso de Veracruz, donde las precipita-

ciones en época de lluvias son abundantes y de fuerte intensidad. La estructura de los suelos forestales, en combinación con la ausencia de un uso intensivo, condiciona altas capacidades de infiltración. En este sentido, aun durante precipitaciones de alta intensidad, gran parte del agua infiltra al suelo y la escorrentía superficial tiende a ser relativamente pequeña (figura 2). Por lo tanto, la deforestación o el reemplazo de bosques y selvas por otros usos de suelo, puede modificar significativamente las tasas de intercepción, transpiración e infiltración de agua (Viles, 1990 y Le Maitre *et al.*, 1999, citados en Eviner y Chapin III, 2003). Lo anterior, a su vez, afecta el régimen de los flujos de los arroyos a lo largo del año y por lo tanto los patrones de inundación y las crecidas de ríos.

En Veracruz, las tasas de pérdida de bosques y selvas son alarmantes (2.7 % anual, equivalente a 5 000 ha), que lo ubican en el segundo lugar en deforestación en el país (Challenger, com. pers.). Desde el punto de vista hidrológico, la conversión de bosques a pastizales o cultivos conduce a cambios en los patrones de flujos estacionales de los ríos y aumento en los picos de descarga durante eventos de precipitación (Aylward, 2004), propiciando muy probablemente inundaciones en las partes bajas.

Las coberturas vegetales también brindan una adecuada protección al suelo y favorecen una alta calidad del agua (regulando sedimentos, turbidez, temperatura y oxígeno disuelto). Por ejemplo, en la parte alta de la cuenca del río La Antigua se encontró que el tipo de vegetación tiene un efecto notorio en la calidad del agua. Los ríos de bosque presentan un estado oligotrófico<sup>4</sup> y en el extremo del gradiente, los ríos del cafetal un estado eutrófico. Los cafetales tienen una alta concentración de sólidos suspendidos totales (SST), lo que sugiere un gran arrastre de sedimentos al río en época de lluvias por

el alto porcentaje de suelo desnudo (Martínez *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, en rev). En los pastizales los SST son bajos (poco suelo desnudo), pero presentan alta concentración de sílice atribuido a la descomposición de las paredes celulares de las gramíneas (Vázquez *et al.*, en rev). Las características fisicoquímicas del agua influyen significativamente en la determinación de la composición de especies, tanto acuáticas como terrestres, en la parte baja de la cuenca, presentándose así una relación compleja entre los distintos elementos que interactúan dentro de ésta (figura 2).

En el caso de las comunidades acuáticas, y dado que las especies que las conforman han evolucionado como respuesta a los regímenes naturales de flujo, es posible que los cambios provocados por el hombre puedan alterar su composición en las zonas bajas. Dentro de los factores que mayor efecto pueden tener, en este sentido, están la construcción de presas, el azolve de ríos y lagos provocado por la erosión y el uso de agua dentro del ámbito agrícola, industrial y urbano (Mercado-Silva *et al.*, 2010). Además de la pérdida potencial de especies en esta zona, es posible que la invasión y el éxito de especies introducidas y exóticas en ríos también se faciliten con los cambios hidrológicos (figura 2). A pesar de que la investigación sobre estos temas es necesaria, hasta donde se sabe, existe poca información al respecto sobre el estado.

### Riesgos naturales

Dada la naturaleza costera de Veracruz, hay que considerar especialmente los procesos hidrológicos que ocurren en el contacto con el Golfo de México. Estos procesos dan origen a un extenso y complejo mosaico de humedales de muy variados tipos y rele-

<sup>4</sup> En Limnología se describe con términos como éste la productividad del ambiente acuático. Oligotrófico se refiere a aguas con pocos nutrientes y fondos oxigenados. Eutrófico describe un exceso de nutrientes, los fondos pueden presentar déficit de oxígeno.

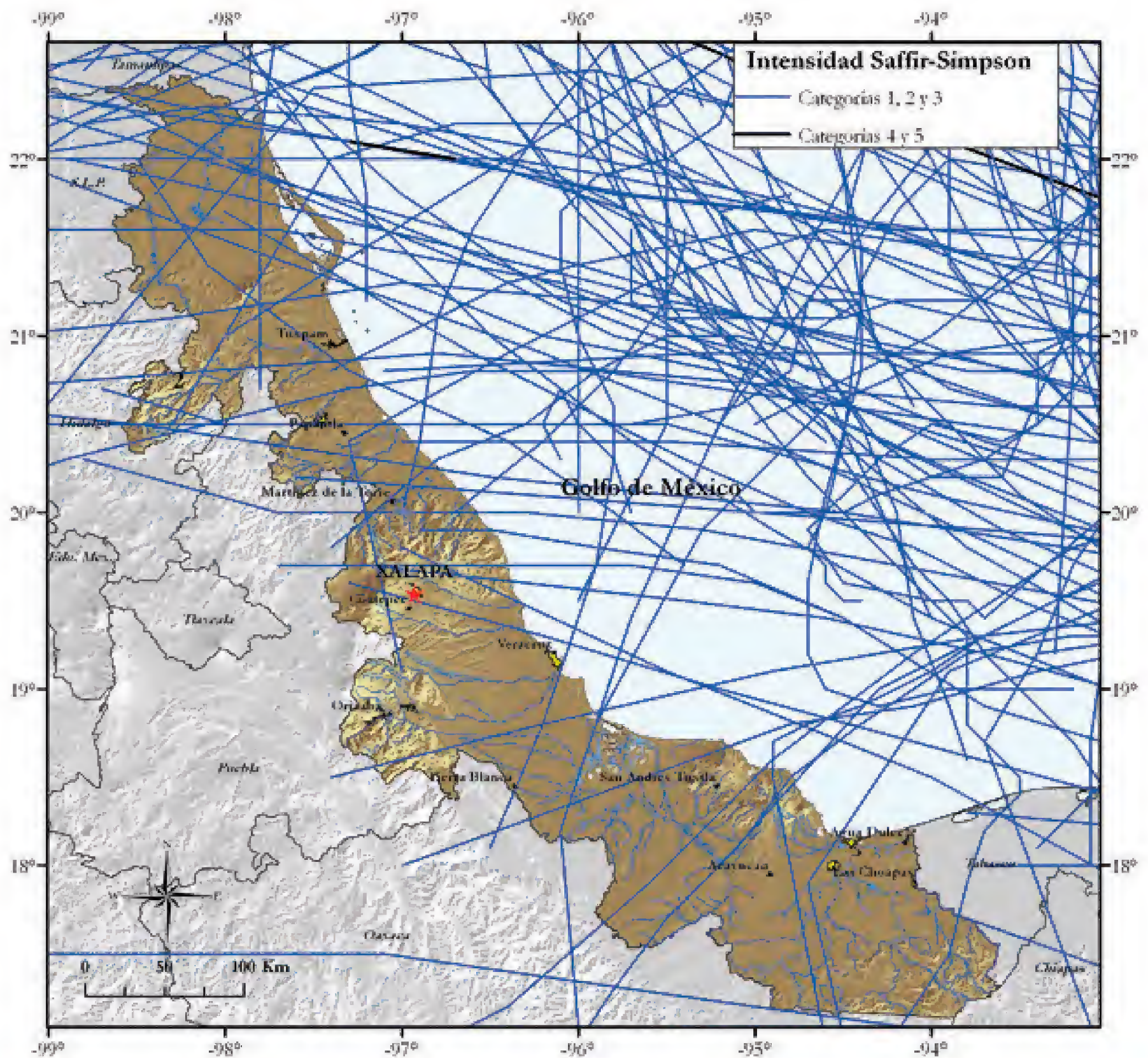


FIGURA 3. Trayectorias de huracanes en el Golfo de México en el periodo 1855-2005. Categorías 1 y 2 y 3 (en azul), categorías 4 y 5 (en negro) de acuerdo con la escala de Saffir-Simpson. (Fuente: The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center (<http://maps.csc.noaa.gov/hurricanes/download.html>). (Fuente: CNA. 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Comisión Nacional del Agua (CNA), México).

vancia para la biodiversidad de la región y para la vida humana. La composición de especies de estos humedales favorece la provisión de hábitat para otros organismos, el reciclaje de nutrientes y la protección contra el oleaje, los nortes, las tormentas tropicales y los huracanes (Danielsen *et al.*, 2005;

UNEP-WCMC, 2006; Pérez-Maqueo *et al.*, 2007). La función de los ecosistemas naturales como barreras que protegen hasta cierto punto zonas habitadas, es trascendente bajo el escenario actual de cambio climático. En el caso de Veracruz, el aumento en la frecuencia de huracanes de categoría mayor, debido

al incremento de las temperaturas del agua (Webster *et al.*, 2005), es relevante (figura 3). De hecho, su influencia y las inundaciones asociadas a ellos, comienzan a ser un problema preocupante en el estado. El número de ciclones tropicales (30) que se presentó en el Océano Atlántico durante el 2005 fue superior al detectado en cualquier otro año del registro histórico, que existe para el periodo 1855-2005 (Acevedo y Luna, 2006). Durante ese año, las tormentas Bret, José y el huracán Stan, provocaron lluvias intensas, deslaves, escurrimientos y desbordamientos de cuerpos de agua en todo el estado. Por ejemplo, la depresión Bret con una velocidad de vientos de 56 km/hr, produjo fuertes inundaciones por lluvia ocasionando la muerte de una persona y daños materiales. La tormenta tropical José alcanzó los 65 km/hr provocando inundaciones y deslaves que causaron la muerte de una persona y obligaron a que miles fueran evacuadas de sus casas. Finalmente, el huracán Stan de categoría 5 con velocidades superiores a los 130 km/hr ocasionó la muerte de 80 personas e inundaciones desastrosas en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas. Particularmente, en la parte baja de la Cuenca de La Antigua, el impacto de Stan fue muy severo.

## Clima

En cuanto al clima, hoy en día se reconoce que la deforestación tropical en grandes extensiones puede cambiar el clima regional significativamente (Kanae *et al.*, 2001; Pielke *et al.*, 2002). Se ha comprobado que los bosques tropicales inciden en las condiciones climáticas mediante distintos mecanismos, como son: el mantenimiento de una humedad elevada del suelo y del aire cerca de su superficie, la reducción de la penetración de la luz al suelo y la velocidad del viento en la superficie (Pielke *et al.*, 2002). Modelos generales de circulación (MGC) sugieren que la deforestación tropical puede reducir la precipitación y aumentar la longitud de la época

de secas (Shukla *et al.*, 1990; Lawton *et al.*, 2001; Pielke *et al.*, 2002). Los cambios en el clima pueden propagarse incluso a nivel global. Simulaciones obtenidas a partir de MGC sugieren que cambios en el paisaje regional pueden alterar flujos de la superficie de la tierra en cualquier parte del mundo a través de realimentaciones no lineales dentro de la circulación atmosférica global (Chase *et al.*, 2000).

## Cambio Climático Global

Hoy en día se acepta que el Cambio Climático Global está ocurriendo por factores antrópicos. Los modelos actuales predicen, que ante distintos escenarios de desarrollo económico, es posible que para el año 2020 los ecosistemas de Veracruz estén expuestos a una variación de la precipitación anual de  $\pm 5\%$  y a un aumento en la temperatura anual entre 0.8 y 1.4 °C. Para el año 2080 la precipitación podría variar entre +10 y -20 % y la temperatura media anual incrementarse 3 °C.<sup>5</sup>

Adicionalmente, hay que considerar que el otro efecto del calentamiento global es la elevación del nivel medio del mar. Por ejemplo, el sistema lagunar de Alvarado y del río Papaloapan cubren un área de 1 183 km<sup>2</sup> con una zona de inundación de alrededor de 1 448 km<sup>2</sup>. El cálculo del área de inundación entre el nivel de los 0 a 1 m de altura sobre el nivel del mar indica que se encuentra un 84 % ocupada por la zona intermareal. Este nivel de inundación abarca hasta 47.5 km tierra adentro sobre las tierras bajas. Para el intervalo de 1 a 2 m de elevación, el área afectada podría ser de 168 km<sup>2</sup> lo cual corresponde al 16 % de la superficie total del sistema lagunar de Alvarado (Ortiz Pérez y Méndez Linares, 1999). Debido al aumento en el nivel del mar, es muy probable que desaparezcan comunidades ligadas a áreas inundables, entre las que se encuentran los manglares ubicados en casi toda la costa,<sup>6</sup> así como el popal en llanuras aluviales al sur del estado. Hay que anotar que la mayo-

ría de los estudios de cambio climático se han enfocado a las fluctuaciones en las condiciones promedio, pero este fenómeno traerá sobre todo cambios en la variabilidad climatológica, así como en los eventos extremos, los que repercutirán, sobre todo en el sur de México, en las condiciones de vida de las personas y la permanencia o establecimiento de especies.

#### RESPUESTA ESTATAL A LOS PROBLEMAS HIDROLÓGICOS

Como se ha señalado, a pesar de la alta oferta de agua y la considerable biodiversidad, el estado de Veracruz no está exento de problemas ambientales. En respuesta, se han instrumentado políticas dirigidas a satisfacer las necesidades hídricas de la población, orientadas también a la protección de otros recursos naturales. El estado de Veracruz se ha destacado por explorar instrumentos normativos e institucionales que propicien la adecuación del marco jurídico nacional y fomenten la eficacia de los mecanismos jurídicos existentes (CSVA, 2005). A partir de la Ley Número 21 de Aguas del estado de Veracruz se creó el Sistema Veracruzano del Agua (SVA), integrado por el Ejecutivo del estado, los ayuntamientos y los sectores social y privado. El SVA se encarga del tratamiento adecuado de las aguas de jurisdicción estatal, así como de la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y saneamiento. Para garantizar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el SVA, existe una autoridad normativa y otra operativa representadas por el Consejo del Sistema Veracruzano del Agua y por la

Comisión del Agua del estado de Veracruz, respectivamente (CSVA, 2005).

#### Programa Hidráulico Estatal (PHE)

El Consejo del Sistema Veracruzano del Agua presentó, en el 2005, el Programa Hidráulico Estatal (PHE). En este programa el gobierno del estado realizó un diagnóstico sobre la problemática relacionada con el agua en las cinco regiones que conforman la entidad. Los principales problemas detectados fueron: 1) la baja cobertura de agua potable y saneamiento, 2) la contaminación del agua; 3) los daños producidos por fenómenos hidrometeorológicos extremos (como inundaciones, deslaves y sequías); 4) la baja eficiencia del uso del agua en la agricultura y la insuficiencia en la medición, y 5) la poca divulgación de la información. El PHE contiene además una prospectiva para los próximos 20 años, así como los lineamientos con los cuales se buscan nuevos esquemas y fuentes de financiamiento que permitan construir las obras necesarias e influir en una mayor participación de la sociedad. Como resultado del análisis el PHE estableció las acciones que deben realizar las instituciones de los diferentes niveles de gobierno en cada región.<sup>7</sup>

Dentro de las acciones a realizar, el gobierno del estado reconoce el vínculo existente entre los problemas del agua con otros componentes del ecosistema. Además de proponer ubicar las nuevas áreas protegidas y parques ecológicos en función de aspectos hidrológicos, se promueve la adopción de Programas de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos y se busca así proteger las fuentes de abastecimiento de las localidades.

<sup>5</sup> ([http://www.ine.gob.mx/cclimatico/edo\\_sector/estados/estados.html](http://www.ine.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/estados.html)).

<sup>6</sup> ([http://www.ine.gob.mx/cclimatico/edo\\_sector/estados/amenaza\\_veracruz.html](http://www.ine.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/amenaza_veracruz.html)).

<sup>7</sup> (<http://www.csva.gob.mx/pagindex.php?pag=300>).

CUADRO 2. Sitios Ramsar dentro del estado de Veracruz. (Fuente: Ramsar, 2008).

NÚMERO RAMSAR	SITIO	FECHA DE DESIGNACIÓN	ÁREA (ha)	COORDENADAS
1336	La Mancha y El Llano	02/02/2004	1 414	19°36'N 096°23'W
1342	Manglares y humedales de la Laguna de Sontecomapan	02/02/2004	8 921	18°32'N 095°02'W
1346	Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano	02/02/2004	52 238	19°08'N 096°00'W
1355	Sistema Lagunar Alvarado	02/02/2004	267 010	18°39'N 095°51'W
1450	Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz	02/02/2005	141	19°10'N 096°10'W
1462	Humedales de la Laguna La Popotera	05/06/2005	1 975	18°40'N 095°31'W
1596	Laguna de Tamiahua	27/11/2005	88 000	20°58'N 097°19'W
1601	Cascadas de Texolo y su entorno	02/02/2006	500	19°24'N 097°00'W
1602	Manglares y humedales de Tuxpan	02/02/2006	6 870	21°00'N 097°21'W

FUENTES: Calles, A. y A. Gómez. 1997. *Información Hidrológica del Estado de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Desarrollo Urbano. Dirección General de Asuntos Ecológicos, 26 p.

Ramsar 2008. The List of Wetlands of International Importance. Convención de Ramsar sobre los Humedales. <http://www.ramsar.org/indexsp.htm>.

Por otro lado, el reconocimiento de la pérdida de ecosistemas, como una de las amenazas más importantes en la ruta hacia la sustentabilidad, ha producido acciones determinantes en la entidad. Una de ellas es la promoción de la protección de humedales a través de su registro en la Convención Ramsar de humedales de relevancia internacional y que ya suman nueve (cuadro 2).

#### Iniciativa por el Agua, los Bosques y las Cuencas (Iniciativa ABC)

Otro esfuerzo que puede tener resultados favorables para el estado es la Iniciativa por el Agua, los Bosques y las Cuencas (Iniciativa ABC) la que, mediante un fideicomiso, busca establecer un instrumento jurídico-financiero enfocado a la protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales. Entre sus políticas, la Iniciativa ABC instaurará aquellas que conciben la regulación del uso del

suelo con criterios ecológicos y promoverá actividades productivas favorables con el ambiente, así como el pago por servicios ambientales.<sup>8</sup>

Como parte de la propuesta, la Iniciativa ABC plantea a las microcuencas como unidades básicas para la protección, la preservación y el enriquecimiento de los ecosistemas que aseguran la biodiversidad y la disponibilidad de agua. Sin duda estos mecanismos suponen la modernización de los enfoques de administración pública en relación con los recursos hidrológicos de la entidad.

#### CONCLUSIONES

A pesar de la importante destrucción de hábitats, Veracruz sigue considerándose como la entidad con la tercera posición por riqueza biológica en el país, sin embargo, la amenaza de extinción o al menos de extirpación estatal de muchas especies crece en forma alarmante si se considera la pérdida de super-

<sup>8</sup>([http://www.huiloapandecuahutemoc.gob.mx/secciones.html?seccion=boletines@noticias\\_ver&idnoticia=3343](http://www.huiloapandecuahutemoc.gob.mx/secciones.html?seccion=boletines@noticias_ver&idnoticia=3343)).

ficie de los ecosistemas originales. Es particularmente preocupante la amenaza que enfrentan los humedales de la entidad, aunque en los últimos años se ha empezado a revalorarlos, lo que consta por el aumento en el registro de sitios veracruzanos en la Convención de Ramsar. Los costos ambientales por el deterioro de los recursos hidrológicos son actualmente evidentes: altos niveles de contaminación, escasez de agua (con la creciente conflictividad social asociada), creciente vulnerabilidad a peligros naturales como inundaciones, sequías, deslaves y otros.

Afortunadamente la revaloración de los múltiples beneficios que los ecosistemas naturales ofrecen a la sociedad está ganando terreno en Veracruz. Particularmente la adopción de esquemas que buscan reconocer el valor de los ecosistemas mediante la “internalización” en la economía, por su papel en la generación de servicios ambientales hidrológicos (entre otros servicios que proporcionan) es una naciente realidad.

Mejorar el conocimiento de los procesos ecosistémicos es esencial para gestionar y salvaguardar los recursos hidrológicos y naturales del estado. Este conocimiento será también importante para desarrollar modelos destinados a comprender fenómenos complejos como, por ejemplo, los relacionados con el cambio climático. Los modelos que se generen serán herramientas preventivas para mitigar las posibles consecuencias de modificaciones ambientales de gran magnitud que pueden interferir con los procesos productivos actuales.

AGRADECIMIENTOS. Parte de la información de este capítulo se obtuvo del proyecto apoyado por Conacyt 43082.

## LITERATURA CITADA

- ACEVEDO, F. y A. Luna, 2006, Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado de Veracruz en el Año 2005, en A. y. W. C. Tejeda, (ed.), *Inundación 2005 en el Estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana, 53-67 pp.
- CSVA, 2005, Programa Hidráulico Estatal, Consejo Estatal Veracruzano del Agua, <http://www.csva.gob.mx/pagindex.php?pag=300>.
- CHASE, T. N., S. R. A. Pielke, T. G. F. Kittel, R. R. Nemani, y S. W. Running, 2000, Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter, *Climate Dynamics* 16 (2): 93-105.
- DANIELSEN, F., M. K. Sorensen, M. F. Olwig, V. Selvam, F. Parish, N. D. Burgess, T. Hiraishi, V. M. Karunakaran, M. S. Rasmussen, L. B. Hansen, A. Quarto, y N. Suryadiputra, 2005, The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation, *Science* 310: 643.
- EVINER, V. T. y F. S. Chapin III, 2003, FUNCTIONAL MATRIX: A Conceptual Framework for Predicting Multiple Plant Effects on Ecosystem Processes, *Annual Reviews in Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 455-485.
- GLEICK, P. H., 1996, Water resources, en S. H. Schneider, *Encyclopedia of Climate and Weather*, Oxford University Press, Nueva York.
- HOOPER, D. U., F. S. Chapin, J. J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J. H. Lawton, D. M. Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, H. Setälä, A. J. Symstad, J. Vandermeer, y D. A. Wardle, 2005, Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge, *Ecological Monographs* 75 (1): 3-35.
- KANAE, S., T. Oki, y K. Musiake, 2001, Impact of deforestation on regional precipitation over the Indochina Peninsula, *Journal of Hydrometeorology* 2 (1): 51-70.
- LAWTON, R. O., U. S. Nair, R. A. Pielke Sr, y R. M. Welch, 2001, Climatic Impact of Tropical Lowland

- Deforestation on Nearby Montane Cloud Forests, *Science* 294 (5542): 584.
- MARTÍNEZ M.L, O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, M. Equihua, R. Landgrave, Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management* 258: 1856-1863
- MERCADO-SILVA, N., E. Díaz, A. Gutiérrez, y S. Eduardo, 2010, Los peces dulceacuícolas de Veracruz, *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado*, Conabio, México.
- ORTIZ PÉREZ, M. A. y A. P. Méndez Linares, 1999, Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe, Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM, México, *Boletín* 39: 68-81.
- PÉREZ-MAQUEO, O., A. Intralawan, y M. L. Martínez, 2007, Coastal disasters from the perspective of ecological economics, *Ecological Economics* 63 (2-3): 273-284.
- PIELKE, R. A., G. Marland, R. A. Betts, T. N. Chase, J. L. Eastman, J. O. Niles, D. D. S. Niyogi, y S. W. Running, 2002, The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series a-Mathematical Physical and Engineering, Sciences* 360 (1797): 1705-1719.
- SEMARNAT, 2002, *Biodiversidad. Informe de la situación del medio ambiente en México*, Semarnat, México.
- SHUKLA, J., C. Nobre, y P. Sellers, 1990, Amazon deforestation and climate change, *Science* 247 (4948): 1322-1325.
- UN, 1992, Agenda 21, Programa de Acción para el Desarrollo Sostenible, Conclusiones oficiales de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medioambiente y Desarrollo (UNCED), Río de Janeiro.
- UNEP-WCMC, 2006, *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*, Cambridge, UK.
- UNESCO-OMS, 2003, Parte II: Una mirada a los recursos mundiales de agua dulce, en UNESCO y WWAP (eds.), *Water for people, water for life*, pp. 67-95.
- VÁZQUEZ, G., E. Díaz-Pardo, A. Gutiérrez-Hernández, I. Doadrio, y A. de Sostoa, 2004, Los ríos y los lagos, en S. Guevara, Laborde J, y S.-R. G., (eds.), *Los Tuxtlas*, 201-230 pp. Unión Europea/INECOL.
- WEBSTER, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry, y H. R. Chang, 2005, Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Science* 309 (5742): 1844-1846.

## ESTUDIO DE CASO 1

## LA BIODIVERSIDAD ES CLAVE EN LAS FUNCIONES DE LOS ECOSISTEMAS

Octavio Pérez-Maqueo

La composición de especies vegetales y animales es parte medular en el funcionamiento hidrológico de las cuencas. Las especies vegetales con dosel alto y con una extensión de área foliar considerable, pueden interceptar agua de lluvia, y permitir el depósito de agua por neblina, como una fuente adicional de agua, en ambientes tanto costeros como montañosos (Weathers, 1999). En algunos casos, se ha reportado que el 34 % del agua que entra al sistema ha sido a través de la neblina (Dawson, 1998). Por su parte, especies con raíces largas toman el agua de las capas profundas del suelo y pasivamente las liberan por evapotranspiración a la superficie (Viles, 1990 y Le Maitre *et al.*, 1999, citados en Eviner y Chapin III, 2003). Asimismo, los invertebrados del suelo contribuyen de manera importante en la infiltración y el almacenamiento del agua (Lavelle *et al.*, 2006).

La composición de especies también es un factor importante en el grado de erosión causada por los escurrimientos de agua. La erosión tiende a disminuir si existen especies con mayor cobertura o con alta densidad y longitud de raíces finas que ayuden en la cohesión del suelo (Waldron y Dakessian, 1981, citado en Eviner y Chapin III, 2003). En general, la erosión tiende a ser menor en bosques que en pastizales, ya que el dosel y la capa de mantillo de las especies arbóreas además de interceptar eficientemente la lluvia, disminuyen el efecto del viento y por lo tanto el transporte de partículas. En contraste, los pastizales pueden ser funcionalmente importantes en sistemas áridos. Se ha visto que en estos sistemas cambiar el uso del suelo de pastizal a matorral puede incrementar la erosión debido a los espacios vacíos que quedan entre los arbustos (Schlesinger *et al.*, 1990, citado en Eviner y Chapin III, 2003).

En la parte baja de la cuenca, los arrecifes coralinos y los manglares pueden absorber entre el 70 y el 90 por ciento de la energía de las olas generadas por el viento, dependiendo de las condiciones físicas y del estado de salud de estos ecosistemas (UNEP-WCMC, 2006).

DAWSON, T. E. 1998. Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia* V117 (4): 476-485.

EVINER, V. T. y F. S. Chapin III, 2003, FUNCTIONAL MATRIX: A Conceptual Framework for Predicting Multiple Plant Effects on Ecosystem Processes, *Annual Reviews in Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 455-485.

UNEP-WCMC, 2006, *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*, Cambridge, UK.

WEATHERS, K. C. 1999. The importance of cloud and fog in the maintenance of ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 14 (6): 214-215.



# Amenazas al ambiente marino veracruzano



Carlos González-Gándara

## INTRODUCCIÓN

La zona marina de Veracruz, al igual que otras de México, está sujeta a un conjunto de factores naturales y antropogénicos que influyen negativamente sobre el agua, el sustrato y sus ecosistemas. Las múltiples actividades del hombre tanto en la zona terrestre como en la marina han convertido a esta región en una de las más amenazadas en el Golfo de México. El asentamiento y desarrollo de las industrias de petróleo, generación de energía eléctrica, pesca y turismo que se desenvuelven en la zona costera veracruzana la agricultura y ganadería que ocurren en gran parte del territorio, además de los asentamientos urbanos, generan residuos que son vertidos directamente a los ambientes marinos o bien son acarreados por los ríos que desembocan en la costa. Destacan los residuos agrícolas y ganaderos (plaguicidas, fertilizantes), industriales (metales pesados, hidrocarburos) y urbanos (aguas negras), mismos que en la mayoría de los casos no son tratados ni evaluados, convirtiéndose en riesgos poten-

ciales para la diversidad biológica de Veracruz. Por otra parte, los fenómenos naturales (*e.g.* ciclones o huracanes, nortes, trombas, lluvias fuertes, entre otros) que ocurren en las costas veracruzanas, producen cambios en las características de los ecosistemas marinos y sus componentes. Por tanto, en el presente capítulo se citan los principales problemas ambientales de la zona marina de Veracruz, sus fuentes de origen y se sugieren algunas alternativas de solución.

## DESCARGA DE AGUAS NEGRAS

La descarga de aguas negras en el ambiente marino veracruzano contribuye al crecimiento poblacional de los microorganismos, alterando las condiciones de equilibrio de los ecosistemas (Wong-Chang y Barrera-Escorcia, 2005), de tal manera que evaluaciones recientes indican que la calidad de agua del ambiente marino, desde el punto de vista microbiológico, es inadecuada debido al alto índice de coli-

formes (bacterias que se ubican en el tracto digestivo del hombre) (Barrera-Escorcia *et al.*, 1999). Los datos reportados por Wong-Chang y Barrera-Escorcia (2005) refieren la presencia de bacterias patógenas (*Salmonella* sp., *Shigella* sp, *Vibrio cholerae*) en la lagunas de Tamiahua, Alvarado y del Ostión, en los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, y en la zona costera del Puerto de Veracruz. Las investigaciones realizadas en agua y sedimentos, indican altos niveles de contaminación (cuadro 1). Los organismos vivos, especialmente los filtradores (ostión, jaiba) acumulan bacterias en su cuerpo, convirtiéndose en un peligro para el equilibrio ecológico y la salud humana. Wong-Chang y Barrera-Escorcia (2005) citan que en los ostiones de las lagunas de Veracruz se han detectado entre 2 300 y 540 000 NMP/100g de coliformes totales. Los organismos más contaminados se han registrado en Tamiahua y Pueblo Viejo. Las aguas del Golfo de México tienen una acentuada contaminación bacteriológica, pero los estudios sobre el tema son escasos (Barrera-Escorcia y Wong-Chang, 2005).

CUADRO 1. Concentración bacteriológica en agua y sedimentos (NMP/100ml en agua y NMP/100g en sedimento) de sistemas costeros de Veracruz

	AGUA	SEDIMENTOS
Coliformes totales (miles)	0.008 - 240	19 - 1000
Coliformes fecales (miles)	0.40 - 240	1.5 - 1000

## LOS METALES PESADOS

Los metales pesados son aportados a la zona marina por los sistemas fluviales, la atmósfera y las actividades humanas, convirtiéndose en tóxicos cuando aumentan sus concentraciones en el medio. Resultan particularmente de las actividades industriales (papeleras) y se han ido acumulando en los ecosistemas marinos. En lagunas costeras es donde se han detectado los valores más altos, tanto en sedimentos

como en los componentes del bentos (cuadros 2 y 3). Las concentraciones de estos elementos y los efectos en los seres vivos varían de acuerdo a la especie y a las condiciones ambientales. Los estudios de Sobrino-Figueroa *et al.* (2005) realizados en lagunas costeras del norte de Veracruz indican modificaciones genéticas en ostión debido a las concentraciones de plomo, cromo y una mezcla de cadmio, cromo, clomo y HPA (hidrocarburos aromáticos policíclicos). En el cuadro 2 se resume la información existente para los ecosistemas marinos de Veracruz.

CUADRO 2. Concentración promedio de metales totales en sedimento ( $\mu\text{g/g}$ ). En negritas se indican los valores que producen efectos biológicos. Tomado de Guzmán Amaya *et al.* (2005)

METAL	TAMIAHUA	MANDINGA	ALVARADO
Cadmio	<b>6.21 ± 1.86</b>	0.89 ± 0.46	
Cobre	10.52 ± 11.48	15.77 ± 6.88	17.49 ± 4.09
Cromo	26.40 ± 49.04	14.75 ± 9.76	13.75 ± 9.04
Níquel	<b>59.18 ± 20.37</b>	<b>72.26 ± 4.09</b>	<b>71.80 ± 7.19</b>
Plomo	17.35 ± 15.85	29.56 ± 5.40	27.49 ± 13.65
Zinc	39.98 ± 24.66	56.14 ± 19.54	55.81 ± 20.70

CUADRO 3. Concentración promedio de metales totales en ostión ( $\mu\text{g/g}$ ). En negritas se citan los que rebasan los límites permisibles. Tomado de Guzmán Amaya *et al.* (2005)

METAL	TAMIAHUA	MANDINGA	ALVARADO
Cadmio	7.32 ± 2.85	2.94 ± 0.97	<b>4.61-4.71</b>
Cobre	<b>202.43 ± 61.6</b>	<b>165.75 ± 133.7</b>	<b>278.00 ± 264.3</b>
Cromo	<b>33.64 ± 8.80</b>	<b>21.06 ± 2.69</b>	10.60 ± 3.93
Níquel	7.62 ± 2.43	3.64 ± 0.93	4.22 ± 3.91
Plomo	<b>21.42 ± 6.05</b>	<b>13.17 ± 1.92</b>	<b>9.05 ± 6.84</b>
Zinc	156.85 ± 70.15	159.81 ± 33.2	145.82 ± 62.9

## BIOCIDAS

El uso indiscriminado de compuestos químicos para aumentar la producción agropecuaria y eliminar las plagas domésticas, tanto en Veracruz como en los estados colindantes, ha generado una acumu-

lación de los mismos en los ecosistemas costeros veracruzanos. La naturaleza y magnitud del impacto de los plaguicidas sobre los ecosistemas está determinado por: 1) las propiedades del compuesto y del ambiente; 2) los aspectos tróficos y la naturaleza del hábitat, y 3) la edad del organismo. Los plaguicidas disueltos y particulados en las aguas pueden ser arrastrados a grandes distancias por las corrientes y mareas, también, al acumularse en los tejidos de los seres vivos, pueden ser transportados a otras regiones (Albert y Benítez, 2005).

La respuesta de los organismos a los plaguicidas se da en cuatro niveles: 1) bioquímico y celular; 2) sistémico; 3) poblacional y 4) comunitario, lo que puede generar cambios fisiológicos y genéticos en las propiedades poblacionales y en la diversidad biológica (McDowell *et al.*, 1988). Los niveles de toxicidad y persistencia de los plaguicidas en los seres vivos es variable (cuadro 4).

CUADRO 4. Toxicidad ( $CL_{50}$ ) y persistencia de algunos plaguicidas.  $CL_{50}$ =Concentración a la que muere el 50 % de la población de un organismo expuesto a un contaminante experimentalmente. VM=Vida media. Los datos corresponden al pez *Oncorhynchus mykiss*. Tomado de Albert y Benítez (2005).

PLAGUICIDA	$CL_{50}$ (mg/l)	VM (semanas)
DDT	0.004	489
Lindano	0.86	84
Paratión etílico	1.350	12
Malatión	0.080	1-2
Clorpirifós	0.051	1
Carbarilo	1.900	1
2,4-D	110.000	1-25
Permetrina	0.005	4
Diazinon	0.090	12

## LA ACTIVIDAD PETROLERA

La contaminación marina por petróleo y sus derivados es el problema de mayor importancia ecológica en las costas mexicanas, actualmente (Ponce-Vélez y Botello, 2005). Los niveles de hidrocarburos disper-

sos en la zona marina son altos, particularmente en las áreas de intenso tráfico marino y donde ocurren las actividades relacionadas con la industria (figura 1). El petróleo y sus derivados se encuentran dispersos en el agua, los sedimentos e incluso en los seres vivos. Ponce-Vélez y Botello (2005) citan que las aguas de los ríos Tuxpan y Coatzacoalcos y del Puerto de Veracruz presentan valores promedio elevados, con  $20\mu\text{g/l}$ ,  $14\mu\text{g/l}$  y  $14\mu\text{g/l}$ , respectivamente.

Las concentraciones del petróleo y sus derivados en los sedimentos de los sistemas costeros de Veracruz son altas, comparadas con lo que ocurre en la zona oceánica. Por ejemplo, se ha registrado una concentración promedio de  $348.5\ \mu\text{g/g}$  de HCT (hidrocarburos totales) que supera hasta en cuatro veces la concentración que ocurre en la zona oceánica (Ponce-Vélez y Botello, 2005). Por otra parte, los valores promedio más altos de HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos que resultan de los procesos de combustión) ocurre en sedimentos veracruzanos ( $5.6\ \mu\text{g/g}$ ). La alta concentración de hidrocarburos en los sistemas costeros (lagunas y estuarios) con respecto al mar abierto resulta del arrastre producido por los ríos y la dinámica de los sistemas estuarinos.

Los estudios efectuados por Botello y Paéz-Osuna (1986) en peces comerciales costeros, citan la presencia de niveles bajos de hidrocarburos en peces y crustáceos, sin embargo, estos valores pueden aumentar y llegar a ser tóxicos. Los efectos del petróleo y sus derivados sobre los organismos vivos son variados, dependiendo de varios factores y condiciones. De manera general, el daño es más intenso cuando ocurre en lagunas costeras, sistemas estuarinos y áreas intermareales, ya que éstos son sitios de crianza y alimentación de una gran cantidad de especies marinas (Ponce-Vélez y Botello, 2005) siendo las etapas juveniles las más sensibles. Los derrames de petróleo y el vertimiento de sus derivados pueden afectar la fisiología general y los patrones de conducta de los seres vivos.



FIGURA 1. Plataforma de Pemex en la costa veracruzana (Foto: José Ángel Galindo).

## PESCA Y TURISMO

La producción pesquera en 1999 para Veracruz fue de 136 328 t, lo que representa el 10.6 % del total nacional (Semarnat, 1999) debido a su gran diversidad de ecosistemas costeros. En los registros estadísticos de pesca se incluyen 190 nombres comunes de peces, crustáceos y moluscos (Quiroga-Brahms *et al.*, 2002). La actividad pesquera en el estado se desarrolla en lagunas, estuarios y sobre la plataforma continental, para lo que se utilizan artes de pesca artesanales, como atarrayas, redes de enmalle, palangres, entre otras, y embarcaciones menores. Por esto el registro de pescadores y embarcaciones es uno de los más altos en México (Quiroga-Brahms *et al.*, 2002). Debido a que las estrategias de pesca son poco selectivas, como las redes de arrastre camaronero, los palangres atuneros y las redes de enmalle, se puede afectar la diversidad biológica (figura 2). Por ejemplo, existe una disminución de la pesca de tiburones, pues aunque el promedio de extracción en los últimos 30 años se ha mantenido en 2 000 t anuales, pasó de capturar 5 500 t en 1984 a 1 500 t en 1998 (Mata *et al.*, 2002).

Las actividades turísticas son importantes en las costas de Veracruz, especialmente en las zonas de playa, áreas de manglar y arrecifes coralinos. Wong-Chang y Barrera-Escorcia (2005) citan valores de coliformes totales (1100 NMP/100ml) en las playas del Puerto de Veracruz que se ubican en el rango que cita la norma oficial mexicana. Por otro lado, los ecosistemas de arrecifes coralinos y de manglar se han convertido en atractivos turísticos por la belleza que resulta de su notable diversidad biológica, pero, salvo el Sistema Arrecifal Veracruzano y algunas áreas restringidas (*e.g.* La Mancha), no se cuenta con una vigilancia adecuada y es común la extracción de organismos con fines de ornato. En arrecifes coralinos del norte de Veracruz se ha observado la captura de peces cuyas poblaciones son pequeñas (pez gallo), así como la recolección de conchas y esqueletos de organismos marinos.



FIGURA 2. Barco pesquero perteneciente a la flota camaronera de Veracruz (Foto: Carlos González Gándara).

## FENÓMENOS NATURALES

Los fenómenos naturales (nortes, ciclones o huracanes, deslaves, entre otros) pueden modificar los rasgos físicos de los ecosistemas costeros, particular-

mente las playas, islas, arrecifes coralinos, manglares y sistemas estuarinos. Los huracanes Dean y Lorenzo que irrumpieron en las costas del norte de Veracruz en 2007, provocaron cambios en las playas y debido a la acción erosiva se modificaron sus dimensiones. En el caso particular de los arrecifes coralinos, se provocó la ruptura y deposición de las colonias coralinas, especialmente las más frágiles como el coral cuernos de alce (figura 3) y el coral de fuego que se ubican en las zonas donde el oleaje es más intenso. Por otra parte, eventos de blanqueamiento coralino (figura 4) se han observado en los arrecifes del norte de Veracruz durante octubre y noviembre de 2007 (González-Gándara, 2008), lo cual indica un alto nivel de estrés en las comunidades coralinas. A gran escala, el cambio climático global constituye uno de los mayores problemas que enfrenta el ambiente marino, ya que los cambios en las características de éste pueden modificar la composición, distribución y abundancia de especies y, como consecuencia, generar cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos.



FIGURA 3. Ruptura de *Acropora palmata* producida por el huracán Dean en arrecifes del norte de Veracruz (Foto: Carlos González Gándara).



FIGURA 4. Blanqueamiento de *Millepora alcicornis* en arrecifes del norte de Veracruz (Foto: Carlos González Gándara).

## CONCLUSIONES

El ambiente marino veracruzano, por ser el contenedor de las aguas procedentes de los estados de México, Hidalgo, Puebla, Oaxaca y el mismo Veracruz, está expuesto a muchas amenazas, destacando la acumulación de metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos y microorganismos en la columna de agua, en los sedimentos y en los organismos presentes, especialmente en los sistemas estuarino lagunares.

El manejo de los procesos productivos que se desarrollan en los ecosistemas costeros y marinos (explotación de petróleo, generación de energía eléctrica) debe ser regulado estrictamente para reducir sus efectos al ambiente.

Es importante contar con información básica sobre los procesos oceanográficos y biológicos que permita prevenir y mitigar los efectos de los fenómenos naturales y de origen humano sobre los ecosistemas costeros y marinos, para lo cual se deben ordenar las actividades productivas considerando la participación de todos los sectores sociales, políticos y económicos del estado.

## LITERATURA CITADA

- ALBERT, L.A. y J.A. Benítez, 2005, Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 157-175.
- BARRERA-ESCORCIA, G. e I. Wong-Chang, 2005, Diagnóstico de la contaminación microbiológica en el Golfo de México, en A.V. Botello, J. Rendon-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 515-523.
- BARRERA-ESCORCIA, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo y F. Saavedra-Villeda, 1999, Evaluación microbiológica de la laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995, *Hidrobiológica* 9(2): 125-134.
- BOTELLO, A.V. y F. Páez-Osuna, 1986, *El problema crucial: la contaminación*, Serie Medio Ambiente y Desarrollo en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo, México, 180 pp.
- FUENTES-MATA, P.C.M. Rodríguez-Mouriño, R.M. Lorán-Nuñez, N. García-Hernández, F.E. Escudero-González y V.S. Echevarría-Reyes, 2002, Pesquería de tiburones y rayas, en P. Guzmán-Amaya, C. Quiroga-Brahms, C. Díaz-Luna, D. Fuentes-Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (coords.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Sagarpa/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad Veracruzana, pp.187-194.
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C., 2008, Blanqueamiento en arrecifes coralinos de Tuxpan, Veracruz, *La Ciencia y el Hombre*, 21(2): 11-12.
- GUZMÁN-AMAYA, P., S. Villanueva, F. y A.V. Botello, 2005, Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot, y C. Agraz-Hernández, (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 361-372.
- MCDOWELL, J., M. Moore y J. Widdows, 1988, Effects of toxic chemicals in the marine environment: Predictions of impacts from laboratory studies, *Aquatic Toxicology* 11: 303-311.
- PONCE-VÉLEZ, G. y A.V. Botello, 2005, Niveles de hidrocarburos en el Golfo de México, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 269-297.
- QUIROGA-BRAHMS, C., A. Valdéz-Guzmán, P. Guzmán-Amaya y M. García-Gómez, 2002, Pesca de arrastre de escama, en P. Guzmán-Amaya, C. Quiroga-Brahms, C. Díaz-Luna, D. Fuentes-Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (coords.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Sagarpa/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad Veracruzana, pp.167-176.
- SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), 1999, *Anuario Estadístico de Pesca*, Dirección General de Planeación, Estadística e Informática, México.
- SOBRINO-FIGUEROA, A., A.V. Botello y S. Villanueva-Fragoso, 2005, Efectos de compuestos genotóxicos de tres sistemas costeros de Veracruz, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 141-156.

WONG-CHANG, I. y G. Barrera Escorcía, 2005, Estado actual de la contaminación microbiológica en el Golfo de México, en A.V. Botello, J. Rendon-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto*

*ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/ Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 487-504.



Foto: Cesáreo Landeros



---

## SECCIÓN V

# La biodiversidad del estado y algunas de sus amenazas

### RESUMEN EJECUTIVO

Eugenia J. Olgún

Debido a las excepcionales características ecológicas del estado de Veracruz, reconocidas a nivel nacional e internacional, se le considera en su totalidad un sitio prioritario para la conservación global de la biodiversidad o foco rojo (*Hotspot*). Los cambios de cobertura de vegetación y uso del suelo dentro del paisaje veracruzano tienen un efecto negativo y directo en el entorno natural, provocando una reducción severa en la riqueza biológica, en los servicios ambientales y contribuyendo a la destrucción y fragmentación de hábitats. En el primer capítulo se describe el análisis geográfico de Focos Rojos y su complemento con el análisis GAP para el estado de Veracruz. El análisis geográfico GAP o vacíos es prácticamente una extensión de la evaluación de Focos Rojos y es aplicado para determinar la funcionalidad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para proteger áreas naturales y la biodiversidad en una región. En este estudio, se determinaron las áreas prioritarias de conservación, considerando criterios ecológicos y las amenazas socioeconómicas en el contexto de paisaje, mediante el uso de un Sistema de Información Geográ-

fica (SIG). En general, se presenta un panorama sobre las funciones y necesidades de las ANP del estado y se ofrecen recomendaciones sobre potenciales estrategias de conservación de la biodiversidad.

El resto de los capítulos de esta sección están relacionados a la discusión de diversos factores que contribuyen a la pérdida de la biodiversidad y, por ende, son considerados como fuertes amenazas a la biodiversidad. En el capítulo dedicado a la contaminación del agua en el estado de Veracruz, se describe en general la problemática en relación a este vital recurso. El escurrimiento promedio anual en los sistemas fluviales veracruzanos, representa el 33 % del escurrimiento nacional. Sin embargo, uno de los mayores problemas ambientales a los que se enfrenta no sólo el estado de Veracruz, sino otros estados de nuestro país y regiones del mundo, es la considerable contaminación en la que se encuentran un gran número de cuerpos de agua, derivada en gran parte por las descargas de aguas residuales municipales, agroindustriales e industriales sin tratar. Dentro de este contexto, se recomienda que las autoridades, a diferen-

tes niveles (municipal, estatal y federal) y de manera coordinada entre ellas y con el sector empresarial y el sector académico, implemente un Programa de Desarrollo Industrial Sustentable en el cual se fomenten estrategias que combinen herramientas de Producción Más Limpia y de adopción de Biotecnologías Ambientalmente Pertinentes. De esta manera, no sólo se logrará la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas acuáticos, sino también se lograrán beneficios de tipo económico y social.

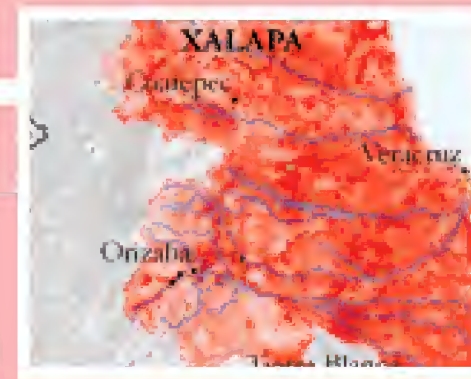
Los dos últimos capítulos de esta sección se relacionan a la problemática ambiental en torno a las dos agroindustrias más relevantes del estado, la del azúcar y la del café.

La agroindustria del azúcar representa una de las fuentes de contaminación más importantes del estado de Veracruz. Sin embargo, es una agroindustria vital para la economía del mismo. Del total de 58 ingenios azucareros que se encuentran operando en el país, 22 de ellos se ubican en Veracruz, lo que posiciona a este estado en el primer lugar, contribuyendo con el 39.5 % del total de la producción de azúcar y con aproximadamente el 75 % del total de la producción de etanol del país. De igual forma, se estima que en Veracruz, un millón de personas dependen directa e indirectamente de esta agroindustria. Desafortunadamente, el creciente desarrollo de la actividad azucarera en el estado a través de los años, ha traído consigo una serie de amenazas sobre la biodiversidad. Entre ellas, destacan las relacionadas principalmente con la transformación de zonas con alta biodiversidad en zonas de monocultivo, las prácticas no sustentables como la quema previa a la cosecha, con sus consecuentes problemas de pérdida de biodiversidad y de contaminación de la atmósfera. También destaca la alta emisión de gases invernadero por la falta de filtros en las chimeneas y de control en la operación de las calderas de los ingenios. En relación al

agua, se ha reportado un consumo exagerado de este recurso en la mayoría de los ingenios. La cuenca del Papaloapan en donde se produce la mayor cantidad de azúcar y etanol y la del Río Blanco, son las más afectadas por la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales y en especial por la descarga de vinazas sin tratar. Las vinazas son efluentes residuales de las fábricas de alcohol, que además de contener una gran cantidad de materia orgánica, contienen compuestos tóxicos, no degradables.

Por otro lado, la producción de café en el estado de Veracruz representa el 27.4 % del total nacional, siendo el segundo productor después del estado de Chiapas. Sin embargo, la falta de prácticas sustentables en los sistemas de producción y beneficiado del café, ha traído consigo una serie de problemas que amenazan la biodiversidad en el ecosistema cafetalero. Estas amenazas están relacionadas con por lo menos cuatro factores: *a)* el abandono de fincas cafetaleras o cambio de cultivo; *b)* el desarrollo de nuevas variedades de café de alto rendimiento bajo un esquema de cultivo sin sombra con gran dependencia de productos químicos; *c)* el uso no sustentable del agua en los procesos de transformación del grano caracterizado por un elevado consumo de agua y *d)* la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales con alta carga contaminante. Este espectro amplio de amenazas, hace necesaria la implementación de programas regionales para el cultivo y procesamiento sustentable del café con énfasis en la conservación del cultivo tradicional de café de sombra. En relación a la gestión del agua, tanto en la agroindustria del azúcar como la de café, se recomienda la implementación de estrategias de Producción Más Limpia a través de la reducción, el reciclaje y reuso del agua y la adopción de Tecnologías Ambientalmente Pertinentes para el tratamiento de las aguas residuales.

# Focos rojos para la conservación de la biodiversidad



Edward Alan Ellis  
Marisol Martínez Bello  
Roberto Monroy Ibarra

## INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica del estado de Veracruz, así como la variedad de características físicas, climáticas, orográficas y geológicas que presenta, han producido una de las riquezas biológicas más importantes de México. Veracruz ocupa el tercer lugar en biodiversidad del país con una flora calculada entre las 7 700 (Ramamoorthy *et al.*, 1993) y 9 136 especies (Vázquez-Torres *et al.*, 1998), y se encuentra entre los nueve estados con mayor número de endemismos (Conabio, 1998), es decir, de especies que no existen en ningún otro sitio del país y del planeta. Asimismo, se le considera el único estado mexicano donde se observa por completo la transición entre zonas tropicales y templadas (Vázquez-Torres, 1998). Debido a esta excepcionalidad ecológica de Veracruz, reconocida a nivel nacional e internacional, dentro de la región Mesoamericana, se le considera un sitio prioritario para la conservación global de la biodiversidad o foco rojo (*Hotspot*) por la organización Conservation International (CI) (Mittermeier y Mittermeier, 1992;

Hardcourt y Sayer, 1996; Mittermeier *et al.*, 1998a; 1998, 2000). En este escenario ambiental, la población veracruzana realiza una amplia gama de actividades productivas que han modificado y siguen modificando drásticamente su entorno natural en formas y magnitudes diversas. La expansión de actividades agropecuarias, la infraestructura vial y la urbanización son las causas principales de la deforestación y la pérdida de vegetación natural (Semarnat, 2005; Martínez Bello, 2008). Los cambios de cobertura de vegetación y uso del suelo dentro del paisaje veracruzano tienen un efecto negativo y directo en el entorno natural, provocando una reducción severa en la riqueza biológica y los servicios ambientales, mediante la eliminación y fragmentación de la vegetación forestal y los hábitats que comprende (Semarnat, 2005). Según el informe “El medio ambiente en México” de la Semarnat (2005), Veracruz ocupa el primer sitio nacional en la pérdida de vegetación natural, con un 19 % entre los años 1993 y 2000 y con una superficie mínima restante de 15 %. Asimismo, es el segundo estado en incrementar más

velozmente, entre el año 2000 y el 2003, su red de carreteras (12.45 % anual), lo que favorece la fragmentación del hábitat y la mortandad de animales que se desplazan cruzando por los caminos (Semarnat, 2005).

Ante las presentes amenazas sociales a la biodiversidad y los retos que conllevan, la conservación y la restauración ecológica requieren de la implementación de estrategias traducidas en acciones, en múltiples escalas espaciales y temporales que funcionen con objetivos claros en las áreas de investigación, educación ambiental y legislación. Las áreas naturales protegidas (ANP) ha sido una de las medidas más importantes implementadas para contrarrestar la desaparición y deterioro de los sistemas ecológicos, sin embargo, su funcionalidad ha sido cuestionada (Mas *et al.*, 2003; Mas, 2005; Duran *et al.*, 2005; Bray *et al.*, 2007). La visión moderna de la conservación destaca la necesidad de establecer reservas naturales integradas con áreas comunitarias o privadas de manejo y conservación, con el fin de proteger ecosistemas completos, la diversidad biológica presente, los servicios ambientales que prestan y los procesos evolutivos que en ellos ocurren (Conabio, 2000). Esto implica, adoptando un enfoque de paisaje, el reconocimiento geográfico de las regiones naturales de importancia biológica, de las amenazas sociales y económicas, así como de los sitios aptos para implementar estrategias de conservación, considerando su valor ecológico ante tales propósitos (Fortman, 1997; Salem, 2003; Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007).

Los análisis geográficos de focos rojos (*Hot spots*) y GAP o vacíos es actualmente aplicado por organizaciones internacionales y nacionales, como una herramienta para la toma de decisiones e implementación de estrategias de conservación (Myers *et al.*, 2000; TNC, 2005; Conabio-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF, UANL, 2007). Los focos rojos se denominan así por ser sitios con una presencia excepcional de ecosistemas o hábi-

tats naturales y biodiversidad con mucha relevancia para la conservación, mientras que el GAP se refiere a los vacíos que existen en cuestión de políticas y medidas de conservación para dichos sitios denominados focos rojos. El análisis GAP o vacíos es prácticamente una extensión de la evaluación de focos rojos generalmente aplicado para determinar la funcionalidad de un sistema de ANP en proteger la gama de áreas naturales o ecorregiones y su biodiversidad asociada (Brook *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2004; Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007). Conservation International inició el concepto de análisis de focos rojos para evaluar sitios prioritarios globales para la conservación de biodiversidad y The Nature Conservancy (TNC), otra importante organización internacional, también aplica este análisis con el ambicioso objetivo de asegurar la protección de al menos 10 % de los principales ecosistemas del planeta para el año 2015 (TNC, 2005). En México la Conabio y la CONANP, en colaboración con múltiples instituciones, aplicaron a nivel nacional el análisis GAP o de vacíos y omisiones en la conservación de biodiversidad terrestre (Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007).

Los análisis de focos rojos y GAP por lo general requieren de la integración y evaluación de una gran cantidad de información (TNC, 2005). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proveen una herramienta esencial para capturar, procesar, analizar y visualizar espacialmente múltiples tipos de datos, lo que los hace una herramienta esencial (Lang, 1998; Morain, 1999). En este apartado se describe el análisis geográfico de focos rojos y su complemento con el análisis GAP para el estado de Veracruz. El análisis consiste en la determinación de las áreas prioritarias de conservación, considerando criterios ecológicos y las amenazas socioeconómicas en el contexto de paisaje, mediante el uso de un SIG. Con base en los resultados del análisis de focos rojos en Veracruz, se presenta un panorama sobre las funciones y necesidades de las ANP

del estado y se ofrecen recomendaciones sobre potenciales estrategias de conservación de la biodiversidad.

#### LOS ANÁLISIS GEOGRÁFICOS DE FOCOS ROJOS Y GAP

Conservation Internacional (CI) fue la primera organización que desarrolló un análisis de focos rojos utilizando como criterios la distribución geográfica de la biodiversidad (principalmente especies de plantas) y los grados de amenaza, en términos de pérdida de vegetación natural. De esta manera, detectaron las áreas de mayor riesgo y prioridad para la conservación de la biodiversidad mundial (Mittermier *et al.*, 1998; Myers *et al.*, 2000). Otros análisis se han realizado a nivel regional, por ejemplo, en la región Mediterránea (Médail y Quézel, 1999) y en el sureste de Australia (Linke y Norris, 2003). Por otra parte, Brooks *et al.* (2004) y Rodrigues *et al.* (2004) utilizaron datos de la ubicación y superficie de las áreas protegidas en conjunto, con datos de distribución geográfica de las especies y tipos de vegetación o hábitats, para realizar un análisis GAP global. Entre los análisis GAP a escalas regionales destaca el realizado para el estado de Florida, en los Estados Unidos por Pearlstine *et al.* (2002), el realizado por Oldfield *et al.* (2004) para el Reino Unido y el de Salem (2003) para Egipto. Actualmente, los análisis de focos rojos y GAP se están mejorando a partir de la incorporación de diversos criterios socioeconómicos. Shi y Singh (2003), por ejemplo, integraron los patrones de cambio de uso de suelo, la distribución de la población humana, las áreas protegidas y las áreas de importancia para la biodiversidad, con el objeto de evaluar los problemas ambientales de las áreas costeras mundiales. Similarmente, Cincotta *et al.* (2000) determinaron los criterios de impactos demográficos asociados con 25 focos rojos del mundo. Veech (2003) analizó

los criterios de población, densidad de población rural y crecimiento demográfico y añadió el criterio de deuda externa para observar sus relaciones con los focos rojos del mundo. En México la Conabio y Conap, en colaboración con múltiples instituciones, determinan geográficamente los vacíos de conservación, usando los criterios de importancia biológica basado en la cobertura y tipos de vegetación natural, el número de especies de vertebrados, especies endémicas y especies con distribuciones restringidas en las diversas ecorregiones representados en el país. Más aún, se incluyen criterios de amenaza con un índice de riesgo basado principalmente en la fragmentación, cambio de uso de suelo y crecimiento de la población marginada y, para efectos del análisis de vacíos, un índice de manejo de respuesta basado en la presencia, distribución y tipo de ANP (Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007).

Las investigaciones de ecología de paisaje y cambios en cobertura y uso de suelo, así como los análisis de focos rojos y GAP, se basan principalmente en el uso de técnicas de SIG y percepción remota (Menon *et al.*, 2001; Helmer *et al.*, 2002; Mass *et al.*, 2003; Salem, 2003; TNC, 2005). Numerosas investigaciones han implementado la percepción remota y los SIG en distintas partes de México para evaluar los posibles factores (sociales o naturales) que puedan explicar las dinámicas en los cambios de uso de suelo y vegetación. Entre ellos destacan los trabajos de Jong *et al.*, 2000; Turner *et al.*, 2001; Klepeis y Turner, 2001; Velásquez *et al.*, 2003; Bray *et al.*, 2004 y Ellis y Beck, 2004. Este tipo de estudios demostraron que no sólo los factores demográficos, sino también los económicos, institucionales, tecnológicos y culturales tienen fuertes impactos en la dinámica de los paisajes, reforzando la importancia de considerar variables socioeconómicas en conjunto con variables ecológicas para realizar análisis de focos rojos y GAP. La necesidad de disponer de una base de datos geográficos contenida en un SIG para evaluar

y monitorear los ecosistemas y la biodiversidad que albergan, es un componente clave para su conservación (Menon *et al.*, 2001; Salem, 2003).

En el estado de Veracruz se inició la aplicación de los SIG para la caracterización del paisaje, con el estudio denominado “Modificaciones Ecológico-Paisajista del estado de Veracruz”, elaborado por Giddings *et al.* (1996). La investigación demostró un grado de transformación del 70 al 80 % del paisaje natural veracruzano. Por su parte, Chiappy-Jhones *et al.* (2002) aplicó un SIG con datos geomorfológicos para su obra cartográfica,

gico-Paisajista del estado de Veracruz”, elaborado por Giddings *et al.* (1996). La investigación demostró un grado de transformación del 70 al 80 % del paisaje natural veracruzano. Por su parte, Chiappy-Jhones *et al.* (2002) aplicó un SIG con datos geomorfológicos para su obra cartográfica,

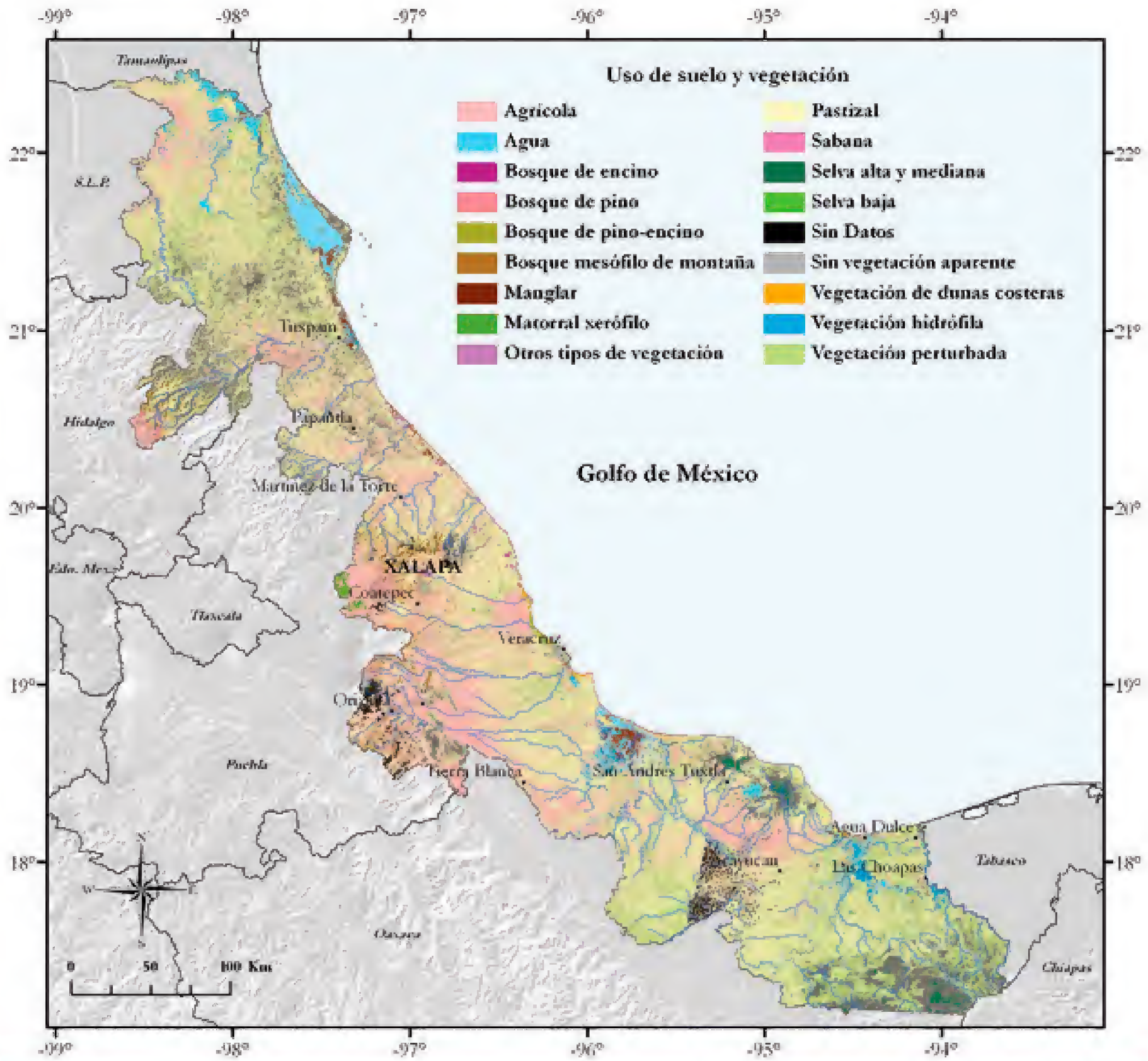


FIGURA 1. Mapa de vegetación y uso de suelo de Veracruz (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

*Mapa de paisaje del estado de Veracruz (con 28 tipos de paisajes) que muestra la heterogeneidad del territorio y la gran pluralidad de hábitats, tanto tropicales como templados del estado. A pesar de estos esfuerzos, aún se requiere actualizar y refinar la información existente sobre la condi-*

*ción de cobertura de la vegetación y uso de suelo en el estado de Veracruz y evaluar puntualmente los cambios históricos y la dinámica del paisaje. Es necesario desarrollar un SIG estatal donde se sistematicen datos de los diferentes rasgos biológicos, físicos, socioeconómicos y culturales que carac-*

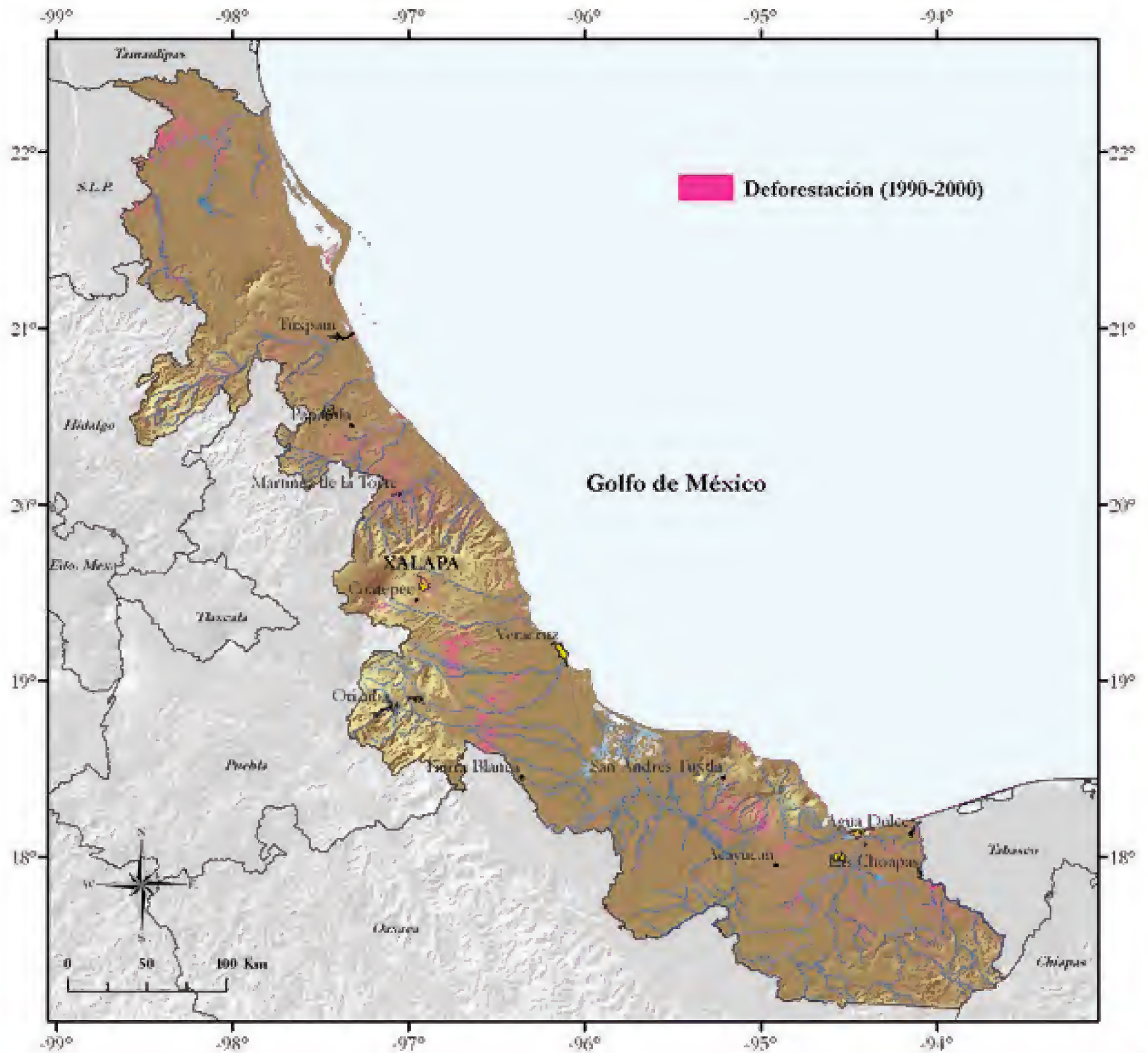


FIGURA 2. Mapa de la amenaza de deforestación o pérdida de vegetación en Veracruz durante la década de 1990 a 2000 (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

terizan a Veracruz, con la finalidad no sólo de evaluar y monitorear la biodiversidad sino, también de ser aplicados en la investigación social y económica, y en conjunto, direccionar el desarrollo de estrategias, proyectos y políticas a favor de la conservación.

### DETERMINACIÓN DE FOCOS ROJOS Y ANÁLISIS GAP EN VERACRUZ

Un requisito primordial para determinar áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en Veracruz es el desarrollo de una base de datos geo-

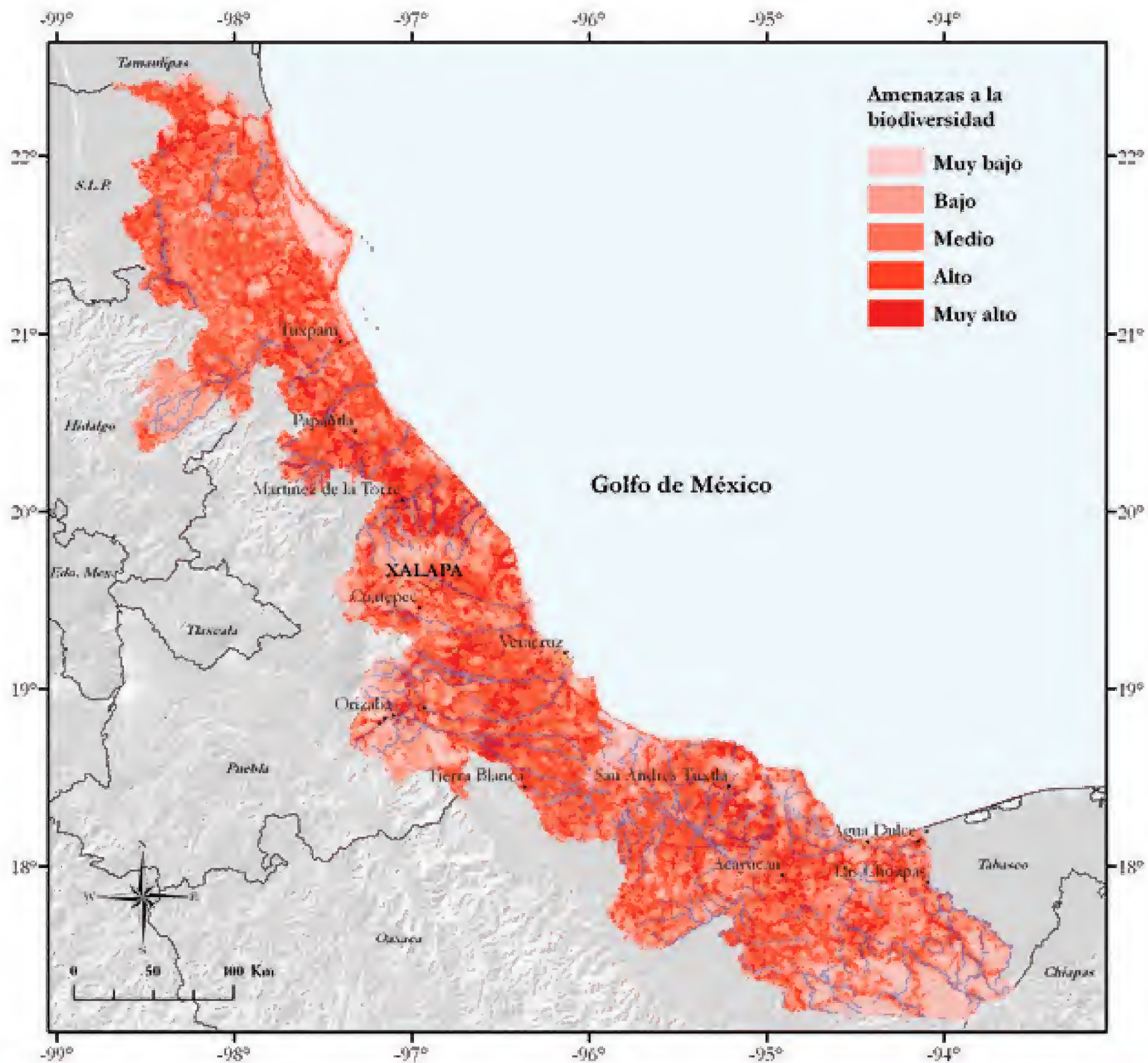


FIGURA 3. Mapa de distribución de amenazas a la biodiversidad en el estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

gráfica (geobase de datos) que incluya información de datos ambientales y socioeconómicos, tanto tabulares como geográficos, representados en capas (o “mapas”) de información en la misma proyección cartográfica e integrados en un SIG (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Posteriormente, con el SIG, los datos espaciales pueden ser manipulados y utilizados para generar los criterios y variables dentro del análisis geográfico. Parte de la información clave utilizada para el análisis de áreas prioritarias fue obtenida del INEGI y comprende datos geográficos de Veracruz a la escala 1:250 000 que incluye vías de comunicación, curvas de nivel, modelo de elevación, áreas urbanas e infraestructura industrial. Para los datos demográficos se integra el censo 2000 del INEGI por localidad (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Adicionalmente, la Conabio a través de su Sistema Nacional de Inventario de Biodiversidad (SNIB), otorgó datos de los registros de flora (gimnospermas, angiospermas y pteridofitas) y fauna (reptiles, mamíferos y anfibios), su localización geográfica y su estatus de protección, la cual se utilizó para evaluar la distribución de endemismos en el estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Por otra parte, los límites geográficos de las ANP fueron proporcionados a nivel estatal, por la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (Sedesma) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Otro insumo crucial para el desarrollo del análisis, fue la generación de datos de vegetación y uso de suelo, así como de la pérdida de vegetación o deforestación en el estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Estos datos fueron elaborados mediante técnicas de percepción remota usando 12 imágenes satelitales LANDSAT ETM (entre los años 1999 y 2001) para la vegetación y uso de suelo actual, más 12 imágenes de satélite LANDSAT TM (de fechas anteriores 1986-1990) para evaluar la pérdida de vegetación dentro de la década 1990-2000 (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Para la caracterización de la cobertura de vegetación

y uso de suelo, se empleó una metodología similar a la que utiliza la Conafor para la evaluación y monitoreo de vegetación y uso de suelo (Conafor, 2005) basado en los datos cartográficos generados por la Conafor (SARH, 1994) y verificaciones en campo mediante múltiples recorridos, tomando más de 600 puntos de GPS (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). La información sobre deforestación o pérdida de vegetación también fue elaborada mediante la percepción remota, usando el “índice de vegetación” (NDVI) derivado de las imágenes, en la cual se detecta el grado de cobertura de vegetación (en cuanto biomasa vegetal o cantidad de vegetación) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Se determinó la diferencia entre los índices de vegetación para las imágenes de 1990 (1986-1990) y las del 2000 (1999-2001), detectando así las áreas que representan una clara pérdida de vegetación (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Para realizar el análisis de focos rojos e identificar las regiones prioritarias de conservación, se aplicó el modelo SPOT (Spatial Portfolio Optimization Tool) (Shoutis, 2003). SPOT consiste en un algoritmo de optimización actualmente utilizado por TNC para determinar sitios prioritarios de conservación en las ecorregiones mundiales (Shoutis, 2003; TNC, 2005). SPOT requiere de la identificación e integración de los elementos de conservación, que en nuestro análisis consistieron en los distintos tipos de vegetación natural (12 clases) y la presencia de especies endémicas de flora y fauna (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). SPOT optimiza la distribución de los elementos de conservación con base en los “costos” de conservación. El “costo base” que SPOT necesita surge de las amenazas determinadas para los ecosistemas o especies presentes a lo largo del estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Otro de los costos que considera SPOT es la fragmentación y por último el grado de incumplimiento de las metas establecidas para los objetos de conservación (Shoutis, 2003; TNC, 2005).

SPOT selecciona como solución, la óptima localización y distribución de los elementos de conservación en donde exista el menor costo acumulado, que cumpla con las superficies mínimas de conservación y que se encuentre lo menos fragmentado posible (Shoutis, 2003; TNC, 2005). Una vez identificadas las áreas prioritarias de conservación, se utilizó el SIG para el análisis GAP, evaluando su correspondencia con el sistema de ANP en el estado de Veracruz que incluye las categorías: Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales Federales y Reservas Estatales (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

### AREAS PRIORITARIAS Y VACÍOS DE CONSERVACIÓN EN VERACRUZ

La caracterización de cobertura de vegetación y uso de suelo en Veracruz (figura 1), basado en la percepción remota, muestra el notable uso ganadero generalizado por todo el estado, mientras que los usos agrícolas se muestran concentrados en ciertas regiones (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Asimismo, los sitios mayormente conservados se remiten a terrenos muy accidentados y de grandes pendientes (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

CUADRO 1. Amenazas a la biodiversidad integrados en el análisis de focos rojos con el modelo SPOT (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Amenazas	Datos Geográficos	Detalles
Explotación forestal-Extracción de especies	Vías de comunicación, modelo de elevación, mapa de disección vertical	Terracerías y brechas con un rango de 2 km por lado y con valor de amenaza categorizado por su presencia en montañas (bajo), lomeríos (mediano) o llanuras (alto)
Uso de suelo	Mapa de uso de suelo y vegetación	Superficie agropecuaria categorizada en uso agrícola o ganadero con más valor de amenaza para pastizales
Deforestación	Mapa de deforestación (cambios en índice de vegetación)	Presencia o ausencia de deforestación y con un alto valor de amenaza
Urbanización	Zonas urbanas	Presencia o ausencia de zonas urbanas con un rango de efecto a 1 km de la zona valor alto de amenaza
Contaminación por químicos	Zonas industriales	Presencia de infraestructura industrial con un rango de efecto a 1 km y valor alto de amenaza
Infraestructura para el transporte	Vías de comunicación	Caminos y carreteras pavimentadas con un rango de efecto de 250 m por cada lado valor mediano de amenaza
Infraestructura industrial y producción de energía	Conducción de fluidos y generadoras eléctricas	Generadoras eléctricas y conducción de fluidos con un rango de efecto de 200 m a cada lado y valor mediano de amenaza
Densidad poblacional	Población total por localidad	Densidad de población por unidad de análisis (250 ha)

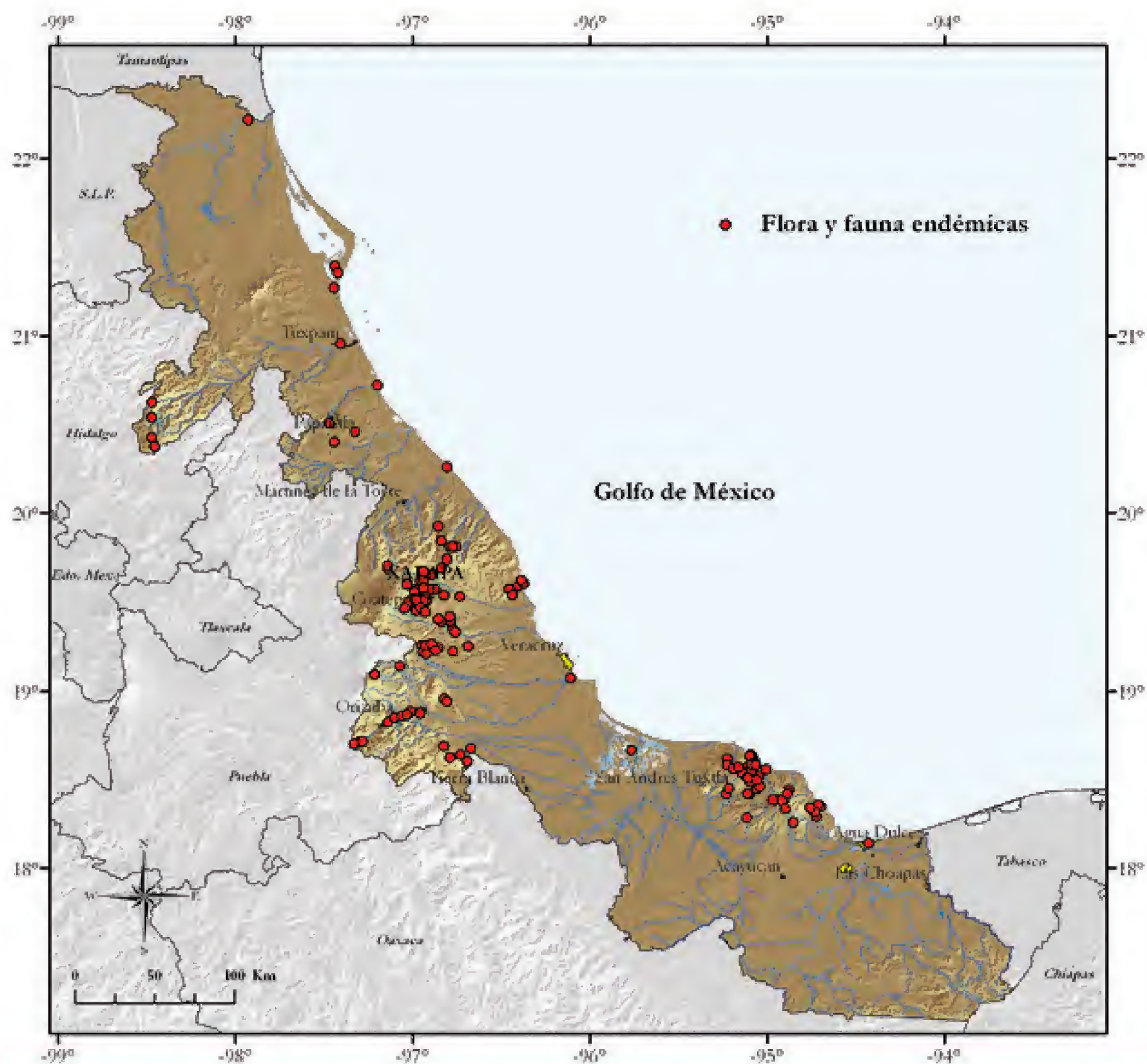


FIGURA 4. Mapa de distribución de registros de especies endémicas de flora y fauna (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

De acuerdo al análisis de deforestación, se aproxima una superficie de 340 932 ha deforestadas en el estado de Veracruz; esto significa que aproximadamente 4.8 % de la vegetación natural y perturbada se perdió en un periodo de 10 años (1990-2000) (figura 2) (Ellis *et al.*, 2006, Martínez-Bello, 2008). Estas cifras son similares a las proporcionadas por Semarnat (2005), que señala

un 3.8 % de deforestación entre el año 1993 y el 2000. Los sitios más dramáticamente afectados fueron a causa de la expansión agropecuaria y urbana o por apertura de carreteras. Este análisis revela que el estado de Veracruz aún conserva el 26 % de la vegetación (cifra que incluye sitios perturbados) y sólo 8.6 % de vegetación conservada. Esta condición es alarmante y se refleja en la distribu-

ción e intensidad de las amenazas en Veracruz (figura 3), detallados en el cuadro 1, donde es notorio que las amenazas a la biodiversidad no son siempre coincidentes con las zonas urbanas o industriales y que las zonas rurales pueden aparecer, en algunos casos, más amenazantes. La figura 4 presenta el mapa de distribución espacial de los elementos de conservación de especies endémicas.

Se utilizaron 236 datos de 52 especies en total, de las cuales 23 son plantas, 17 reptiles, 10 anfibios y dos mamíferos.

El análisis de áreas prioritarias o focos rojos de conservación obtenido mediante la herramienta SPOT arrojó un resultado de 25 sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad (figura 5) cuya descripción y detalles se muestran en el cuadro 2

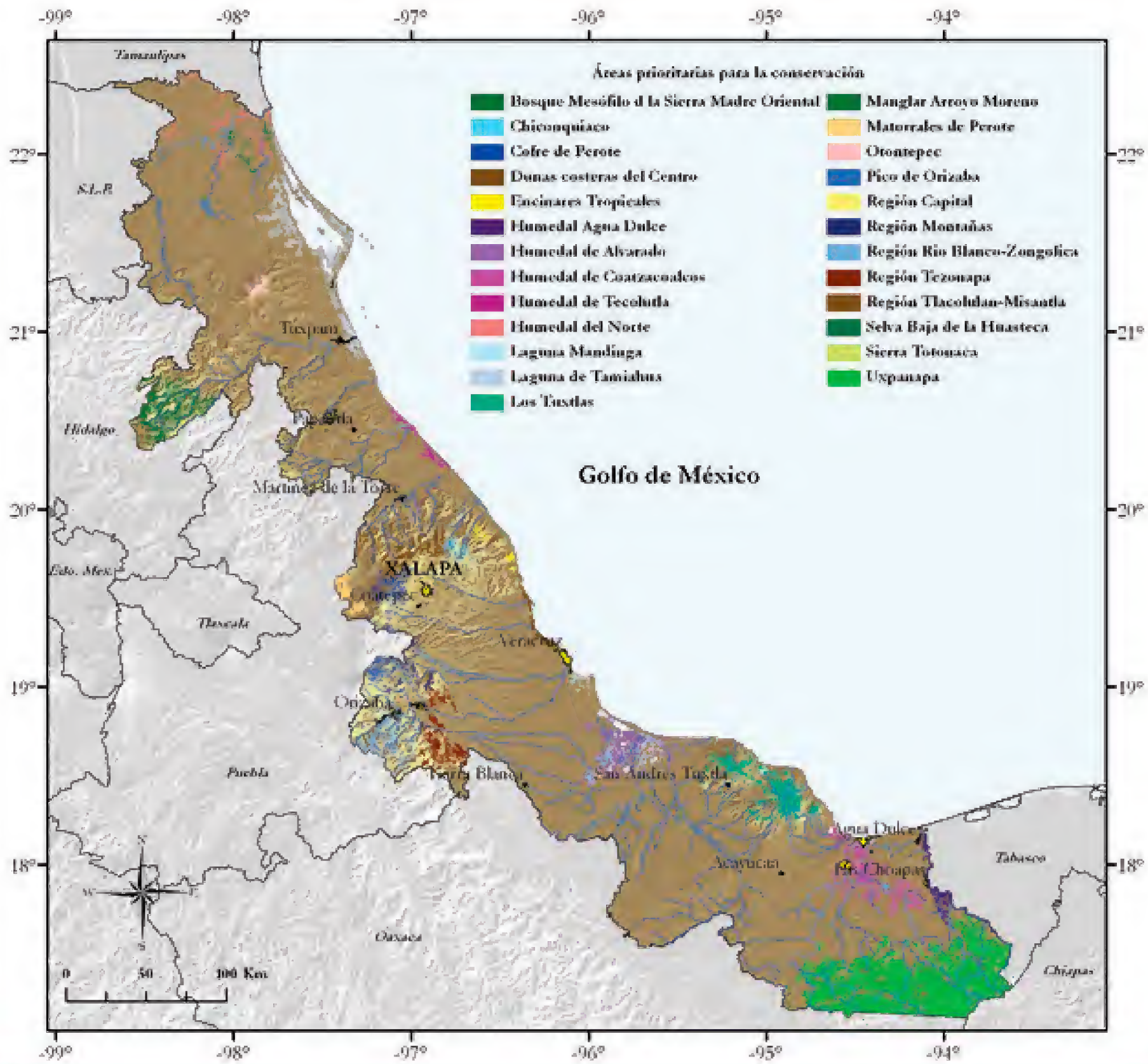


FIGURA 5. Mapa de las áreas prioritarias para la conservación (focos rojos) en Veracruz (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

CUADRO 2. Descripción de las áreas prioritarias para la conservación de biodiversidad (focos rojos) en Veracruz (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

HOTSPOT	ÁREA TOTAL (ha)	VEGETACIÓN PRESENTE	ÁREA PROTEGIDA (%)	PRINCIPAL AMENAZA
Uxpanapa	389 092.82	Selva alta y mediana	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Los Tuxtlas	71 956.12	Selva alta y mediana, manglar, vegetación hidrófila	93.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Humedal de Coatzacoalcos	62 928.33	Manglar, vegetación hidrófila, vegetación de dunas costeras, selva alta y mediana	0.00	Expansión de pastizal, urbanización, contaminación, infraestructura industrial y de transporte
Laguna de Tamiahua	60 451.67	Selva alta y mediana, manglar, vegetación hidrófila, selva baja	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Bosque mesófilo de la Sierra Madre Oriental	58 557.91	Bosque mesófilo, bosque de pino, selva alta y mediana	0.00	Expansión agrícola y de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Humedal de Alvarado	52 264.38	Manglar, vegetación hidrófila, selva baja, vegetación de dunas costeras, sabana	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies, urbanización, contaminación, infraestructura industrial
Región río Blanco-Zongolica	35 255.47	Bosque de pino, bosque de pino-encino	33.60	Urbanización, expansión agrícola, explotación forestal-extracción de especies
Región Tezonapa	34 368.18	Selva alta y mediana	0.00	Expansión agrícola y de pastizal, urbanización, explotación forestal-extracción de especies
Región Tlacolulan-Misantla	32 245.12	Bosque mesófilo de montaña, bosque de pino	2.70	Expansión agrícola y de pastizal
Humedal del Norte	26 219.43	Manglar, vegetación hidrófila, selva baja, selva alta y mediana	0.00	Urbanización, contaminación, expansión agrícola y de pastizal
Cofre de Perote	20 277.94	Bosque de pino, relictos de bosque mesófilo.	28.00	Explotación forestal-extracción de especies, expansión agrícola, urbanización
Humedal Agua Dulce	14 961.79	Vegetación hidrófila, manglar, selva alta y mediana	0.00	Urbanización, contaminación, expansión de pastizal
Matorrales de Perote	13 661.46	Matorral xerófilo	0.00	Expansión agrícola
Humedal de Tecolutla	12 709.20	Manglar, vegetación de dunas costeras, otro tipo de vegetación	27.00	Expansión de pastizal, urbanización
Región Montañas	12 263.65	Bosque mesófilo, bosque de pino, bosque pino-encino	0.00	Extracción de especies, expansión agrícola
Dunas Costeras del Centro	9 323.68	Manglar, selva baja, vegetación de dunas costeras	0.00	Urbanización, contaminación
Chiconquiaco	8 771.07	Selva alta y mediana, fragmentos de bosque mesófilo	0.00	Explotación forestal-extracción de especies, expansión de pastizal.
Selva Baja de la Huasteca	8 707.52	Selva baja, vegetación hidrófila, relictos de selva alta y mediana	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Pico de Orizaba	8 414.55	Bosque de pino, bosque de pino-encino	0.00	Expansión agrícola, explotación forestal-extracción de especies
Otontepec	7 422.52	Selva alta y mediana	87.72	Explotación forestal-extracción de especies, urbanización
Región Capital	6 784.29	Bosque mesófilo, bosque de pino, bosque de encino	1.80	Expansión agrícola y de pastizal, urbanización, infraestructura de transporte, explotación forestal-extracción de especies
Encinares Tropicales	5 788.76	Bosque de encino, selva baja	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Laguna Mandinga	3 908.65	Manglar, vegetación hidrófila, selva baja, vegetación de dunas costeras, fragmentos de Sabana	0.00	Expansión agrícola y de pastizal, urbanización
Sierra Totonaca	2 396.15	Selva alta y mediana	0.00	Explotación forestal-extracción de especies, expansión de pastizal.
Manglar Arroyo Moreno	4 23.92	Manglar	64.50	Urbanización, contaminación

(Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). De los 25 focos rojos, nueve corresponden a humedales y zonas costeras, seis a sistemas dominados por selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias, cuatro a bosque mesófilo de montaña, cuatro a bosque de pino y/o encino, uno a matorral xerófilo y uno a selva baja caducifolia. Estos sitios presentan una

extensión considerable y ecológicamente funcional de vegetación natural así como amenazas bajas a su interior; sin embargo, todas ellas están rodeadas por fuertes amenazas que ponen en riesgo la permanencia de las mismas. Jerarquizando, de acuerdo a la superficie de vegetación que incluye cada *hotspot*, los cinco sitios prioritarios son: 1) Uxpanapa; 2) Hume-

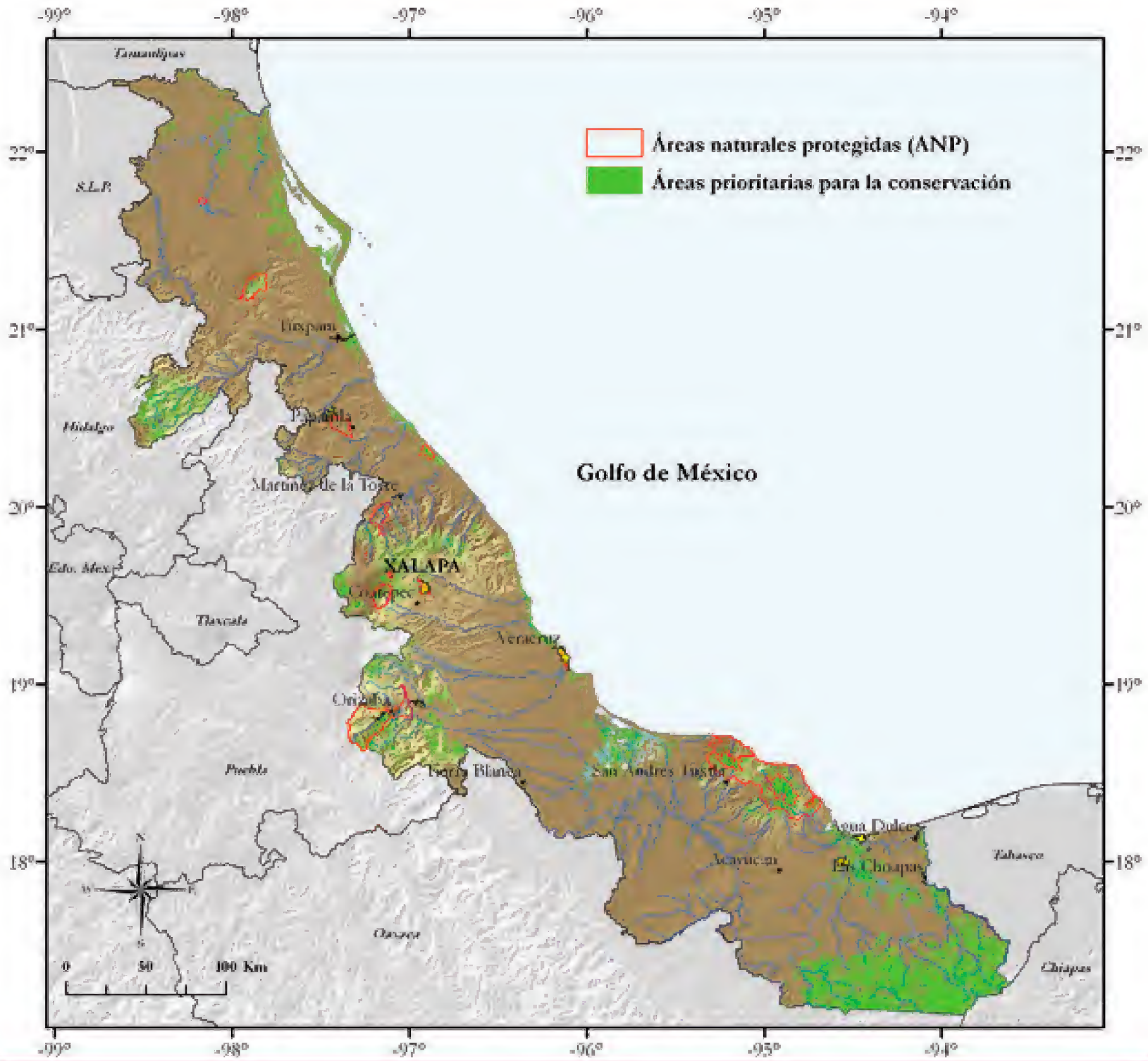


FIGURA 6. Mapa de análisis GAP, relación entre áreas naturales protegidas y áreas prioritarias para la conservación (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

dal de Coatzacoalcos; 3) Los Tuxtlas; 4) Laguna de Tamiahua y 5) Bosque mesófilo de la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, esta priorización por superficie de vegetación no puede ni debe ser considerada como definitiva en la preferencia de los sistemas ecológicos veracruzanos. Lo que demuestran estos sitios es una baja fragmentación, que sin duda favorece la conservación del hábitat, pero existen otros sitios de menor área que son únicos en su tipo de vegetación en el estado, tal como los matorrales de Perote y los encinares tropicales lo que los hace igualmente prioritarios. Es decir no se puede afirmar qué sitio es mayormente prioritario que otro, ya que cada uno posee particularidades biológicas y ecológicas, así como amenazas latentes que las hacen prioritarias.

Es importante mencionar que los municipios Uxpanapa, Sotepan, San Andrés Tuxtla, Cate-

maco, Tatahuicapan de Juárez, Alvarado, La Antigua, Actopan, Perote, Acajete, Tlacolulan, Tatatila, Huayacocotla, Tuxpan, Tamiahua y Ozuluama de Mascareñas son sólo algunos de aquellos municipios que tienen una gran proporción de vegetación natural bajo su territorio. Las amenazas principales para los 25 focos rojos en el estado en general, son los cambios de uso de suelo debido a la expansión agrícola y de pastizal, así como la explotación-extracción de especies y la urbanización.

Por otra parte, el análisis GAP muestra que sólo 12 de las 22 ANP principales en el estado tienen intersección con las áreas prioritarias identificadas (figura 6). El cuadro 3 muestra los resultados en cuanto a superficie protegida por foco rojo. En este rubro destacan los focos rojos de Los Tuxtlas y Otontepec con el 93 y el 87.7 %, respectivamente

CUADRO 3. Áreas prioritarias para la conservación (focos rojos) en relación con las ANP en Veracruz (análisis GAP) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

FOCO ROJO	ÁREA TOTAL (ha)	ÁREA ANP dentro de HOTSPOT (ha)	ÁREA ANP dentro de HOTSPOT (%)
Uxpanapa	389 092.82	0.00	0.00
Los Tuxtlas	71 956.12	66 928.43	93.00
Humedal de Coatzacoalcos	62 928.33	0.00	0.00
Laguna de Tamiahua	60 451.67	0.00	0.00
Bosque mesófilo de la Sierra Madre Oriental	58 557.91	0.00	0.00
Humedal de Alvarado	52 264.38	0.00	0.00
Región río Blanco-Zongolica	35 255.47	11 758.06	33.60
Región Tezonapa	34 368.18	0.00	0.00
Región Tlacolulan-Misantla	32 245.12	859.37	2.70
Humedal del Norte	26 219.43	0.00	0.00
Cofre de Perote	20 277.94	5 670.94	28.00
Humedal Agua Dulce	14 961.79	0.00	0.00
Matorrales de Perote	13 661.46	0.00	0.00
Humedal de Tecolutla	12 709.20	3 428.07	27.00
Región Montañas	12 263.65	0.00	0.00
Dunas Costeras del Centro	9 323.68	0.00	0.00
Chiconquiaco	8 771.07	0.00	0.00
Selva Baja de la Huasteca	8 707.52	0.00	0.00
Pico de Orizaba	8 414.55	0.00	0.00
Otontepec	7 422.52	6 510.99	87.72
Región Capital	6 784.29	15.89	1.80
Encinares Tropicales	5 788.76	0.00	0.00
Laguna Mandinga	3 908.65	0.00	0.00
Sierra Totonaca	2 396.15	0.00	0.00
Manglar Arroyo Moreno	423.92	273.32	64.50

de su área protegida por ANP. En un sentido inverso, el cuadro 4 muestra la superficie que cada ANP protege de algún foco rojo. Aquí destaca Arroyo Moreno, el cual posee un 93.2 % de su superficie decretada, salvaguardando 64.5 % de foco rojo con el mismo nombre. La ANP denominada Otontepec posee 44.7 % de foco rojo en 87.7 % de su área decretada, mientras que Ciénega en un 87 % de su área protege 27 % del foco rojo denominado Humedal de Tecolutla.

### CONCLUSIONES

Sólo 12 de las ANP actuales coinciden con las áreas prioritarias o focos rojos para la conservación determinadas en este estudio, y sólo tres de estos focos rojos están protegidos en más del 50 % (Ellis

*et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Esto significa que la mayoría de las ANP del estado no están protegiendo los sitios que deberían y que, por otra parte, en algunos casos, su área decretada es tan pequeña que dejan de tener una función ecológica importante a escala de paisaje. Es urgente una recategorización de las ANP existentes y el decreto de nuevas áreas a través de un diseño previo que involucre a todo el estado (conservación por diseño). Es decir, una red de ANP que cumpla los objetivos de la conservación actual: que sea ecológicamente funcional, que prevenga la formación de corredores biológicos, que represente a cada uno de los sistemas ecológicos del estado, que proteja procesos evolutivos y no sólo de especies individuales. Más aún, que detenga que el proceso de deforestación continúe y que las presiones de factores socioeconómicos aumenten.

CUADRO 4. Las ANP en relación con las áreas prioritarias para la conservación (focos rojos) en Veracruz (análisis GAP) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

NOMBRE ANP	ÁREA (ha)	ÁREA DE HOTSPOT dentro de ANP (ha)	ÁREA DE HOTSPOT dentro de ANP (%)
Arroyo Moreno	293.32	273.32	93.20
Biosfera de Los Tuxtlas	151 385.27	66 928.43	44.20
Cañón de Río Blanco	51 977.78	0.00	22.60
Cerro de las Culebras	35.25	0.00	0.00
Cerro de las Galaxias	32.80	0.00	0.00
Cerro del Borrego	353.98	79.35	22.40
Cerro Macuiltépetl	28.85	0.00	0.00
Chicayán	1 278.55	0.00	0.00
Ciénega	3 939.29	3 428.07	87.00
Cofre de Perote	11 530.33	5 249.54	45.50
El Tajín	9 684.70	0.00	0.00
Filobobos	10 528.32	859.37	8.20
J. Clavijero	69.49	42.01	60.50
J. Clavijero	20.97	15.89	75.80
Loro Huasteco	68.58	0.00	0.00
Martinica	119.30	67.13	56.30
Médano del Perro	5.34	0.00	0.00
Otontepec	14 557.15	6 510.99	44.70
Pancho Poza	57.54	0.00	0.00
Predio Barragán	1.75	0.00	0.00
San Juan del Monte	606.29	421.40	69.50
San Roque	17.60	0.00	0.00
Tejar Garnica	93.07	0.00	0.00

Dado que Veracruz posee sólo el 8.6 % de su territorio cubierto de vegetación natural, debe iniciarse también un proceso de restauración y recuperación de la vegetación perturbada, dirigido a sitios estratégicos y aptos para tales propósitos y que mejoren la calidad de las ANP existentes (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Dentro de este panorama dos cosas son muy necesarias. Por un lado, la creación de mecanismos que permitan la investigación y monitoreo de las ANP del estado, y la inversión de capital para infraestructura y recursos humanos. Por otra parte, el desarrollo de un SIG estatal que proporcione datos geográficos y tabulados, alimentado y compartido por diferentes dependencias gubernamentales y no gubernamentales, institutos de investigación y de educación superior, pues la información existente está muy dispersa y restringida, razón que no permite realizar y facilitar la investigación en estos temas.

**AGRADECIMIENTOS.** Este proyecto fue financiado por PROMEP. Se agradecen las contribuciones de la Conabio, a la bióloga Flora Zitácuaro Contreras de la Coordinación General del Medio Ambiente, a Jorge Uribe de Pronatura A.C., y a Penélope Aguilar.

#### LITERATURA CITADA

- BRAY, D.B., E.A. Ellis, N. Armijo-Canto, C.T. Beck, 2004, The institutional drivers of sustainable landscapes: a case study of the 'Mayan Zone' in Quintana Roo, Mexico, *Land Use Policy* 21: 333-346.
- BRAY, D.B., E. Durán Medina, L. Merino-Pérez, J.M. Torres-Rojo y A. Velásquez Montes, 2007, *Nueva evidencia: los bosques comunitarios de México protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y promueven la paz social*, Informe de Investigaciones, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- BROOKS, T.M., M.I. Bakarr, T. Boucher, G.A.B. Da Fonseca, C. Hilton-Taylor, T. Moritz, S. Olivieri, J. Parrish, R.L. Pressey, A.S.L. Rodrigues, W. Sechrest, A. Stattersfield, W. Strahm, S.N. Stuart, 2004, Coverage Provided by the Global Protected-Area System: Is It Enough?, *Bioscience* 54: 1081-1091.
- CHIAPPY-JHONES, C.J., L. Gama, M. Soto-Esparza, D. Geissert, J. Chavez, 2002, Regionalización paisajística del estado de Veracruz, México, *Universidad y Ciencia* 18(36): 87-113.
- CINCOTTA, R.P., J. Wisniewski, R. Engelman R., 2000, Human populations in the biodiversity hotspots, *Nature* 404: 990-992.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (Conabio), 1998, *La diversidad biológica de México: estudio de país*, México.
- , 2000, *Estrategia Nacional sobre biodiversidad de México*.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (Conafor), 2005, *Especificaciones técnicas para el monitoreo de la vegetación y uso del suelo basado en imágenes de satélite*, HUSOS 11, 12 y 13, Coordinación General de Planeación e Información, Dirección de Geomática.
- DE JONG, B.H., S. Ochoa-Gaona, M.A. Castillo-Santiago, N. Ramírez-Marcial y M. A. Cairns, 2000, Carbon flux and patterns of land use/land-cover change in the Selva Lacandona, México, *Ambio* 29(8): 504-511.
- DURÁN M., E., J.F. Mass, A. Velásquez, 2005, *Land use/cover change in community-based forest management regions and protected areas*, en Bray, D.B., L. Merino-Pérez, D. Barry (eds.), *The Community Forests of Mexico: Managing for sustainable landscapes*, University of Texas Press, Austin, Texas.
- ELLIS, E.A., M. Martínez-Bello y V. Rivera Jiménez, 2006, *Áreas prioritarias para la conservación en Veracruz*, CD-ROM Interactivo, Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz.
- ELLIS, E.A. y C. Beck, 2004, Land Use Dynamics in the Tropical Forests of the Zona Maya of Quintana Roo, en: N. Armijo and C. Llorens (eds.), *Uso, conserva-*

- cion y cambio en los bosques de Quintana Roo*, Universidad de Quintana Roo/CONACYT, Mexico, 285 pp.
- FORMAN, R.T.T., 1997, *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GIDDINGS, L., C. Chiappy, M. Soto, L. Gama, 1996, Modificaciones ecológico-paisajísticas del estado de Veracruz, Mexico, *Investigaciones Geográficas Boletín* 33: 31-47.
- HARCOURT, C.S. y J.A. Sayer (eds.), 1996, *The Conservation Atlas of Tropical Forests: The Americas*, World Conservation Monitoring Center and IUCN, Nueva York: Simon & Schuster.
- KLEPEIS P., y B.L. Turner II, 2001, Integrated land history and global change science: the example of the Southern Yucatán Peninsular Region project, *Land Use Policy* 18: 27-39.
- LANG, L., 1998, *Managing Natural Resources with GIS*, ESRI Press, Redlands, California.
- LINKE, S. y R. Norris, 2003, Biodiversity: bridging the gap between condition and conservation, *Hidrobiología* 500: 203-211.
- MARTÍNEZ BELLO, M., 2008, *Diagnóstico de Áreas Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad en el estado de Veracruz, México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- MAS, J.F., A. Velázquez, A. Schmitt y R. Castro, 2003, Una evaluación de los efectos del aislamiento, la topografía, los suelos y el estatus de protección sobre las tasas de deforestación en México, *Raega* núm. 6, Revista del Departamento de Geografía, Universidad Federal do Paraná, Brasil, pp. 61-73.
- MAS, J.F., 2005, Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area, *Environmental Monitoring and Assessment* 105: 69-80.
- MÉDAIL, F. y P. Quézel, 1999, Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities, *Conservation Biology* 13 (6): 1510-1513.
- MENON, S., R. Gil Pontius, J. Rose, M.L. Khan, K.S., Bawa, 2001, Identifying conservation-priority areas in the tropics: a land-use change modeling approach, *Conservation Biology* 15: 501-512.
- MITTERMEIER, R.A. y C.G. Mittermeier, 1992, La importancia de la diversidad biológica en México, en J. Sarukhán y R. Dirzo (eds.), *Mexico confronts the Challenges of Biodiversity*, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).
- MITTERMEIER, C.G., R.A. Mittermeier, J. Nations, A. Robles, M.A. Carvajal, M.A. y P. Robles Gil, 1998, en R.A. Mittermeier, P. Robles Gil y C.G. Mittermeier. (eds.), *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. Monterrey, Mexico: CEMEX, pp. 141-177.
- MITTERMEIER, R.A., N. Myers, J.B. Thompson, G.A. da Fonseca, S. Olivieri, 1998, Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities, *Conservation Biology* 12: 516-520.
- MORAIN, S. (ed.), 1999, *GIS Solutions in Natural Resource Management: Balancing the Technical-Political Equation*, Onword Press, Santa Fé, Nuevo México.
- MYERS, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A. da Fonseca, J., Kents, 2000, Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature* 403: 853-848.
- OLDFIELD, T.E.E., R.J. Smith, S.R. Harrop, N. Leader-Williams, 2004, A gap analysis of terrestrial protected areas in England and its implications for conservation policy, *Biological Conservation* 120: 303-309.
- PEARLSTINE, L.G., S.E. Smith, L.A. Brandt, C.R. Allen, W.M. Kitchens, J. Stenberg, 2002, *Assessing statewide biodiversity in the Florida Gap analysis project*, *Journal of Environmental Management* 66: 127-144.
- RAMAMOORTHY, T.P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa, 1993, *Biological Diversity of México: origins and distribution*, Oxford University Press, Nueva York.
- RODRIGUES, A.S.L., H.R. Akcakaya, S.J. Andelman, M.I. Bakarr, L. Boitani, T.M. Brooks, J.S. Chanson, L.D.C. Fishpool, G.A.B. Da Fonseca, K.J. Gaston,

- M. Hoffmann, P.A. Marquet, J.D. Pilgrim, R.L. Pressey, J. Scipper, W. Sechrest, S.N. Stuart, L.G. Underhill, R.W. Waller, M.E.J. Watts, X. Yan, 2004, Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network, *Bioscience* 54: 1092-1100.
- SALEM, B.B., 2003, Applications of GIS to biodiversity monitoring, *Journal of Arid Environments* 54: 91-114.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH), 1994, Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994, México, 79 pp.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2005, Informe de la situación del medio ambiente en México; compendio de estadísticas ambientales, México.
- SHI H., y A. Singh, 2003, Status and Interconnections of Selected Environmental Issues in the Global Coastal Zones, *Ambio* 32: 145-152.
- SHOUTIS, D., 2003, SPOT: the Sapatial Portfolio Optimization Tool, *The Nature Conservancy*, Washington D.C., 55 pp.
- THE NATURE CONSERVANCY, 2005, *GIS and the Nature Conservancy: Overview*, ArcNews vol. 27, núm. 3, ESRI, Redlands, CA.
- TURNER II, B.L., S. Cortina-Villar, D. Foster, J. Geoghegan, E. Keys, P. Klepeis, D. Lawrence, P.M. Mendoza, S. Manson, Y. Ogneva-Himmelberger, A.B. Plotkin, D. Pérez-Salicrup, R.R. Chowdhury, B. Savitsky, L. Schneider, B. Schmook, C. Vance, 2001, Deforestation in southern Yucatan peninsular region: an integrative approach, *Forest Ecology and Management* 154: 353-370.
- VÁZQUEZ-TORRES, M. (comp.), 1998, *Biodiversidad y problemática en el Humedal de Alvarado, Veracruz, México*, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- VEECH, J.A., 2003, Incorporating socioeconomic factors into the analysis of biodiversity hotspots, *Applied Geography* 23: 73-88.
- VELÁZQUEZ, A., Durán, E., Ramírez, I. Mas, J., Bocco, G., Ramírez, G. Palacio, J.L., 2003, Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico, *Global Environmental Change* 13: 175-184.



# La contaminación del agua



Eugenia J. Olgúin  
Gabriel Mercado Vidal  
María Elizabeth Hernández

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso de vital importancia para todos los sectores socio-económicos. Lamentablemente, un gran número de actividades económicas son fuente generadora de contaminación de agua, suelos y aire. En este contexto, uno de los mayores problemas ambientales a los que se enfrenta no sólo el estado de Veracruz, sino otros estados de nuestro país y regiones del mundo, es la considerable contaminación en la que se encuentran un gran número de cuerpos de agua, derivada en gran parte por las descargas sin tratar de aguas residuales municipales, agroindustriales e industriales (Olgúin *et al.*, 2000)

En México se cuenta con los instrumentos jurídico-ambientales necesarios para regular, entre otros aspectos, las descargas de efluentes residuales sobre cuerpos de agua. Sin embargo, la ley no se aplica con el rigor debido para evitar que estos

importantes ecosistemas se sigan deteriorando. La gestión del agua debe responder al concepto de sustentabilidad, lo que implica, entre otros aspectos, mantener las características ecológicas de los ecosistemas acuáticos a través del tiempo, aprovecharlos con un sentido de ética social y de equidad para el bienestar humano. En este sentido, es necesaria la implementación de estrategias que conlleven a un Manejo Integrado de los Recursos Hídricos, definido éste “como un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinados de los recursos hidrológicos, del suelo y otros relacionados, a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2000).

En este capítulo se revisan brevemente los recursos hidrológicos, los usos del agua, el estado actual de las principales fuentes de contaminación y su impacto en el estado de Veracruz.

## LOS RECURSOS HIDROLÓGICOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

En la entidad existen un gran número de ríos, entre los que destacan el Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, Los Pescados-La Antigua, Jamapa-Cotaxtla, Blanco, Papaloapan y Coatzacoalcos, entre otros (figura 1). Estos ríos desembocan en el Golfo de México cuya colindancia con el estado, está constituida por un cordón litoral de aproximadamente 780 km. Es importante señalar que el escurrimiento promedio anual en los sistemas fluviales veracruzanos, es de 121 000 Mm<sup>3</sup>, representando este volumen el 33 % del escurrimiento nacional (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005).

Veracruz cuenta también con otros importantes ecosistemas acuáticos como son las lagunas costeras de Pueblo Viejo, Tampamachoco, Tamiahua, El Llano, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión, entre otras. Estas lagunas, al igual que otros estuarios veracruzanos, forman parte importante en la economía de las regiones en las cuales se encuentran localizadas, ya que son criaderos de especies de peces de interés comercial.

## USOS DEL AGUA EN VERACRUZ

La precipitación media anual en Veracruz es del orden de los 1 484 mm. Esta precipitación se encuentra muy por arriba de la media anual nacional, de aproximadamente 772 mm (CNA, 2002). A pesar de estas condiciones, durante el periodo de estiaje, el problema de abastecimiento, sobre todo para el sector urbano-residencial, en algunas regiones del estado se ha convertido en una situación crítica.

La disponibilidad natural media de agua por habitante por año, o disponibilidad natural media, per cápita es un indicador básico para evaluar la situación de los recursos hídricos de una cuenca hidrológica (Breña y Breña, 2007). De esta manera, se

considera que existe una escasez extrema cuando la disponibilidad está por abajo de 1 000 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Para el caso específico de las cuencas hidrológicas veracruzanas, la disponibilidad natural media de agua per cápita para el año 2004 fue por arriba del total nacional (4 094 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). La disponibilidad para la región IX Golfo Norte fue de 4 820 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y para la región X Golfo Centro fue de 10 574 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estos valores señalan disponibilidades baja y alta, respectivamente (CNA, 2005).

El abastecimiento de agua para los sectores público-urbano, agrícola, industrial, termoeléctrico, así como para otros usos, proviene principalmente de fuentes superficiales. Sin embargo, también se cuenta con el abasto de agua a partir de fuentes subterráneas, principalmente para el sector industrial.

En cuanto al uso del agua por los sectores productivos en el estado, es la agricultura la que demanda el mayor porcentaje de este recurso, seguida por el sector industrial, urbano y, finalmente, el sector termoeléctrico (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005).

Respecto a la cobertura de servicios de agua en Veracruz, se reportó que en el 2005, el suministro de agua potable fue sólo para el 63.38 % de la población. De este volumen, se destinó el 76.98 % para las zonas urbanas en donde se concentraban 4.19 millones de habitantes en ese año. En el caso de las zonas rurales en las cuales habitaban 2.88 millones de personas, el porcentaje de cobertura fue de 44.37 %. Se estima que la demanda de agua para uso público y doméstico es del orden de 742 Mm<sup>3</sup>, mientras que el suministro es de aproximadamente 528 Mm<sup>3</sup>. De igual forma, la entidad veracruzana cuenta con una capacidad instalada de potabilización de 148 Mm<sup>3</sup>, representando sólo el 40 % del agua superficial suministrada al sector público y doméstico, cuyo volumen es de 371.22 Mm<sup>3</sup> (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005). Por lo anterior, se concluye que en el estado de Veracruz, existe un déficit en el suministro de agua y especialmente en el suministro de agua potable.



FIGURA 1. Principales ríos veracruzanos.

#### FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

La diversidad climática del estado de Veracruz favorece la producción de diversos productos agrícolas. El campo agrícola veracruzano cuenta con 1 780 mil ha de cultivo y con más de 100 productos agrícolas diferentes. Es importante señalar que Veracruz ocupa los primeros lugares en la producción de café,

caña de azúcar, vainilla, cítricos, mango manila, papaya, arroz, hule, piña y chayote, entre otros (Gobierno del Estado de Veracruz, 2005). Respecto de la ganadería veracruzana, la superficie destinada para esta actividad es de 3 690 000 ha. La población ganadera en el estado está constituida principalmente por 4.2 millones de cabezas de ganado bovino, destinados a la producción de carne y leche.

De igual forma, el hato ganadero veracruzano cuenta con 1.2 millones de cerdos, 496 980 ovinos y 133 346 caprinos (Sedarpa, 2006).

Respecto a la contaminación del agua por agroindustrias, se ha encontrado que en algunas regiones del estado está asociada a las descargas de aguas residuales sin tratar que vierten algunos ingenios azucareros, beneficios de café y granjas porcinas (Olguín, *et al.*, 2006). Estos aspectos se describen a profundidad en otros capítulos en este libro. Existen otras fuentes de contaminación agroindustrial, como son las industrias extractoras de jugos de frutas establecidas en las regiones citrícolas veracruzanas de Martínez de la Torre y de Álamo Temapache, las cuales han propiciado graves problemas por descargas de aguas residuales sin tratar sobre algunos afluentes de los ríos Bobos-Nautla y Tuxpan. Esto ha propiciado denuncias por parte de grupos de pescadores ribereños que se han visto afectados en su actividad.

Otras fuentes que generan problemas de contaminación sobre cuerpos de agua en Veracruz son los rastros municipales. Estas empresas son de diverso tamaño y emplean grandes cantidades de agua para sus actividades de sacrificio de animales y preparación de canales. Aunado a este considerable consumo de agua, estos centros carecen de sistemas de tratamiento para sus efluentes residuales, los cuales son descargados directamente en los cuerpos de agua naturales o en los sistemas de drenaje municipal, sin ningún tratamiento previo, en la mayoría de los casos.

Finalmente, la actividad industrial se concentra en algunas regiones del estado, principalmente en las zonas de Poza Rica en el norte de la entidad, en el centro, en la región de Córdoba, Orizaba y Veracruz, y en la zona de Minatitlán, Nanchital, Cosoleacaque y Coatzacoalcos, en el sur del estado. En las regiones norte y sur mencionadas, durante muchos años ha tenido predominio la actividad petrolera, mientras que en la región central del estado, se concentra además una actividad indus-

trial diversificada, destacando la industria de alimentos. En este contexto, es importante señalar que la presencia de empresas públicas federales importantes, como es el caso de la Comisión Federal de Electricidad y de Petróleos Mexicanos, ha contribuido de manera importante en la economía de algunas regiones veracruzanas.

#### IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los ecosistemas acuáticos tienen gran importancia para el hombre, ya que le proporcionan importantes beneficios económicos y sociales, comúnmente llamados valores y servicios (Myers, 1996). Los ambientes acuáticos además de poseer una considerable productividad biológica, permiten el aporte de importantes volúmenes de nutrientes a los océanos, dando lugar a diversas cadenas tróficas (Wetzel, 2006). Tanto los ecosistemas marinos, como los ecosistemas acuáticos de agua dulce sufren de un gran número de presiones, las cuales desencadenan a su vez serios problemas ambientales. En el siglo XXI, los ecosistemas de agua dulce sufren varias presiones relacionadas principalmente con una inadecuada gestión del agua. Dichas presiones son, el crecimiento demográfico, con consecuente sobreexplotación de agua superficial y de mantos acuíferos; el desarrollo de infraestructura, como presas, canales y diques; el cambio de uso de suelo que disminuye la recarga natural y la contaminación de suelo, agua y aire con repercusiones negativas a los ecosistemas acuáticos.

Los cuerpos de agua veracruzanos, en su mayoría, reciben descargas de aguas residuales generadas por diferentes fuentes, entre las que destacan las de los centros urbanos, la industria petrolera y química, termoeléctrica, ingenios azucareros, beneficios de café, explotaciones pecuarias, etc. En este contexto, los ríos Pánuco, Papaloapan y Coatzacoalcos, junto con el río Grijalva-Usumacinta, constituyen los cuatro sistemas fluviales más importantes de

México que descargan al Golfo de México. Estos cuatro sistemas, muestran severos deterioros de sus funciones y servicios ambientales, derivados principalmente de problemas de contaminación por plaguicidas e hidrocarburos (Toledo, 2004).

En Veracruz, las fuentes superficiales que abastecen de agua a los sectores público-urbano, agrícola, industrial y termoeléctrico, principalmente, reciben a su vez descargas de aguas residuales que en la mayoría de los casos no cumplen con los parámetros de calidad establecidos en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (*Diario Oficial de la Federación*, 2003).

En el cuadro 1 se describen las condiciones de calidad del agua que presentaron en 1998 las regiones hidrológicas IX Golfo Norte y X Golfo Centro, en las cuales se encuentran ubicados los ríos veracruzanos. Asimismo, y de acuerdo a estas condiciones, en este cuadro se presenta un comparativo con otras regiones contaminadas del país como son las del Lerma Santiago y la del Valle de México. De acuerdo con los resultados de la evaluación de la calidad del agua con base en el índice de calidad del agua (ICA)<sup>1</sup>, se puede observar que estas cuencas se encuentran contaminadas. En los cuadros 2, 3 y 4 se describen de manera general

algunas de las presiones que sufren los principales ríos veracruzanos en las tres regiones del estado. En estos cuadros se puede observar que en todos los casos, las presiones que sufren estos cuerpos de agua están relacionadas principalmente con descargas de aguas residuales producidas por los núcleos poblacionales, derrames de hidrocarburos y descargas residuales de agroindustrias, destacando la alcoholera, la del beneficiado húmedo de café y las granjas porcinas (Olguín *et al.*, 2004). Para el caso de estos sectores se han realizado estudios que demuestran el impacto ambiental negativo que estas agroindustrias generan en algunas regiones del estado (Olguín *et al.*, 2006).

Respecto al impacto negativo hacia los cuerpos de agua generado por las descargas de aguas residuales provenientes de los núcleos poblacionales, existen aún dos problemas que requieren atención urgente por parte de las autoridades estatales y federales. Por un lado, no se cuenta con infraestructura necesaria para el tratamiento del 100 % de las aguas residuales y, por otro, los niveles de eficiencia con los que operan las plantas de tratamiento ya existentes, son bajos.

El volumen de aguas residuales que se genera en el estado de Veracruz es de 396.2 Mm<sup>3</sup>. De esta cantidad, sólo el 60.3 % es recolectado (239 Mm<sup>3</sup>). La cobertura para el tratamiento de aguas residuales

CUADRO 1. Calidad del agua en cuencas hidrológicas del estado de Veracruz con base en el Índice de Calidad del Agua (ICA)

REGIÓN HIDROLÓGICA	CONDICIÓN MÁS COMÚN	PORCENTAJE	ÍNDICE PROMEDIO (ICA)
IX. Golfo Norte	Contaminada	44.89	59.02
X. Golfo	Contaminada	77.77	61.66
VII. Lerma Santiago	Contaminada	52.56	60.34
XIII. Valle de México	Excesivamente contaminada	54.54	32.49
Nacional	Contaminada	58.44	60.75

Adaptado de CNA (2005).

<sup>1</sup> El índice de calidad del agua (ICA), ha sido desarrollado y aplicado por la Comisión Nacional del Agua y permite clasificar a los cuerpos de agua por sus características de calidad. Este índice es determinado con base en ciertos parámetros físico-químicos y biológicos que indican el grado de contaminación del agua.

CUADRO 2. Presiones ambientales que sufren los principales ríos de la Región Norte del Estado.

RÍO	PRESIONES AMBIENTALES
Pánuco	<p>Descargas de aguas residuales urbanas e industriales procedentes de la zona metropolitana de la Ciudad de México y de localidades de los estados de Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí y Tamaulipas. El estado de Veracruz, recibe descargas de aguas residuales de las localidades de El Higo, Pánuco, Pueblo Viejo y Ciudad Cuauhtémoc.</p> <p>Descargas residuales de la industria azucarera</p> <p>Agroquímicos</p>
Tuxpan	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Álamo, Tuxpan, Chicontepec, Ixhuatlán de Madero, Castillo de Teayo, Tihuatlán y Santiago de la Peña.</p> <p>Descargas de aguas residuales agroindustriales y de alimentos (jugueras y productos del mar).</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>
Cazones	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Poza Rica, Papantla, Coatzintla, Coyutla y Cazones.</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>
Tecolutla	<p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, así como de otras industrias de alimentos</p> <p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Mecatlán, Filomeno Mata, Espinal, Papantla, Gutiérrez Zamora y Tecolutla</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>
Nautla	<p>Descargas de aguas residuales de localidades de Altotonga, Tlapacoyan, San Rafael, Martínez de la Torre y Nautla.</p> <p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, así como de otras industrias de alimentos (jugueras)</p> <p>Descargas residuales de la industria azucarera</p> <p>Agroquímicos</p>

CUADRO 3. Presiones ambientales que sufren los principales ríos de la Región Centro del Estado.

RÍO	PRESIONES AMBIENTALES
Actopan	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Banderilla, Xalapa, Ciudad Cardel, entre otras</p> <p>Descargas de aguas residuales de granjas porcinas, de la industria azucarera y de beneficios de café</p> <p>Agroquímicos</p>
Los Pescados-La Antigua	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Xalapa y Coatepec</p> <p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, de la industria azucarera y de la industria de alimentos</p> <p>Agroquímicos</p>
Jamapa-Cotaxtla	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Huatusco, Soledad de Doblado, Medellín, Jamapa, Córdoba, Coscomatepec, entre otros</p> <p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, de la industria azucarera y de varias industrias (alimentos principalmente)</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>

CUADRO 4. Presiones ambientales que sufren los principales ríos de la Región Sur del Estado.

RÍO	PRESIONES AMBIENTALES
Papaloapan	Descargas de aguas residuales de los centros poblacionales de Otatitlán, Chacaltianguis, Tlacotalpan, Cosamaloapan, Tlacotalpan, Ciudad Lerdo y Alvarado, entre otros Descargas residuales de la industria azucarera, industria papelera y de alimentos Agroquímicos
Coatzacoalcos	Aguas residuales de las localidades de Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque y Nanchital, entre otras Descargas industriales de instalaciones establecidas en los complejos petroquímicos de Cosoleacaque, Cangrejera, Pajaritos y Morelos Agroquímicos

domésticas en Veracruz, sólo se lleva a cabo para el 18.9 % del volumen recolectado. Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, sólo se cuenta con 88 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 174.7 Mm<sup>3</sup>. Estas plantas operan para dar tratamiento solamente a 45.2 Mm<sup>3</sup> (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005). Lo anterior nos indica que sólo el 25.8 % de la capacidad instalada de estas plantas se está utilizando y en la mayoría de los casos no se logra una eficiente remoción de los contaminantes.

Otro aspecto importante de contaminación originado por los núcleos poblacionales en el estado, es el relacionado con la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Para el 2004, la producción anual de estos residuos en el estado fue de aproximadamente 1.7 millones de toneladas y disponiéndose de 1 648 tiraderos a cielo abierto y sólo 11 rellenos sanitarios con una superficie total de 145 ha, aproximadamente (INEGI, 2005).

En el estado es muy común encontrar localidades en las cuales los sitios de disposición final, ya sea rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, se encuentran localizados en sitios inapropiados, lo que ha propiciado problemas serios de contaminación. Para el caso de rellenos sanitarios, y a pesar de que se cuenta con lagunas receptoras de los residuos líquidos generados durante la acumulación de los residuos (lixiviados), estos efluentes residuales no cuentan con un tratamiento adecuado. Es impor-

tante señalar que este tipo de residuos líquidos contienen, entre otros compuestos, metales pesados, los cuales, debido a su alta toxicidad, representan una seria amenaza para la salud de la población.

Los problemas vinculados a la calidad del agua han generado un gran número de denuncias por la degradación de estos sistemas, de los cuales uno de los sectores más afectados son los pescadores (Olguín *et al.*, 2000) y las poblaciones aledañas a estos cuerpos de agua y que hacen uso de este recurso. En Veracruz son continuas las denuncias que se presentan en materia de contaminación de cuerpos de agua por parte del sector pesquero ribereño. Estos casos de denuncia están vinculados principalmente con derrames de hidrocarburos y con descargas de la agroindustria azucarera, entre otros.

Si bien es cierto que las empresas públicas federales, como es el caso de Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad han traído consigo importantes aportes económicos y la generación de empleos en algunas regiones del estado, también es ampliamente conocido que dichas empresas han propiciado serios problemas en la entidad, destacando los relacionados con los altos riesgos en materia de salud y seguridad de la población, y con el grave deterioro ambiental derivado de la contaminación que se presenta en las zonas donde se encuentran asentadas una gran parte de sus industrias. La instalación de infraestructura

petrolera y petroquímica en el estado, ha traído como consecuencia que las lagunas costeras de Veracruz y algunos de sus estuarios, sean objeto de contaminación ambiental de una considerable magnitud, sobre todo en área de Coatzacoalcos-Minatitlán (Castañeda y Contreras, 2003).

### El caso de la contaminación de la cuenca baja del río Coatzacoalcos

El río Coatzacoalcos nace en la Sierra Atravesada del estado de Oaxaca y tiene una longitud aproximada de 185 km. En la primera parte de su recorrido, atraviesa una zona montañosa de topografía difícil y recibe numerosos y pequeños afluentes difíciles de cuantificar. A la altura de Santa María Chimalpa, su rumbo oeste cambia en dirección norte y a la altura de Suchilapa, Veracruz adquiere una dirección noreste que conserva hasta su desembocadura en el puerto de Coatzacoalcos. El río recibe tres principales afluentes, por su margen derecho, 5 km al norte de Minatitlán, recibe al río Coachapa que corre de sur a norte, y 3 km al sur de Minatitlán recibe al río Uxpanapa; por su margen izquierdo, 4 km antes de su desembocadura al mar, recibe al río Calzadas (Bozada y Páez, 1986).

El impacto antropogénico al río Coatzacoalcos ha ocurrido durante más de tres décadas, principalmente debido al desarrollo industrial en la cuenca baja que incluye la región de Minatitlán y Coatzacoalcos. Es importante señalar que en la región de Coatzacoalcos se localiza la industria petroquímica de Petróleos Mexicanos (Pemex) más importante del país, así como un importante número de empresas privadas como Sales del Istmo (grupo Cydsa); Cydsa-Bayer; Celanese Mexicana; Fenoquimia, (Celanese Mexicana y grupo Resistol); Alimentos Balanceados; Maseca; Sosa de Tehuantepec; Tereftalatos Mexicanos; y una nueva planta de Industrias Resistol (Morosini, 2005).

La investigación de la contaminación del río Coatzacoalcos por la actividad industrial inició

entre los años 1986 y 1988, con los trabajos de un grupo interdisciplinario bajo la coordinación del Centro de Ecodesarrollo de México (Cecodes). Este grupo evaluó los impactos ecológicos y sociales del desarrollo industrial petroquímico en Coatzacoalcos y los resultados se dieron a conocer mediante la publicación de 15 libros, de los cuales Toledo *et al.* (1988) destacaron las siguientes conclusiones:

1) Las muestras de agua, sedimento y organismos del río presentaron una alta y constante contaminación bacteriana.

2) Se detectaron altas concentraciones de elementos trazas y algunos metales pesados como hierro (Fe), níquel (Ni), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), plomo (Pb) y mercurio (Hg), en sedimentos y organismos de importancia comercial.

3) En 19 especies de organismos estuarinos (peces, crustáceos y moluscos) empleados para el consumo humano, se detectaron hidrocarburos aromáticos policíclicos. Además de que los sedimentos del área de estudio presentaron concentraciones de hidrocarburos totales que rebasan hasta 10 veces los límites marcados para áreas costeras no contaminadas.

Después del derrame de petróleo crudo, ocurrido el 22 de diciembre de 2004 en el municipio de Nanchital, por la ruptura de un oleoducto que corre de Nuevo Teapa a Poza Rica, se detectaron concentraciones de hidrocarburos totales de  $12 \text{ mg l}^{-1}$  en muestras de agua tomadas en el río, 2 km al sur de Nanchital y hasta su desembocadura al mar (Albert *et al.*, 2005). En cuanto a la concentración de hidrocarburos en los sedimentos, desde 1982 se han detectado concentraciones altas ( $450\text{-}843 \text{ mg kg}^{-1}$ ), las cuales superan el criterio de UNESCO de  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  para sedimentos no contaminados (Botello y Páez, 1986). Después del derrame de 2004, se encontraron concentraciones de  $47.17$  y  $89.66 \text{ mg kg}^{-1}$  en los puntos de muestreo aguas arriba de Nan-

chital y antes de la desembocadura del río Calzadas, respectivamente, las cuales fueron menores que el criterio de UNESCO. Sin embargo, cerca de la desembocadura del arroyo Teapa se encontraron concentraciones de hidrocarburos totales en sedimento de  $1\,290\text{ mg kg}^{-1}$  que excedieron por muchos órdenes el criterio de UNESCO (Albert *et al.*, 2005). Es importante mencionar que estas últimas concentraciones tan altas de hidrocarburos se encontraron poco tiempo después del derrame de Nanchital y que es necesario volver a muestrear para conocer la situación actual en agua y sedimentos del río Coatzacoalcos.

En cuanto a la contaminación por metales pesados en el río Coatzacoalcos, en los años 90 se reportó que las concentraciones medias ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de metales en sedimentos localizados en el flujo de la corriente, afectado por las actividades industriales fueron Cu: 36, Ni: 31.1, Cr: 53, Zn: 101 y Pb: 34, siendo estos valores más altos que los valores naturales en el área (Villanueva y Botello, 1992). Estudios relativamente más recientes han demostrado la persistencia de este tipo de compuestos en los sedimentos de la cuenca baja impactada por las actividades industriales. Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1998) estudiaron las características físicas y químicas de los sedimentos del río en varias zonas. Ellos encontraron las más altas concentraciones de Cu, Cr, Zn y Pb (95, 153, 163 y  $54\text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente) cerca de la desembocadura del arroyo Teapa. Las concentraciones de Cd, fueron entre 2 y  $3\text{ mg kg}^{-1}$ , siendo ligeramente más altas que las reportadas en sedimentos de ríos no contaminados ( $0.04\text{-}0.8\text{ mg kg}^{-1}$ ), las concentraciones de Ni fueron más altas ( $77\text{ mg kg}^{-1}$ ), cerca del río Uxpanapa, también por arriba de las concentraciones encontradas en suelos no contaminados ( $7\text{-}50\text{ mg kg}^{-1}$ ). Todos los valores más altos de metales encontrados en este estudio (Cd: 2, Cr: 81, Cu: 34, Fe: 6, Ni: 77, Pb: 46 y Zn:  $150\text{ mg kg}^{-1}$ ) excedieron los valores de toxicidad ERL (Effect Range Low), que son las concentraciones de metales en sedimento que cau-

san efectos tóxicos bajos en animales y plantas (Long *et al.*, 1995).

Rosales-Hoz *et al.* (2003) investigaron la concentración de elementos traza (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb) en zonas con mayor actividad industrial y en zonas con poca influencia antropogénica a lo largo del río Coatzacoalcos. Ellos encontraron que las concentraciones de Zn, Ni, Pb y Cu, fueron más altas en sedimentos del arroyo Teapa, el cual se encuentra en la zona industrializada y más bajas en el Júcaro, una zona con muy poco impacto antropogénico. A excepción del Pb, los niveles altos de metales en los sedimentos del arroyo Teapa, también estuvieron por arriba del ERL.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es muy lamentable que siendo Veracruz un estado con una precipitación alta, con una gran diversidad de productos agrícolas y con una industria importante, especialmente en el caso de la industria petrolera, no se haya implementado un programa de desarrollo sustentable que permita aprovechar todo el potencial de producción agrícola-industrial sin dañar el ambiente, principalmente los cuerpos de agua superficiales. Por lo anterior, es urgente que las autoridades a diferentes niveles (municipal, estatal y federal) y de manera coordinada entre ellas y con el sector empresarial y el sector académico, implemente un Programa de Desarrollo Industrial Sustentable, en el cual se efectúen estrategias que combinen herramientas de Producción Más Limpia y de adopción de Biotecnologías Ambientalmente Pertinentes (Olguín *et al.*, 2004). De esta manera, no sólo se logrará la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas acuáticos, sino también se lograrán beneficios de tipo económico y social. La minimización de los volúmenes de aguas residuales y su correcto tratamiento propiciarán que los cuerpos de agua aledaños a estos agro-centros se conserven sanos y que los pescadores puedan mantener sus

ingresos habituales (Olguín *et al.*, 2006). En el caso del corredor industrial de la región Córdoba-Ori- zaba y de la cuenca baja del Coatzacoalcos, se requiere, además de obras de infraestructura eficientes y de gran capacidad, un compromiso para que las empresas adopten de manera voluntaria y/o coercitiva, programas basados en la política de las cinco R's y, en general, de Producción Más Limpia. Además, se deben promover el desarrollo de tecnologías de biorremediación de ecosistemas impactados por derrames de hidrocarburos, implantando estrategias de bioestimulación y/o bioaumentación (Olguín *et al.*, 2007).

#### LITERATURA CITADA

- ALBERT, L.A., Bozada-Robles, J. Uribe-Juárez, J. López-Portillo, R. Méndez-Alonzo, Antonio-Soto, K.O de los Reyes-Trejo y C.J. Torres-Nachón, 2005, Evaluación instantánea de los efectos del derrame de petróleo en el área de Nanchital-Coatzacoalcos, Veracruz (22 de diciembre de 2004), en A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, Campeche, México, pp. 655-660.
- BOTELLO, A.V. y O.F. Páez, 1983, *El problema crucial la contaminación*, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo/Universidad Veracruzana, México, 180 pp.
- BOZADA, L. y Páez, M., 1986, *La fauna acuática*, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo/Universidad Veracruzana, México, 55 pp.
- BREÑA, A. y Breña, J., 2007, Disponibilidad de agua en el futuro de México, *Revista Ciencia*, Academia Mexicana de Ciencias, julio-septiembre 2007: 64-71
- CASTAÑEDA L., O. y Contreras E., 2003, El Centro de Documentación 'Ecosistemas Litorales Mexicanos' como una herramienta de diagnóstico, *ContactoS UAM* 48: 5-17.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA), 2002, Compendio Básico del Agua en México.
- , 2005, *Estadísticas del Agua en México*, Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA).
- CONSEJO DEL SISTEMA VERACRUZANO DEL AGUA, 2005, Programa Hidráulico Estatal.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2005, Plan Veracruzano de Desarrollo 2005-2010.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP, GWP (Asociación Mundial para el Agua), 2000, Manejo Integrado de Recursos Hídricos, Comité de Consejo Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (TAC), TAC Background Papers No. 4, Estocolmo, Suecia.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), Instituto Nacional de Ecología de la Semarnat, 2000, Indicadores de Desarrollo Sustentable en México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 2000, Marco Geoestadístico.
- , 2005, Anuario Estadístico Veracruz de Ignacio de la Llave.
- , 2007, Información Económica por Entidad.
- LONG, E.R., D.D. MacDonal, S.L. Smith y F.D. Calder, 1995, Incidence of biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuary sediments, *Environmental Management* 19: 81-97.
- MOROSINI, F., 2005, Medio Ambiente en Coatzacoalcos Veracruz, México, *Ideas sostenibles* 9: 1-7.
- MYERS, N., 1996, Environmental services of biodiversity, Proceeding of Natural Academy of Science, EUA, *Ecology* 93: 2764-2769.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, *Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el Estado de Veracruz y una alternativa de solución*. Sociedad,

- derecho y medio ambiente*, M. Bañuelos, (coord.), Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Profepa, pp. 219-258.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, The cleaner production strategy and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47(11-12): 641-670
- OLGUÍN, E.J., G. Mercado y G. Sánchez, 2006, *Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua. Gestión y Cultura del Agua*, D. Soares, V. Vázquez, A. Serrano y A. de la Rosa (coords.), Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp. 151-168.
- OLGUÍN, E.J., M.E. Hernández y G. Sánchez-Galván, 2007, Contaminación de Manglares por Hidrocarburos y Estrategias de Biorremediación, Fitorremediación y Restauración, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23(3): 139-154.
- ROSALEZ-HOZ, L y A. Carranza-Edwards, 1998, Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River, Mexico, *Environmental Contamination and Technology* 60: 553-561.
- ROZALES-HOZ, L., A.B. Cundy y J.L. Bahena-Manjarez, 2003, Heavy metals in cores from a tropical estuary affected by anthropogenic discharges: Coatzacoalcos estuary, Mexico, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 58: 117-126.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, RURAL, FORESTAL Y PESCA (Sedarpa), Gobierno del Estado de Veracruz, 2006, Datos estadísticos del 2005, Subsecretaría de Ganadería, Dirección General de Ganadería.
- TOLEDO, A., 2004, Entre la Ciencia y la Política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México, en M. Caso, I. Pisanty, E. Ezcurra, (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto de Ecología/Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, pp. 935-977.
- TOLEDO, A., V.A. Botello, M. Cházaro, M. Herzing, L. Bozada, M. Páez, M. Báez, A. y F. Contreras, 1988, *Medio Ambiente en Coatzacoalcos*, Resumen Ejecutivo, Centro de Ecodesarrollo, H. Ayuntamiento de Coatzacoalcos, Universidad Veracruzana, México.
- VILLANUEVA S. y A.V. Botello, 1992, Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión, *Revista Interamericana de Contaminación Ambiental* 8: 47-61.



# Amenazas a la biodiversidad asociadas a la producción de azúcar y etanol



Eugenia J. Olgún  
Gabriel Mercado Vidal  
Gloria Sánchez-Galván

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas, edafológicas y de alta biodiversidad que se presentan en el estado de Veracruz, han promovido desde hace siglos que la agricultura sea una de las actividades más importantes en la región. Consecuentemente, la transformación industrial de algunos productos agrícolas de alto valor comercial, es uno de los insumos más importantes de la economía del estado. De hecho, Veracruz contribuye con el 7.6 % del PIB nacional en el ramo agroindustrial, destacando la producción de caña de azúcar, de alcohol, de café y de cítricos (Cooazúcar, 2006).

Del total de 58 ingenios azucareros que se encuentran operando en el país, 22 de ellos se ubican en Veracruz, lo que posiciona a este estado en el primer lugar, contribuyendo con el 39.5 % del total de la producción de azúcar y con aproximadamente el 75 % del total de la producción de etanol del país. Para el periodo 2005-2006, la superficie cosechada de caña de azúcar en Veracruz fue de 271 349

ha, el rendimiento promedio en campo fue 70.73 ton/ha y el rendimiento promedio de azúcar en fábrica de 11.05 % (Cooazúcar, 2006). Estas actividades se desarrollan en varias regiones del estado, siendo las más importantes las de la cuenca del Papaloapan y la del río Blanco. Los ingenios azucareros veracruzanos se encuentran distribuidos en 18 municipios del estado (cuadro 1 y figura 1). De igual forma, se estima que en Veracruz, un millón de personas dependen directa e indirectamente de esta agroindustria (Colpos y FunProVer, 2003).

Esos datos señalan la importancia de la producción y transformación agroindustrial de la caña de azúcar (*Saccharum officinarium*), tanto en el aspecto social como en el económico en el estado de Veracruz. Sin embargo, diversos factores han contribuido a que esta actividad tenga un alto impacto ambiental negativo, de tal forma que se ha convertido en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad. A continuación se describen algunos impactos negativos y posteriormente, en otro capítulo, se discuten algu-

nas oportunidades que se plantean para que la producción de azúcar y de etanol se desarrollen a futuro con un mayor grado de integración armónica con el medio ambiente, dejen de ser una amenaza y se conviertan en una oportunidad para el desarrollo sustentable.

CUADRO 1. Ubicación de los ingenios azucareros del estado de Veracruz por municipio y cuenca.

CUENCA	INGENIO	MUNICIPIO
Papaloapan	San Cristóbal	Carlos A. Carrillo
	Tres Valles	Cosamaloapan
	San Gabriel	Cosamaloapan
	Motzorongo	Tezonapa
	Constancia	Tezonapa
	San Pedro	Lerdo de Tejada
	Nuevo San Francisco	Lerdo de Tejada
	Cuatotolapam	Hueyapan de Ocampo
Río Blanco	La Providencia	Cuichapa
	San Nicolás	Cuichapa
	El Carmen	Ixtaczoquitlán
	San José de Abajo	Cuitláhuac
	San Miguelito	Córdoba
Actopan	La Gloria	Úrsulo Galván
	El Modelo	La Antigua
	La Concepción	Jilotepec
Pánuco	Zapoapita	Pánuco
	El Higo	Tempoal
Jamapa-Cotaxtla	El Potrero	Atoyac
	Central Progreso	Paso del Macho
Bobos-Nautla	Independencia	Martínez de la Torre
Los Pescados – La Antigua	Mahuixtlán	Coatepec
	TOTAL	22 ingenios

FUENTE: Comité de la Agroindustria Azucarera (2006).

### TRANSFORMACIÓN DE ZONAS DE ALTA BIODIVERSIDAD EN MONOCULTIVOS Y AGOTAMIENTO DEL SUELO

Uno de los impactos ambientales más importantes es la transformación de zonas de alta biodiversidad en zonas de monocultivos. Actualmente, la superficie cultivada con caña de azúcar en el estado de Veracruz representa, aproximadamente, el 3.5 % del total del territorio veracruzano (figura 2). Además de la pérdida de hábitats y especies, ocurren daños colaterales relacionados a la hidrología de la zona y a la erosión del suelo. El cultivo de caña se caracteriza por una alta extracción de nutrientes que pueden resultar en un agotamiento del suelo si no se fertiliza adecuadamente. Se ha reportado que una cosecha de 100 ton/ha extrae 133 kg de nitrógeno, 83 kg de fósforo y 278 kg de potasio (Colpos y Fun-ProVer, 2003).

Por otro lado, la producción de alcohol carburante se ha estado fomentando en las últimas décadas en varios países deficitarios de petróleo. Sin embargo, el caso de Brasil es muy ilustrativo con relación al alto impacto que estas políticas han tenido sobre la conservación de la biodiversidad. En el estado de Alagoas, ubicado al norte de Brasil, sólo queda un 3 % de la selva tropical original, al convertirse la mayor parte de la zona en región productora de caña para el Programa Nacional de Alcohol Carburante (World Wildlife Fund, 2004). Es muy importante evitar que en México ocurra un impacto ambiental semejante y se programe adecuadamente el uso del suelo agrícola, sin causar un mayor deterioro a las zonas ya perturbadas.

### CONTAMINACIÓN POR EXCESO DE FERTILIZANTES Y PLAGUICIDAS UTILIZADOS PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de la caña utiliza un alto insumo de fertilizantes y de plaguicidas, lo que resulta en un exceso

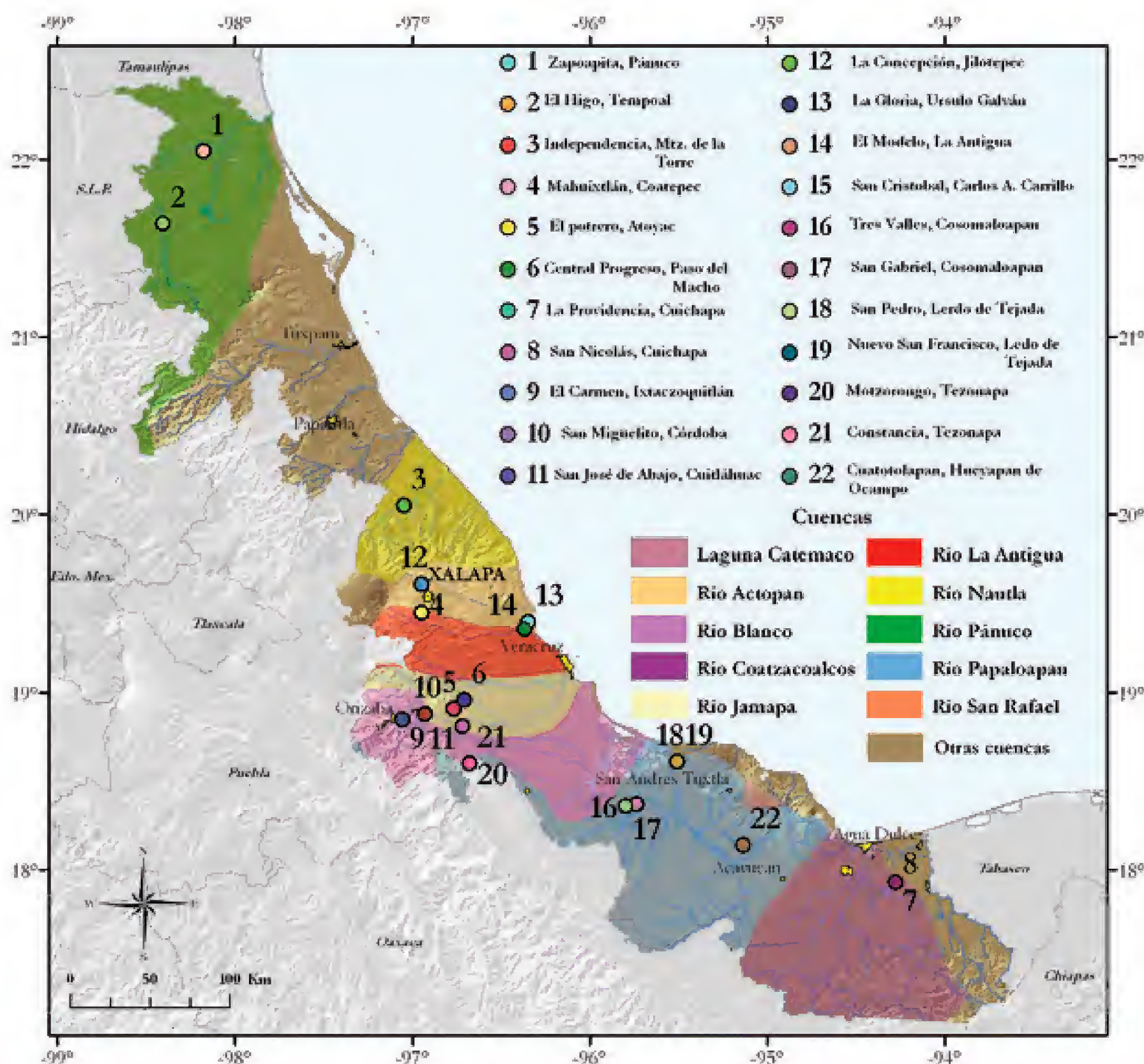


FIGURA 1. Distribución de los ingenios azucareros existentes en el estado de Veracruz (Zafra 2004-2005) (Fuente: Coaozúcar, 2006)

de nitrógeno, fósforo y residuos de plaguicidas en las escorrentías que salen de los cultivos y fluyen hacia diversas partes de las cuencas y finalmente hacia las zonas costeras y el Golfo de México (Olguín *et al.*, 2004). Con relación al exceso de plaguicidas, se ha reportado que el 90 % de la superficie sembrada con caña en Veracruz, está sujeta a

control químico de malezas y plagas (Colpos y Fun-ProVer, 2003). Desafortunadamente, el registro de DDT más alto en el país (60.7 ppb o partes por billón), se encontró en sedimentos de la cuenca baja del Papaloapan (Toledo, 2004).

El exceso de nutrientes (N y P) se debe principalmente a que los cultivos absorben sólo una frac-

ción del fertilizante aplicado que oscila entre el 10 y el 60 % (Peña-Cabriales *et al.*, 2002). Por lo anterior, es de esperarse que las escorrentías procedentes de los cañaverales, ricas en nutrientes, contribuyan de manera importante al acelerado crecimiento de algas y otras formas de vida acuática, produciendo un disturbio no deseado en el balance de organismos, lo cual ha sido observado en numerosos cuerpos de agua en el estado de Veracruz.



FIGURA 2. La superficie cultivada con caña de azúcar en el estado de Veracruz, representa aproximadamente el 3.5 % del total del territorio veracruzano (Foto: Gabriel Mercado, en la región de Córdoba, Veracruz).

#### LIBERACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS TÓXICOS Y DE EFECTO INVERNADERO

El proceso de cosecha de la caña conlleva una práctica no deseable de quema del cultivo, la cual resulta en múltiples impactos negativos: disminución de la humedad del suelo, incidencia de malezas, decremento en el contenido de materia orgánica, pérdida de nitrógeno, incremento de la erosión, pérdida de variedades, deterioro de la fertilidad, disminución de la biodiversidad, reducción de la calidad de la caña (Colpos y FunProVer, 2003) y una liberación de

grandes volúmenes de gases tóxicos y cenizas a la atmósfera. Este último impacto, relacionado a emisiones tóxicas y de gases con efecto invernadero, se magnifica durante el procesamiento de la caña en los ingenios, donde la quema de bagazo o de combustóleo genera más emisiones y, generalmente, los ingenios no cuentan con filtros adecuados en sus chimeneas. El bagazo obtenido durante la extracción del jugo de caña de azúcar, contiene aproximadamente 50 % de celulosa, 25 % de hemicelulosa y 25 % de lignina (Haagensen y Ahring, 2005) y es utilizado tradicionalmente para la producción de energía, dentro de los mismos ingenios azucareros. De esta forma, tanto en la cosecha de la caña de azúcar en campo como en su industrialización, la combustión de la biomasa conlleva el desprendimiento de diversos gases y partículas, destacando el dióxido de carbono o  $\text{CO}_2$  (gas invernadero), el monóxido de carbono o  $\text{CO}$  (gas tóxico por desplazar al oxígeno de la hemoglobina), los compuestos orgánicos volátiles o COV y las partículas suspendidas (PS). Se considera que el  $\text{CO}_2$  es el principal gas invernadero por encontrarse actualmente en una concentración mucho mayor que en la etapa pre-industrial (353 mil vs 275 000 ppb), por incrementarse a una tasa anual de 0.5 % y por tener un tiempo de residencia en la atmósfera de 50 a 200 años (Goudie, 1990).

Globalmente, se estima que la quema de biomasa produce emisiones que contienen 40 % de  $\text{CO}_2$ , 32 % de  $\text{CO}$  y 20 % de partículas suspendidas (Curtis, 2002). De acuerdo a las cifras del Inventario Nacional de Emisiones de México (INE/Semarnat, 2006), se reporta que durante la quema agrícola de caña de azúcar, por cada megagramo o tonelada de biomasa quemada, se desprenden, 4.0 kg de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), 35.5 kg de Monóxido de Carbono (CO) y 2.9 kg de Partículas de Materia (PM) o Partículas Suspendidas (PS). Esta misma fuente reporta que el estado de Veracruz genera el 23.9 % de COV, el 21 % de CO y el 17.9 % de PS respecto al total de las emisiones por quema agrícola a nivel nacional (cuadro 2).

CUADRO 2. Emisiones anuales (Mg/año) de contaminantes derivados de la quema agrícola en el estado de Veracruz.

CONTAMINANTE	VERACRUZ	NACIONAL	% DEL NACIONAL
COV	3 212.7	14 672.2	21.89
CO	28 530.3	148 568.7	19.20
PM10	2 294.1	13 975.3	16.42
PM2.5	2 187.7	13 327.5	16.41
COV: Compuestos Orgánicos Volátiles			
CO: Monóxido de Carbono			
PM10: partículas suspendidas de diámetro aerodinámico igual o menor que 10 micras			
PM2.5: partículas suspendidas de diámetro aerodinámico igual o menor que 2.5 micras			

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología (INE), 2006.

Es importante mencionar que, aunque en Veracruz no se han documentado los daños a la salud derivados por este tipo de emisiones atmosféricas, es de esperarse que el impacto sea muy negativo, especialmente en las comunidades cercanas a los ingenios. En un estudio que se realizó recientemente en Piracicaba, una ciudad del sur de Brasil, se demostró que el aumento en la presencia de partículas en el aire ( $10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas  $\text{PM}_{2.5}$  y a  $42.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas  $\text{PM}_{10}$ ), consecuencia de la quema de caña de azúcar, provocó un incremento en el número de enfermos de vías respiratorias, especialmente niños y ancianos. (Cancado *et al.*, 2006).

Aunque no están disponibles las cifras de las emisiones de los ingenios en Veracruz, es evidente que el total de emisiones por quema de caña de azúcar en campo y por su procesamiento contribuyen de una manera muy significativa a la problemática nacional de emisiones y de contaminación atmosférica. Por lo anterior, es urgente promover tecnologías más limpias que mitiguen estos dos impactos.

## USO NO SUSTENTABLE DEL AGUA

Otro de los impactos ambientales más relevantes es el relacionado al uso no sustentable del recurso agua, tanto en el riego de la caña, como en su procesamiento para la producción de azúcar y alcohol. Generalmente, predominan los sistemas ineficientes de riego superficial mediante canales, en donde ocurre una gran pérdida de agua por evaporación. Los sistemas de riego mediante goteo son preferibles, pero el costo de inversión es mucho mayor y sólo pocas fincas de caña los pueden implementar (Olguín *et al.*, 2006).

En el ámbito cañero veracruzano, cuya superficie cultivada con riego asciende a las 63 071.6 ha (SEDARPA, 2005), prevalece el sistema de riego manejado bajo un esquema de conducción del agua a través de canales a cielo abierto y generalmente sin ningún tipo de revestimiento (figura 3). A pesar de que se han realizado algunas inversiones en infraestructura para riego de la caña de azúcar, en algunas zonas que abastecen a los ingenios de El Higo y Zapoapita, en la cuenca del río Pánuco, La Gloria y El Modelo en la cuenca del río Actopan, Mahuixtlán en la cuenca del río Los Pescados – La Antigua y el Potrero en la cuenca del río Jamapa – Cotaxtla, aún falta mucho por realizar.

Asimismo, con relación al uso del agua para el procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios azucareros, se ha encontrado que en la mayoría de los casos, prevalece un uso no sustentable del agua, con un consecuente y considerable consumo de este recurso. Los resultados de un estudio realizado en tres ingenios azucareros ubicados en tres diferentes cuencas del estado de Veracruz (Olguín *et al.*, 2000), mostraron que existe una gran diferencia en los consumos de agua, que va desde los 2 300 (ingenio Mahuixtlán) a los 24 360 litros de agua por tonelada de caña de azúcar molida (ingenio Independencia). Este uso excesivo de agua en la mayoría de los ingenios, resulta en un elevado volumen de aguas residuales.



FIGURA 3. En el campo cañero veracruzano prevalece un sistema de riego ineficiente que distribuye el agua a través de canales a cielo abierto, generalmente sin ningún tipo de revestimiento (Foto: Gabriel Mercado, en la región de Córdoba, Veracruz).

### CONTAMINACIÓN POR DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y ALCOHOL

En los estados costeros del Golfo de México, como Veracruz, las fuentes de contaminación ubicadas aguas arriba de los ríos, incluyendo ingenios azucareros, beneficios húmedos de café y granjas porcinas, tienen un impacto negativo sobre las costas del Golfo de México (Olguín *et al.*, 2000). Para el caso específico de la agroindustria de la caña de azúcar, incluyendo la producción de etanol en ingenios azucareros y con base en datos de producción del año 2000, los estados costeros colindantes con el

Golfo de México contribuyeron con aproximadamente 914 829 ton de materia orgánica (cuadro 3), expresada como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) al año (Olguín *et al.*, 2004). El impacto ambiental negativo que genera la agroindustria de la caña de azúcar sobre los cuerpos de agua es preocupante, sobre todo si se toma en cuenta que la mayoría de los ingenios descargan sus aguas residuales sin dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente (Olguín *et al.*, 2000).

CUADRO 3. Contribución de materia orgánica (DBO/año) por ingenios azucareros al Golfo de México.

PRODUCCIÓN	TON DBO/AÑO
Azúcar	900 000.00
Etanol	14 829.00
Total	914 829.00

FUENTE: Olguín *et al.*, 2004

Las descargas de la industria azucarera que causan el peor impacto al ambiente son las vinazas, las cuales resultan de la elaboración de alcohol. Este alto impacto negativo se debe a que contienen una alta cantidad de materia orgánica, medida como DBO y a que son producidas en gran volumen. Hace varios años se realizó un diagnóstico en el estado de Veracruz, en el cual se estableció que las vinazas se producían en un promedio de 12.3 litros por litro de alcohol producido (Olguín *et al.*, 1995) y que la DBO promedio estaba en el rango de 30 - 40 g/l. A partir de estos datos se puede establecer que se produjeron, aproximadamente, 474.4 millones de litros de vinazas durante la zafra 2004-2005 en las siete fábricas de etanol que operaron durante este ciclo (cuadro 4). A pesar de que en algunos ingenios azucareros con fábricas de alcohol, las vinazas se utilizan para ferti-riego desde hace varios años (cuadro 4), otros ingenios las descargan a los cuerpos de agua aledaños sin ningún tratamiento, dando ori-

gen a serios problemas ambientales, incluyendo muertes masivas de peces. En un estudio realizado hace algunos años (Olguín *et al.*, 2000), se estableció que el Ingenio San Cristóbal descargaba vinazas con una DBO de 1 500 mg/l, impactando negativamente a la Laguna del Salado y a gran parte del Sistema Lagunar de Alvarado. Actualmente, este ingenio ha dejado de producir etanol debido a que no contaba con un sistema adecuado para tratar las vinazas. Este cierre, a su vez, ha traído consigo la pérdida de empleos y ello da muestra de que urge establecer una estrategia de producción más limpia que permita producir etanol sin dañar al ambiente y sin ocasionar daños sociales y económicos (Olguín *et al.*, 2006).

CUADRO 4. Producción estimada de vinazas en ingenios azucareros veracruzanos durante la zafra 2004-2005.

INGENIO	PRODUCCIÓN DE ALCOHOL (LITROS)	PRODUCCIÓN DE VINAZAS (MILES DE LITROS)	USO DE VINAZAS EN FERTI-RIEGO
La Gloria	20 168 528	248 072.89	Sí
San Nicolás	6 809 642	83 758.59	Sí
El Carmen	3 129 200	38 489.16	Sí
Constancia	3 015 000	37 084.50	Sí
San Pedro	2 076 000	25 534.80	No
San José de Abajo	2 200 000*	27 060.00	Sí
La Providencia	1 171 886	14 414.19	Sí
TOTAL	38 570 256	474 414.13	

FUENTES: Cálculos a partir de información del Comité de la Agroindustria Azucarera (2006) y \* Empresa. Estimándose una producción de 12.3 l de vinaza por l de etanol.

Es importante señalar que esta situación de incumplimiento de la legislación ambiental por parte de un gran número de ingenios a nivel regional ha generado otros impactos de tipo económico y social

en otros sectores productivos, tales como el sector pesquero. De esta manera, se ha reportado que en algunas regiones de Veracruz, se ha presentado una disminución en la actividad pesquera (entre 30 y 60 %) debido a la pérdida de especies de valor comercial, derivada de la contaminación de cuerpos de agua por agroindustrias. Esto ha traído consigo, a su vez, que un gran número de pescadores se hayan visto en la necesidad de emigrar a otros lugares o países en búsqueda de mejores alternativas de trabajo, o bien de cambiar de actividad o de combinarla con otras para subsistir (Olguín *et al.*, 2000).

## CONCLUSIONES

La agroindustria de la caña de azúcar es una actividad de gran importancia económica y social en el estado de Veracruz debido a la gran cantidad de empleos que genera y al gran número de personas que dependen indirectamente de ella. Sin embargo, el creciente desarrollo de la actividad azucarera en el estado, a través de los años, ha traído consigo una serie de amenazas sobre la biodiversidad. Entre ellas destacan las relacionadas principalmente con la transformación de zonas con alta biodiversidad en zonas de monocultivo, las prácticas no sustentables como la quema previa a la cosecha, con sus consecuentes problemas de pérdida de biodiversidad y de contaminación de la atmósfera. También destaca la contaminación de la atmósfera por la falta de filtros en las chimeneas y de control en la operación de las calderas de los ingenios. Con relación al agua, se ha reportado un consumo exagerado de este recurso en la mayoría de los ingenios. La cuenca del Papaloapan, en donde se produce la mayor cantidad de azúcar y etanol, y la del río Blanco, son las más afectadas por la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales y en especial por la descarga de vinazas sin tratar. Por lo anterior, es necesaria la implementación de acciones urgentes en los cañaverales y en los ingenios, que permitan mitigar los

impactos ambientales y sus consecuentes amenazas sobre la biodiversidad, mediante la adopción de estrategias de producción más limpia a través de la reducción, el reciclaje y el reuso del agua y de la adopción de tecnologías ambientalmente pertinentes para el tratamiento de aguas residuales.

#### LITERATURA CONSULTADA

- CANCADO, J., P. Saldiva, L. Pereira, L. Lara, P. Artaxo, L. Martinelli, M. Arbex, A. Zanobetti y A.L.F. Braga, 2006, The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly, *Environmental health perspectives* 114(5): 725-729.
- COLEGIO DE POSGRADUADOS (Colpos) y Fundación Produce Veracruz (FunProVer), 2003, Azúcar, (<http://www.snitt.org.mx/pdfs/demanda/cana-de-azucar.pdf>), octubre de 2006.
- COMITÉ DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA (Coaazucar), 2006, Producción de azúcar por clases, miel final y alcohol por ingenios, Informe Final Preliminar, Zafra 2005-2006, (<http://www.sagarpa.gob.mx/Coaazucar/>), octubre de 2006.
- CURTIS, L., 2002, *Biomass Burning: Wood, Leaves, Grass, Forests, Crops and Trash*, Burning Issues Special Edition November 11.
- GOUDIE, A., 1990, *The Human Impact on the Natural Environment*, Basil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3th Edition, 388 pp.
- HAAGENSEN, F. y B. Ahring, 2005, Enzymatic hydrolysis and glucose fermentation of wet oxidized sugarcane bagasse and rice straw for bioethanol production, en L. Sonderberg y H. Larsen (eds.), *Technologies for Sustainable Energy Development in the Long Term*, Proceedings, Riso International Energy Conference, 23-25 May 2005, Riso National Laboratory, 459 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006, Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999 INE/Semarnat, México, 317 pp.
- OLGUÍN, E.J., H.W. Doelle y G. Mercado, 1995, Resource recovery through recycling of sugar processing by-products and residuals, *Resource, Conservation & Recycling* 15: 85-94.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el estado de Veracruz y una alternativa de solución, en M. Bañuelos (coord.), *Sociedad, derecho y medio ambiente*, Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Profepa, pp. 258-319.
- OLGUÍN, E. J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, The cleaner production strategy and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47(11-12): 641-670.
- OLGUÍN, E. J., G. Mercado y G. Sánchez, 2006, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, V. Vázquez, A. Serrano y A. de la Rosa (coords.), *Gestión y cultura del agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp.151-168.
- PEÑA-CABRIALES, J.J., O. Grageda y J. Vera, 2002, Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas, *Revista Terra* 20(1): 51-56.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (Sedarpa), 2005, Delegación en el Estado de Veracruz. Subdelegación de Planeación, Estadística y Desarrollo Rural, Año Agrícola 2003-2004.
- TOLEDO, A., 2004, Entre la Ciencia y la Política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México, en M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra, (comp.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto

de Ecología/Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, pp. 935-977.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF), 2004, Sugar and the Environment, Encouraging Better Management Practices in sugar production, ([http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment\\_fidq.pdf](http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment_fidq.pdf)).



# La producción de café como amenaza a la biodiversidad



Eugenia J. Olgún  
Gloria Sánchez-Galván  
Gabriel Mercado Vidal

## INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los primeros 10 productores de café en el mundo. Con una extensión de 665 mil hectáreas, el café se cultiva en doce estados de la República Mexicana, situados en la parte centro-sur del país y son, en orden de importancia: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Tabasco, Colima y Querétaro (Consejo Mexicano del Café, 2004). Aunque la crisis internacional de los precios del café ha provocado una baja en la producción del grano, de esta actividad siguen dependiendo 3 millones de personas (Senado de la República, 2005). Es una actividad de alto impacto socioeconómico para la población indígena y campesina que habita en las áreas montañosas del centro y sureste de nuestro país, dado que la producción y comercialización de este aromático ha permitido obtener históricamente ingresos económicos para la subsistencia de este sector de la sociedad (Anta, 2006).

La producción de café en el estado de Veracruz representa el 27.4 % del total nacional, siendo el segundo productor después del estado de Chiapas (Olgún *et al.*, 2004). La cafecultura en Veracruz se desarrolla en 10 regiones, que incluyen 1 324 localidades establecidas en 95 municipios (Consejo Veracruzano del Café, 2004). Cuenta con 152 000 hectáreas fragmentadas de superficie cafetalera, manejadas por 67 227 cafecultores de los cuales el 94.1 % cultivan menos de 5 ha (Pineda-López *et al.*, 2005). El 60 % del café producido se cultiva en superficies arriba de los 750 msnm, siendo las regiones productoras más importantes, Coatepec, Córdoba, Huatusco, Misantla y Atzalan. En estas regiones predomina el cultivo de café bajo la sombra del dosel original de bosques o selvas y es producido fundamentalmente por pequeños productores, muchos de los cuales pertenecen a alguna cultura indígena (Moguel y Toledo, 1999).

En la región central de Veracruz, el bosque mesófilo de montaña fue disminuyendo de manera gradual y paralela a la expansión del cultivo del

café, a partir de fines del siglo XIX y hasta inicios de la década de los sesenta en el siglo pasado (Williams-Linera *et al.*, 2002). Los agro-bosques tradicionales de café son un importante refugio y contribuyen de manera muy importante a la conservación de la biodiversidad de plantas, pájaros, artrópodos y mamíferos (Moguel y Toledo, 1999; Richter *et al.*, 2007). No obstante, diversos factores tales como cambios en el sistema de cultivo, abandono y cambio de cultivo, uso no sustentable del agua y la contaminación ocasionada por el procesamiento del grano, entre otros, han contribuido a que la cafecultura tenga un alto impacto ambiental negativo, de tal forma que se convierte en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad, tal como se describe más adelante.

#### ABANDONO DE FINCAS CAFETALERAS Y CAMBIO DE CULTIVO

Los cafetales bajo sombra proveen importantes hábitat-refugios para la conservación de la biodiversidad (figura 1). Adicionalmente, facilitan la dispersión de la fauna del bosque entre fragmentos, y la biodiversidad de plantas y animales encontrada en estos sistemas puede aumentar los servicios del ecosistema tales como el control de plagas, polinización, control de malezas, limitación de enfermedades ocasionadas por hongos, control de la erosión y captura de carbono (Philpott *et al.*, en prensa). No obstante, cuando estos agro-bosques son abandonados, su manejo se detiene, por lo que su futuro ecológico es incierto ya que la composición y abundancia relativa de sus especies pueden variar.



FIGURA 1. Fincas cafetaleras bajo sombra amenazadas por los cambios en el sistema de cultivo del grano (Foto: Gabriel Mercado, en la Finca La Esmeralda y Rancho Guadalupe de la región de Coatepec, Veracruz. noviembre del 2000 y noviembre del 2006).

La crisis mundial de los precios del café ha ocasionado desastres sociales y ambientales, ya que muchos pequeños productores en Latinoamérica han abandonado sus tierras y migrado hacia el norte (Philpott y Dietsch, 2003). En México, cerca de 300 000 productores habían abandonado sus cafetales para 2001 (Gordon *et al.*, 2007). En otros casos, los cafetales han sido sustituidos por otros cultivos (Ritcher *et al.*, 2007) como la caña de azúcar (Donald, 2004) o el cacao, o convertidos en pastizales, impactando negativamente la biodiversidad del ecosistema cafetalero ya que los beneficios ecológicos son menores (Philpott *et al.*, 2007).

Aún falta investigación para evaluar el impacto que ha causado en Veracruz el abandono de los cafetales bajo sombra, considerando que también se ha reportado que los cafetales abandonados pueden alentar poblaciones de insectos benéficos que se comportan como enemigos naturales y polinizadores, contribuyendo a servicios importantes de ecosistemas en los sistemas agrícolas adyacentes (Ritcher *et al.*, 2007).

#### CULTIVO INTENSIVO DE CAFÉ

A pesar de los beneficios de la producción de café bajo sombra, desde hace algunos años existe una tendencia por el cultivo intensivo, el cual se caracteriza por realizarse bajo pleno sol y de una manera más tecnificada. En buenos suelos y climas favorables, se obtienen mayores productividades (aunque no necesariamente por planta) con este tipo de cultivo (Donald, 2004). En México un 17 % de la superficie total es cultivada sin sombra alguna (Anta, 2006), mientras que en la región Xalapa-Coatepec del estado de Veracruz es únicamente un 0.3 % (Pineda-López *et al.*, 2005). A pesar de lo anterior, está bien documentado que en los sistemas de cultivo intensivo de café, la diversidad y densidad de la sombra es reducida a tal nivel que se provocan pérdidas importantes en la diversidad de mamífe-

ros, aves y artrópodos (Philpott *et al.*, 2008), así como el empobrecimiento de la biodiversidad vegetal nativa de esas regiones (Pineda-López *et al.*, 2005).

Además, esta producción intensiva de café ha agravado los problemas relacionados con las plagas y su control, ya que la mayoría de los productores ha incrementado el uso de pesticidas y sólo una minoría de ellos ha adoptado métodos sustentables para dicho control (Donald, 2004). Lo anterior trae como consecuencia afectaciones a la salud de los agricultores y los pobladores rurales, así como a la calidad del suelo y del agua. Asimismo, a pesar de que no está cuantificado el impacto de las escorrentías conteniendo agroquímicos hacia diversos ríos del estado de Veracruz y finalmente al Golfo de México, es de esperarse que éste sea considerable.

Por otro lado, el monocultivo de café puede causar un significativo deterioro de la calidad del suelo y una creciente erosión ya que la presencia de árboles de sombra conserva la humedad, reduce las pérdidas de nitrógeno, aumenta la capacidad de absorción e infiltración de agua, reduce el riesgo de erosión y estimula la actividad biológica (Ricci *et al.*, 2006).

#### USO NO SUSTENTABLE DEL AGUA

La mayor parte del café que se produce en Veracruz, así como en otras regiones de México, es procesado en los llamados beneficios húmedos, a través de las siguientes operaciones: *a)* despulpado, *b)* fermentación, *c)* lavado y *d)* secado (ésta es una operación común tanto para el beneficiado seco como para el húmedo) (Olguín *et al.*, 2006). El consumo del agua en cada etapa y en cada beneficio depende principalmente de la disponibilidad del recurso y del tipo de maquinaria empleada en el proceso. Se estima que por cada kg de café cereza procesado en beneficios tradicionales no modificados, se utilizan ocho litros de agua, los cuales son convertidos en

agua residual con alto contenido de materia orgánica (Sánchez *et al.*, 1993). Lo anterior es equivalente a decir que beneficiar 1 kg de café cereza produce una contaminación equivalente a 45.5 litros de aguas residuales domésticas (Zuluaga *et al.*, 1993). Este elevado consumo de agua se deriva principalmente de la remoción de la pulpa y el mucílago del grano de café, habiendo en esta última etapa un lavado del grano que genera una gran cantidad de aguas residuales que no son tratadas ni recicladas en la mayoría de los casos (figura 2). En México, al igual que en otros países de Centroamérica, no se ha mostrado un interés particular por la práctica de métodos sustentables de recursos en la producción de café, especialmente en el caso del agua (Oguín *et al.*, 2000; Adams *et al.*, 2007).

CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA Y SUELO POR DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

El acceso a agua limpia es un problema crítico en muchos países, por lo que es de suma importancia entender las fuentes y vías de contaminación que afectan los recursos acuíferos y desarrollar soluciones pertinentes (Rhandir y Genger, 2005).

En el caso del procesamiento del café, las aguas residuales provenientes de los llamados “beneficios húmedos de café”, son altamente contaminantes, debido principalmente a su gran contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos y bajo pH (cuadro 1). Estudios previos realizados en beneficios húmedos de café de las regiones de Coatepec y Huatusco

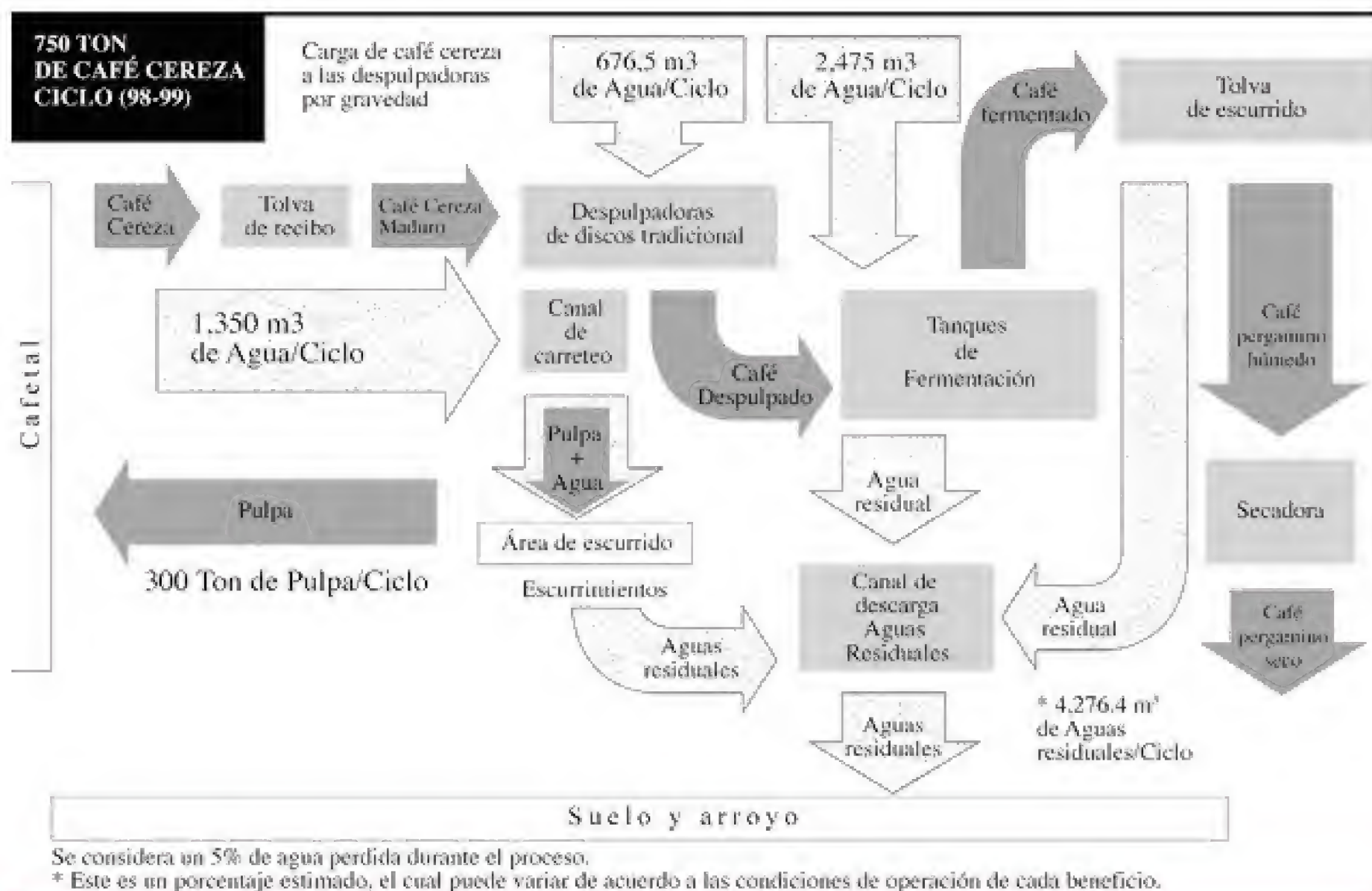


FIGURA 2. Consumo de agua excesivo (8 l/ kg café cereza) en diversas operaciones unitarias dentro del beneficio húmedo de café tradicional “Chavarrillo” en el municipio Emiliano Zapata, Veracruz (Fuente: Oguín *et al.*, 2000).

en el estado de Veracruz, mostraron que las aguas residuales de estas agroindustrias, no son tratadas antes de ser vertidas a los cuerpos de agua (Olguín *et al.*, 2000). Este estudio permitió, además, demostrar el incumplimiento de la normatividad ambiental por parte de la mayoría de los beneficios de café asentados en las áreas cafetaleras más importantes de la entidad, ya que la calidad de sus aguas residuales no cumplió con la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Por otro lado, la pulpa de café es uno de los principales residuos sólidos generados durante el procesamiento del grano, representando del 40 al 45 % del peso del mismo (Pandey *et al.*, 2000) (figura 3). Los métodos tradicionales de descarga consisten en arrojarla a ríos o amontonarla en las cercanías de las tierras cultivables. Este tipo de disposición inadecuada causa severos problemas de contaminación, ya que la pulpa es rica en materia orgánica y en azúcares (cuadro 2), por lo que se presenta como un sustrato ideal para fermentaciones

no controladas que atraen insectos y generan malos olores que alcanzan kilómetros a la redonda (Sánchez *et al.*, 1999).

CUADRO 1. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de beneficios tradicionales de la región de Coatepec, Veracruz.

PARÁMETRO	AGUA DE DESPULPE	AGUA DE LAVADO
pH	3.96	3.84 ± 0.14
Sólidos suspendidos*	18.33	4 904.16 ± 4 833
Sólidos sedimentables*	0.30	No determinado por características propias del mucílago
DBO5*	412.50	4 923.50 ± 1 744.43
Nitrógeno total Kjeldahl*	10.58	170.22 ± 100
Fósforo*	0.90	23.50 ± 12.41
Grasas y aceites*	ND	447 ± 442
Coliformes (NMP/100 ml)	2 400 >	< 2.2

\* Valores expresados en mg/l  
FUENTE: Olguín *et al.*, 2000.



FIGURA 3. La pulpa de café es el principal residuo sólido generado durante el procesamiento del grano de café. Granos de café cereza y pulpa de café (Foto: Gabriel Mercado).

Un estudio realizado en Honduras mostró que debido a que la pulpa es dispuesta en las zonas riparias sin tratamiento alguno, los cuerpos de agua presentan severa contaminación ocasionando problemas gastrointestinales en la población aledaña, pérdida de la vida acuática y bajos niveles de oxígeno disuelto (Rhandir y Genger, 2005).

CUADRO 2. Caracterización fisicoquímica de pulpa de café de un beneficio húmedo de café tradicional de la región de Coatepec, Veracruz.

PARÁMETRO	VALOR
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	380
Humedad (%)	87
pH	5.8
Carbono orgánico*	49
Materia orgánica*	85
Nitrógeno total Kjeldahl*	1.7
Azúcares reductores (Glucosa)	7.4
C/N	28

\* Valores expresados en % de materia seca  
FUENTE: Sánchez *et al.*, 1999.

## CONCLUSIONES

Uno de los sectores agroindustriales de mayor importancia desde el punto de vista económico, social y cultural en el estado de Veracruz es el sector cafetalero, especialmente en las regiones de Coatepec y Huatusco. Aunque desde hace tiempo se vive una crisis en este sector, por la baja en los precios internacionales del grano, la cafecultura sigue siendo una actividad importante por la gran cantidad de personas que dependen directa o indirectamente de ella. Sin embargo, la falta de prácticas sustentables en los sistemas de producción y beneficiado del café ha traído consigo una serie de problemas que amenazan la biodiversidad en el ecosistema cafetalero. Estas amenazas están relacionadas con, por lo menos, cuatro factores: *a)* el abandono de fincas cafetaleras o cambio de cultivo; *b)* el desarrollo de nuevas variedades

de café de alto rendimiento bajo un esquema de cultivo sin sombra con gran dependencia de productos químicos; *c)* el uso no sustentable del agua en los procesos de transformación del grano, caracterizado por un elevado consumo de agua y *d)* la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales con alta carga contaminante. Este espectro amplio de amenazas hace necesaria la implementación de programas regionales para el cultivo y procesamiento sustentable del café con énfasis en la conservación del cultivo tradicional de café de sombra, la implementación de estrategias de Producción Más Limpia a través de la reducción, el reciclaje y reuso del agua y la adopción de Tecnologías Ambientalmente Pertinentes (Olguín *et al.*, 2006). Finalmente, cabe mencionar que urgen otros programas de apoyo a la agricultura en general, para contrarrestar la migración masiva de productores que está ocurriendo en Veracruz y en muchos otros estados del país.

## LITERATURA CITADA

- ADAMS, M. y A.E. Ghaly, 2007, Maximizing sustainability of the Costa Rican coffee industry, *Journal of Cleaner Production* 15(17): 1716-1729.
- ANTA, S., 2006, El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad, INE/Semarnat, *Gaceta Ecológica* 80: 2006: 19-31.
- CONSEJO MEXICANO DEL CAFÉ (CMC), 2004, Avances de Padrón Nacional Cafetalero (a mayo del 2004).
- DIETSCH, T.V., I. Perfecto y R. Greenberg, 2007, Avian Foraging Behavior in Two Different Types of Coffee Agroecosystem in Chiapas, Mexico, *Biotropica* 39(2): 232-240.
- DONALD, P.F., 2004, Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems, *Conservation Biology* 18(1): 17-37.
- GORDON, C., R. Manson, J. Sundberg y A. Cruz-Angón, 2007, Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem, *Agriculture Ecosystems & Environment* 118: 256-266.

- MOGUEL, P. y Toledo, V.M., 1999, Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico, *Conservation Biology* 13 (1): 11-21.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G., Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el estado de Veracruz y una alternativa de solución, en M. Bañuelos (coord.), *Sociedad, Derecho y Medio Ambiente*, México, Conacyt/UAM/Semarnap/Pro-fepa, pp. 219-258.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, The cleaner production strategy and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47 (11-12): 641-670.
- OLGUÍN, E.J., G. Mercado y G. Sánchez-Galván, 2006, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, V. Vázquez, A. Serrano y A. De la Rosa, (coords.), *Gestión y Cultura del Agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Posgraduados, pp. 151-168.
- PANDEY, A., C.R. Socol, P. Nigam, D. Brand, R. Mohan y S. Roussos, 2000, Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses, *Biochemical Engineering Journal* 6: 153-162.
- PHILPOTT, S.M., P. Bichier, R. Rice y R. Greenberg, 2003, Coffee and Conservation: a Global Context and the Value of Farmer Involvement, *Conservation Biology* 17(6): 1844-1846.
- PHILPOTT, S.M., P. Bichier, R. Rice y R. Greenberg, 2007, Field-Testing Ecological and Economic Benefits of Coffee Certification Programs, *Conservation Biology* 21 (4): 975-985.
- , 2008, Biodiversity conservation, yield, and alternative products in coffee agroecosystems in Sumatra, Indonesia, *Biodiversity and Conservation* 17: 1805-1820.
- PINEDA-LÓPEZ, M.R., G. Ortiz-Ceballos y L. Sánchez-Velásquez, 2005, Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz, *Madera y Bosques* 11(2): 3-14.
- RANDHIR, T. y C. Genge, 2005, Watershed based, institutional approach to developing clean water resources, *Journal of the American Water Resources Association* 41 (2): 413-424.
- RICCI, M.D.F., J.R. Costa, A.N. Pinto, V.L.D. Santos, 2006, Organic cultivation of coffee cultivars grown under full sun and under shading, *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41 (4): 569-575.
- RICHTER, A., M.A. Klein, T. Tschardt y M. Jason, 2007, Abandonment of coffee agroforests increases insect abundance and diversity, *Agroforest Systems* 69: 175-182.
- SÁNCHEZ, G., E.J. Olgún y G. Mercado, 1999, Accelerated coffee pulp composting, *Biodegradation* 10: 35-41.
- SÁNCHEZ, G., G. Mercado y E.J. Olgún, 1993, Evaluación de la eficiencia de los filtros anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales de los beneficios húmedos de café, *Biotecnología* 3(3):105-108.
- SENADO DE LA REPÚBLICA, LIX Legislatura, 2005, Dictamen de la iniciativa con Proyecto de Ley de Desarrollo Integral y Sustentable de la Caficultura y de la Minuta con Proyecto de Decreto de Ley de Desarrollo Integral y Sustentable de la Caficultura. Comisiones Unidas de Agricultura y Ganadería; Desarrollo Social; Estudios Legislativos Primera; y Estudios Legislativos Segunda. Publicado en (<http://www.cafesdemexico.com/Dictamen%20minuta%20ley%20desarrollo%20cafe.doc>).
- WILLIAMS-LINERA, G. y R.H. Manson, 2002, La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México, *Madera y Bosques* 8(1): 73-89.
- ZULUAGA, J., D. Zambrano, N. Rodríguez, M. Dávila, 1993, *Estrategias para el Manejo y la Valorización de los Subproductos de Proceso de Beneficiado del Café*, Seminario Sobre el Control de la Contaminación en la Agroindustria Cafetera, agosto de 1993, Chin-chiná, Caldas, Colombia.



Café: Banco de imágenes, Contrabio (Foto: [http://www.marianadreckman.com](#))



## SECCIÓN VI

# Transformar las amenazas en oportunidades para la conservación de la biodiversidad

### RESUMEN EJECUTIVO

Eugenia J. Olgún

Esta sección compila cuatro capítulos que presentan estrategias diversas para transformar las amenazas a la biodiversidad en oportunidades para un uso sustentable de la misma. Se presenta el caso de los bosques de montaña, de las agroindustrias del azúcar, alcohol y café y, finalmente, el de los hongos.

Los bosques de montaña son los que aportan el 75 % de la producción forestal de Veracruz; dentro de este porcentaje, el 50 % de la producción proviene del género *Pinus*. La gran diversidad de especies forestales sigue siendo aún un potencial no suficientemente explorado. El capítulo dedicado a este tema indica que el pago por servicios ambientales, la certificación del manejo y del proceso de industrialización forestal en Veracruz, pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad, lo cual se reflejaría, además, en una mejora de la calidad de vida de las comunidades que dependen directamente de tales ecosistemas. En Veracruz, existen experiencias positivas en el manejo sustentable de bosques, principalmente para la producción de

madera, con un compromiso evidente de conservación de la biodiversidad. El capítulo termina recomendando que, para tener una respuesta inmediata al problema del sector forestal en Veracruz, es necesario estrechar vínculos entre varios actores: los tres niveles de gobierno, los poseedores de los recursos forestales, el sector industrial, el académico y los consumidores. También enfatiza que la organización de las comunidades forestales ha demostrado ser una opción viable para el manejo forestal sustentable, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo social.

Por otro lado, la preocupación a nivel internacional y nacional por promover una agroindustria de la caña de azúcar sustentable y en armonía con el medio ambiente, ha resultado en la promoción de varias estrategias, las cuales se presentan en el capítulo correspondiente. Entre ellas, la adopción de prácticas sustentables para el cultivo de la caña, la diversificación y generación de nuevos productos, la adopción de cambios en los procesos de producción

de azúcar y etanol, mediante prácticas de producción más limpias y el desarrollo y transferencia de biotecnologías ambientalmente pertinentes para el tratamiento y reciclaje de las aguas residuales. En relación con la diversificación de productos, se discute el uso de procesos biotecnológicos alternativos que permitan reutilizar subproductos y convertirlos en nuevos productos de mayor valor agregado. Con relación al reuso de las aguas residuales de la industria azucarera (tanto aguas de proceso como vinazas), se discuten las ventajas del uso de una tecnología de fitorremediación, capaz de remover materia orgánica, dando como resultado un agua residual con buenas características para poder ser reutilizada en el riego de la caña de azúcar. De esta forma, se fomenta el uso sustentable del agua y el reciclaje de nutrientes, permitiendo aumento en la productividad en el sector.

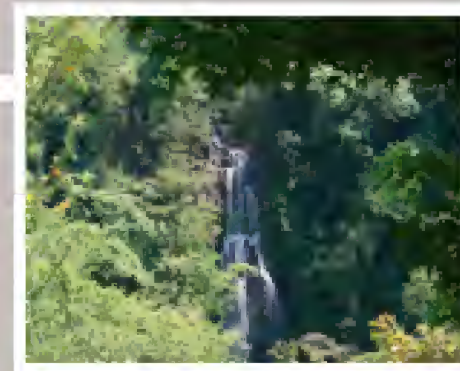
Dentro de la actividad agroindustrial, uno de los sectores económicos más importantes en el estado de Veracruz es la cafecultura, que ocupa el segundo lugar a nivel nacional. En el capítulo dedicado a esta agroindustria, se presentan una serie de estrategias para lograr cambios importantes, desde el cultivo hasta el procesamiento del café, tendientes a minimizar los impactos ambientales negativos y a transformar a la cafecultura en una actividad más armónica con el medio ambiente. Se recomienda la implementación de Programas de Desarrollo Regional para la cafecultura, que incluyan una serie de alternativas, tales como: *a)* pagos por servicios ambientales; *b)* promoción de café orgánico y café de sombra amigable con las aves; *c)* adopción de estrategias de producción más limpias que promuevan cambios en el beneficiado húmedo para lograr el ahorro y uso racional de agua, y *d)* adopción de

biotecnologías ambientalmente pertinentes. Dentro de estas últimas, destacan los sistemas integrales para el tratamiento de aguas residuales, combinando la digestión anaerobia y la fitorremediación y también los procesos desarrollados para el “compostaje acelerado” o para el vermicompostaje de pulpa de café, muy útiles en la producción de café orgánico. Se propone que la implementación de dichos programas coadyuven a mitigar la contaminación generada por este sector agroindustrial y a un desarrollo regional sustentable.

Finalmente, el último capítulo de esta sección se refiere a los hongos. Estos organismos, ocupan el segundo lugar en número de especies en la Tierra, después de los insectos, por lo que representan un importante papel en la conservación de la diversidad biológica. En el capítulo se propone un aprovechamiento adecuado de los recursos fúngicos en el estado de Veracruz, no sólo mediante la consideración de las propiedades nutrimentales de las especies comestibles, sino además, de la preservación de la diversidad existente y la promoción de su uso sustentable.

Adicionalmente, se presenta al cultivo de hongos comestibles como una alternativa viable para diversas regiones de Veracruz, debido a su clima, disponibilidad de materias primas y ubicación geográfica, con grandes perspectivas de incorporación a los mercados nacional e internacional. Esta actividad representa una tecnología que busca aumentar los ingresos económicos y diversificar el sector productivo, sin efectos negativos al ambiente, por lo que se espera que el sector financiero incremente y fortalezca los programas de extensión que apoyen esta industria.

# Uso sustentable de los bosques de montaña: la meta



Lázaro R. Sánchez-Velásquez  
María del Rosario Pineda-López  
José Luis Zúñiga-González

## INTRODUCCIÓN

La aportación del sector forestal al PIB del país ha sido alrededor del 1 %, en algunos casos muy por abajo de este porcentaje (Chapela y Mendoza, 1996; Aroche y Escalante, 2000). Pero también es cierto que la inversión en este sector es una de las más bajas, por ejemplo, el crédito a la silvicultura representa sólo 0.88 % de lo destinado al sector primario, y la industria forestal recibe 1.5 % de los recursos aplicados a la industria en general (CCMMS, 2006a). Veracruz no escapa a la problemática nacional del sector forestal, ya que siendo uno de los tres estados más biodiversos del país, está entre el segundo y tercer lugar con mayor tasa de deforestación del país (cifras preliminares del Inventario Forestal Nacional 2000, en Challenger *s/a*). Aunque Veracruz no ha contribuido significativamente a la producción forestal nacional, el manejo y conservación de sus bosques es fundamental para mantener la calidad de los servicios ambientales, por ejemplo el agua (Manson *et al.*, 2008). Además, por

su gran biodiversidad, es y puede seguir siendo fuente potencial de recursos genéticos forestales para el país, debido a la gran cantidad de especies multiusos que habitan en el suelo veracruzano (Benítez Badillo *et al.*, 2004). Por las características de la flora, la vegetación y su medio físico, Veracruz resguarda un enorme potencial para productos maderables y no maderables para el consumo nacional y la exportación, por ejemplo: árboles de navidad, maderas preciosas, carbón, leña, forraje, comestibles, medicinales, cercos y productos industrializados, entre muchos otros (Benítez Badillo *et al.*, 2004). El Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y Huayacocotla, el sureste veracruzano, son las regiones más importantes del estado para la producción de madera (Sánchez-Velásquez *et al.*, 1991; Ruelas Monjardín y Chávez Cortés, 1997). Afortunadamente, aunque escasas, existen experiencias de manejo sustentable de los bosques por ejidatarios organizados en algunas áreas de montaña de Veracruz. Por ejemplo, la experiencia del Ingenio El Rosario, en el Cofre de Perote, podría usarse como

punta de lanza para impulsar un manejo sustentable de los bosques de la región, donde existe una fuerte presión por la población aledaña. Recordemos que Veracruz es el estado con mayor población del país después del Estado de México y el Distrito Federal.

En el presente trabajo se hace un análisis del sector forestal en Veracruz, se discuten los principales problemas, los logros, debilidades y se proponen, aunque en algunos aspectos no de manera original, sugerencias para el fortalecimiento del sector en el estado.

## SILVICULTURA

Existen diferentes definiciones de silvicultura (para algunos autores es sinónimo de manejo forestal sustentable). Nosotros definimos la silvicultura de acuerdo a la combinación de conceptos que usan Hawley y Smith (1982) y Jardel y Sánchez-Velásquez (1988), es decir, la silvicultura se define como el manejo científico de los procesos en la sucesión para la producción de bienes y servicios, por consecuencia, se fundamenta en el conocimiento de la ecología forestal. La producción de bienes derivados del bosque incluye tanto a los productos maderables como los no maderables. Sin embargo, los ecólogos han contribuido también en la parte teórica y práctica para el manejo de los ecosistemas a través del énfasis en el manejo adaptativo de los ecosistemas (Christensen *et al.*, 1996). Ellos definen el manejo de los ecosistemas como “el manejo orientado por metas explícitas, ejecutado por políticas, protocolos y prácticas que se adapta al problema mediante monitoreo e investigación basado en nuestro mejor entendimiento de las interacciones ecológicas y de los procesos necesarios para mantener la estructura y función del ecosistema” (Christensen *et al.*, 1996).

En general, el conocimiento que se tiene actualmente para el manejo sustentable de bosques de pino en México, y en el mundo, es amplio. Sin

embargo, para los bosques tropicales y bosque mesófilo de montaña el conocimiento es aún incipiente (Orians *et al.*, 1996; Dirzo, 2000; Sánchez-Velásquez *et al.*, 2008). Además del contexto ecológico, la sustentabilidad implica el contexto económico y social, donde la participación activa de los poseedores de los recursos es fundamental.

## CONTEXTO NACIONAL

De acuerdo con el Inventario Nacional de Bosques de 1999, 56.5 millones de ha, 29 % del territorio nacional, está cubierto por bosques y selvas; 30.2 millones de ha (54 %) son bosques de zonas templadas y 26.3 millones de ha (46 %) son selvas y bosques tropicales secos. Otros 22.1 millones de ha tienen bosques con distintos grados de deterioro, sin una cubierta forestal importante (INEGI, 1997).

Es bien sabido que la producción forestal sólo juega un papel menor en la economía mexicana. Así, a principios de los años noventa la producción comercial de madera era poco menos de 1 % del PIB nacional; la participación de dicho sector disminuyó en casi 25 % desde 1987. Históricamente, las inversiones realizadas por el gobierno en el sector forestal han sido hasta de menos de 4 % del presupuesto total destinado para la agricultura (World Bank, 1995).

Si bien a lo largo del siglo XX el uso de los recursos forestales fue un tema de debate permanente, la polémica en torno al manejo de los bosques no ha dejado de ocupar la atención en distintos sectores de opinión y del gobierno, en sus diferentes niveles de gestión y organización. En términos de política nacional, aun cuando a principios de la anterior administración del ejecutivo federal se creó la Comisión Nacional Forestal (Conafor), como parte de una estrategia para mejorar la gestión de los recursos forestales, con la formulación de una nueva Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable

(aprobada en 2003), falta mucho por hacer. No habría que olvidar que históricamente la participación de los poseedores de recursos fue mermada por falta de una visión política gubernamental que privilegió intereses de compañías transnacionales a quienes se les otorgó carta abierta. Por lo tanto, la participación directa de los poseedores de los recursos forestales, los tres niveles de gobierno y la sociedad en general, no debe ser considerada como una falacia. Es necesario, entonces, considerar el fomento de una conciencia para el manejo de los recursos forestales, hasta la necesidad de implementar otro tipo de acciones, como el pago por los servicios ambientales.

A pesar del esfuerzo para revertir la deforestación, de acuerdo al informe 2005 de México frente a los Objetivos del Milenio de la ONU, la proporción de superficie cubierta por bosques y selvas, calculada con respecto a la superficie terrestre nacional, pasó de 36.6 por ciento en 1993 a 33.4 por ciento en 2002 (ONU, 2005). Sin embargo, es conveniente señalar que no existe aún un dato confiable sobre la tasa de deforestación. En México se hicieron cerca de 40 evaluaciones de la tasa de deforestación en los últimos 30 años, las cuales varían entre 1 500 000 hectáreas por año y 242 000 hectáreas por año para el 1992 (CCMSS, 2006a). Los inventarios nacionales realizados hasta la fecha no permiten tener una evaluación real de esta tasa de deforestación, debido a que a través del tiempo se han usado diferentes escalas de trabajo y clasificación de la vegetación (CCMSS, 2006b).

El principal proceso involucrado en la eliminación de la vegetación arbolada ha sido su conversión a pastizales y terrenos de cultivo, aunque en años muy específicos (*e.g.* 1998), los incendios forestales también han contribuido a la disminución del potencial forestal. Sin embargo, no sólo el cambio de uso del suelo ha contribuido a la degradación de los bosques; el forrajeo del ganado dentro de los mismos bosques tiene efectos importantes en la regeneración y consecuentemente en la diversidad y

abundancia de las especies forestales (Lazos, 1996; Hernández-Vargas *et al.*, 2000; Montero-Solís *et al.*, 2006)

Se han observado otros problemas puntuales en el manejo forestal, algunos de ellos son:

1) No se cuenta con bases de datos del pasado uso y manejo de los recursos forestales. Es decir, en términos de monitoreo y con fines de evaluación, desde la perspectiva científica, si hubiésemos registrado de manera sistemática el manejo que hemos realizado de nuestros bosques en los últimos 50 años, tendríamos una base de datos que nos permitiría tomar mejores decisiones en el presente y futuro manejo forestal.

2) Debido a la gran diversidad forestal de nuestro país, el cual es considerado como un país megadiverso, se conoce poco de la ecología y biotecnología de las especies forestales (Jardel y Sánchez-Velásquez, 1988). Este desconocimiento sobre la ecología y el crecimiento de muchas especies forestales ha promovido que los métodos de manejo forestal se hayan empleado como recetas, aplicando turnos sin fundamentos ecológicos y acelerando el proceso sucesional hacia una estructura forestal no deseable. La extracción selectiva de los bosques se ha realizado de manera indiscriminada y sin tomar en cuenta en ningún sentido la biología básica de las especies, tanto de las especies extraídas como de las acompañantes. Un ejemplo muy patente de esto lo constituye la corta selectiva de especies de pino en muchos de nuestros bosques mixtos de coníferas y encinos, que generó la modificación del paisaje de dicha mezcla de especies, a un paisaje casi monoespecífico de encinos, para los cuales su industrialización es deficiente, al igual que para muchas otras especies tropicales (Pineda-López y Sánchez-Velásquez, 1992).

3) De las perturbaciones como el fuego (Villers Ruiz y López Blanco, 2004) y la ganadería, no hay un control efectivo y poco se sabe sobre sus efectos en la regeneración y dinámica de los ecosistemas forestales, sobre todo a largo plazo

(Hernández-Vargas *et al.*, 2000; Montero-Solís *et al.*, 2006).

4) Los procesos y mecanismos de la sucesión forestal son aún desconocidos para muchas comunidades forestales (Jardel y Sánchez-Velásquez, 1989; Sánchez-Velásquez, 2003). La falta de estaciones biológicas y áreas asignadas para estudios a largo plazo, que den resultados concretos para el manejo y conservación de los bosques, subrayan más esta necesidad. La recientemente creada Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (2004) tiene como uno de sus objetivos la generación de conocimiento para el aprovechamiento, conservación y restauración de los ecosistemas ([www.mexlter.org.mx](http://www.mexlter.org.mx)).

5) Los inventarios florísticos en el país son escasos y consecuentemente las unidades de manejo forestal también son incompletos, por ejemplo, en algunos casos de ecosistemas de montaña se consideran a las especies como si sólo existieran plantas consideradas como hojosas o coníferas, ignorando con esto su biología particular.

6) No se genera una evaluación sistemática del desarrollo del bosque manejado, es decir, no se determinan e identifican los logros y los inconvenientes enfrentados durante el manejo y, consecuentemente, no se pueden corregir los errores en experiencias futuras. Un manejo forestal adaptativo nos puede permitir evaluar y corregir la dirección del manejo del ecosistema forestal (Christensen *et al.*, 1996).

7) La vinculación interinstitucional e interdisciplinaria en el manejo de los bosques y la investigación es aún incipiente. Existe poca comunicación entre las instituciones de investigación dedicadas a la ecología, biología y manejo de poblaciones o comunidades de especies vegetales con algún interés y las dependencias gubernamentales encargadas de la gestión de los bosques. La participación directa de los poseedores del recurso forestal en el manejo, y en general dentro de la cadena de producción forestal es mínima. Algunas excepciones son Nuevo San Juan en Michoacán y UZACHI en Oaxaca.

8) Las vedas históricamente han provocado una mayor destrucción de los bosques (Beltrán, 1956) y un casi nulo beneficio a las comunidades que poseen estos recursos, además de constituir una de las causas más importantes del estado actual de nuestros bosques.

Una opción viable de manejo forestal sustentable es a través de la certificación de manejo forestal y de la cadena productiva. Sin embargo, es necesario profundizar en el conocimiento sobre aquellos casos en los que se ha tenido un éxito rotundo y aquellos en los que la certificación no los ha favorecido (Martínez y Colin, 2003).

#### VERACRUZ FORESTAL

El 35 % del territorio veracruzano tiene una aptitud forestal, pero la superficie arbolada es de sólo el 19 % (es decir, 14 974.85 km<sup>2</sup>), que equivale a 3.7 veces el territorio del estado de Tlaxcala. De esta superficie arbolada, casi el 15 % es de clima templado frío y el resto cálido húmedo (en el país, aportan más del 75 % de madera los bosques templados; el pino cerca del 50 %). El 14.3 % del arbolado está sujeto a un programa de manejo. Sólo se satisface el 25 % de la demanda de madera y de 3 a 10 mil ha se explotan al año.

Muchos son los estudios que se han realizado en los bosques veracruzanos, sus resultados se encuentran publicados en las revistas internacionales indexadas hasta revistas locales. Sin embargo, el conocimiento ecológico relevante para el manejo y conservación de los bosques veracruzanos es aún disperso y fragmentado. El conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de la madera y su manejo es aún incipiente, no se diga de la tecnología. Pero es también muy claro que no es sólo la falta de conocimiento la causante del deterioro de nuestros bosques, se debe también a problemas sociales y económicos (falta de oportunidades económicas, corrupción, cacicazgos, políticas verticales, etc.) (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 1994).

### Producción forestal maderable

El estado de Veracruz no se ha caracterizado por una producción forestal sobresaliente dentro del país; por ejemplo, en 1994 sólo contribuyó con un 1.05 % de la producción nacional (2.48 % del potencial, de acuerdo a los incrementos anuales), a pesar de que Veracruz ocupa el 3.2 % de la superficie arbolada del país. Las especies productoras de madera en Veracruz son, principalmente: 1) de la montaña, *Pinus* spp. (sobresalen *P. ayacahuite*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* y *P. teocote*), *Quercus* spp. (sobresalen *Q. germana*, *Q. rugosa* y *Q. xalapensis*), *Cupressus benthamii* Endl., *Arbutus* spp., *Liquidambar macrophylla* Oersted, *Alnus jorullensis* Kunth, *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl & Cham y *Fraxinus uhdei* Wenz, y 2) del trópico, *Cedrela odorata* L., *Roseodendron donnell-smithii*, *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora* Ruiz & Pav. Cham., *Castilla elastica* Cerv., *Vatairea lundellii* Standl. Kilip y *Tabebuia chrysantha* Jacq. Nicholson.

Veracruz ocupa el segundo lugar en especies de encinos (*Quercus* spp.), en total se reportan 57 especies, superado apenas por Nuevo León con 60 especies (Valencia Ávalos y Mendizabal Boldú, 2001; Valencia Ávalos, 2001). Las tres regiones donde está principalmente instalada la industria maderera en Veracruz son: el Cofre de Perote, Orizaba y Huayacocotla (para mayores detalles, véase Ruelas Monjardín y Chávez Cortés, 1997). En Veracruz se producen 88 130.96 metros cúbicos de madera de coníferas (99 % de pinos), 11 358.72 de encinos, 5 758.88 de maderas preciosas, 33 520.88 de comunes tropicales y 2 302.02 de otras (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Semarnat, Delegación en el estado; Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales; Unidad de Aprovechamiento y Restauración de Recursos Naturales, Departamento de Servicios Forestales y Suelos, s/a).

### Producción forestal no maderable

Dentro del manejo de los bosques, la cosecha de productos forestales no maderables (PFNM) representa una vieja tradición productiva entre las comunidades forestales mexicanas. En las comunidades con Empresas Forestales Comunitarias, esta cosecha a menudo complementa la producción de madera. La variedad de productos maderables y no maderables que los habitantes de las comunidades forestales han consumido tradicionalmente es muy amplia (Barton Bray y Merino, 2004). Un estudio del Banco Mundial estima que el valor económico anual del comercio formal e informal de cerca de 296 plantas medicinales y ornamentales se acerca al 1.5 billón de dólares (World Bank, 1995). Un estudio sobre los PFNM en zonas templadas encontró que 1 300 especies forestales tienen algún uso, aun si sólo 10 % pueden ser consideradas económicamente importantes (World Bank, 1995). Sin embargo, se han reportado un número mayor de especies con al menos un uso, por ejemplo, para el bosque mesófilo de montaña 1 545 especies (Sánchez-Velásquez *et al.*, 2008), mientras que para los bosque de pino y encino, y para la selva húmeda, se reportan 866 y 567 especies, respectivamente (Challenger, 1998).

Veracruz es uno de los tres estados más biodiversos del país (Rzedowski, 1993), se estiman alrededor de 7 500 especies de plantas (angiospermas y gimnospermas) (Sosa y Gómez-Pompa, 1994, en Benítez Badillo *et al.*, 2004), y contribuye con más de 250 productos no maderables, principalmente resina, chicle, candelilla, palma camedor, hongos comestibles y otros usos no cuantificables en pesos, por ejemplo, las especies medicinales. Estos productos no maderables equivalen al 7 % del valor total de la producción forestal, con un beneficio de aproximadamente 50 mil familias. La fauna silvestre es también importante, por ejemplo, se han exportado en algunos años vertebrados por la cantidad de varios millones de pesos (Conabio, 1998). La flora

melífera de Veracruz es de suma importancia ya que Veracruz ocupa el tercer lugar en la producción de miel (Sagarpa, 2008). La cacería de subsistencia y la deportiva son también importantes, sin embargo, la cacería indiscriminada junto con la fragmentación de la vegetación original han ocasionado en algunas regiones, por ejemplo en Los Tuxtlas, la extinción local de algunos mamíferos de talla mayor como el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*), el tapir (*Tapirus bairdii*), el pécarí de labios blancos (*Tayassu pecari*), el venado (*Odocoileus virginianus*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*) y el manatí (*Trichechus manatus*) ([http://www.parkswatch.org/park-profiles/pdf/ltbr\\_spa.pdf](http://www.parkswatch.org/park-profiles/pdf/ltbr_spa.pdf)).

CUADRO 1. Comunidades forestales en México, de acuerdo a diferentes fuentes.

NÚMERO DE COMUNIDADES FORESTALES	FUENTE
9 047 tienen bosques o selvas	<i>Atlas Nacional Ejidal</i> (1988); Alatorre (2000)
7 000 tienen bosques o selvas	DGF 1995 (Alatorre, 2000)
8 400 tienen bosques o selvas	INEGI 1995 (Merino <i>et al.</i> , 2000)

FUENTE: Barton y Merino (2004)

### Empresas forestales comunales

Aun cuando se ha manejado que alrededor de 80 % de los bosques mexicanos están en manos de ejidos y comunidades agrarias, existen diferentes cifras y fuentes que consideran datos contrastantes (cuadro 1). Sin embargo, las empresas forestales comunales son todavía menos, y se estiman entre 290 y 479 (Barton Bray *et al.*, 2003).

Los dueños de los bosques, es decir, las comunidades locales que durante muchas décadas dependían directamente de los recursos forestales, se convirtieron en simples espectadores de las diferentes políticas que afectaron la existencia o desaparición

de su capital natural (Merino, 2004). Toda esta experiencia negativa trajo como consecuencia que en los últimos veinticinco años se haya desarrollado una alternativa de gestión comunitaria para el aprovechamiento de los recursos forestales de propiedad colectiva en México, que ha ido encontrando eco, poco a poco, entre las comunidades locales, a lo largo y ancho del territorio nacional. Este movimiento, casi silencioso y pasivo, ha ido conformando un valioso motivo para transferir la responsabilidad del manejo forestal a las comunidades locales que obtienen su sustento de los bosques (Barton Bray *et al.*, 2003; Barton Bray y Merino, 2004). Es así como, en este contexto, México representa un caso único en donde, desde las primeras décadas del siglo XX, gran parte de los bosques fueron puestos en manos de comunidades, con sucesivos niveles de control.

Los esquemas actuales de gestión de los bosques de propiedad comunal manejados por comunidades en México, tanto en áreas tropicales como templadas, presentan un nivel de madurez no logrado en ningún otro lugar del mundo, aún cuando las experiencias conocidas no sean muy numerosas. Este nuevo paradigma surge, por un lado, de que los gobiernos, sobre todo los de países en desarrollo, reconocen su falta de capacidad para asegurar la conservación y el uso sustentable de estos recursos y, por otro lado, de que comunidades indígenas y campesinas, cansadas de la marginación, reclaman sus derechos ancestrales sobre estos territorios y la oportunidad para beneficiarse directamente de sus recursos naturales como un medio de vida.

Son varias las experiencias que en nuestro país demuestran que, a pesar de los múltiples obstáculos, el desarrollo del sector de empresas forestales comunitarias representa una alternativa real de desarrollo regional que genera bienestar y estabilidad social, así como importantes beneficios económicos y ambientales (Martínez y Colin, 2003). Tal vez, lo que hoy hace falta es fortalecer estas experiencias y que sean conocidas por otras comunidades a las que sirvan de

motivación y enseñanza para un nuevo esquema de gestión de los recursos forestales en nuestro país, es decir, un nuevo paradigma del manejo forestal mexicano.

De acuerdo a la experiencia y al aprendizaje de las pocas empresas forestales comunitarias en México, se puede señalar que “la devolución de las tierras forestales públicas y privadas a comunidades con regímenes de propiedad comunitaria de recursos y estatus de tenencia claramente definidos puede lograr una serie de metas valiosas: crear equidad económica, paz social y justicia, democratización del poder y mejorar el manejo de los ecosistemas forestales” (Barton Bray y Merino, 2004). Este es un camino viable y una oportunidad para la conservación de los recursos forestales y sus servicios ambientales, fundamentales para las áreas urbanas y rurales.

Los grandes esfuerzos que actualmente se llevan a cabo en los programas de reforestación a nivel nacional (250 000 000 de árboles por año), cumplen con los compromisos que México tiene para mitigar los efectos de la deforestación y el efecto invernadero. Sin embargo, poca o nula participación hay por parte de los propietarios de las áreas forestales. Quizá un cambio en la política para la producción de la plántula, con la participación activa de los ejidatarios y comuneros, podría tener un mayor impacto por varias razones: 1) El germoplasma para la producción de plántula sería de la región y de esta manera fortalecería la conservación de los recursos genéticos forestales locales; 2) generaría mano de obra local; 3) se ejecutaría en los tiempos requeridos (época de lluvias) para llevar a cabo las plantaciones, lo cual aumentaría el porcentaje de supervivencia de las plantas sembradas, y 4) habría mayor interés si se pagara a los dueños de los terrenos reforestados para el mantenimiento y conservación de las áreas reforestadas, debido a los servicios ambientales que cumplirían dichas plantaciones.

En Veracruz existen comunidades forestales con potencial para manejar sus bosques de manera

sustentable y donde la conservación de la biodiversidad puede ser mucho más efectiva que la implantación de las vedas (Boege *et al.*, 1995). Los planes de ordenación ejidal y un plan forestal participativo a largo plazo, son un camino viable para el desarrollo comunitario y la conservación de la biodiversidad en las zonas de montaña veracruzanas (Gerez, 1995). El manejo de los bosques de Veracruz está dirigido principalmente a la producción de madera, aunque la extracción de otros productos no maderables son también usados para autoconsumo y comercio (*e.g.* fauna silvestre, leña, plantas ornamentales y medicinales, carbón, postes, musgos y frutos, entre muchos otros). En Santa Marta (Los Tuxtlas) hay un fuerte potencial de recursos no maderables (Boege *et al.*, 1995). Es decir, no sólo de madera viven las comunidades forestales en Veracruz.

Entre las comunidades forestales de Veracruz, con experiencia en el manejo del bosque podemos mencionar al Ingenio El Rosario, Huayacocotla (Unidad de Producción Forestal y Agropecuaria Adalberto Tejeda), Zongolica, El Llanillo, en Las Vigas, Veracruz (Boege y Rodríguez, 1992; Semarnap y FES, 1995).

#### **Ejido Ingenio El Rosario, municipio de Xico, Veracruz: un ejemplo de manejo sustentable**

El ejido Ingenio El Rosario (IER) posee 559.5 ha y se localiza en la vertiente oriente del Parque Nacional Cofre de Perote a una altitud entre 2 300 y 2 900 m. La diversidad de especies de árboles está formada por *Pinus patula* (80 %), *P. montezumae*, *P. ayacahuite* var. *oaxacana*, *Quercus crassifolia*, *Abies hickelii* y *A. religiosa* (Bello, 1991). Aunque el ejido ha tenido una tradición forestal, su índice de marginación es considerado como muy alta (Conapo, 1995). El IER está localizado en una de las zonas donde la tala clandestina es frecuente y donde hubo una extensiva explotación durante la

época de veda (1940-1970) (Boege *et al.*, 1995). Las presiones externas por los recursos forestales son fuertes. Los habitantes del IER tienen una cultura forestal muy abierta en comparación con otros ejidos de la región, su desarrollo se ha basado principalmente en la producción de madera. Los factores que han contribuido al manejo sustentable de sus bosques han sido la existencia de un liderazgo interno con visión, la presencia de una tradición forestal y la continuidad en el apoyo técnico de asesores interesados. Los factores que causan presiones hacia el recurso es la demanda industrial de más materia prima, la falta de asesores técnicos permanentes, la intensificación de las anualidades, la excesiva dependencia hacia el recurso madera, la falta de acceso a tecnologías de bajo impacto (Gerez, 1995). El interés más claro de la comunidad sobre el manejo forestal se ubica en el mantenimiento de las cosechas de madera, y el ejido se ha adelantado a las exigencias de las leyes, incluso las han rebasado, por ejemplo, varias especies de árboles son protegidas estrictamente, mientras que se ha restringido la extracción de otras (Barton Bray y Merino Pérez, 2004).

## SERVICIOS AMBIENTALES

La valoración económica de servicios ambientales es un tema relativamente nuevo a nivel mundial. La falta de esta apreciación para los servicios ambientales es, hasta este momento, uno de los principales obstáculos para el diseño de instrumentos de política específicos, incluyendo la creación de mercados para estos servicios. En el caso de México, existe muy poca información sistematizada sobre la calidad y el valor de los servicios ambientales, no obstante, existen experiencias concretas que comienzan a hacer efectivo el pago por servicios ambientales (PSA) (Burstein *et al.*, 2002; Pineda-López *et al.*, 2006). Sin embargo, la viabilidad del PSA dependerá de la capacidad organizacional de la sociedad civil a

largo plazo (Burstein *et al.*, 2002), donde los pagos de servicios ecosistémicos justos estimularían un efecto real en la conservación de los ecosistemas forestales.

Paradójicamente, aunque los bosques representan uno de los sistemas ambientales más importantes del país, su potencial para el desarrollo de las comunidades forestales no se ha implementado y la situación de miseria y abandono se agudizan cada vez más. Los bosques están bajo seria amenaza en muchas partes del mundo y México no es la excepción. Durante la década de los noventa se perdieron en promedio casi 15 millones de hectáreas de bosque por año, sobre todo en las zonas tropicales (FAO, 2001a, 2001b). A la pérdida de la cubierta forestal, cuyas causas son muchas y complejas (Angelsen y Kaimowitz, 2001; Brown y Pearce, 1994; Contreras-Hermosilla, 2000; Kaimowitz y Angelsen, 1998), se suma la de los numerosos y valiosos servicios que proporcionan los bosques, tales como la regulación de los flujos hidrológicos y la captura de carbono, además de la biodiversidad que albergan (Myers, 1997). Si bien se reconoce que los bosques proporcionan una amplia variedad de beneficios (Myers, 1997; Roper y Park, 1999), los servicios ambientales dentro de ellos se pueden definir como el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar y que ofrecen tales tipos de ecosistemas por su simple existencia ([http://www.ine.gob.mx/dgipea/descargas/ejido\\_conserv\\_1.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgipea/descargas/ejido_conserv_1.pdf), acceso septiembre de 2008).

Dentro de este conglomerado de servicios se pueden señalar la biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes) y la conservación de suelos, entre otros. Los metabolitos secundarios que producen las plantas han sido usados y aún se siguen explorando sus usos en la medicina, control de plagas y enfermedades, entre otros

(Theis y Lerdau, 2003). Todo este potencial que se puede usar a través de la biotecnología (con una política nacional en beneficio de los productores), se puede perder por deforestación y degradación de los ecosistemas forestales.

Los bosques almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca. El resultado de estos procesos origina una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como de la edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta. Este servicio ambiental que proveen los bosques como secuestradores de carbono (sumideros) permite equilibrar la concentración de este elemento, misma que se ve incrementada debido a las emisiones producto de la actividad humana. Sin embargo, el potencial de captura de carbono, considerando tanto el potencial de absorción como el depósito (inventario), dependerá de la dinámica de cambios de uso del suelo, ya sea convirtiendo el área forestal a un cultivo agrícola o bien transformándola en agostadero.

El potencial de captura de carbono está ligado al potencial de formación de biomasa (Torres y Guevara, 2002). De ahí que las regiones donde resultan factibles altos rendimientos de biomasa sean las regiones de mayor potencial de captura de carbono. Para México estas áreas están localizadas a lo largo de las llanuras costeras y en el sur y sureste del país, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa. En este contexto, los mejores lugares para ubicar proyectos de captura de carbono son aquellos que tienen el mayor potencial para el desarrollo de plantaciones o sistema de cultivo de alto rendimiento en producción de biomasa.

En México existen alrededor de 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural con posibilidades de capturar entre 1 038 y 3 090 millones de toneladas de carbono (Trexler y Haugen, 1995). Una estimación del potencial de captura de carbono por entidad señala, para el caso

del estado de Veracruz, un monto total de 1 050 082 (miles de ton de CO<sub>2</sub> por año) que lo sitúa entre los primeros diez lugares a escala nacional (Torres y Guevara, 2002). Este monto se distribuye de la siguiente manera: 409 643 en bosques templados, 624 964 en selvas, 15 476 en plantaciones.

El agua es indispensable para la vida en el planeta; muchas especies, incluyendo los humanos, dependen no sólo de la cantidad de agua, sino también de la calidad. Los bosques son fundamentales en el ciclo hidrológico, de ellos depende una continua producción de cantidad y calidad de agua, protección del suelo contra la erosión, evitan las inundaciones catastróficas y desastres en los poblados cercanos a las corrientes naturales, entre otros muchos beneficios. En Veracruz cae cerca del 33 % de la precipitación total del país y se incorpora al sistema hidrológico del estado, por lo tanto, para nuestro estado es de suma importancia mantener una cobertura forestal con fines tanto de conservación como de producción sostenible.

## CONCLUSIONES

Veracruz es uno de los estados más biodiversos de México y posee una gran diversidad de especies forestales maderables y no maderables. La mayor contribución en la producción de madera proviene de los ecosistemas montañosos del estado (70 %) y son los pinos los que más contribuyen. A pesar de ser Veracruz uno de los estados con mayor tasa de deforestación, existen experiencias alentadoras en la forma de apropiación de los recursos forestales por parte de algunas comunidades que habitan en la montaña. Por ejemplo, el ejido Ingenio El Rosario, ha demostrado una capacidad sobresaliente en el manejo sustentable de los bosques en toda la región del Cofre de Perote y puede ser un ejemplo a seguir por parte de los demás ejidos de la región. Consideramos que el manejo forestal comunitario es el único camino viable para la conservación, a largo

plazo, de la biodiversidad, de los servicios ambientales que de ella se derivan y puede ser, además, un disparador del desarrollo local, equidad, justicia, democracia y en general de bienestar social.

Las vedas han demostrado ser una vía errónea para la conservación de zonas forestales en México y en particular en Veracruz. La participación de los tres niveles de gobierno, los poseedores de recursos, la academia, el sector privado y la sociedad civil deben estrechar vínculos para favorecer el manejo sustentable de los recursos forestales y la conservación de la biodiversidad forestal. Una cultura forestal en los medios de comunicación, y en general en la sociedad, son factores que pueden contribuir de manera positiva en la toma de decisiones para fortalecer a las comunidades forestales en el manejo y conservación de sus recursos. El pago por servicios ambientales, la participación de los ejidos y comunidades en la cadena productiva forestal, y la diversificación de la producción (usos de otros productos no maderables del bosque), pueden fortalecer un manejo forestal sustentable desde el punto de vista social, económico y ambiental.

El conocimiento científico sobre los procesos ecológicos es fundamental para el manejo de los bosques en el nuevo paradigma de la conservación, el cual consiste en la restauración y la rehabilitación de las áreas degradadas. Si bien es cierto que la reforestación ha sido principalmente llevada a cabo con especies de pinos (80 %, aproximadamente), estas plantaciones son una oportunidad para la restauración y reintroducción de especies nativas (D'Antonio y Meyerson, 2002; Ramírez-Bamonde *et al.*, 2005). Es decir, para especies de estados sucesionales intermedios y avanzados pueden ser reintroducidas a través de la reforestación sucesional, la cual consiste en sembrar especies económicamente importantes, amenazadas o en extinción, debajo de la cobertura de las abundantes plantaciones de pino en el estado de Veracruz, método utilizado con éxito para diferentes ambientes. Por ejemplo, con estas plantaciones sucesionales podremos recuperar el bosque mesófilo de montaña (Ramírez-Bamonde

*et al.*, 2005; Sánchez-Velásquez y García-Moya, 1993). También se pueden utilizar los acahuales para la reintroducción de especies amenazadas o en peligro, utilizando como nodrizas la plántulas de estados sucesionales tempranos; por ejemplo, en los bosques tropicales se ha tenido éxito para la reintroducción de *Brosimum alicastrum* (Sánchez-Velásquez *et al.*, 2004). Las oportunidades que nos ofrecen las plantaciones y la vegetación secundaria son enormes, para los ecólogos es un laboratorio donde podremos probar las hipótesis sobre los procesos y mecanismos de sucesión forestal y para los forestales el enriquecimiento de las plantaciones con especie de interés comercial.

De manera general algunas recomendaciones para fortalecer el manejo de los bosques son: 1) Asignación de un presupuesto continuo para la realización de investigación e inventarios en el campo de la conservación y restauración ecológica; 2) fortalecer y apoyar los proyectos de investigación y productivos ecológicamente viables. Incluir estudios y programas transparentes para el pago de servicios ambientales (CO<sub>2</sub>, agua, biodiversidad), tanto en plantaciones forestales como en sistemas agroforestales; 3) aprovechar los programas de reforestación estatal para la realización de investigaciones conjuntas (instancia correspondiente y la academia) y evaluar el éxito de las mismas. Identificar organismos promisorios para la producción forestal; 4) crear comités o comisiones que apoyen la toma de decisiones en el campo de la conservación, servicios ambientales y manejo de recursos bióticos; 5) resolver los problemas de tenencia de la tierra para que las comunidades forestales aprovechen de manera sostenible sus recursos forestales; 6) participación de las universidades locales en el manejo de las áreas naturales protegidas; 7) involucrar a los poseedores del recurso forestal en la toma de decisiones (por ejemplo, programas oficiales de reforestación, manejo, conservación y usos de los recursos forestales), y 8) explorar nuevas formas de usos y

manejo de los elementos del bosque a través de los avances de la biotecnología.

AGRADECIMIENTOS. Los autores agradecen a los revisores anónimos por sus acertadas observaciones que hicieron al manuscrito. Este trabajo fue parcialmente financiado por Conafor/Conacyt (code: 2002-C01-6163) y la Fundación Produce Veracruz (Produver) de México.

#### LITERATURA CITADA

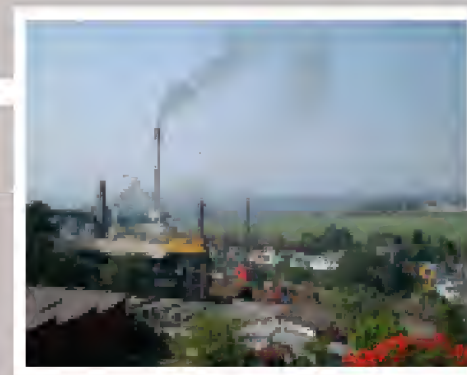
- ANGELSEN, A. y D. Kaimowitz (eds.), 2001, *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*, Wallingford, CIFOR and CABI Publishing.
- AROCHE F. y R. Escalante, 2000, Los recursos forestales y su potencial en el desarrollo económico de México, en R. Escalante S. y F. Aroche R. (eds.), *El Sector Forestal Mexicano: Paradojas de la Explotación de un Recurso Natural*, UNAM, pp. 13-60.
- BARTON BRAY, D., L. Merino-Pérez, P. Negreros-Castillo, G. Segura-Warnholtz, J.M. Torres-Rojo y H.F.M. Vester, 2003, Mexico's community-managed forests as a global model for sustainable landscapes, *Conservation Biology* 17(3): 672-677.
- BARTON BRAY, D. y L. Merino Pérez, 2004, *La Experiencia de las Comunidades Forestales en México*, Semarnat/INE/CCMSS, 1ª edición.
- BELLO, E.L., 1991, *Diagnóstico socio-económico del ejido forestal Ingenio El Rosario, Municipio de Xico, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, 73 pp.
- BENÍTEZ BADILLO, G., M.T.P. Pulido-Salas y M. Equihua Zamora, 2004, *Árboles multiusos nativos de Veracruz, para la reforestación, restauración y plantaciones*, Instituto de Ecología/SIGM/Conafor, 288 pp.
- BOEGE, E., H. García y P. Gerez, 1995, Las sierras de Veracruz y las opciones de manejo de sus recursos naturales, en *Alternativas al manejo de laderas en Veracruz*, Semarnat/FES/Friedrich Ebert Stiftung, México, pp. 9-31.
- BOEGE, E. y H. Rodríguez, 1992, *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz*, Friedrich Ebert Stiftung, México.
- BROWN, K. y D.W. Pearce, 1994, *The Causes of Tropical Deforestation*, Londres, University College London Press.
- BURSTEIN, J., G. Chapela y Mendoza, J. Aguilar y E. de León, 2002, *Informe sobre la propuesta de pago por servicios ambientales en México*, 103 pp.
- CONSEJO CIVIL MEXICANO PARA LA SILVICULTURA SOSTENIBLE (CCMSS), 2006, Nota informativa número 5, Red de monitoreo de políticas públicas, 5 pp.
- , 2006, ([http://www.ccmss.org.mx/documentos/pef\\_2025.doc](http://www.ccmss.org.mx/documentos/pef_2025.doc)), acceso junio de 2007.
- CHALLENGER, A., *sla*, *La situación actual del medio ambiente en Veracruz: Los servicios ambientales y la conservación ecológica*, Conabio.
- , 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*, Conabio/Instituto de Biología/UNAM/ Agrupación Sierra Madre, S.C., México.
- CHAPELA y Mendoza, G., 1996, Panorama del sector forestal en México, *Gaceta Ecológica*, nueva época 38: 27-39.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (Conabio), 1998, *La Diversidad Biológica de México: Estudio de País 1998*, ([http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia\\_nacional/doctos/estudiodepais.INICIO.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/estudiodepais.INICIO.pdf)), acceso en septiembre del 2008.
- D'ANTONIO, C., y L.A. Meyerson, 2002, Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: A synthesis, *Restoration Ecology* 10(4): 703-713.
- DIRZO, R., 2000, Deforestation of seasonally dry tropical forest - a national and local analysis in Mexico, *Biological Conservation* 94(2): 133-142.

- CONTRERAS-HERMOSILLA, A., 2000, *The Underlying Causes of Forest Decline*, Occasional Paper núm.30, Bogor, CIFOR.
- CHRISTENSEN, N., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner, y R.G. Woodmansee, 1996, The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management, *Ecological Applications* 6: 665-691.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2001a, *Global Forest Resource Assessment*, Forestry Paper núm. 140, Roma.
- , 2001b, *State of the World's Forests*, Roma.
- GEREZ, P., 1995, Elementos para un manejo ecológico-social de los recursos naturales en la montaña del Cofre de Perote, en Semarnap/FES (eds.), *Alternativas al Manejo de Laderas en Veracruz*, Friedrich Ebert Stiftung, México, pp. 127-150.
- HAWLEY, R.C. y D.M. Smith, 1982, *Silvicultura Práctica*, 2ª edición, Omega, Barcelona, 544 p.
- HÉRNÁNDEZ-VARGAS, G., L.R. Sánchez-Velásquez, T. Carmona V., Ma. del R. Pineda-López y R. Cuevas-Guzmán, 2000, Efecto de la ganadería extensiva sobre la regeneración arbórea de los bosques de la Sierra de Manantlán, *Madera y Bosques* 6(2): 13-28.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1997, *Conteo de Población y Vivienda, 1995*. Aguascalientes, México.
- JARDEL, P.E. y L.R. Sánchez Velásquez, 1988, La sucesión forestal, fundamento ecológico de la silvicultura, *Ciencia y Desarrollo* 14(84): 33-43.
- KAIMOWITZ, D. y A. Angelsen, 1998, *Economic Models of Tropical Deforestation: A Review*, Bogor, CIFOR.
- LAZOS, C.E., 1996, El encuentro de subjetividades en la ganadería campesina, *Ciencias* 44:36-45.
- MANSON, R.H., J.R. Gómez Sandoval y C.A. Escalante Sandoval, 2008, Una nueva metodología para identificar municipios importantes para los esquemas de pago de servicios ambientales hidrológicos en el Estado de Veracruz, en L.R. Sánchez-Velásquez, F. Díaz Fleischer y J. Galindo-González (eds.), *Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México*, Mundi Prensa/Conabio/Universidad Veracruzana/Labioteca, pp. 251-271.
- MARTÍNEZ, G.A. y S. Colin S, 2003, La certificación ambiental de los bosques en México: reporte preliminar, *Gaceta Ecológica*, INE/Semarnat.
- MERINO, P.L., 2004, *Conservación o deterioro*, INE/Semarnat.
- MONTERO-SOLÍS, M.F, L.R. Sánchez-Velásquez, Ma. del R. Pineda-López, G. Hernández-Vargas, M. Carranza M., T. Moermond y F. Aragón C., 2006, Livestock impact on dynamic and structure of tropical dry forest of the Sierra de Manantlán, Mexico, *Journal of Food, Agricultura and Environment* 4(3-4): 84-88.
- MYERS, N., 1997, The World's Forests and Their Ecosystem Services, en: G. Daily (ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Washington, Island Press.
- ONU, 2005, Informe 2005, *México Frente a los Objetivos del Milenio*.
- ORIAN, G.H., R. Dirzo y J.H. Cushman, 1996, *Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests*, Springer, Berlin-New York.
- PINEDA-LÓPEZ, M.R., G. Ortiz-Ceballos y L.R. Sánchez-Velásquez, 2006, Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz, *Madera y Bosques* 11: 3-14.
- PINEDA-LÓPEZ, Ma. del R. y L.R. Sánchez-Velásquez, 1992, Efecto de la corta selectiva sobre la estructura de un bosque subtropical de pino-encino (*Pinus-Quercus*), *Tiempos de Ciencia* 27: 69-77.
- RAMÍREZ-BAMONDE, E., L.R. Sánchez-Velásquez y A. Andrade-Torres, 2005, Seedling survival and growth of three species of mountain cloud forest in Mexico, under different canopy treatments, *New Forests* 30: 95-101.
- ROPER, C.S. y A. Park, 1999, International Symposium on the Non-Market Benefits of Forestry, The living forest: non-market benefits of forestry, London, Stationery Office.

- RUELAS MONJARDÍN L.C. y J.M. Chávez Cortés, 1997, Diagnóstico de la industria maderera en Veracruz, *Madera y Bosques* 3(2): 47-61.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., 2003, A model to infer succession mechanisms in forests (bilingüe), *Agrociencia* 37(5): 533-543.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., S. Quintero-Gradilla, F. Aragón-Cruz, Ma. del R. Pineda-López, 2004, Nurses for *Brosimum alicastrum* reintroduction in secondary tropical dry forest, *Forest Ecology and Management* 198: 401-404.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., E. Ramírez-Bamonte, A. Andrade-Torres y P. Rodríguez-Torres, 2008, Ecología, florística y restauración del bosque mesófilo de montaña, en: L.R. Sánchez-Velásquez, F. Díaz Fleischer y J. Galindo-González (eds.), *Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México*, Mundi Prensa/Conabio/Universidad Veracruzana/Labioteca. pp. 9-50.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., Pineda-López, Ma. del R. y A. Hernández M., 1991, Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Champ. en el Cofre de Perote, Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 16: 45-55.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R. y E. García-Moya, 1993, Sucesión Forestal en la Sierra de Manantlán Jal., México: Bosque mesófilo de montaña y bosque de *Pinus*, *Agrociencia* 3(1): 7-26.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R. y Ma. del R. Pineda-López, 1994, Conservación y desarrollo rural en zonas de montaña: el manejo forestal como un elemento potencial en Veracruz, en V. Vázquez-Torres y R. Zulueta-Rodríguez (eds.), *Problemática en el estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana y Gobierno del Estado de Veracruz, pp. 89-106.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (Sagarpa), 2008, (<http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion= buscar&notaId= 413510548971f363e8ae>), acceso septiembre de 2008.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA (Semarnat) y FES (eds.), 1995, *Alternativas al manejo de laderas en Veracruz*, Friedrich Ebert Stiftung, México.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), Delegación Estatal en Veracruz, ([http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/cmd/cs/.ce/155/.s/4613/\\_s.155/4609](http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/cmd/cs/.ce/155/.s/4613/_s.155/4609)), acceso febrero de 2007.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), Delegación en el Estado, s/a, Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales, Unidad de Aprovechamiento y Restauración de Recursos Naturales, Departamento de Servicios Forestales y Suelos.
- THEIS, N. y M. Lerdaу, 2003, The evolution of function in plant secondary metabolites, *International Journal of Plant Sciences* 164 (3): S93-102.
- TORRES, R. J. M., Guevara, S., 2002, El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico, *Gaceta Ecológica*, INE/Semarnat, núm. 63, 84 pp.
- TREXTER, M.C. y C. Haugen, 1995, *Keeping it green: tropical Forestry opportunities for mitigating climate change*, WRI/EPA, 52 pp.
- VALENCIA ÁVALOS, S. y L. Mendizábal Boldú, 2001, *Los encinos en el estado de Hidalgo, México*, XV Congreso Mexicano de Botánica, Facultad de Ciencias, UNAM.
- VALENCIA ÁVALOS, S., 2001, El género *Quercus* (Fagaceae) en México, Herbario de la Facultad de Ciencias (FCME), UNAM, XV Congreso Mexicano de Botánica.
- VILLERS RUIZ, L. y J. López Blanco (eds.), 2004, *Incendios Forestales en México: métodos de evaluación*. UNAM, 164 pp.
- WORLD BANK, 1995, *Mexico Resource Conservation and Forest Sector Review*, Documento del World Bank, Washington, D.C.



# Oportunidades para la producción sustentable de azúcar y etanol



Eugenia J. Olguín  
Gabriel Mercado Vidal  
Gloria Sánchez-Galván

## INTRODUCCIÓN

En el capítulo “Amenazas a la biodiversidad asociadas a la producción de azúcar y etanol en el estado de Veracruz”, incluido en este libro, se señaló la importancia de la producción y transformación agroindustrial de la caña de azúcar en este estado. Asimismo, se discutió su alto impacto ambiental negativo, de tal forma que se ha convertido en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad. En este capítulo, se describen algunas oportunidades que se han planteado y/o desarrollado para que esta actividad agroindustrial tenga a futuro un mayor grado de integración armónica con el medio ambiente, dejando de ser una amenaza y se convierta en una oportunidad para el desarrollo sustentable. Entre ellas destacan la adopción de prácticas sustentables para el cultivo de la caña, la diversificación y generación de nuevos productos, la adopción de cambios en los procesos de producción de azúcar y etanol, mediante prácticas de producción más limpias y, finalmente, el de-

sarrollo y transferencia de biotecnologías ambientalmente pertinentes para el tratamiento y reciclaje de las aguas residuales (Olguín *et al.*, 1995).

## PRÁCTICAS SUSTENTABLES PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Con el objeto de revertir los impactos negativos causados por las prácticas tradicionales de cultivo de la caña de azúcar, se ha investigado en diversos centros la implementación de prácticas sustentables. De esta forma, se ha promovido que los productores de caña evalúen constantemente el valor del parámetro “uso eficiente del agua”, el cual se define como la relación entre el rendimiento obtenido (ton/ha) y el volumen de agua utilizada en el riego ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ). En Mauritius y Australia, el uso de la fertirrigación por goteo ha disminuido hasta en un 25-50 % el consumo de nitrógeno (N), sin decremento en la productividad de la caña (World Wildlife Fund, 2004).

El uso de diversas variedades en el campo cañero está orientado principalmente a elevar los rendimientos de azúcar por unidad de superficie y a la resistencia a enfermedades y plagas. Esta selección de variedades, considera además su adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales de las regiones cañeras. A fines de la década de los ochenta COPERSUCAR, una de las empresas azucareras más grandes de Brasil, comenzó a invertir en el desarrollo de nuevas variedades, trayendo consigo un incremento en los rendimientos en campo (ton de caña/ha) y actualmente desarrolla el programa para el mejoramiento genético más grande del mundo (Moreira y Goldemberg, 1999).

#### DIVERSIFICACIÓN Y RECICLAJE DE SUBPRODUCTOS EN LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y ETANOL

La introducción de los jarabes ricos en fructosa derivados del maíz que se importan de Estados Unidos de Norteamérica, ha generado una baja considerable en la venta nacional y en la exportación de azúcar. La respuesta a esta crisis reside en promover la diversificación de productos generados a partir de la caña de azúcar, reciclando subproductos para recuperar los nutrientes o la energía contenida en ellos (Olguín *et al.*, 1995). Es importante considerar que la estrategia de diversificación de productos debe partir de un estudio local y regional para poder definir los nuevos productos con mayor demanda.

Hace algunos años se realizó un estudio a escala regional, y uno de sus objetivos consistió en cuantificar la generación de productos y subproductos en cinco ingenios de Veracruz ubicados en las principales cuencas. Se encontró que además de obtener azúcar (que representa entre el 8.1 y el 10.8 % del peso de los tallos molidos), los ingenios generaron un gran porcentaje de bagazo (entre el

28.9 y el 36.7 % de los tallos molidos), una cantidad importante de cachaza (entre el 3.0 y el 7.8 % de los tallos molidos), seguida de melazas (del 3.4 al 3.6 %), como los principales subproductos. En los ingenios con fábrica de alcohol, las vinazas se produjeron en una altísima proporción, dado que se generaron de 11.2 a 13 litros/litro de etanol (Olguín *et al.*, 1995).

El estudio antes mencionado propuso una estrategia de diversificación de productos de la caña de azúcar, incluyendo productos novedosos. Las opciones tecnológicas propuestas fueron múltiples, como se muestra en la figura 1, siendo algunas de ellas de mayor complejidad y de mayor nivel de inversión que otras que ya han sido adoptadas por ser relativamente más simples y menos costosas. Por ejemplo, el aprovechamiento del bagazo como fuente de energía en los propios ingenios o su venta a las fábricas de celulosa y papel ya es una práctica común en la mayoría de los ingenios. Por otro lado, los nuevos procesos de producción de alcohol con una bacteria (*Zymomonas mobilis*) en lugar del uso tradicional de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, no se han adoptado todavía en México. En relación con el principal subproducto de la producción de etanol, que son las vinazas, existe resistencia por parte de los productores para adoptar digestores anaeróbicos para su conversión en biogás, debido al alto costo de inversión inicial. En contraste, debido a que los productores prefieren las opciones menos costosas, la opción de la ferti-irrigación con vinazas diluidas con agua de proceso, ya ha sido adoptada en seis de los siete ingenios de Veracruz con fábrica de alcohol (cuadro 1), aunque esta práctica se realiza de manera empírica y se requiere un estudio profundo del efecto que causan estos efluentes en los suelos irrigados y de la forma de manejo óptima, debido a las características fisicoquímicas de las vinazas, especialmente al alto contenido de materia orgánica y potasio (cuadro 2).

CUADRO 1. Manejo del agua en los ingenios azucareros del estado de Veracruz.

CUENCA	INGENIO	PRODUCCIÓN DE VINAZAS ZAFRA 2004-2005 (miles de l)	MANEJO DEL AGUA RESIDUAL	
			DISPOSITIVOS PARA AGUAS RESIDUALES	USO EN RIEGO AGRÍCOLA
Papaloapan	San Cristóbal		TGA, LO* *(mezcladas con aguas residuales urbanas)	NO
	Tres Valles		TGA, SCS, TE	SÍ
	Motzorongo		TGA y SCS	NO
	San Pedro	26 988.0*	TGA y FSC	NO
	Constancia	39 195.0*		SÍ
	Nuevo San Francisco		TGA y FSC	NO
	Cuatotolapam		TGA y SCS	NO
	San Gabriel		TGA	NO
Río Blanco	La Providencia	15 234.5*	TGA	SÍ
	El Carmen	40 679.6*	TE, TGA y SCS	SÍ
	San José de Abajo	28 600.0*	TE y SCS	SÍ*(vinazas mezcladas con agua de proceso)
	San Nicolás	88 525.3*	TE, TGA y SCS	SÍ
	San Miguelito		TE, TGA, SCS y S	NO
Actopan	La Gloria	262 190.8*	TE, TGA y LO	SÍ
	El Modelo		TE, TGA, SCS y LO	NO
	La Concepción		TE y SCS	NO
Jamada-Cotaxtla	El Potrero		TE, TGA y SCS	SÍ
	Central Progreso		TE, TGA, SCS Y LO	NO
Pánuco	Zapoapita		TGA, LO, SCS y TARS	NO
	El Higo		TGA, SCS y AEA	Parcialmente
Bobos - Nautla	Independencia		S, TGA, TE, AEA y SCS	Parcialmente
Los Pescados – La Antigua	Mahuixtlán		TGA, TE y SCS	SÍ

\*Cifras calculadas considerando una producción de 13 l de vinazas por l de etanol

AEA: Alberca de Enfriamiento por Aspersión

FSC: Fosas de Secado de Cachaza

LO: Laguna de Oxidación

S: Sedimentador

SCS: Separación de Cachaza en Seco TARS: Tratamiento de Aguas Residuales de Servicio

TE: Torre de Enfriamiento

TGA: Trampa de Grasas y Aceites

FUENTES: Coazúcar, 2006 y Gobierno del estado de Veracruz, 2005.

CUADRO 2. Caracterización de vinazas de melaza de caña de azúcar en diversos países.

DBO g/l	DQO g/l	N (total) mg/l	P (total) mg/l	K mg/l	S total como SO <sub>4</sub> mg/l	pH	REFERENCIA
25	65	1 610	127	6 497	6 400	4.2 – 5.00	Costa <i>et al.</i> , 1986
30	120	1 600	61	1 920	4 600	4.1	Harada <i>et al.</i> , 1996
35.7	-	1 780	168	8 904	4 360	4.2	Sheehan <i>et al.</i> , 1980
39	100	1 030	33	7 000	9 500	3.4 – 4.5	Driessen <i>et al.</i> , 1994
60	98	1 200	1 500	1 200	5 000	3.8 – 4.4	Goyal <i>et al.</i> , 1996
22.7	91	1 540	153	10 500	3 855	3.6	Olguín <i>et al.</i> , 2006a

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

N: Nitrógeno

P: Fósforo

K: Potasio

S total como SO<sub>4</sub>: Azufre total como sulfato

Existen algunas experiencias en países como Brasil y Cuba, que señalan que la ferti-irrigación con vinazas produce efectos positivos sobre el suelo, aumentando los rendimientos en el campo cañero. Algunas de estas experiencias indican que esta práctica realizada de manera controlada respecto al volumen de vinazas aplicadas por hectárea permite, además, obtener una mejora en las características químicas y físicas de los suelos, específicamente en lo que se refiere a su estructura, capacidad de intercambio iónico, de retención de agua y minerales, además de incrementar la microflora (Moreira y Goldemberg, 1999). Asimismo, se ha señalado que el ferti-riego con vinazas contribuye al aumento del pH del suelo (Sánchez y Cardona, 2005). Sin embargo, también es importante considerar que la aplicación excesiva de vinazas, combinada con una falta de conocimiento de las características de los suelos, puede ocasionar daños a mediano o largo plazo (Olguín *et al.*, 1995).

En consideración a que en México, y específicamente en Veracruz, no se han realizado inves-

tigaciones sobre el manejo óptimo de las vinazas en ferti-irrigación, en el Inecol se realizó un estudio (Olguín *et al.*, 2006a), en el cual uno de los objetivos fue evaluar a profundidad esta opción, así como el tratamiento por fitorremediación y re-uso de las aguas residuales de dos ingenios de la Cuenca del Papaloapan. En relación al ferti-riego, se pudo concluir que esta práctica es adecuada, siempre y cuando las vinazas se adicionen muy diluidas con agua de proceso y que se realice una fertilización paralela para mantener los niveles adecuados de fósforo en el suelo. También se pudo concluir que la adición controlada de vinazas diluidas reemplaza el potasio que la caña extrae del suelo. En relación al re-uso de las aguas residuales, se generó una tecnología de fitorremediación usando humedales construidos, sembrados con *Pontederia sagittata* (Olguín *et al.*, 2008), la cual demostró ser muy efectiva para remover materia orgánica y dejar un agua residual con buenas características para poder ser reutilizada en el riego de caña de azúcar.

ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Reconociendo la importancia y urgencia de la adopción de una estrategia de producción más limpia, se han realizado estudios orientados a la promoción de una cultura del agua en agroindustrias tropicales incluyendo a ingenios azucareros establecidos en diferentes cuencas del estado de Veracruz (Olguín *et al.*, 2006b). Se empleó una herramienta metodológica novedosa desarrollada por Environmental Protection Agency (EPA) para la minimización de residuos, denominada Strategic Waste Minimization Initiative (SWAMI). Los resultados de estos tra-

bajos señalaron que el manejo del agua que realizan actualmente las agroindustrias azucarera, del café y granjas porcinas, no es el adecuado, predominando un uso excesivo de este recurso en las diferentes etapas de los procesos de producción y un manejo igualmente inadecuado e insuficiente de sus aguas residuales. Sin embargo, se encontró que el ingenio Mahuixtlán, consume aproximadamente diez veces menos agua que el Independencia y el San Cristóbal. Esta diferencia en el consumo de agua se debe a la instalación, en el primero, de una torre de enfriamiento que permite el reciclaje de agua en el proceso, tal como se muestra en la figura 2.

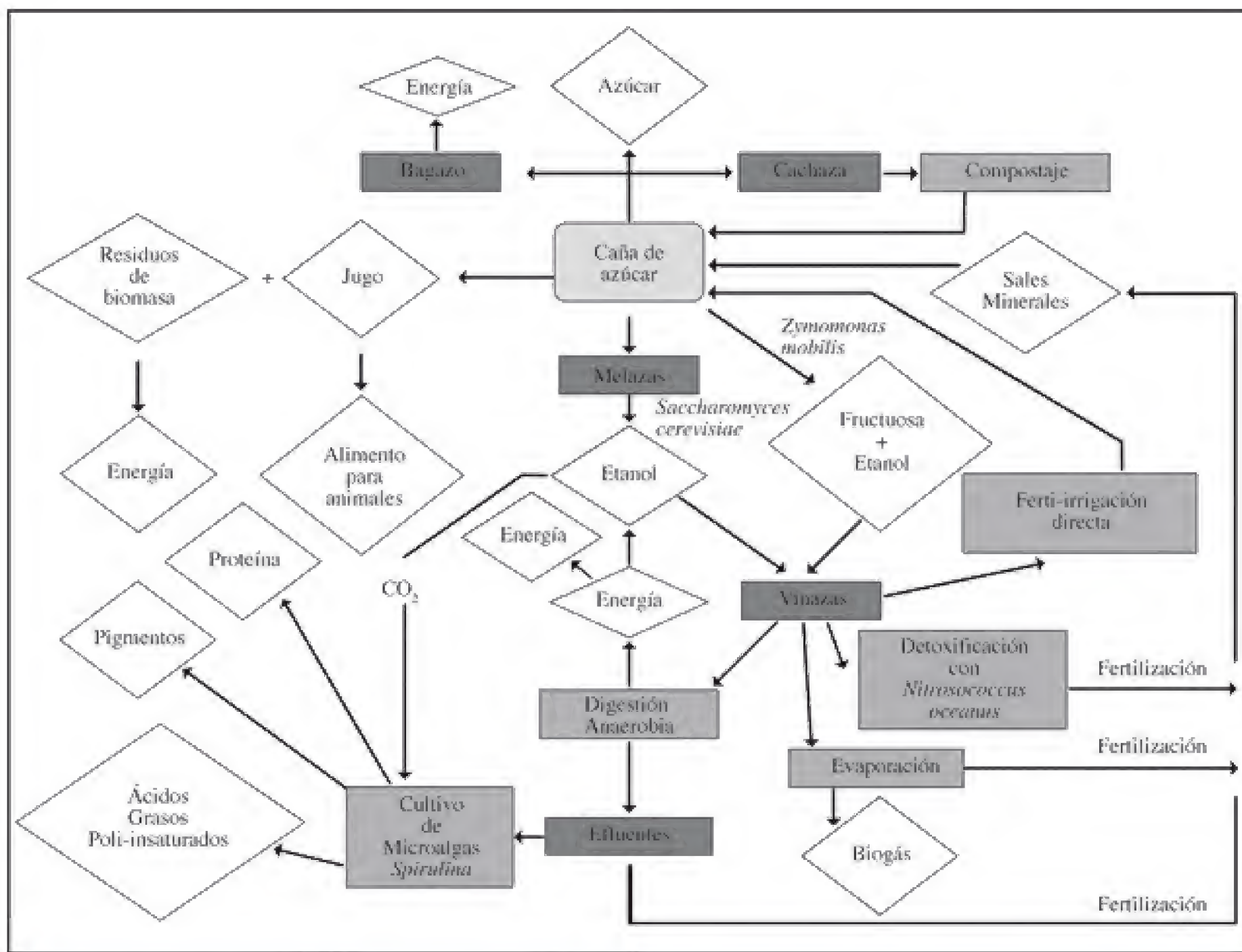


FIGURA 1. Oportunidades de diversificación y reciclaje en la agroindustria azucarera (Fuente: Adaptado de Olguín *et al.*, 1995).

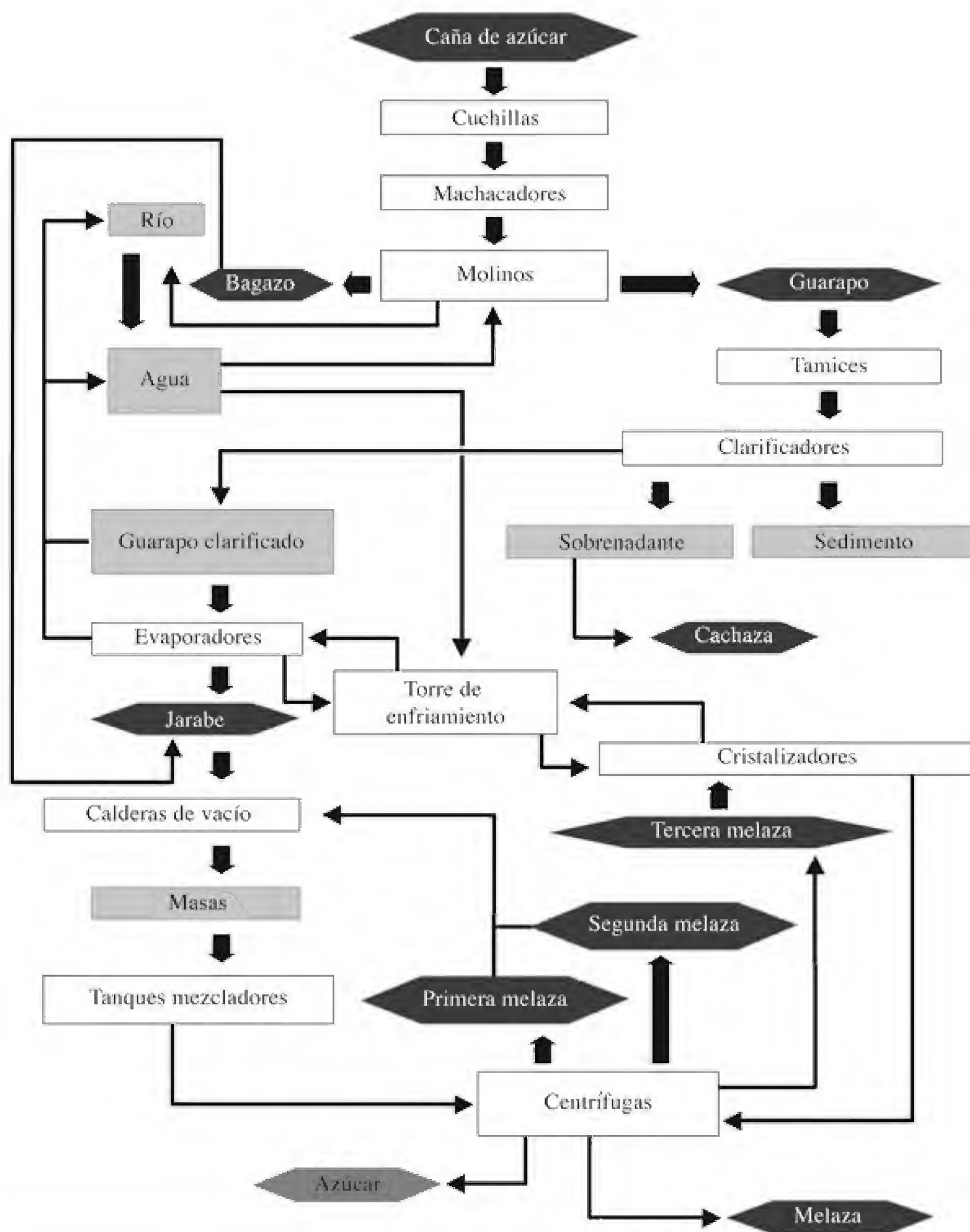


FIGURA 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar en el Ingenio Mahuixtlán, con recirculación de agua.(Fuente: Olgúin *et al.*, 2000).

Esto señala que la introducción de torres de enfriamiento podría ser una práctica a seguir por otros ingenios. Desafortunadamente, la mayoría de los dueños de los ingenios argumentan que no tienen suficiente liquidez para realizar cambios de este tipo y se requieren apoyos financieros, además de soluciones técnicas.

Los trabajos anteriormente descritos incluyeron también la generación de recomendaciones a las empresas participantes, las cuales estuvieron orientadas al manejo sustentable del agua en sus procesos productivos y al ahorro significativo en el pago de las descargas de aguas residuales (Olguín *et al.*, 2005). A futuro, este es el argumento que deberá convencer a los productores para adoptar la estrategia de producción más limpia. Entre más agua ahorren, menor será el pago por derecho de descarga y más rentable será su empresa.

#### DESARROLLO Y TRANSFERENCIA DE BIOTECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE PERTINENTES (BAP)

Las biotecnologías ambientalmente pertinentes son sustentables en términos de materia y energía, ya que siguen los principios de la política de las cinco *Rs*, y de manera específica a la recuperación, reciclaje de nutrientes y re-uso de aguas residuales (Olguín *et al.*, 2004). En el caso de la agroindustria del azúcar, se ha demostrado que para el tratamiento de vinazas que tienen una alta carga orgánica (DBO y DQO), la digestión anaerobia resulta altamente eficiente para degradar la materia orgánica, requiriendo una mínima cantidad de energía y obteniendo subproductos valiosos como el metano (Winkler, 1999) (figura 1). Sin embargo, los efluentes resultantes no tienen las características necesarias de acuerdo a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 (N, P, sólidos, etc.), para ser descargados a los cuerpos de agua y/o suelos correspondientes. Por lo tanto, otras BAP como la fitorremediación y la fico-

rremediación surgen como alternativas a las tecnologías convencionales para el postratamiento de los efluentes de la digestión anaerobia o para el tratamiento de vinazas diluidas. La fitorremediación es el uso de plantas para remover, contener o degradar contaminantes (Macek *et al.*, 2000), mientras que en la ficorremediación se hace uso de las algas para propósitos semejantes (Olguín, 2003). Dichas tecnologías utilizan la luz solar como fuente de energía para la fotosíntesis en plantas y algas, respectivamente, lo que las hace competitivas respecto a las convencionales.

Recientemente se ha desarrollado una fitotecnología para el tratamiento de vinazas diluidas, la cual consiste en humedales construidos utilizando una planta emergente llamada *Pontederia sagittata*, nativa de zonas tropicales. Dicho sistema resulta tan eficiente que no es necesario el uso de un pre-tratamiento de las vinazas como serían los reactores anaerobios, sino simplemente la dilución de las vinazas con agua de proceso y el ajuste del pH a 6.0 (Olguín *et al.*, 2007, 2008). Asimismo, debido al alto contenido de nutrientes y sales presentes en los efluentes anaerobios de las vinazas, el postratamiento en lagunas con *Salvinia minima* es factible (Cervantes y Olguín, 2008)

#### CONCLUSIONES

Uno de los sectores económicos más importantes en el estado de Veracruz es el sector azucarero. De igual forma, esta agroindustria está considerada como una de las que más impactos negativos genera sobre el ambiente. Sin embargo, existen nichos de oportunidad tendientes a minimizar, por un lado, los impactos ambientales negativos generados por la actividad azucarera tanto en campo como en fábrica y, por otro, a la búsqueda de alternativas que permitan optimizar los procesos de producción y generar nuevos productos mediante el aprovechamiento de los subproductos, lo que a su vez permitirá ofrecer

una mayor rentabilidad a esta agroindustria. De manera particular destaca el aprovechamiento de las vinazas, las cuales actualmente son un derivado de la producción de alcohol que es vertido generalmente a los ríos sin tratamiento, causando un gran impacto negativo. Dentro del espectro de oportunidades, la implementación de estrategias que integren el empleo de herramientas de producción más limpia y la adopción de biotecnologías ambientalmente pertinentes, contribuiría en gran medida a la mitigación de los impactos que sobre el ambiente genera la agroindustria azucarera en las diferentes regiones cañeras del estado.

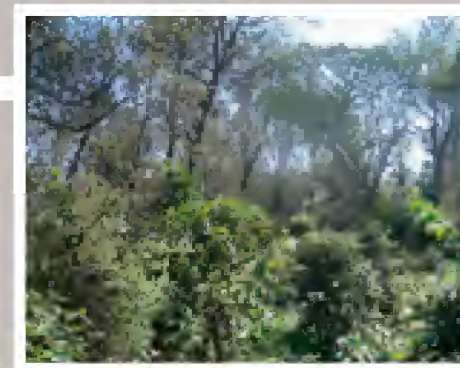
#### LITERATURA CITADA

- CERVANTES, L. y Eugenia J. Olguín, 2008, Digestión anaerobia combinada con fitorremediación con *Salvinia minima* para el tratamiento de vinazas, en E.J. Olguín, G. Sánchez-Galván y M.E. Hernández (eds.), *Resúmenes del I Congreso Latinoamericano de Biotecnología Ambiental, II Congreso Latinoamericano de Biotecnología Algal y V Symposium Internacional de Bioprocesos más Limpios y Desarrollo Sustentable*, Xalapa, Veracruz, México, octubre 5-10.
- COMITÉ DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA (Coaazúcar), 2006, *Producción de azúcar por clases, miel final y alcohol por ingenios*, Informe Final Preliminar, Zafra 2004-2005, (<http://www.sagarpa.gob.mx/Coaazucar/>), octubre de 2006.
- COSTA, F., V. Rocha, C. Viana y A. Toledo, 1986, Utilization of vinasse effluents from an anaerobic reactor, *Water Science & Technology* 18(12): 135-41.
- DRIESSEN, W., M. Tielbaard y T. Vereijken, 1994, Experience on anaerobic treatment of distillery effluent with the UASB process, *Water Science & Technology* 30(12): 193-201.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2005, *Diagnóstico Ambiental de la Industria Azucarera*, Secretaría de Desarrollo Regional, Coordinación Estatal de Medio Ambiente
- GOYAL, S., R. Seth y V. Handa, 1996, Diphasic fixed-film biomethanation of distillery spentwash, *Biore-source Technology* 56: 239-244.
- HARADA, H., S. Uemura, A.C. Chen, y J. Jayadevan, 1996, Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor, *Biore-source Technology* 55: 215-221.
- MACEK, T., M. Macková, y J. Kas, 2000, Exploitation of plants for the removal of contaminants in environmental remediation, *Biotechnology Advances* 18: 23-34.
- MOREIRA, J. y J. Goldemberg, 1999, The alcohol program, *Energy Policy* 27: 229-245.
- OLGUÍN, E.J., H.W. Doelle y G. Mercado, 1995, Resource recovery through recycling of sugar processing by-products and residuals, *Resource Conservation & Recycling* 15: 85-94.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez-Galván, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el Estado de Veracruz y una alternativa de solución, en M. Bañuelos, (coord.), *Sociedad, derecho y medio ambiente*, Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Pro-fepa, pp. 319-358.
- OLGUÍN, E.J., 2003, Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes, *Biotechnology Advances* 22: 81-91.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, Cleaner production and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47(11-12): 641-670.
- , 2005, Transferencia a Productores de Estrategias de Tecnologías Limpias para el Manejo Sostenible del Agua en Agroindustrias Tropicales, en *Memorias del Primer Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico*, 2-4 de mayo de 2005, Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana (ed.), 155 pp.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado y E. Portela, 2006a, Informe Parcial del Proyecto

- Conacyt/Sagarpa/Inecol, *Tratamiento y Reuso del Agua Residual en Algunos Ingenios Azucareros de la Cuenca del Papaloapan y del Río Blanco para Riego de Caña de Azúcar*, febrero-agosto de 2006.
- OLGUÍN, E.J., G. Mercado y G. Sánchez, 2006b, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, Vázquez, V. Serrano, A. y de la Rosa, A. (coords.), *Gestión y cultura del agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp.151-168.
- OLGUÍN, E.J., R.E., González-Portela, M. López, G. Mercado y G. Sánchez-Galván, 2007, *Phytoremediation of Stillage from Ethanol Production with Tropical Aquatic Plants: Pontederia cordata and Pistia stratiotes*, IV Phytotechnologies Conference, EPA, Denver, EUA, septiembre 24-26.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez-Galván, R.E. González-Portela y M. López-Vela, 2008, Constructed wetland mesocosms for the treatment of diluted sugarcane molasses stillage from ethanol production using *Pontederia sagittata*, *Water Research* 42: 3659-3666.
- SÁNCHEZ, O. y C. Cardona, 2005, Producción biotecnológica de alcohol carburante II: integración de procesos, *Interciencia* 30(11): 679-686.
- SHEEHAN, G. y P. Greenfield, 1980, Utilization, treatment and disposal of distillery wastewater, *Water Research* 14(3): 257-277.
- WINLKER, M.A., 1999, *Tratamiento biológico de aguas de desecho*, Limusa, México, 338 pp.
- WORLD WILD FUND (WWF), 2004, Sugar and the Environment, Encouraging Better Management Practices in sugar production. ([http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment\\_fidq.pdf](http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment_fidq.pdf)).



# Estrategias para la producción sustentable de café



Eugenia J. Olgúin  
Gloria Sánchez-Galván  
Gabriel Mercado Vidal

## INTRODUCCIÓN

El café es el segundo producto de comercialización más importante en el mercado internacional, después del petróleo, con un valor anual de 100 billones de dólares. Además, es la fuente de ingresos de más de 25 millones de personas, especialmente dentro de la categoría de pequeños productores (Donald, 2004). Esta agroindustria requiere una gran demanda de mano de obra para llevar a cabo la producción, recolección, industrialización y comercialización del grano. En México se estima que más de 3 millones de personas dependen directa e indirectamente de dicha actividad (Olgúin *et al.*, 2006).

México se encuentra entre los primeros 10 productores de café en el mundo, mientras el estado de Veracruz es el segundo a nivel nacional. Alrededor del 80 % de la producción nacional se exporta principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica. Por desgracia, México exporta el producto primordialmente como café en grano, el cual es después procesado y vendido por los Estados Unidos como

café tostado y soluble en el mercado internacional (*Gaceta Parlamentaria*, 2005).

El cultivo de café en México se realiza principalmente en cafetales con sombra y sólo el 17 % de ellos no presenta algún tipo de sombra (Anta, 2006). Este agrosistema tiene gran relevancia ambiental y ecológica debido a que las regiones en que se desarrolla coinciden con 15 de las 155 Regiones Terrestres Prioritarias que ha identificado la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (Moguel y Toledo, 2004).

A pesar de la importancia económica y ecológica del agrosistema cafetalero, en México, y especialmente en el estado de Veracruz, la cafecultura tiene un alto impacto ambiental negativo, como se discutió en un capítulo anterior, de tal forma que se ha convertido en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad. Debido a lo anterior se han planteado y desarrollado algunas estrategias como las que se describen a continuación, las cuales tienen como objetivo que esta activi-

dad agroindustrial tenga a futuro un mayor grado de integración armónica con el medio ambiente, dejando de ser una amenaza y se convierta en una oportunidad para el desarrollo sustentable.

#### PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

Por las características de los cafetales con sombra diversificada, el agrosistema cafetalero ofrece diferentes servicios ambientales, tales como la captura de agua, conservación del suelo, captura de carbono y conservación de la biodiversidad. Dichos cafetales presentan una extraordinaria variación en cuanto a la estructura y diversidad de su vegetación, lo que le confiere un gran potencial para conservar la biodiversidad y a la vez mantener la productividad económica (Gordon *et al.*, 2007). En México, los cafetales se localizan en sitios estratégicos para la captura de agua, en zonas aledañas a regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad y representan importantes corredores biológicos a nivel altitudinal, ya que la mayor parte de los cafetales se encuentran entre las zonas tropicales y las templadas (Anta, 2006).

En cuanto a la captura de carbono, es importante señalar que en los últimos años se ha planteado, a nivel mundial, una serie de estrategias para disminuir las emisiones de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales contribuyen de manera importante al calentamiento global del planeta. Entre estos GEI, se encuentra el CO<sub>2</sub>, y una de las estrategias planteadas para su disminución a partir de que se aprobó el Protocolo de Kyoto, se lleva a través del régimen de “comercio de los derechos de emisión”, el cual permite a los países industrializados que sobrepasan sus cuotas de emisión, comprar y vender mutuamente “unidades de carbono” a países que emiten menos. Dentro de este contexto y ante la pérdida de rentabilidad del campo cafetalero debida a los bajos precios en el mercado internacional, el pago por servicios ambientales y en particular

para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en los sistemas de producción de café con sombra diversificada, se presenta como una alternativa no sólo para dar un valor ecológico agregado y conservar la biodiversidad, sino también para contar con una fuente económica alternativa que permita una integración de este sector al desarrollo sustentable del país (Pineda-López *et al.*, 2005).

#### PRODUCCIÓN DE CAFÉ ORGÁNICO Y DISMINUCIÓN EN EL USO DE AGROQUÍMICOS

Una de las estrategias propuestas para combatir el impacto ambiental negativo de la cafecultura es la producción de café orgánico basado en modelos de producción sustentable. México es el primer productor de café orgánico en el mundo. En el año 2006 se cultivaron 71 000 ha de café orgánico que representaron el 10 % de las plantaciones de café del país y el 33 % de la superficie nacional cultivada bajo métodos orgánicos (Anta, 2006). En nuestro país, el cultivo de café orgánico nació en gran medida a raíz de la búsqueda de soluciones a los problemas de bajos precios y a la falta de financiamiento. Sin embargo, uno de los principales beneficios al implementar esta práctica, ha sido la disminución en el uso de agroquímicos al utilizar abono orgánico, así como también lograr el control de plagas y enfermedades de una manera manual y biológica, reduciendo de esta manera la contaminación debida a dichos compuestos.

Para que la producción de café orgánico sea sustentable es esencial que se reciclen los nutrientes contenidos en los residuos sólidos derivados del procesamiento del café en los beneficios húmedos y se regresen en forma de composta de alta calidad a las fincas. Desde la década de los noventa, se desarrolló la tecnología para el “compostaje acelerado” de pulpa (Sánchez *et al.*, 1999a), la cual se discute más adelante y que puede constituir parte de la estrategia de producción de café orgánico. También se ha

difundido el uso de la vermicomposta como un fertilizante adecuado para la producción de café orgánico. Otra alternativa para combatir el impacto de los agroquímicos es la racionalización de su uso mediante la aplicación de programas de manejo integrado de los cultivos y la promoción de la reforestación y protección de las cuencas cafetaleras.

#### PRODUCCIÓN DE CAFÉ DE SOMBRA O CAFÉ AMIGABLE CON LAS AVES

La importante relación entre las aves migratorias y los “cafetales de sombra” en México, Centro y Sudamérica, ha generado el interés por las aves y su conservación en el agrosistema cafetalero (Dietsch *et al.*, 2007), lo que a su vez ha llevado al desarrollo de una nueva estrategia de certificación en la producción de café llamada “Café amigable con las aves”. Además, esto también forma parte de la tendencia actual de promover tipos de café especializados, como una medida para enfrentar la crisis de los precios del café por parte de los pequeños productores. El café de sombra se debe producir bajo sombra diversificada, libre de agroquímicos y permitiendo mantener una condición adecuada del hábitat que requieren algunas especies de aves cuando migran hacia las regiones cafetaleras.

Hasta 2006, en México se tenían registrados más de 1 900 productores que han sido certificados como “cafetales amigables con las aves” con una superficie de 6 814 ha. Los pequeños productores representan el 99 % y tienen el 80 % de la superficie certificada (Anta, 2006).

#### AHORRO Y USO RACIONAL DEL AGUA COMO UNA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Con la entrada en vigor de la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residua-

les en aguas y bienes nacionales (*Diario Oficial de la Federación*, 2003), algunos beneficiadores de café mostraron interés en reducir el consumo de agua en su proceso. En los beneficios de café más tradicionales se utilizan, en la mayoría de los casos, una gran cantidad de agua (8 l/kg de café cereza) para el procesamiento del grano (café cereza). El agua es utilizada para transportar el grano, remover la cáscara exterior o pulpa de café (despulpe), retirar el mucílago (lavado) y para la disposición/transporte de pulpa. En virtud de la importancia de implementar una estrategia para el ahorro en el consumo de agua en los beneficios, se realizó un estudio (Olguín *et al.*, 2000) para conocer las opciones de ahorro que algunos beneficiadores de café habían implementado en las dos regiones cafetaleras más importantes del estado de Veracruz: Coatepec y Huatusco. Los resultados mostraron que las estrategias de ahorro de agua van desde las más sencillas, como son el reuso del agua en algunas etapas del proceso y el uso de transportadores del grano de café, hasta las más complejas como la reconversión del equipo que consume más agua. En este último caso, las despulpadoras y desmucilagadoras separan la pulpa de la semilla con una mínima cantidad de agua y el mucílago es desprendido del grano de café en forma mecánica, sustituyendo la fermentación. Estos equipos reducen de manera significativa el consumo de agua, requiriéndose sólo de 0.5 a 1 l/kg de café cereza dependiendo de la marca del equipo.

A pesar de que existen las opciones de ahorro de agua antes mencionadas, aún existen muchos beneficios en los cuales no se han realizado cambios importantes y son pocos los beneficiadores que están dispuestos a reconvertir su proceso comprando nueva maquinaria. Debido a esto, se consideró necesario profundizar en el estudio relativo a la evaluación de los consumos de agua y aplicar una metodología rigurosa para proponer las mejores opciones que logran minimizar los residuos y en particular el consumo del recurso agua. Teniendo en mente este objetivo, Olguín *et al.* (2001a) utili-

zaron el programa computacional llamado “Iniciativa Estratégica para Minimización de Residuos” (SWAMI, por sus siglas en inglés), el cual fue creado por la Agencia para la Protección del Ambiente en los Estados Unidos (EPA, 2001) y demostraron que puede ser una herramienta muy útil para la optimización del recurso agua y minimización de residuos en el beneficiado húmedo de café. Dicho programa fue creado inicialmente con el objeto de proporcionar a la industria en general una herramienta para identificar las principales fuentes de contaminación y poder establecer estrategias de minimización de residuos, pero no había sido aplicado antes a la problemática del beneficiado húmedo. En la figura 1 se muestra un diagrama con las diversas etapas de la aplicación del SWAMI.

A continuación se resumen algunos aspectos metodológicos y los principales resultados del mencionado estudio (Olguín *et al.*, 2001a), con el objeto de ilustrar las ventajas de su aplicación a la problemática de Veracruz.

**Etapa 1: Caracterización de los beneficios y su proceso**

Se realizó trabajo de campo en tres beneficios húmedos obteniendo datos del proceso y consumo de agua (cuadro 1). Posteriormente se elaboraron los diagramas de flujo incluyendo las modificaciones realizadas para el ahorro de agua en el proceso en cada beneficio (cuadro 2).



FIGURA 1. Metodología para la aplicación del SWAMI (Fuente: Olguín *et al.*, 2001a).

CUADRO 1. Producción anual de café pergamino húmedo y consumo de agua en los beneficios de café seleccionados

NOMBRE DEL BENEFICIO	PRODUCCIÓN DE CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO (TON/AÑO)	CONSUMO DE AGUA (M <sup>3</sup> /AÑO)
Santa Ana	28.71	286.4
Chavarrillo	48.65	1 098.6
Piña	232.5	3 51.5

FUENTE: Olguín *et al.*, 2001a

CUADRO 2. Datos generales de los beneficios seleccionados para la aplicación del SWAMI.

NOMBRE DEL BENEFICIO	UBICACIÓN	CUENCA QUE IMPACTA	CONSUMO DE AGUA (L/KG DE CAFÉ CEREZA PROCESADO)	MODIFICACIONES REALIZADAS PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE AGUA	PORCENTAJE DE AHORRO DE AGUA
Santa Ana	Puentecilla, mpio. de Zentla, Ver.	Jamapa	despulpado: 1 lavado: 3	Utilización de un gusano helicoidal para transportar el café cereza a las despulpadoras  Reciclaje del agua de despulpe para transportar pulpa de café al pulpero (depósito)  Acondicionamiento de muros y piso en los tanques de fermentación (recubrimiento con azulejo) para un mejor escurrimiento del agua de lavado.	50*
Piña	Corazón de Jesús, mpio. de Zentla, Ver.	Jamapa	despulpado: 1.75 lavado: 5.25	Utilización de un gusano helicoidal para transportar el café cereza a las despulpadoras	12.5*
Chavarrillo	Chavarrillo mpio. de Emiliano Zapata, Ver.	Actopan	despulpado: 0.90 lavado: 3.3 transporte de pulpa: 1.8	Instalación de una tolva para la alimentación del café a las despulpadoras por gravedad, pero no ha funcionado	0

\*Se considera un consumo de 8 litros de agua/kg de café cereza procesado como el 100 %.

FUENTE: Olguín *et al.*, 2001a

En el caso del beneficio Santa Ana (figura 2), las modificaciones lograron reducir el consumo hasta cuatro l/kg café cereza mientras en el beneficio Piña, la única modificación realizada sólo logró reducir dicho consumo a siete l/kg café cereza. En el caso del beneficio Chavarrillo, el consumo cuantificado fue de seis l/kg de café cereza.

El estudio encontró que la mayoría de los beneficios no trataba sus aguas residuales, aunque algu-

nos de ellos sí daban tratamiento a la pulpa de café (cuadro 2).

Los análisis fisicoquímicos realizados a las aguas residuales confirmaron lo altamente contaminantes que son debido a su gran contenido de materia orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el rango de, aproximadamente, 3 000 a 6 000 mg/l y su bajo pH en el rango de tres a cuatro.

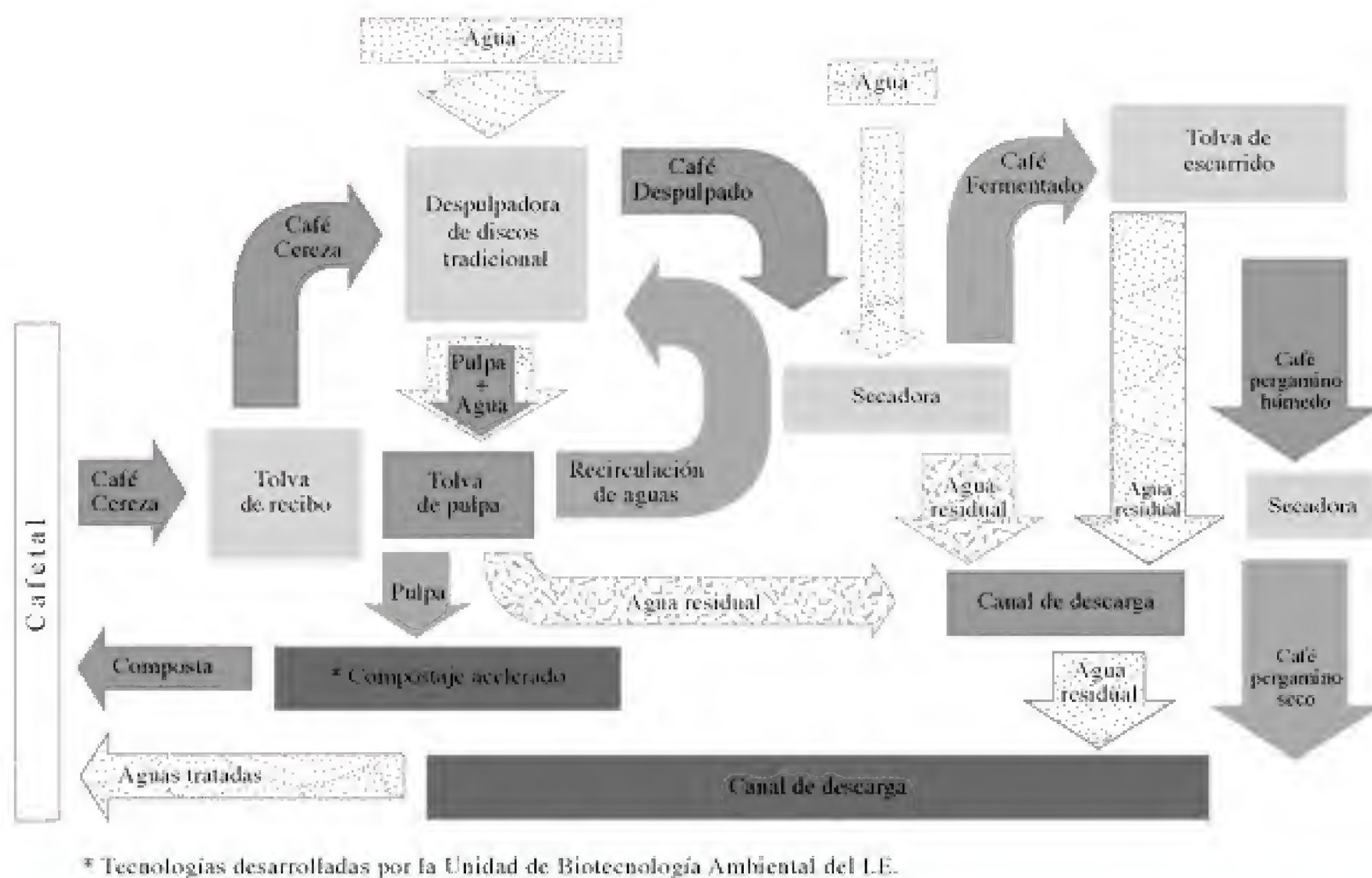


FIGURA 2. Diagrama de flujo del beneficio húmedo de café “Santa Ana” con recirculación de agua y reciclaje de pulpa (Fuente: Olgúin *et al.*, 2000).

### Etapa 2: Identificación de las fuentes de residuos y oportunidades de minimización

El programa SWAMI identificó tanto los flujos de residuos en las etapas de despulpe y lavado de café, así como las oportunidades de minimización. Los balances de masa generados permitieron identificar las prioridades en función de la cantidad del contaminante descargado en mayor proporción, en este caso la cantidad de materia orgánica (DBO) para posteriormente elaborar el reporte de responsabilidades. Para el beneficio Santa Ana, a pesar de que el agua de despulpe tenía la mayor concentración de DBO (16 147 mg/l), ésta presentaba una mínima responsabilidad dado que era reciclada y el volumen a descargar era muy pequeño en comparación con el resto de las aguas de lavado.

### Etapa 3 : Evaluación de la prioridad de cada oportunidad

La evaluación de la prioridad se realizó en función del pago por concepto de descarga de aguas residuales que no cumplen los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, siendo la DBO el parámetro prioritario a considerar.

### Etapa 4: Planeación de estrategias para la minimización de residuos

Se propusieron las estrategias generales para la minimización de residuos. Éstas dependen de diversos factores, tales como el origen y tipo del residuo así como la transformación que puede

sufrir (física o química), mediante innovaciones tecnológicas adecuadas o apropiadas a cada beneficio, según su entorno económico-social y ambiental. En el beneficio “El Guayabal”, ubicado en Coatepec (figura 3) ya se utilizan despulpadoras y desmucilagadoras que consumen un mínimo de agua (0.5 l/kg de café cereza).

#### Etapa 5: Asesoría y transferencia de tecnologías al usuario

Finalmente se dictaminaron las estrategias más adecuadas para cada beneficio, de acuerdo a su proceso y a su situación económica, permitiéndoles lograr ahorros considerables en el pago de

descarga de aguas residuales. En el caso del beneficio Santa Ana, el principal usuario del Proyecto, se logró transferirle dos biotecnologías ambientalmente pertinentes. La primera con el objeto de tratar las aguas de despulpe, utilizando un sistema integral que combina la digestión anaerobia y el postratamiento de efluentes anaerobios en lagunas con plantas acuáticas (Olguín *et al.*, 2003). Este sistema permitió tratar el total de las aguas residuales generadas, reciclándolas en actividades agrícolas dentro del mismo beneficio. La segunda tecnología transferida fue el proceso para el “compostaje acelerado” de pulpa de café (Sánchez *et al.*, 1999a), mediante el cual se logró reciclar todos los nutrientes contenidos en la pulpa, en forma de composta de alta cali-

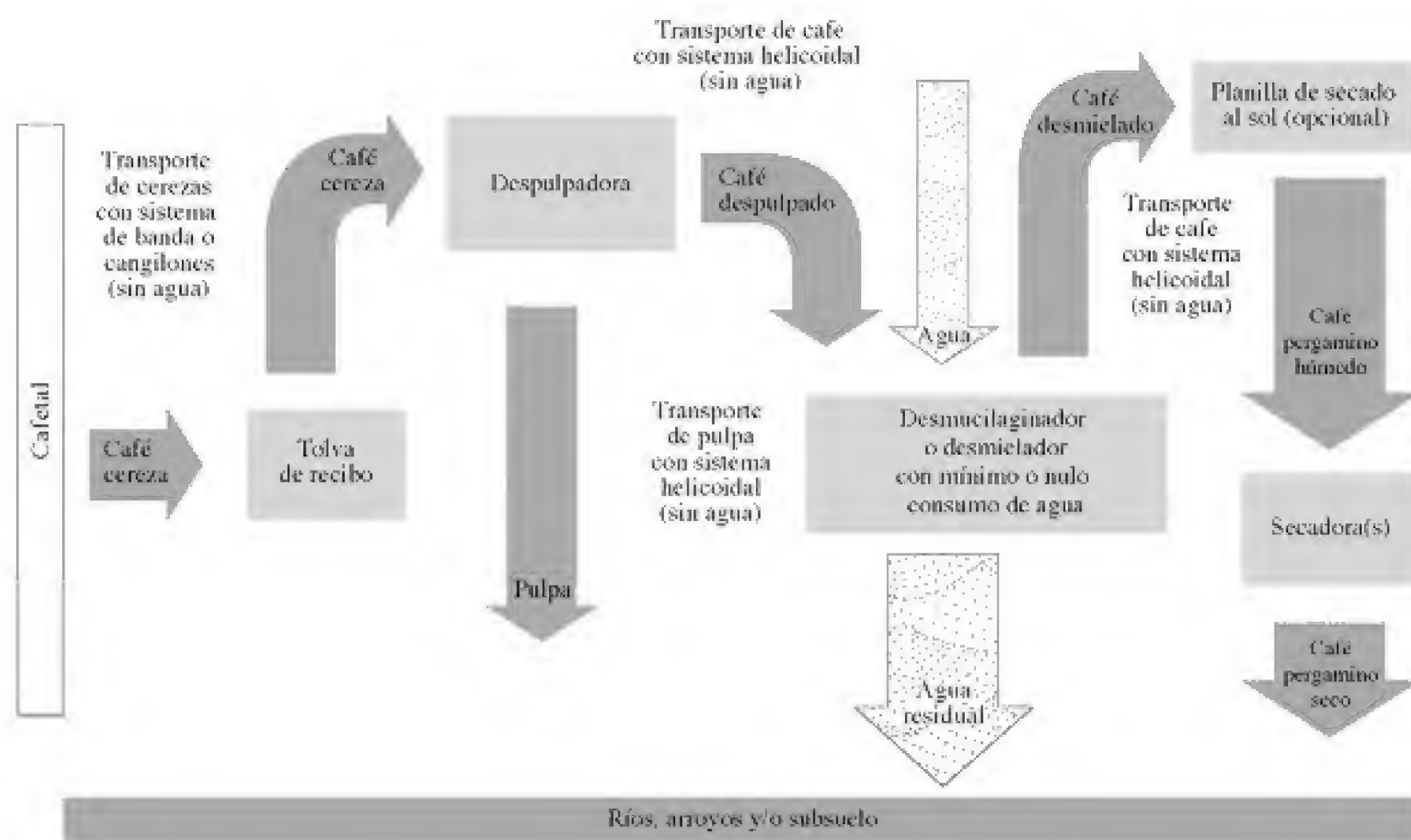


FIGURA 3. Diagrama de flujo del beneficio húmedo de café “El Guayabal”, con equipo de despulpado y desmucilaginado de mínimo consumo de agua.

dad, que sustituyó el uso de fertilizantes químicos (figura 4).

Dentro de esta última etapa es importante implementar una serie de talleres participativos entre los productores, que divulguen los beneficios de los cambios y de las innovaciones tecnológicas, para contrarrestar las actitudes de resistencia al cambio.

#### RECICLAJE DE LAS AGUAS RESIDUALES Y DE LA PULPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE PERTINENTES

Existen biotecnologías que han probado ser ambientalmente pertinentes y económicamente factibles. El mayor beneficio de este tipo de tecnologías es que son sustentables en términos de materia y energía y que siguen algunos de los principios generales de la política de las cinco R's, tales como recuperación y reciclaje de nutrientes, y re-uso de agua residual (Olguín, 2000a). A continuación se describen algunas biotecnologías de este tipo, adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales generadas durante el despulpe, la fermentación y el lavado de café que ya han sido aplicadas en el estado de Veracruz:

#### Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es uno de los procesos que debe formar parte de los sistemas integrales para el tratamiento de aguas residuales de beneficios de café, dado que promueve una remoción inicial considerable de la materia orgánica. Las principales ventajas de esta tecnología, comparada con los tratamientos aeróbicos convencionales, son: *a)* su gran capacidad para tratar sustratos degradables en altas concentraciones, *b)* poca producción de lodos, *c)* bajos requerimientos energéticos y *d)* obtención de valiosos subproductos como el metano. Esta tecnología tiene un amplio potencial en países en desarrollo, ya que la mayoría de las tecnologías disponibles actualmente para el tratamiento de aguas residuales son muy costosas, además de que no permiten el re-uso de energía valiosa y nutrientes contenidos en dichas aguas (Olguín *et al.*, 2004). De acuerdo a Monroy *et al.* (1998), a la fecha de su publicación, existían siete reactores anaerobios en beneficios de café localizados en el estado de Veracruz. En el cuadro 3 se presentan datos sobre la eficiencia de algunos reactores anaerobios. Cabe destacar que los filtros anaerobios son más fáciles de implementar, de menor costo y más eficientes que los de lechos de lodos de flujo ascendente.

CUADRO 3. Eficiencia de algunos reactores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales de beneficios de café.

TIPO DE REACTOR	PORCENTAJE DE REMOCIÓN	REFERENCIA
Filtro anaerobio	DBO: 97 %	Rivero y Fernández, 1989 Sánchez <i>et al.</i> , 1999
Filtro anaerobio	DBO: 99 % Sólidos: 80 %	Olguín <i>et al.</i> , 2001a
Lecho de lodos flujo ascendente	DQO: 80 %	Jeison <i>et al.</i> , 1999



FIGURA 4. La tecnología del “compostaje acelerado” de pulpa fue desarrollada y transferida exitosamente a beneficiadores de café de la región de Huatusco, Ver.

Los efluentes resultantes de la digestión anaerobia de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café, contienen cantidades importantes de nitrógeno y fósforo que exceden los límites máximos permisibles de descarga establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. De hecho, el fracaso de los programas que promovieron el uso de digestores anaerobios en Veracruz hace más de dos décadas, se debió, en parte, a que no se instalaron sistemas de postratamiento de efluentes anaerobios y que el exceso de dichos nutrientes provocó la eutrofización de los cuerpos de agua donde eran descargados. Por lo anterior, es necesario el uso de otras tecnologías, tales como la ficorremediación y la fitorremediación para el postratamiento de dichos efluentes anaero-

bios, como se plantea en los sistemas integrales que combinan ambas tecnologías (Olguín, 2000b).

#### Fitorremediación

La fitorremediación ha sido definida como el uso de plantas para remover, contener o degradar contaminantes de aguas, suelos, sedimentos y aire. La fitorremediación con plantas acuáticas ha sido aplicada principalmente a la remoción de nutrientes y metales pesados de aguas residuales (Olguín *et al.*, 2004). Las lagunas con plantas acuáticas son consideradas como una opción adecuada para el tratamiento terciario de las aguas residuales del

beneficiado del café. Los contaminantes presentes en el agua son removidos por la planta o por las relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes entre la planta y los microorganismos degradadores presentes en la rizósfera (Núñez *et al.*, 2004). Se han descrito sistemas integrales eficientes que combinan la digestión anaerobia y la fitorremediación con lagunas con plantas acuáticas para el postratamiento de efluentes anaerobios de aguas residuales de café (cuadro 4). En general, es más recomendable utilizar *Salvinia minima*, debido a su mayor productividad, pero en caso de que ésta no esté disponible en la zona de trabajo se puede recurrir a las lemnáceas.

#### Compostaje para el reciclaje de pulpa de café.

Durante el beneficiado del café, el 40 % del peso del café cereza que ingresa al inicio del proceso se descarga como pulpa de café (Sánchez *et al.*, 1999a). Debido a sus características fisicoquímicas, tales como el alto contenido de azúcares y humedad, este residuo representa un sustrato ideal para que se degrade de forma natural liberando malos olores y lixiviados altamente contaminantes del suelo y el agua. La total degradación de este residuo, de manera natural toma entre seis y ocho meses.

El compostaje es una de las biotecnologías ambientalmente pertinentes que se ha propuesto

para el tratamiento y reciclaje de la pulpa de café. Es un proceso en el que se establece un ecosistema complejo debido a la interacción de diversos factores y en el cual los residuos orgánicos biodegradables son estabilizados y convertidos por la acción de ciertos microorganismos bajo condiciones controladas de humedad, calor y aereación (Yu *et al.*, 2007). Se han desarrollado varias innovaciones tecnológicas para aplicar los fundamentos del compostaje al tratamiento de la pulpa de café, destacando el “compostaje microbiológico acelerado” y el “vermicompostaje”. Con relación al primer tipo de tecnología, ésta fue desarrollada en el Inecol (Sánchez *et al.*, 1999a, 1999b) y ha sido transferida exitosamente a beneficiadores de Zentla, Veracruz (Olguín *et al.*, 2006) (figura 4). Consiste en realizar mezclas de pulpa de café adicionando proporciones definidas de otros subproductos ricos en azúcares fácilmente degradables y en nitrógeno fácil de utilizar por los microorganismos, logrando así reducir el tiempo de su degradación. Los subproductos adicionados funcionan como “aceleradores” del proceso de degradación efectuado por la población microbiana autóctona de la pulpa, lográndose disminuir el tiempo de generación de composta madura, en comparación con la degradación natural e incrementando el contenido de nutrientes y ácidos húmicos. Este proceso de “compostaje microbiano acelerado” ha

CUADRO 4. Eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes de efluentes anaerobios de aguas residuales de café en lagunas con plantas acuáticas.

PLANTA	PRODUCTIVIDAD (t/ha/año)	PORCENTAJES DE REMOCIÓN	REFERENCIA
<i>Spirodela polyrhiza</i>	11	DBO: 51 %, NTK: 86 % N-NH <sub>4</sub> : 98 %	Olguín <i>et al.</i> , 2001b
<i>Salvinia minima</i>	28	NTK: 78 % N-NH <sub>4</sub> : 80 % P: 74 %	Olguín <i>et al.</i> , 2003

sido probado con pulpa proveniente de las despulpadoras tradicionales, así como aquella de las nuevas despulpadoras que no utilizan agua (cuadro 5), y la tecnología está lista para ser transferida a diversos beneficios, dado que se demostró que la composta generada contiene un alto contenido de nitrógeno y de ácidos húmicos.

Por otro lado, la tecnología del vermicompostaje utiliza lombrices para la descomposición de la materia orgánica. Los factores más estudiados en la optimización de este proceso han sido: la densidad del inóculo, la profundidad del lecho y el tiempo de degradación (Orozco *et al.*, 1996). Cabe señalar que en el caso del vermicompostaje se requiere que la pulpa de café sea previamente degradada de forma parcial, antes de la introducción de las lombrices, quienes no toleran las altas temperaturas (arriba de los 50 °C) que se generan durante la etapa de degradación microbiana. La lombriz más utilizada para el vermicompostaje, *Eisenia foetida*, muestra una temperatura óptima de 21 °C (Mendoza, 2006; Capistrán *et al.*, 1999), lo que señala la importancia de dicha degradación parcial previa a la introducción de las lombrices, etapa que puede aumentar el costo y tiempo de producción de la composta. Asimismo, la cantidad de nutrientes como N (1.8-3.04 %) y P

(0.2 %) reportados para vermicomposta de café (Siles, 1997) son menores o similares a los reportados para composta generada por el proceso de “compostaje acelerado”, cuando se utilizaron cachaza-gallinaza y mucílago-excretas (Sánchez *et al.*, 1999a, 2001).

### Otras alternativas para el aprovechamiento de la pulpa de café

Algunos estudios han mostrado la factibilidad de producir biogás (metano más dióxido de carbono) a través de la digestión anaerobia a partir de pulpa de café (Houbron *et al.*, 2003). Otros estudios señalan a la pulpa de café como una fuente potencial de ácidos fenólicos de alto valor agregado con aplicación prometedora en la industria farmacéutica y de alimentos (Benoit *et al.*, 2006). También se ha descrito el gran potencial de la pulpa de café como sustrato para la producción microbiana de aromas a través de la fermentación sólida (Medeiros *et al.*, 2003). Finalmente, la pulpa de café también ha sido utilizada como sustrato para el cultivo de hongos comestibles (Hernández *et al.*, 2003; Velázquez-Cedeño *et al.*, 2002).

CUADRO 5. Diversas experiencias de aplicación de la tecnología para el compostaje acelerado de pulpa de café en diferentes tipos de beneficios y con diversos residuos como aceleradores.

PROCEDENCIA DE LA PULPA Y TIPO DE ACELERADORES	CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSTA	REFERENCIA
Beneficio tradicional: cachaza y gallinaza	Nitrógeno total: 4.8% Fósforo: 3%	Sánchez <i>et al.</i> , 1999a
Beneficio modificado: cachaza y gallinaza	Ácidos húmicos: pulpa: 67.10% pulpa + aceleradores: 76.3%	Sánchez <i>et al.</i> , 1999b
Beneficios reconvertidos: mucílago de café y estiércol ovino	Nitrógeno total: 3.1% Fósforo: 0.4% Ácidos húmicos: 81.59%	Sánchez <i>et al.</i> , 2001

## CONSIDERACIONES FINALES

Uno de los sectores económicos más importantes en el estado de Veracruz es la cafecultura. Sin embargo, esta actividad representa una amenaza a la biodiversidad cuando se realiza sin seguir los fundamentos básicos del desarrollo sustentable. Debido a lo anterior, se han planteado y desarrollado una serie de estrategias para lograr cambios importantes desde el cultivo hasta el procesamiento del café, tendientes a minimizar los impactos ambientales negativos y a transformar a la cafecultura en una actividad más armónica con el medio ambiente. Se recomienda la implementación de Programas de Desarrollo Regional para la cafecultura, que incluyan una serie de alternativas, tales como: *a*) pagos por servicios ambientales; *b*) promoción de café orgánico y café de sombra amigable con las aves; *c*) adopción de estrategias de Producción Más Limpia que promuevan cambios en el beneficiado húmedo para lograr el ahorro y uso racional de agua, y *d*) adopción de Biotecnologías Ambientalmente Pertinentes. Dentro de estas últimas, destacan los sistemas integrales para el tratamiento de aguas residuales, combinando la digestión anaerobia y la fitorremediación y también los procesos desarrollados para el “compostaje acelerado” o para el vermicompostaje de pulpa de café, muy útiles en la producción de café orgánico. La implementación de dichos programas coadyuvará a la mitigación de la contaminación generada por este sector agroindustrial y a un desarrollo regional sustentable.

Finalmente, es importante mencionar que los programas regionales a promover, deberán contemplar aspectos de difusión y promoción que incluyan incentivos, de tal forma que se logre revertir la actual pasividad y falta de interés entre los productores, demostrando que los cambios e innovaciones tecnológicas no sólo beneficiarán el medio ambiente, sino que también beneficiarán la rentabilidad de la producción de café.

## LITERATURA CITADA

- ANTA, S., 2006, El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad, *Gaceta Ecológica INE/Semarnat*, 80: 19-31.
- BENOIT, I., D. Navarro, N. Marnet, N. Rakotomana, L. Lesage-Meessen, J.C. Sigoillot, y M. Asther, 2006, Feruloyl esterases as a tool for the release of phenolic compounds from agro-industrial by-products, *Carbohydrate Research* 341(11): 1820-1827.
- CAPISTRÁN, F., E. Aranda y J.C. Romero, 1999, *Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje*, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, 150 pp.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.
- DIETSCH, T.V., I. Perfecto y R. Greenberg, 2007, Avian foraging behavior in two different types of coffee agroecosystem in Chiapas, Mexico, *Biotropica* 39(2): 232-240.
- DONALD, P.F., 2004, Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems, *Conservation Biology* 18 (1): 17-37.
- Environmental Protection Agency, 2001, *User's guide for SWAMI (Strategic Waste Minimization Initiative)*, Version 2.0 Environmental protection Agency, Center for Environment Research Information, Cincinnati, OH. EUA.
- GACETA PARLAMENTARIA, 2005, *Proyecto de Ley de Desarrollo Integral y Sustentable de la Cafecultura*, Cámara de Diputados, Comisión Especial del Café, Año IX, núm. 1911.
- GORDON, C., R. Manson, J. Sundberg y A. Cruz-Angón, 2007, Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem, *Agriculture Ecosystems & Environment* 118: 256-266.
- HERNÁNDEZ, D., J.E. Sánchez y K. Yamasaki, 2003, A simple procedure for preparing substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation, *Bioresource Technology* 90 (2): 145-150.
- HOUBRON, E., A. Larrinaga y E. Rustrián, 2003, Liquefaction and methanization of solid and liquid coffee

- wastes by two phase anaerobic digestion process, *Water Science & Technology* 48(6): 255-262.
- JEISON, D. y R. Chamy, 1999, Comparison of the behaviour of expanded granular sludge bed (EGSB) and upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors in dilute and concentrated wastewater treatment, *Water Science & Technology* 40(8): 91-97.
- MEDEIROS, A.B.P., P. Christen, S. Roussos, J.C. Gern, y C.R. Soccol, 2003, Coffee residues as substrates for aroma production by *Ceratocystis fimbriata* in solid state fermentation, *Brazilian Journal of Microbiology* 34 (3): 245-248.
- MENDOZA, L., 2006, *Manual de Lombricultura*, Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del estado de Chiapas, CECYTECH-DG-UI-ENC-001.
- MOGUEL, P. y V.M. Toledo, 2004, Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos, *Biodiversitas* 55: 2-7.
- MONROY, O., G. Famá, M. Meraz, L. Montoya y O. Macarie, 1998, Digestión anaerobia en México: estado de la tecnología, *Ingeniería y Ciencias Ambientales* 39: 12-23.
- NÚÑEZ-LÓPEZ, A.R., Y. Meas-Vong, R. Ortega-Borges y E.J. Olguín, 2004, Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones, *Ciencia* 55(3): 69-82.
- OLGUÍN, E.J., 2000a, Cleaner Bioprocesses and Sustainable Development, en Olguín, E.J., Sánchez, G. y Hernández, E. (eds.), *Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses*, Taylor & Francis, Londres, pp. 3-17.
- \_\_\_\_\_, E.J., 2000b, The cleaner production strategy applied to the animal production industry, en Olguín, E.J., G. Sánchez, y M.E. Hernández (eds.), *Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses*, Taylor & Francis, Londres, pp. 227-243.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el Estado de Veracruz y una alternativa de solución, en M. Bañuelos, (coord.), *Sociedad, derecho y medio ambiente*, Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Profepa, México, pp. 319-258.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado, E. Hernández y T. Pérez, 2001a, *Contribución al rescate de tres de las principales cuencas del estado de Veracruz, mediante el desarrollo, promoción y transferencia de tecnologías limpias*, Reporte a SIGOLFO (Conacyt), 135 pp.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, E. Hernández, I. Gallardo y G. Mercado, 2001b, Digestión y fitorremediación de aguas residuales de beneficios de café, en: Memorias del IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica y II Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica, de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Veracruz, Ver., 10-14 de septiembre.
- OLGUÍN, E.J., D. Rodríguez, G. Sánchez, M.E. Ramírez y E. Hernández, 2003, Productivity, protein content and nutrient removal from anaerobic effluents of coffee wastewater in *Salvinia minima* ponds, under subtropical conditions, *Acta Biotechnologica* 23 (2-3): 259-270.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, The cleaner production strategy and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47 (11-12): 641-670
- OLGUÍN, E.J., G. Mercado y G. Sánchez, 2006, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, Vázquez, V. Serrano, A. y de la Rosa, A. (coords.), *Gestión y cultura del agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp.151-168.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez-Galván y T. Pérez-Pérez, 2007, Assessment of the phytoremediation potential of *Salvinia minima* compared to *Spirodela polyrrhiza* in high-strength organic wastewater, *Water Air & Soil Pollution* 181: 135-147.
- OROZCO, H., J. Cegarra, L.M. Trujillo y A. Roig, 1996, Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: Effects on C and N contents

- and the availability of nutrients, *Biology & Fertility of Soils* 22 (1-2): 162-166.
- PINEDA-LÓPEZ, M.R., G. Ortiz-Ceballos y L. Sánchez-Velásquez, 2005, Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz, *Madera y Bosques* 11(2): 3-14.
- RIVERO, L y A. Fernández, 1989, *Diseño, construcción, operación y evolución de un filtro anaerobio piloto para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de beneficios de café*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- SÁNCHEZ, G., G. Mercado y E.J. Olguín, 1993, Evaluación de la eficiencia de los filtros anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales de los beneficios húmedos de café, *Biotechnología* 3(3): 105-108.
- SÁNCHEZ, G., E.J. Olguín y G. Mercado, 1999a, Accelerated coffee pulp composting, *Biodegradation* 10:35-41.
- SÁNCHEZ, G., E.J. Olguín, R. Marín y G. Mercado, 1999b, Evaluación de la madurez de la composta de pulpa de café, en *Proceedings of the III International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agroindustry*, mayo 24-28 de 1999, Londrina, Brasil.
- SÁNCHEZ, G., S. Galán, G. Mercado y E.J. Olguín, 2001, Compostaje acelerado de pulpa de café proveniente de beneficios reconvertidos, en Memorias del IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica y II Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica, de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Veracruz, Ver., 10-14 de septiembre.
- SILES, C.J., 1997, *Producción de abono orgánico con pulpa de café mediante el lombricompostaje*, tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 94 pp.
- VELÁZQUEZ-CEDENO, M.A., G. Mata y J.M. Savoie, 2002, Waste-reducing cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius* on coffee pulp: changes in the production of some lignocellulolytic enzymes, *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 18 (3): 201-207.
- YU, H., G. Zeng, H. Huang, X. Xi, R. Wang, D. Huang, G. Huang y J. Li, 2007, Microbial community succession and lignocellulose degradation during agricultural waste composting, *Biodegradation* 18(6): 793-802.

# Hongos comestibles: una alternativa sustentable de aprovechamiento de los recursos genéticos y agroforestales



Dulce Salmones Blásques  
Rosario Medel Ortiz  
Rigoberto Gaitán-Hernández  
Gerardo Mata Montes de Oca

## INTRODUCCIÓN

Los hongos son considerados como el segundo grupo más abundante de organismos vivos, después de los insectos. Según estimaciones de Hawksworth (1991), existen 1 500 000 especies de hongos en el mundo, de las cuales 200 000 podrían encontrarse en México y más de 14 000 especies de macromicetos estarían presentes en Veracruz (Guzmán, 1998).

Los hongos comestibles silvestres son consumidos en México desde tiempos prehispánicos. De acuerdo con Guzmán (2001), en nuestro país existen más de 200 especies de hongos comestibles, de las cuales 37 se distinguen por sus propiedades medicinales (Guzmán, 1994) y muchas de ellas están presentes en el estado de Veracruz. Por otro lado, a nivel mundial se ha experimentado con el cultivo y crecimiento de alrededor de 200 especies, de éstas 100 son económicamente cultivadas, pero sólo 60 lo son comercialmente y 10 han alcanzado una escala industrial de producción en varios países (Chang y Miles, 2004). Estos datos de México, y a

nivel mundial, indican el gran potencial que tienen los hongos silvestres en la industria del cultivo de hongos. Este trabajo reúne información sobre el conocimiento y conservación de las especies comestibles silvestres de Veracruz, así también, aporta datos sobre la producción estimada de hongos comestibles, con la finalidad de identificar los beneficios económicos y ecológicos que el desarrollo de esta actividad proporciona a la entidad.

## HONGOS COMESTIBLES SILVESTRES EN VERACRUZ

Actualmente se recolectan hongos en la entidad no sólo para autoconsumo sino para la venta, lo que aporta un ingreso a la economía familiar en zonas rurales. La venta de hongos silvestres en los mercados se sigue realizando, especialmente en la zona centro del estado, donde la tradición del consumo de hongos comestibles silvestres se ha mantenido (figura 1).



FIGURA 1. Venta de hongos en un mercado popular (Foto: R. Medel, Coatepec, Ver., julio de 2007).

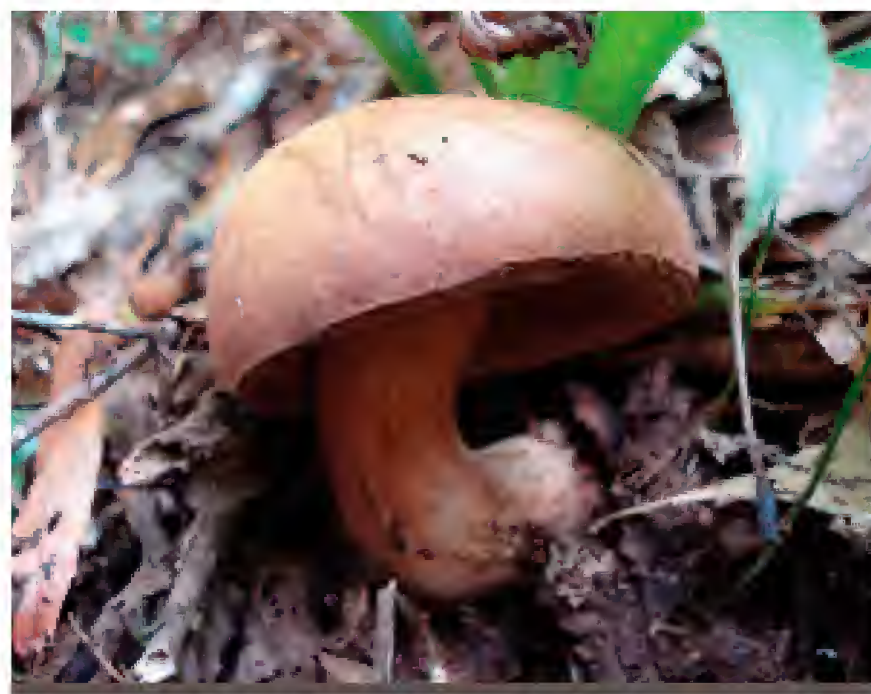


FIGURA 2. *Boletus edulis* s.l. (panza) (Foto: R. Medel, San Andrés Tlalnahuayocan Ver., septiembre de 2007).

Sin embargo, la sobreexplotación de este recurso y la reducción de los bosques en los últimos años, han impactado en la densidad de población de dichos organismos. Un ejemplo de esto es el hongo de encino *Cantharellus odoratus* (Schwein.) Fr., que Guzmán y Sampieri (1984) citaron como un hongo que se vendía abundantemente en los mercados de Huatusco, Veracruz. Esta especie crecía en los manchones de bosque mesófilo que aún se encontraban cerca de esta localidad, sin embargo, las estadísticas sobre este tipo de bosque en Veracruz apuntan a que aproximadamente el 87 % de la superficie original del mismo, en la entidad, se han eliminado, especialmente en las zonas de Córdoba y Orizaba (Challenger, 2003), de tal manera que es probable que la presencia de este hongo también se haya reducido.

El conocimiento actual de los hongos comestibles silvestres en el estado se puede sintetizar de la siguiente manera: de las 204 especies de hongos comestibles citadas de México, 131 especies están presentes en Veracruz, de éstas 79 se comercializan en los mercados y 61 son micorrícicas (asociadas a diversas especies de árboles) (Villarreal y Pérez-Moreno, 1989). Entre las especies más populares destacan el hongo blanco (*Tricholoma magnivelare* [Peck] Redhead), las morillas

(*Morchella* spp.), panza (*Boletus edulis* Bull.) (figura 2), masayel (*Boletus pinophilus* Pilát & Dermek), todas creciendo en los bosques de coníferas de Veracruz, no así el duraznillo (*Cantharellus cibarius* Fr.) que prospera en el bosque mesófilo de montaña. Otros hongos muy apreciados son los tecomates, que de acuerdo con Guzmán y Ramírez-Guillén (2001), pertenecen al complejo *Amanita caesarea* (Scop.) Pers., e incluyen al menos siete especies comestibles que crecen en bosques de coníferas y de encino (figura 3).

Es importante señalar que de estas especies, el hongo blanco (*T. magnivelare*) (figura 4) es el que alcanza un mayor precio de venta, incluso se encuentra entre los principales productos forestales no maderables con mayor derrama económica en nuestro país (Villarreal y Pérez-Moreno, 1989). *B. edulis*, *C. cibarius* y *Amanita caesarea*, también son especies apreciadas en el mercado, pero al igual que con el hongo blanco, su reproducción *in situ* es difícil ya que son especies micorrícicas. A diferencia del avance significativo de algunos países sobre el aprovechamiento de los hongos micorrícicos, en México los estudios han sido escasos, no habiéndose logrado aún evaluar el potencial de las cepas silvestres a las condiciones de suelo, vegetación y clima existentes en el país (Varela y Estrada-Torres, 1997).



FIGURA 3. *Amanita caesarea* (tecomate) (Foto: A. Julián Carlos, Chignautla, Pue., agosto de 2005).



FIGURA 4. *Tricholoma magnivelare* (hongo blanco) (Foto: A Julián Carlos, Chignautla Pue., septiembre de 2005).

La conservación de las especies de hongos comestibles silvestres en México se reduce a la NOM-059-SEMARNAT-2001 (<http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/NOM-ECOL-059Especies>), que considera nueve familias pertenecientes principalmente a los basidiomicetos, las cuales incluyen al menos 12 especies que se sabe son comestibles en Veracruz. De las especies consideradas, *A. caesarea*, *B. edulis*, *C. cibarius*, *Morchella conica* Krombh., *M. elata* Fr., y *M. esculenta* (L.) Pers. (mazorquitas) están sujetas a protección especial, además *Agaricus augustus*, *Boletus pinophilus*, *Suillus brevipes* (Peck) Kuntze, *S. granulatus* (L.) Roussel, *Hygrophorus russula* (Fr.) Kauffman, *Morchella costata* (Vent.) Pers. y *Leccinum aurantiacum* (Bull.) Gray, están consideradas como especies amenazadas.

#### LA CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA DE HONGOS SILVESTRES

Las poblaciones silvestres de los hongos comestibles son, por excelencia, la fuente más importante de material genético para el sector productivo de los hongos cultivados, pues al estar fisiológicamente adaptados a determinados sustratos y condiciones ambientales, pueden proporcionar variación genética suficiente para realizar estudios de aislamiento de las cepas y determinación de los parámetros óptimos de germinación y desarrollo de las fructificaciones, con la finalidad de seleccionar material genético que presente características deseables para la industria del cultivo (Chang y Miles, 2004). Por ende, la producción de hongos comestibles depende en gran parte de la disponibilidad de material genético silvestre y de su adecuada preservación.

En México, a pesar de ser el líder latinoamericano en producción de hongos comestibles, pocas investigaciones se han enfocado a recuperar y preservar germoplasma silvestre de las especies de interés industrial (Mata y Salmones, 2003). En Veracruz se refleja esta situación, ya que a pesar de ser conside-

rada una de las regiones mejor conocidas micológicamente en el país (Guzmán, 1998), sólo el cepario de hongos del Instituto de Ecología (Xalapa), ha conservado por varios años material genético de especies comestibles (Mata y Salmones, 2003), por lo que es reconocido oficialmente en el World Data Centre for Microorganisms. Esta colección fue fundada en 1982 y actualmente cuenta con más de 300 cepas, adscritas a 15 géneros (cuadro 1).

El método de conservación empleado en esta colección biológica es la criogenización, por lo que el germoplasma se mantiene inmerso en nitrógeno líquido a temperaturas ultrabajas (cerca a -196 °C).

## USO POTENCIAL DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

México es un país productor de gran cantidad de residuos orgánicos. Tan sólo en el año 2004, se generaron más de 70 millones de toneladas de residuos lignocelulósicos como resultado de la utilización de los recursos naturales, mediante la agricultura, la ganadería y los productos forestales (FAO, 2004) (cuadro 2). De este volumen producido, se calcula que un 70 % es desperdiciado y desechado de manera incorrecta en el ambiente (FAO, 2004).

CUADRO 1. Especies de hongos representadas en el Cepario de Hongos del Instituto de Ecología, A. C. (Xalapa).

ESPECIES	NOMBRES COMUNES
<i>Agaricus bisporus</i> (Lange) Imbach, <i>A. californicus</i> Peck, <i>A. placomyces</i> Peck, <i>A. praeclaresquamosus</i> A.E. Freeman, <i>A. xanthoderma</i> Genev.	Champiñón
<i>Auricularia polytricha</i> (Mont.) Farlow, <i>Auricularia</i> sp.	Oreja gelatinosa, oreja de Judas, chole, oreja chiclosa
<i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze	NC
<i>Flammulina velutipes</i> (Curt.:Fr.) Sing.	NC
<i>Ganoderma applanatum</i> (Persson)	Repisa de palo, oreja de palo
<i>Grifola frondosa</i> (Fr.) S.F. Gray	NC
<i>Hypsizygus marmoreus</i> (Peck) Bigelow	NC
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.:Fr.) Murr.	Hongo de comalito, pechuga de pollo de la madera
<i>Lentinula boryana</i> (Berk & Mont.) Pegler, <i>L. edodes</i> (Berk.) Pegler	Hongo de encino, cuerudo NC
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	NC
<i>Neolentinus suffrutescens</i> (Brot.: Fr.) May & Wood	Hongo de pino, hongo de ocote, iarín
<i>Oudemansiella canarii</i> (Jungh.) Höhn	NC
<i>Pholiota nameko</i> (Ito) Ito & Imai	NC
<i>Pleurotus citrinopileatus</i> Singer, <i>P. cornucopiae</i> (Paul.) Roll., <i>P. cystidiosus</i> O.K. Miller, <i>P. djamor</i> (Fr.) Boedijn vars. <i>djamor</i> y <i>salmonostramineus</i> , <i>P. eryngii</i> (DC. : Fr.) Quél., <i>P. ostreatus</i> (Jacq.: Fr.) Kumm., <i>P. pulmonarius</i> (Quél.) Sing.	Oreja blanca, oreja de izote, oreja de patancán, oreja de cazahuate, seta
<i>Volvariella volvacea</i> (Bull.:Fr.) Sing.	Hongo del bagazo, hongo rosado de la pulpa de café, pecho de gavilán

NC: no conocido

CUADRO 2. Cantidad anual de algunos de los principales residuos agrícolas que se generan en México y que pueden ser utilizados en el cultivo de hongos (FAO, 2004).

RESIDUO O SUBPRODUCTO	MILLONES DE TONELADAS POR AÑO
Paja de trigo	2.7
Paja de cebada	0.7
Paja de frijol	0.8
Rastrojo de maíz	48.1
Rastrojo de sorgo	6.5
Puntas de caña de azúcar	14.9

Los residuos lignocelulósicos, como su nombre lo indica, contienen altos porcentajes de lignocelulosa, una molécula compleja de difícil degradación microbiana (Reid, 1995). El mayor beneficio ecológico de los hongos comestibles es que son degradadores naturales de la lignocelulosa y otros compuestos recalcitrantes, proceso que logran mediante la secreción de diversas enzimas hidrolíticas y oxidativas durante sus ciclos de cultivo (Leonowicz *et al.*, 1999). Por lo tanto, con el cultivo de hongos comestibles no sólo se obtienen fructificaciones para consumo directo, sino además, se genera un material residual que puede ser aplicado como fertilizante. La actual producción rural y comercial de hongos comestibles utiliza más de 670 mil toneladas de residuos, con lo que se generan aproximadamente 300 mil toneladas de abono orgánico (Chang y Miles, 2004).

La mayoría de los residuos orgánicos son potencialmente adecuados como sustratos para el cultivo de hongos. Entre estos desechos cabe destacar, por los volúmenes anualmente producidos, el bagazo de caña de azúcar, la pulpa de café, el rastrojo de maíz, las pajas de gramíneas, entre otros. De estos residuos, el estado de Veracruz,

con un 44 % de su superficie dedicada a la agricultura, produce gran cantidad de ellos. Además, el aserrío de la madera y su comercialización en la entidad (180 mil m<sup>3</sup>/año) (Semarnat, 2006), proporciona volúmenes de residuos forestales ideales para su aprovechamiento en el cultivo de especies de hongos comestibles con mayor demanda de lignina en el sustrato.

## CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES

En los últimos años, la tendencia en el cultivo de hongos comestibles se ha orientado al desarrollo tecnológico con el propósito de elevar los rendimientos en la producción (Sánchez Vázquez *et al.*, 2007; Oei, 2003), esto ha posibilitado su incremento a nivel mundial. En México, el cultivo de hongos se ha realizado durante más de 70 años (Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990; Martínez-Carrera, 2000) y, actualmente, la producción comercial se estima en más de 38 mil toneladas anuales (Martínez-Carrera *et al.*, 2005). Las principales especies cultivadas son *Agaricus bisporus* (champiñón) (figura 5), *Pleurotus* spp. (seta) (figura 6) y *Lentinula edodes* (shiitake) (figura 7). De éstas, el champiñón representa el 94 % del total de hongos producidos a nivel nacional. Las setas, el segundo hongo producido y consumido, han tenido un desarrollo muy rápido, con una amplia aceptación en el mercado y un crecimiento de su industria. Este hongo ha tenido una atención especial, entre otras cosas, debido a sus propiedades nutrimentales y la amplia variedad de residuos orgánicos en los que es capaz de crecer. A diferencia del champiñón, el cultivo de las setas se adapta con relativa facilidad a condiciones rústicas, utilizando un sistema poco tecnificado, por lo que el proceso de producción es mucho más económico.



FIGURA 5. Cultivo comercial de champiñón (Foto: R. Gaitán Hernández, Planta Experimental de Cultivo de Hongos del Inecol en Xalapa, Ver., junio 2004).



FIGURA 6. *Pleurotus* (seta) cultivado en paja (Foto: R. Gaitán-Hernández, Planta Experimental de Cultivo de Hongos del Inecol en Xalapa, Ver., febrero de 2005).

La producción de hongos en México se distribuye en la parte centro y, en menor escala en el sur, favorecido, principalmente, por condiciones climáticas y por la presencia de grupos académicos especialistas en el tema que promueven y difunden la información disponible. Veracruz es una de las entidades donde se lleva a cabo el cultivo de hongos, junto

con Chiapas, Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Querétaro y Tlaxcala, entre otros (Gaitán-Hernández, 2007). En 2005, en Veracruz se comercializaron aprox. 2 800 toneladas de hongos cultivados, lo que representaría el 5.8 % de lo generado en el país (datos no publicados). De este volumen, aprox. 1 500 toneladas correspondieron a *Agaricus bisporus* (champiñón) y las restantes, aprox. 1 300 toneladas, a *Pleurotus* spp. (seta) (Gaitán-Hernández, 2007).

Los primeros estudios sobre cultivo de hongos en Veracruz fueron desarrollados en la Universidad Veracruzana y el extinto Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (López Ramírez, 1984; Martínez *et al.*, 1984), en este último centro de investigación se construyó la primera planta experimental para cultivo de *Pleurotus*, instalaciones que posteriormente se asignaron al Instituto de Ecología. Durante estos primeros años de experimentación, destacó el interés de la comunidad académica en implementar la tecnología para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos más abundantes en la región central de la entidad, como es la pulpa de café (Guzmán y Martínez-Carrera, 1985). Como resultado de la capacitación a diversos sectores de la población, en los siguientes años se establecieron algunas plantas comerciales, convirtiendo a la región central de Veracruz en un semillero de productores de hongos, esfuerzo reconocido a nivel nacional (Villegas de Gante, 1996).

#### EXPERIENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE HONGOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

En los años recientes el cultivo de hongos comestibles en la entidad ha tenido dos vertientes principales, la industria privada y la producción rural. La primera ha sido desarrollada por una empresa dedicada al cultivo del champiñón en el municipio de Las Vigas de Ramírez (Rioxal, S. A. de C. V.) y la segunda, conformada por el sector social, a la producción de setas. La



FIGURA 7. *Lentinula edodes*, comercialmente conocido como shiitake (Foto: R. Gaitán Hernández, Planta Experimental de Cultivo de Hongos del Inecol en Xalapa, Ver., septiembre de 2003).

producción rural se ha llevado a cabo por pequeños productores que, al no contar con condiciones para una producción rentable y exitosa, tienen una presencia inconstante en el mercado regional. Existen además otras especies potenciales de cultivarse en la entidad, pero sus técnicas de propagación aún están en experimentación (cuadro 3).

Por otra parte, y como se ha descrito en párrafos anteriores, los estudios con especies micorrícicas han sido escasos, por lo que deberán desarrollarse iniciativas que incidan sobre la conservación de especies, recuperación de ambientes perturbados, dinámicas de la propagación e interacción de las

especies fúngicas en diversos tipos de vegetación presentes en Veracruz (bosques tropicales, caducifolios, dunas, etcétera).

Además de sus cualidades organolépticas, algunas especies de hongos tienen gran demanda de consumo por sus propiedades medicinales. En Veracruz encontramos géneros de especies silvestres de *Agaricus*, *Auricularia*, *Ganoderma* y *Pleurotus*, entre otros, que probablemente contengan metabolitos secundarios de interés en la industria farmacológica. Esta área del conocimiento representa una gran oportunidad para aprovechar la abundancia fúngica de la entidad para diversificar los beneficios provenientes de los hongos.

CUADRO 3. Avances en el cultivo de hongos comestibles en Veracruz.

ESPECIE	NOMBRE COMERCIAL Y/O POPULAR	HÁBITAT NATURAL EN VERACRUZ Y/O ESTADOS ALEDAÑOS	SISTEMA DE CULTIVO	ETAPA DE DESARROLLO ALCANZADO	SUSTRATOS EMPLEADOS EN LA ENTIDAD
<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñón	Bosque de <i>Cupressus</i> , pero sólo se comercializan cepas extranjeras	Mecanizado, en bolsas o camas de cultivo. Requiere un sustrato parcialmente degradado y enriquecido con fuentes nitrogenadas.	Comercial	Pajas de gramíneas fermentadas y enriquecidas con fuentes nitrogenadas (Guzmán <i>et al.</i> , 1993)
<i>Auricularia</i> sp.	Oreja de Judas	Bosque tropical. Al menos existen dos especies potencialmente cultivables. Crecen en madera en descomposición	Artesanal a poco tecnificado, empleando bolsas en forma de troncos artificiales preparados con residuos vegetales estériles, suplementados con salvado y otras fuentes nitrogenadas.	Experimental	Viruta de <i>Inga jinicuil</i> (jinicuil) y pulpa de café (Pérez Merlo, 1998)
<i>Lentinula edodes</i>	Shiitake	Es una especie asiática que no crece silvestre en México.	Parcialmente mecanizado. Se emplean troncos y/o viruta de encino estéril suplementadas con fuentes nitrogenadas. Recientemente se evalúan sustratos pasteurizados.	Experimental	Bagazo de caña de azúcar, pajas de gramíneas, viruta de encino, pulpa de café (Mata y Gaitán Hernández, 1994; Gaitán-Hernández y Mata, 2004)
<i>L. boryana</i>	Cuerudo, hongo de encino	Bosques caducifolios y de encino, sobre madera en descomposición	Tecnología similar a la del shiitake	Experimental	Bagazo de caña de azúcar, viruta de encino y pulpa de café (Salmones y Gutiérrez Lecuona, 2008)
<i>Neolenitius suffrutescens</i>	Cuatsmeño, hongo de pino, hongo de ocote	Bosques templados, sobre madera de pino, en troncos o tocones.	Tecnología similar a la del shiitake	Experimental	Viruta de coníferas estéril (Gaitán Hernández y Mata, 2000)
<i>Volvariella volvacea</i>	Hongo de la paja, hongo rosado de la pulpa de café	Bosque tropical, sobre troncos de patancán, pulpa de café, bagazo de caña y otros materiales vegetales en descomposición	Poco tecnificada, empleando camas o contenedores con sustrato parcialmente degradado y pasteurizado	Experimental	Pajas de gramíneas, bagazo de henequén, pulpa de café, pseudotallo de plátano (Salmones <i>et al.</i> , 1996; Julián Carlos y Salmones, 2006)
<i>Pleurotus</i> spp.	Seta, oreja blanca, oreja de patancán	Las especies comerciales de <i>P. ostreatus</i> y <i>P. pulmonarius</i> no crecen silvestres en la región. Una especie similar, <i>P. djamora</i> , es muy común en bosques tropicales y templados, sobre madera y/o bagazos en descomposición	Tecnología adaptable a condiciones rústicas a mecanizada. Bolsas con sustrato pasteurizado	Comercial	Pajas de gramíneas, pulpa de café, diversos desechos agroindustriales (Guzmán <i>et al.</i> , 1993; Gaitán-Hernández <i>et al.</i> , 2002)

## CONCLUSIONES

Los hongos, ocupan el segundo lugar en número de especies en la Tierra, después de los insectos, por lo que juegan un papel importante en la conservación de la diversidad biológica. La gran destrucción que se está efectuando de la vegetación en el país repercute enormemente sobre las poblaciones de las especies fúngicas, con el grave peligro de la extinción de muchas de ellas, antes, incluso, de poder ser estudiadas o catalogadas, por lo que el manejo sustentable de los hongos debe considerarse una actividad prioritaria para lograr preservar la integridad del entorno natural. Los hongos proveen múltiples beneficios en nuestra vida cotidiana, desde su importante papel como descomponedores de materia orgánica, hasta constituir la fuente de productos farmacológicos esenciales para la salud humana y animal, por lo que un aprovechamiento adecuado de los recursos fúngicos de la entidad permitirían no sólo considerar las propiedades nutrimentales de las especies comestibles, sino además, preservar la diversidad existente y promover su uso sustentable.

Por otra parte, el cultivo de hongos comestibles es una alternativa viable para diversas regiones de Veracruz, debido a su clima, disponibilidad de materias primas y ubicación geográfica, con grandes perspectivas de incorporación a los mercados nacional e internacional. Esta actividad representa una tecnología que busca aumentar los ingresos económicos y diversificar el sector productivo, sin efectos negativos al ambiente, por lo que se espera que el sector financiero incremente y fortalezca los programas de extensión que apoyen a esta industria.

## LITERATURA CITADA

- CHALLENGER, A., 2003, *La situación actual del medio ambiente en Veracruz. Los servicios ambientales y la conservación ecológica*, Conferencia en la Reunión sobre Medio Ambiente, Huatusco Veracruz, Semarnap.
- CHANG, S.T. & P.G. Miles, 2004, *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact*, CRC Press, 2ª ed., Boca Ratón, 451 pp.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION of the United Nations (FAO), 2004, URL: ([http://www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm)).
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R., 2000, Obtención de cepas de *Neolentinus suffrutescens* por entrecruzamiento, su caracterización *in vitro* y producción de cuerpos fructíferos a nivel de planta piloto, *Revista Iberoamericana de Micología* 17: 20-24.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R., D. Salmones, R. Pérez-Merlo y G. Mata, 2002, *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción*, Instituto de Ecología, Xalapa, 56 pp.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ y G. Mata, 2004, Cultivation of edible mushroom *Lentinula edodes* (shiitake) in pasteurized wheat straw, alternative use of geothermal energy in Mexico, *Engineering Life Science* 4(4): 363-367.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R., 2007, Transferencia de tecnología de cultivo de *Pleurotus* spp, como alternativa de beneficio social y económico en el estado de Veracruz, en J.E. Sánchez Vázquez, D. Martínez-Carrera, H. Leal y G. Mata (eds.), *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*, El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas, pp. 101-112.
- GUZMÁN, G., 1994, Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y de México, *Revista Iberoamericana de Micología* 11: 81-85.
- , 1997, *Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina*, Conabio/Instituto de Ecología, Xalapa.
- , 1998, Inventoring the fungi of Mexico, *Biodiversity and Conservation* 7: 369-384.
- , 2001, Hallucinogenic, medicinal, and edible mushroom in Mexico and Guatemala: traditions, myths, and knowledge, *International Journal of Medicinal Mushroom* 3: 309-408.

- GUZMÁN, G., G. Mata, D. Salmones, C. Soto y L. Guzmán-Dávalos, 1993, *El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales*, IPN, México, 245 pp.
- GUZMÁN, G. y A. Sampieri, 1984, Nuevos datos sobre el hongo comestible *Cantharellus odoratus* en México, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 19: 201-205.
- GUZMÁN, G. y D. Martínez-Carrera, 1985, Planta productora de hongos comestibles sobre pulpa de café, *Ciencia y Desarrollo* 11(65): 41-48.
- GUZMÁN, G. y F. Ramírez-Guillén, 2001, *The Amanita caesarea complex*, Biblioteca Mycologica 187, J. Cramer, Berlin, 66 pp.
- HAWKSWORTH, D.L., 1991, The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation, *Mycological Research* 95(6): 641-655.
- JULIÁN CARLOS, A. y D. Salmones, 2006, Cultivo de *Volvariella volvacea* en residuos de la cosecha de plátano y paja de cebada, *Revista Mexicana de Micología* 23: 87-92.
- LEONOWICZ, A., A. Matuszewska, J. Luterek, D. Ziegenhagen, M. Wojtas-Wasilewska, M., N.-S. Cho, M. Hofrichter, J. Rogalski, 1999, Biodegradation of lignin by white rot fungi, *Fungal Genetics and Biology* 27: 175-183.
- LÓPEZ RAMÍREZ, A., 1984, *Cultivo doméstico de hongos comestibles*, Universidad Veracruzana, Xalapa.
- MARTÍNEZ, D., M. Quirarte, C. Soto, D. Salmones y G. Guzmán, 1984, Perspectivas sobre el cultivo de hongos comestibles en residuos agro-industriales en México, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 19: 207-219.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., 2000, Mushroom biotechnology in tropical America, *International Journal of Mushroom Sciences* 3: 9-20.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., y A. Larqué-Saavedra, 1990, Biotecnología en la producción de hongos comestibles, *Ciencia y Desarrollo* 95: 53-64.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., D. Nava, M. Sandoval, M. Bonilla y Y. Mayett, 2005, Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico, *Micologia Aplicada International* 17: 9-20.
- MATA, G. y D. Salmones, 2003, Edible mushroom cultivation at the Institute of Ecology in Mexico, *Micologia Aplicada International* 15(1): 23-29.
- MATA, G. y R. Gaitán-Hernández, 1994, Avances en el cultivo del shiitake en la pulpa de café, *Revista Iberoamericana de Micología* 11:90-91.
- OEI, P., 2003, *Mushroom cultivation*, 3ª ed., Backhuys Pu., 429 pp.
- PÉREZ MERLO, R., 1998, *Determinación del patrón de sexualidad de cepas mexicanas de Auricularia fuscococcinea y su cultivo sobre pulpa de café y aserrín*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa.
- REID, I.D., 1995, Biodegradation of lignin, *Canadian Journal of Botany* 37: 1011-1018.
- SALMONES, D. y M.T. Gutiérrez Lecuona, 2008, Cultivation of Mexican *Lentinus boryanus* (Berk. et Mont.) Sing. (Agaricomycetidae) strains on alternative substrates, *International Journal of Medicinal Mushrooms* 10 (1): 73-78.
- SALMONES, D., K.N. Waliszewski y G. Guzmán, 1996, Use of some agro-industrial lignocellulose by-products for edible mushroom *Volvariella volvacea* cultivation, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 12(2): 69-74.
- SÁNCHEZ VÁZQUEZ, J.E., D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal Lara (eds.), 2007, *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*, El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas, 236 pp.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), 2006, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, URL: (<http://portal.semarnat.gob.mx/>).
- VARELA, L., A. Estrada-Torres, 1997, Diversity and potential use of mycorrhizae for sustainable development in Mexico, en M.E. Palm y I.H. Chapela, (eds.), *Mycology in sustainable development, expanding concepts, vanishing borders*. Parkway Pub., Boone, pp. 160-182.

VILLARREAL, L., y J. Pérez-Moreno, 1989, Los hongos comestibles silvestres de México. Un enfoque integral, *Micología Neotropical Aplicada* 2: 72-114.

VILLEGAS DE GANTE, A., 1996, *Biotecnología intermedia en México: la producción de hongos comestibles*, CIES-TAAM/Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, 107 pp.



Kayac nanciyaga. Banco de imágenes, Conabio (Foto: Mary Carmen García)



---

## SECCIÓN VII

# Sistemas productivos y alternativas económicas sustentables

### RESUMEN EJECUTIVO

Cesáreo Landeros-Sánchez

El modelo económico neoliberal que impera en nuestro país ha repercutido en los sistemas de producción agropecuario, forestal y acuícola, y en el aprovechamiento de la flora y fauna del estado de Veracruz. Lo anterior se ha traducido en la práctica de sistemas de producción no sostenibles que representan una amenaza para la conservación de la biodiversidad. Muestra de esto es la ganadería en el estado de Veracruz que toma alrededor del 69 % de la tierra de labor, la cual puede considerarse totalmente deforestada y bajo el monocultivo de pastos. La superficie de maíz, también altamente deforestada, participa con 12.7 % de la superficie agropecuaria estatal. El cultivo de caña de azúcar (5 % de la superficie agropecuaria), es un caso especial de eficiencia para producir capital por unidad de superficie (28.2 % del PIB agropecuario), sólo que, al igual que el maíz y la ganadería, es una actividad de monocultivo y totalmente deforestada. La suma porcentual de estas tres actividades en el estado alcanza el 86.8 % de la superficie bajo labor agrope-

cuaria de Veracruz, lo que indica la problemática reducción de biodiversidad en el ámbito agropecuario veracruzano, además de los problemas de erosión de suelos que han resultado, los cuales se han hecho evidentes en más del 40 % del estado.

Del total de la superficie cultivada con café (2.9 % de la superficie agropecuaria estatal), no más del 5 % se produce bajo sombra y, junto con algunos frutales, constituyen los pocos sistemas agropecuarios que contribuyen a la conservación de la biodiversidad agropecuaria estatal. Por otro lado, existen grupos de plantas como las epífitas que enfrentan dos principales fuentes de presión para su sobrevivencia: la primera es la deforestación y fragmentación del hábitat, y la segunda es la extracción de las plantas para uso humano.

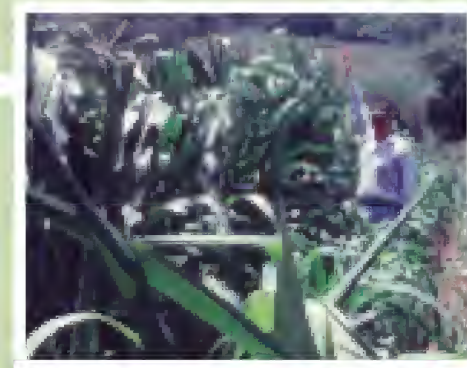
Todo lo anterior ha provocado también impactos negativos en los sistemas ecohidrológicos de Veracruz, los cuales se han hecho manifiestos a través de: contaminación de mantos freáticos; contaminación de sistemas acuáticos como lagos, lagunas

y mares; modificación de la morfología de los cauces y de las zonas adyacentes; alteración de la dinámica hidrológica, principalmente de la recarga local y de las relaciones de flujo entre el acuífero y el río. En particular, es esencial mantener la calidad del agua, así como asegurar la disponibilidad de este recurso en todos los sistemas, esto es, agrícola, pecuario, forestal, pesquero y acuícola, así como preservar los diversos hábitats que integran los ecosistemas naturales, a fin de procurar su conservación y sostenibilidad, y promover en éstos el turismo alternativo. Esta modalidad de turismo plantea, además de un ingreso económico para los pobladores locales, la

conservación de los recursos naturales y sociales del área, y se propone como una estrategia viable para el uso sustentable de la riqueza biológica de Veracruz, subrayándose su contribución a la conservación de la biodiversidad.

Veracruz es un estado que aún presenta alta biodiversidad. Cuenta con instituciones de enseñanza e investigación que pueden seguir contribuyendo a la descripción y explicación de las causas y efectos de la pérdida de biodiversidad para encontrar soluciones a esta problemática. Además, ha comenzado a formarse la conciencia ciudadana para contribuir a la solución de este problema.

# El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola



Juan Pablo Martínez Dávila  
Felipe Gallardo López  
Lissette C. Bustillo García  
Arturo Pérez Vázquez

## INTRODUCCIÓN

El proceso a través del cual los agricultores veracruzanos desarrollan la producción de alimentos y materias primas que la sociedad demanda, bajo criterios heredados de la Revolución Verde, tienen –históricamente– efectos socioeconómicos múltiples, pero sobre todo negativos en el aspecto ambiental.

Es por ello que el enfoque de agroecosistema, para estudiar y posteriormente transformar a la agricultura, contiene elementos fundamentales para pensar que –con base en él– es posible contribuir al mejoramiento de la biodiversidad veracruzana. Por el hecho de contar con una mirada integral y con un evidente criterio ecológico, puede pensarse que el complejo manejo de los agroecosistemas podría cumplir con la expectativa de mantener y mejorar la cantidad y calidad de los alimentos, materias primas y servicios ambientales que la sociedad demanda, manteniendo, con equilibrio dinámico, la base de los recursos naturales (Morin, 2002).

En ese ambicioso proceso es necesario vincular el concepto de agroecosistema con el de desarrollo

rural sustentable (DRS). En ambos conceptos, el hombre, manejador del sistema, protagonista fundamental del DRS, tiene la responsabilidad social de cumplir su misión productiva bajo la necesaria mirada del equilibrio ecológico, y no es viable, por tanto, intentar contribuciones al mejoramiento de la biodiversidad sin considerar al principal protagonista de este proceso, tomando en cuenta, por supuesto, las responsabilidades obvias de su contexto socioeconómico y político.

Un plan para la conservación y mejoramiento de la biodiversidad en el estado de Veracruz, obliga a considerar el papel del agroecosistema y su manejador; pero también tiene que ver con los procesos formativos de agrónomos, médicos veterinarios y tomadores de decisiones, entre otros muchos actores del proceso.

## EL CONCEPTO DE AGROECOSISTEMA

Un concepto científico es una síntesis abstraída, en la cual se expresan los conocimientos adquiridos

acerca de la actividad de algún proceso, de una relación entre procesos o de sus conexiones internas (De Gortari, 1984). La palabra agroecosistema es una palabra compuesta (agro-eco-sistema). Agro del latín *ager* o *agri* que significa campo (Diccionario etimológico del español, 1990) y ecosistema, concepto introducido en 1935 por Tansley, definido como “la distribución de las especies y su ensamblaje, el cual es fuertemente influenciado por el ambiente asociado”.

Los agroecosistemas, al igual que los ecosistemas incluyen el componente biótico y abiótico e interacciones entre ellos (Maass y Martínez-Yrizar, 1990). Pero los primeros difieren de los segundos porque incluyen además componentes como el social, económico, político y tecnológico, que orienta y define la producción.

Es a partir del año de 1970 en que se empiezan a aplicar algunos conceptos básicos de ecología en la agricultura (Cox y Atkins, 1979; Spedding, 1979; Lowrance, Stinner y House, 1984). La aplicación de la herramienta, teoría ecológica y de sistemas en la agricultura desde un enfoque holístico a los agroecosistemas (Chiavenato, 1997) ha permitido analizar el proceso agrícola en función de flujos de energía, materia e interacciones biológicas, únicamente.

De esa manera surge la agroecología, la cual se ha centrado en gran medida a estudiar las relaciones ecológicas que se dan en la agricultura tradicional e industrial (Altieri, 1999; Gliessman, 1975 y Ruiz, 1995). Ciertamente, los ecosistemas tienen un valor biológico, ecológico y estético innegable, pero los agroecosistemas, por su lado, poseen un valor eminentemente social en términos de producción de alimentos y otros satisfactores sociales de uso o consumo.

El concepto de agroecosistema, construido por el autor (Martínez, 2001) se presenta como una opción para su manejo eficiente en lo económico, social y ambiental. El Agroecosistema

(AST) es un modelo conceptual de la actividad agrícola en su nivel mínimo de control cibernético humano. Es considerado unidad óptima para el estudio de la agricultura y para su propia transformación; está integrado a un sistema agrícola y rural regional a través de cadenas producción-consumo, con interferencias de política y cultura de instituciones públicas y privadas. El AST es un sistema contingente abierto y construido a partir de la modificación social de un sistema natural, para contribuir a: 1) La producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales que la sociedad en su conjunto demanda; 2) al bienestar de la población rural, y 3) a su propia sostenibilidad ecológica. El AST posee procesos dinámicos de retroalimentación y control, regulados y autorregulados, como respuesta a variaciones internas y de su entorno. La dimensión espacial, biodiversidad y objetivos del Agroecosistema dependen del tipo de controlador que lo regula, de los recursos que éste maneja y de su interrelación con el entorno complejo.”

#### APORTACIÓN DE BIODIVERSIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS AL AMBIENTE

En el análisis de los agroecosistemas se sabe que: son éstos un ecosistema que ha sido modificado para satisfacer necesidades humanas de alimentos y materias primas y que tienen en sí mismos la semilla de su propia reducción en la biodiversidad. Es responsabilidad, entonces, de científicos, gobernantes, legisladores, pero sobre todo de quienes manejan directamente los agroecosistemas, el que sea posible producir lo que la sociedad necesita para alimentarse, sin afectar en exceso el equilibrio dinámico de la biota. El impacto que los agroecosistemas generan en pérdida de biodiversidad puede observarse en el cuadro 1.

CUADRO 1. Composición de actividades agropecuarias en el estado de Veracruz.

CULTIVOS	SUPERFICIE (ha)	%	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (miles de pesos)	%	EFICIENCIA SUPERFICIE- VALOR
Ganadería	3 644 738.69	69.11	3 850 787.25	23.86	0.345
Maíz	669 076.02	12.70	1 958 204.11	12.12	0.954
Frijol	37 523.40	0.71	147 007.89	0.91	1.282
Arroz	29 382.35	0.56	179 233.47	1.10	1.964
Sorgo grano	23 427.00	0.44	50 664.72	0.31	0.704
Chile	5 145.50	0.10	215 416.95	1.33	13.300
Papa	5 023.00	0.10	143 834.06	0.89	8.900
Sandía	4 902.75	0.09	93 017.45	0.57	6.333
Soya	4 027.00	0.08	9 902.50	0.06	0.750
Haba seca	3 410.50	0.06	30 697.46	0.19	3.166
Tabaco	2 766.00	0.05	95 186.64	0.59	11.800
Otros cíclicos	15 416.32	0.29	433 147.17	2.68	9.241
Caña de azúcar	261 792.04	5.00	4 552 847.20	28.19	5.638
Naranja	160 928.70	3.05	1 252 523.04	7.75	2.540
Café	152 993.00	2.90	1 115 772.98	6.91	2.380
Mango	31 526.00	0.60	346 611.92	2.15	3.583
Piña	23 849.00	0.45	218 646.51	1.35	3.000
Limón	21 770.50	0.41	568 413.59	3.52	8.585
Papaya	12 412.50	0.24	191 729.29	1.19	4.958
Plátano	11 923.45	0.23	133 272.60	0.83	3.609
Tangerina	11 826.00	0.22	162 056.63	1.00	4.545
Otros perennes	137 737.05	2.61	403 250.49	2.50	0.958
TOTAL	5 271 597.08	100.00	16 152 223.92	100.00	

FUENTE: INEGI, 2001, Anuario Estadístico Veracruz.

La ganadería, como ejemplo de mayor efecto negativo (Posee, 1984), toma más del 69 % de la tierra de labor, superficie que puede considerarse totalmente deforestada y bajo monocultivo de pastos, aunque aporta, a nivel estatal, un 23.9 % del PIB agropecuario, con una baja eficiencia de la superficie para producir capital (0.345 de punto porcentual por cada uno de superficie). La superficie de maíz, también prácticamente deforestada en el estado, participa con 12.7 % de la superficie agropecuaria, con casi un punto porcentual de capital por cada uno de superficie, se agrega a las actividades agropecuarias que más contribuyen a la reducción de la biodiversidad ambiental.

El cultivo de caña de azúcar (5 % de la superficie agropecuaria), es un caso especial de eficiencia para

producir capital por unidad de superficie (28.2 % del PIB agropecuario) sólo que, igual que el maíz y la ganadería, es una actividad de monocultivo y totalmente deforestada. La suma porcentual de estas tres actividades alcanza un 86.8 % de la superficie bajo labor agropecuaria en el estado de Veracruz, lo cual indica dónde están los problemas más importantes en la de reducción de biodiversidad en Veracruz. Atención especial merece la producción de café, el cual toma 2.9 % de la superficie agropecuaria estatal, de esta proporción se estima que no más del 5 % se produce bajo sombra que, sumado a algunos frutales, son los pocos relictos agropecuarios donde la producción contribuye al mantenimiento de la biodiversidad agropecuaria estatal.

## EXPERIENCIAS EN EL ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD AGRÍCOLA EN VERACRUZ

Se presentan dos estudios que describen el efecto del tipo de tenencia en la diversidad agrícola y la eficiencia en el uso de la energía en el estado de Veracruz. Estos son:

a) Factores que determinan la diversidad agrícola y los propósitos de producción en los agroecosistemas del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México (Gallardo, 2001). El objetivo de esta investigación fue caracterizar la diversidad agrícola (DA), los propósitos de producción y la asociación de factores que los determinan en los agroecosistemas con producción bovina del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. Los datos de una encuesta desarrollada en 1997 en ese municipio se analizaron con la técnica de correlación canónica. Se encontraron seis componentes agropecuarios principales: bovinos, maíz (*Zea mays*), papaya (*Carica papaya*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mango (*Mangifera indica*) y acahual (vegetación secundaria); la combinación de éstos determinó la DA. El promedio de la DA ejidal (E) fue 0.41 y 0.30 en la pequeña propiedad (PP) (Shannon y Weaver, 1963). El autoconsumo es superior en el tipo E (30 %) en relación con PP (11.75 %). La correlación canónica significativa ( $r=0.63$ ) permite inferir que los agroecosistemas con mayor diversidad agrícola y producto destinado al autoconsumo se asocian con el régimen de tenencia ejidal, con menor superficie y localizados en la zona agrícola de temporal. Lo anterior define que los productores con menos tierra y sin acceso a la infraestructura de riego diseñan una estrategia de subsistencia, con manejo diversificado en sus actividades agropecuarias, para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación y participar en el mercado con una parte de su producción.

b) Grado de desarrollo rural sustentable en el Distrito de Desarrollo Rural 006, La Antigua, Veracruz (Bustillo, 2008). En este trabajo, se

presentan procesos autopoiéticos (autorreproducción) enmarcados en la relación sociedad-naturaleza, donde además de los procesos sociales (flujo de materiales y energía) que son dados, producto de las decisiones de los seres humanos en sus modos de reproducción, también existen elementos del sistema normativo, tecnológico y económico (Herscher, 2004). Por ello, comprender los componentes que ayudan a explicar el proceso autorreproductivo-cultural que obstaculiza el logro del desarrollo rural sustentable en tres tipos de productores (subsistencia, intermedios y empresarios), del Distrito de Desarrollo Rural 006, representa un reto en esta investigación.

## GRADO DE COGNICIÓN ECOLÓGICA (GCE)

El grado de cognición ecológica se consideró un impulsor de conductas pro-ambientales, basado en la evaluación de las consecuencias de nuestras acciones y en la obligación moral hacia el ambiente. Se observa en la figura 1, que los empresarios ( $3.01 \pm 0.1$ ) tienen el mayor grado de cognición ecológica (GCE) diferenciándose ( $p<0.01$ ) del grupo de subsistencia ( $1.28 \pm 0.1$ ) e intermedios ( $1.42 \pm 0.1$ ). Son los empresarios los que tienen mayores oportunidades para acceder a la educación e información, lo cual conecta directamente esos temas con el grado de desarrollo rural sustentable (GDRS), que al estar conformado, además de eficiencia energética (EE), por el grado de cognición ecológica (GCE), el índice de manejo agrícola sostenible (IMAS) y el índice de bienestar económico racional (IBER), sería lógico encontrar que quienes tengan un mayor GDRS sean los que manejen más eficientemente la energía en sus agroecosistemas. Para determinar si la eficiencia energética de los agroecosistemas está influenciada por el grado de cognición ecológica de los productores, se hace un análisis suscinto enfocado.

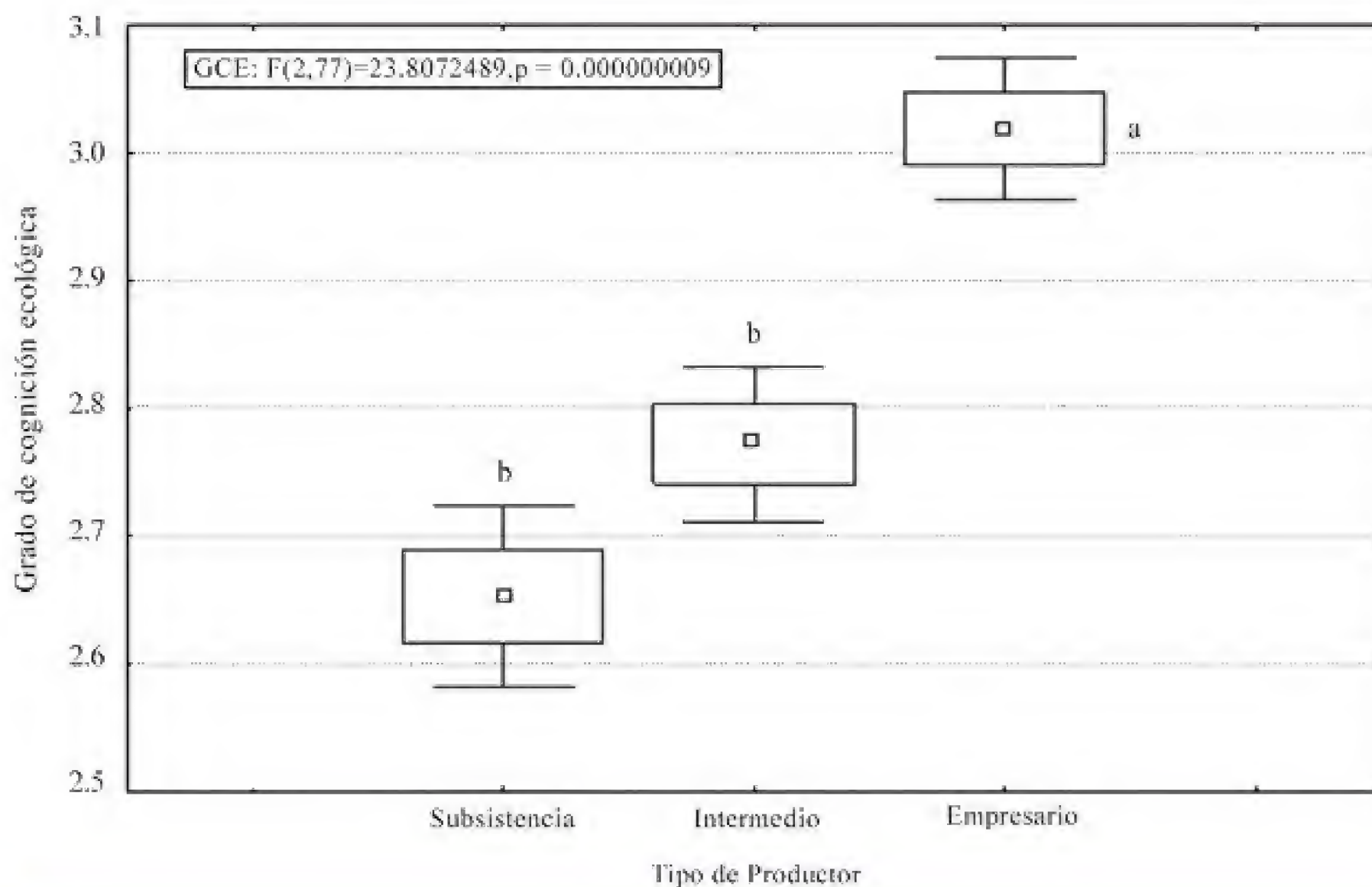


FIGURA 1. El grado de cognición ecológica del tipo empresario posee el mayor nivel de cognición ecológica, lo cual parecería definir un manejo sostenible de los agroecosistemas.

#### ANÁLISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se realizó un análisis de flujo total de energía controlable, en una muestra de 80 agroecosistemas en el Distrito de Desarrollo Rural 006. En la mayor parte de los balances energéticos se ha encontrado que la agricultura moderna ha alterado su naturaleza misma, ya que pasó de apoyarse fundamentalmente en un flujo de energía renovable hasta llegar a ser una actividad muy exigente en combustibles fósiles, recursos no renovables y reducción de la biodiversidad. Del análisis comparativo de eficiencia energética (EE) por tipo de productor, se puede observar en la figura 2 que, contra lo esperado, los más efi-

cientes son los productores del tipo intermedio ( $4.62 \pm 1.4$ ) y que además se diferencian ( $p < 0.01$ ) con respecto a los productores de subsistencia ( $2.01 \pm 0.7$ ) y empresarios ( $2.56 \pm 0.8$ ). Se esperaba que a mayor cognición ecológica hubiera mayor eficiencia energética, lo cual no sucedió.

Como se observa, los productores más eficientes (intermedios) pertenecen a los agroecosistemas con caña de azúcar, que de por sí es de los cultivos más eficientes para producir energía metabolizable por unidad de energía consumida, lo que refleja que, sin manifestar criterios intencionales de manejo energético en la entrevista, dirigidos a mejorar la relación salida/insumos de energía, obtienen los mejores resultados.

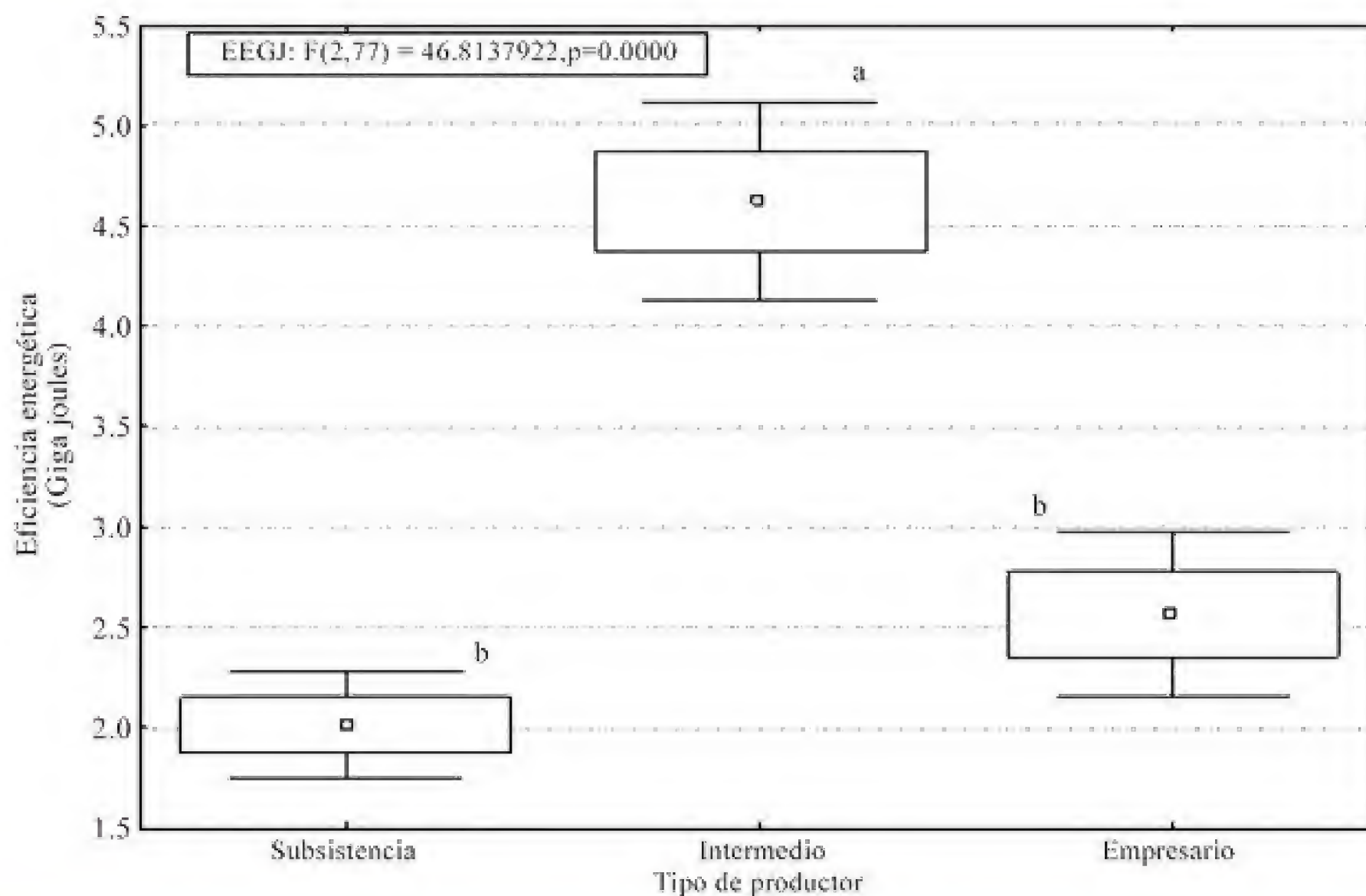


FIGURA 2. A pesar de que los empresarios tienen mayor conocimiento ecológico, su eficiencia energética es casi tan baja como la del tipo de subsistencia.

### ÍNDICE DE BIENESTAR ECONÓMICO RACIONAL (IBER)

Con respecto al índice de bienestar económico racional (IBER), en la figura 3, puede verse que los empresarios ( $1.61 \pm 0.1$ ) se diferenciaron ( $p < 0.01$ ) del grupo de subsistencia ( $1.46 \pm 0.09$ ) y fueron iguales al grupo intermedio ( $1.52 \pm 0.1$ ). Este indicador de bienestar refleja, por una parte, la calidad de vida de los productores, cuantificada en términos de infraestructura y potencialidades para participación efectiva y por la otra el consumo de la familia del productor.

Por tanto, de los resultados del IBER y sus componentes, se puede constatar que el grupo empresarial tiene mayor acceso en las dimensiones que están

directamente relacionadas con las políticas de estado (educación, salud, participación, vivienda y servicios, apoyos y recreación).

### ÍNDICE DE MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTABLE (IMAS)

En otro de los indicadores que componen el grado de desarrollo rural sustentable, específicamente en el índice de manejo agrícola sostenible (IMAS), se encontró que los empresarios ( $1.46 \pm 0.2$ ) y el grupo intermedio ( $1.42 \pm 0.1$ ) son iguales (figura 4), por lo que se puede entender que los paquetes tecnológicos utilizados carecen de criterios óptimos de aplicación. Al comparar los resultados aquí

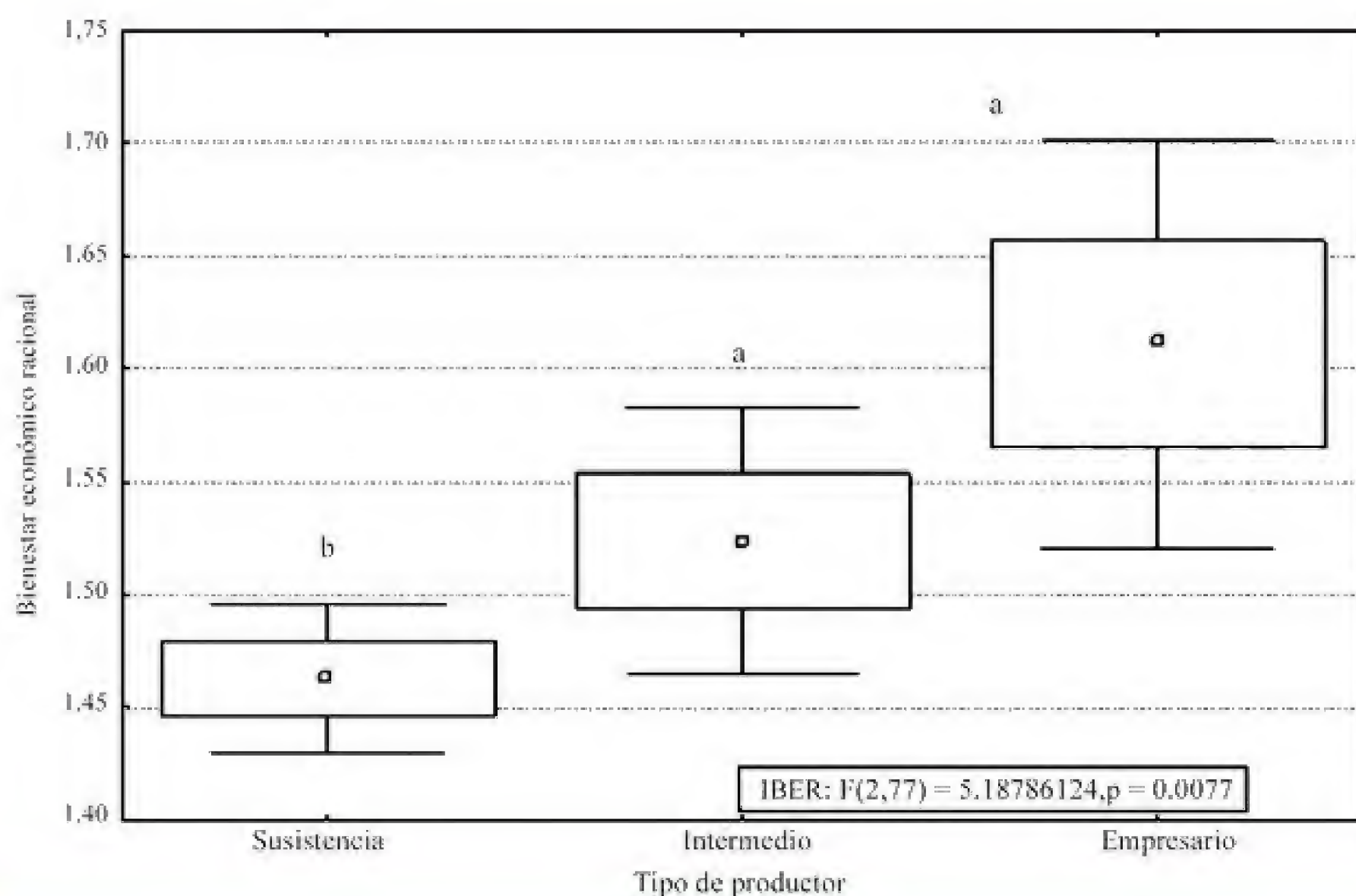


FIGURA 3. Aunque el Índice de Bienestar Económico Racional (IBER) empresarial es el más alto y estadísticamente igual al intermedio, su eficiencia energética es baja.

encontrados con los de eficiencia energética, donde el grupo intermedio resultó ser el más eficiente, se corresponden dichos resultados, ya que en ambos casos no se relacionan con criterios de sostenibilidad en su manejo.

#### COMPONENTES DEL GDRS DE ACUERDO AL TIPO DE PRODUCTOR

Del análisis del GDRS por tipo de productor, se puede observar en la figura 5, que todos los grupos son diferentes ( $p < 0.01$ ). Los intermedios tienen mayor grado de desarrollo rural sustentable ( $2.58 \pm 0.3$ ), mientras que los grupos de subsistencia y empresarios tuvieron medias de  $1.85 \pm 0.1$  y  $2.16 \pm$

$0.2$ , respectivamente. Este indicador está compuesto por los índices antes analizados: eficiencia energética (EE), bienestar económico racional (IBER), grado de cognición ecológica (GCE) y el índice de manejo agrícola sostenible (IMAS), resultando los tres últimos superiores para el grupo empresarial, mientras que la EE fue superior en el grupo intermedio, de manera que el efecto de la EE, sobre el indicador GDRS, ejerció un efecto importante al colocar al grupo intermedio como el grupo con mejor GDRS.

Podría considerarse, finalmente, que en ninguno de los tres grupos, aún cuando uno de ellos es más eficiente en el uso de la energía, existe, o es muy reducido, el proceso de reproducción sociocultural (autopoiesis) para lograr la sostenibilidad.

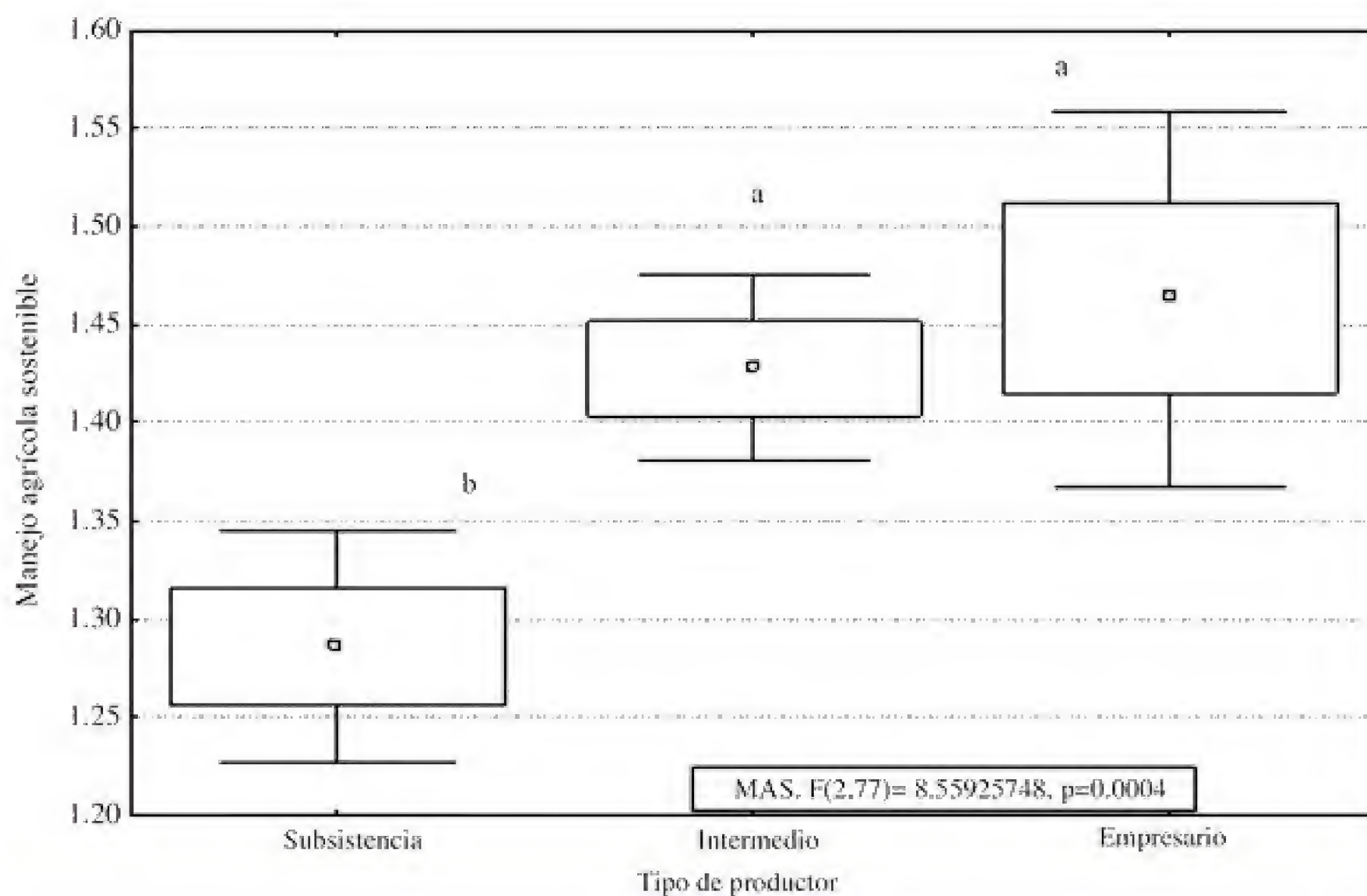


FIGURA 4. El tipo empresario tiene el índice de manejo agrícola sostenible también más alto, pero no es el más eficiente en el manejo de la energía.

## CONCLUSIONES

A través de una síntesis de lo aprendido se entendió que las condiciones de manejo de los agroecosistemas en el estado de Veracruz son ampliamente negativas para incrementar la biodiversidad. Por otra parte, el sector que de alguna manera produce con mayor diversidad actividades agropecuarias son los productores de subsistencia, debido a que su estrategia de supervivencia se los exige, para ellos comer es primero que capitalizarse y ser competitivo; asunto aún no bien comprendido por los tomadores de decisiones en el ámbito gubernamental. Finalmente, pudo verse que a pesar de tener mayor cognición ecológica y mejores condiciones económico-financieras para manejar los

agroecosistemas, la lógica de la ganancia supera al interés por mejorar la biodiversidad y la eficiencia energética. Sin embargo, el estado de Veracruz cuenta con una gran diversidad de instituciones educativas y de investigación, lo cual podría potenciar el estudio y manejo racional de los recursos naturales. Con base en las potencialidades antes mencionadas y el entendimiento y construcción de un concepto de agroecosistema, como unidad fundamental de estudio de la agricultura veracruzana, se permitiría visualizar la posibilidad de ayudar en el cumplimiento de la misión social de todos los actores aquí mencionados, sobre la base de la conservación y mejoramiento de la biodiversidad de los ecosistemas naturales y transformados en nuestra entidad.

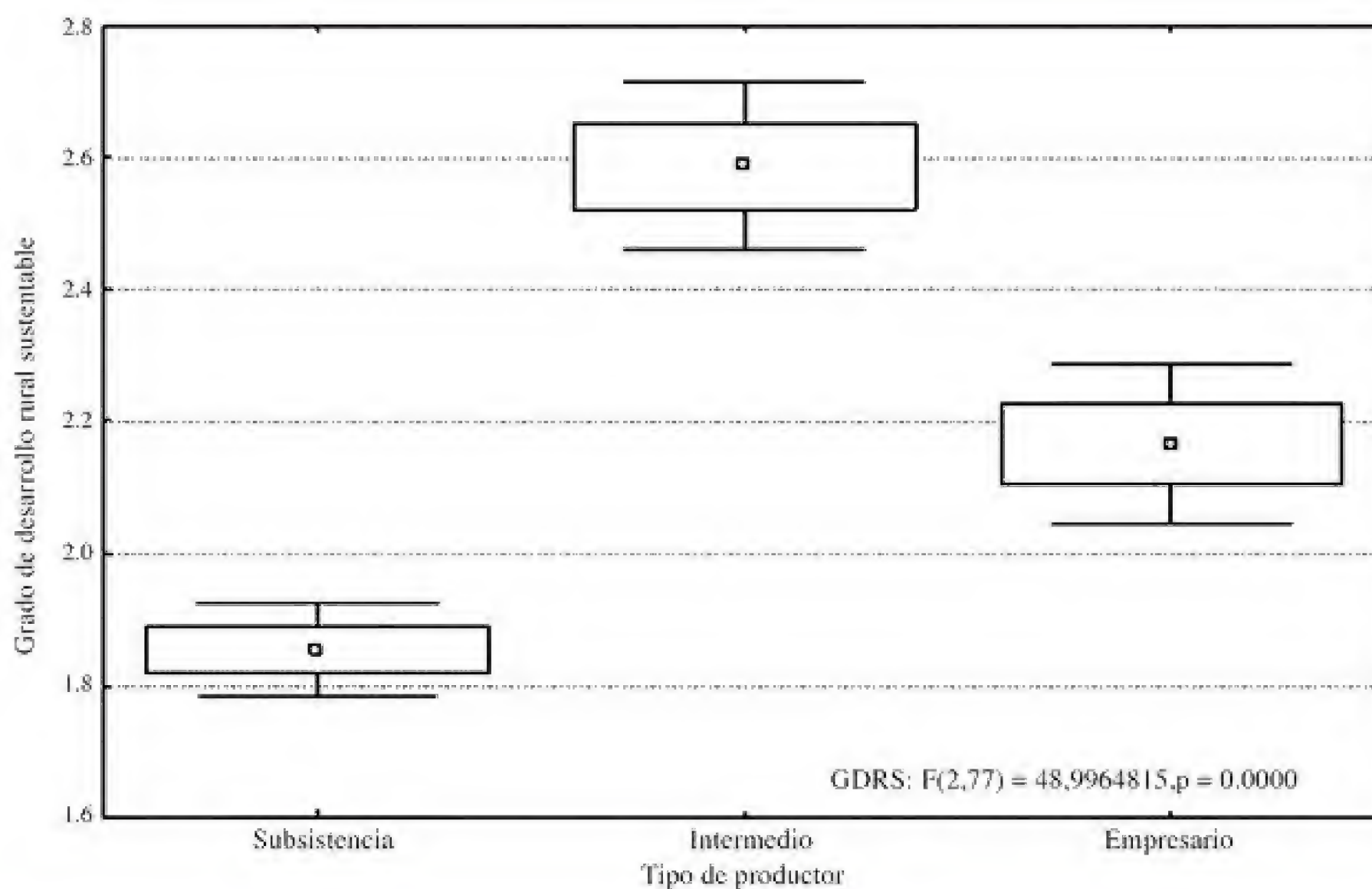


FIGURA 5. El Grado de Desarrollo Rural Sostenible (GDRS) del tipo intermedio es el más alto y el empresario y subsistencia poseen un GDRS bajo, tal como sucede con la eficiencia energética.

#### LITERATURA CITADA

- ALTIERI, M.A., 1999, The ecological role of biodiversity in agroecosystems, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- BUSTILLO, 2008, *Condiciones para el desarrollo rural sustentable del Distrito para el Desarrollo Rural 006-La Antigua, Veracruz, México: Bajo un enfoque autopoietico*, tesis doctoral en Agroecosistemas Tropicales, Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados.
- CHIAVENATO, I., 1997, *Introducción a la teoría general de la administración*, McGraw-Hill, Santa Fé de Bogotá Colombia, pp. 723-755.
- COX, G.W. y M.D. Atkins, 1979, *Agricultural ecology*, San Francisco, EUA, pp. 13-19.
- GALLARDO-LÓPEZ, Felipe, David Riestra-Díaz, Andrés Aluja-Schunemann y Juan Pablo Martínez-Dávila, 2002, Factores que determinan la diversidad agrícola y los propósitos de producción en los agroecosistemas del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México, *Agrociencia* 36: 495-502.
- GLIESSMAN, S.R., 1975, *Agroecosistemas con énfasis en el estudio de tecnología agrícola tradicional*, Manuscrito del Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT), Tabasco, México, 19 pp.
- GORTARI, Eli, 1984, *Iniciación a la lógica*, Océano, México, pp. 39-60.
- HERSCHER, E., 2004, *Pensamiento sistémico*, Granica, Buenos Aires, Argentina, pp. 11-19.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 2001, Anuario Estadístico de Veracruz, 221 pp.
- LOWRANCE, R., B.R. Stinner y G.J. House, 1984, *Agricultural Ecosystems*, Ed. John Wiley & Sons, EUA, 211 pp.
- MAASS, J.M. y Martínez-Yrizar, A., 1990, *Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto*, Ciencias (núm. 4 especial), pp. 10-19.
- MARTÍNEZ DÁVILA, J.P., 2001, *Documento interno*, Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, 18 pp.
- MORÍN, E., 2002, Introducción al pensamiento complejo, ([www.lander.es/~lmisa/complej6.html](http://www.lander.es/~lmisa/complej6.html)), 8 pp.
- POSEE, V.C., 1984, *La ganadería bovina en la región de Veracruz Centro*, IV Informe general de resultados del Diagnóstico Integral de la Ganadería en el Trópico Mexicano, 67 pp.
- RUIZ, R.O., 1995, Agroecosistema: el término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico, II Seminario Internacional de Agroecología, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Estado de México, pp. 87-95.
- SEGURA, S., 1990, *Diccionario etimológico latino-español*, 1ª ed., Ediciones Generales Anaya, Madrid, España, 640 pp.
- SPEDDING, C.R.W., 1979, *Ecología de los sistemas agrícolas*, Blume, Madrid, España, 320 pp.
- STATSOFT, INC. (2006). STATISTICA (data analysis software system), Versión 7.1. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- TANSLEY, A.G., 1935, The use and abuse of vegetational concepts and terms, *Ecology*, 16: 284-307.

# Diversificación de cultivos



Cesáreo Landeros-Sánchez  
Juan Carlos Moreno-Seceña  
Esteban Escamilla-Prado  
Romeo Ruiz-Bello

## INTRODUCCIÓN

La degradación de la naturaleza, debido a una sobreexplotación de los recursos naturales, constituye uno de los grandes problemas que enfrenta el estado de Veracruz. Consecuentemente, es urgente buscar alternativas tecnológicas y de producción que conduzcan hacia un uso racional de los recursos y el desarrollo de una agricultura sustentable. Una buena parte de los sistemas de producción actuales, como los monocultivos de caña de azúcar, granos básicos, frutales, hortalizas y pastos, principalmente, han ocasionado problemas de fertilidad de suelo, debido a las continuas extracciones de nutrientes y a las mínimas o nulas incorporaciones de materia orgánica al suelo.

Los productores que practican estos sistemas enfrentan también serios problemas de comercialización y baja rentabilidad, debido a la sobreproducción de un sólo producto, políticas de mercado, organización de productores y falta de apertura de canales de comercialización. La diversificación de

cultivos es poco aplicada en las regiones norte y sur del estado. Sin embargo, en la región de las grandes montañas, donde se produce principalmente el café, existen experiencias que muestran que la diversificación representa una alternativa que puede favorecer económica y ambientalmente a los productores. Además, este modelo de producción puede contribuir a hacer un uso sustentable de la biodiversidad de Veracruz y, consecuentemente, mejorar y preservar la productividad de los recursos naturales destinados a la actividad agrícola en el estado.

En este marco de ideas, el proceso de diversificación de cultivos, mediante la incorporación de especies exóticas a los sistemas de producción agrícola ya existentes en el estado, es una opción que puede ser viable para contribuir al desarrollo de las comunidades, siempre y cuando esto no implique el avance de su frontera agrícola. De esta manera, la diversificación de cultivos y las aplicaciones tecnológicas que este proceso conllevan deberían enfocarse hacia la conservación de la biodiversidad mediante la reconversión productiva de las tierras agrícolas actual-

mente en uso. Además, el cultivo de frutales exóticos (litchi y maracuyá) puede ser útil en la apertura de canales de comercialización. En este capítulo se abordarán los cultivos de importancia económica, los cultivos exóticos, la agroforestería, los sistemas agroforestales, ornamentales y plantas medicinales que se cultivan en Veracruz.

## CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN VERACRUZ

Veracruz cuenta con un gran potencial productivo y diverso en todo su territorio, y cuenta con una superficie agrícola de 1 780 984 hectáreas de las cuales 1 668 513 se cultivan en la modalidad de temporal y 112 470 hectáreas en la modalidad de riego, estableciéndose en éstas alrededor de 110 cultivos (Sagarpa, 2005). El estado ocupa los primeros lugares a nivel nacional en la producción de café, caña, vainilla, cítricos, mango manila, papaya, arroz, hule, chayote, piña, entre otros, bajo el sistema de monocultivo, generalmente. Como puede observarse, la práctica del monocultivo es intensa en diversas regiones del estado. Sin embargo, este sistema de cultivo ha traído consigo graves problemas de comercialización y baja rentabilidad, debido a la sobreproducción de un sólo producto y, en consecuencia, a problemas de mercado. Ante esta situación, los agricultores han tenido que desarrollar algunos de los cultivos referidos, intercalándolos con otros. Tales experiencias han sido exitosas, como es el caso del café y algunas plantaciones de cítricos.

### El café (*Coffea arabica*)

Se produce en este estado como un cultivo asociado con sistemas forestales, los cuales presentan suelos que son generalmente friables y margosos; de origen volcánico; de color pardo, chocolate o rojizo; con muy poca profundidad de tipo tepetate; y con escasez de lluvias y

humedad ambiental. Se produce en 842 comunidades de 82 municipios y en una superficie de 152 993 hectáreas, identificadas en diez regiones localizadas entre las latitudes 18° 15' y 20° 45' N y las longitudes 94° 50' y 98° 15' W de la zona montañosa donde convergen la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, cuyas alturas oscilan desde los 600 hasta los 1 400 msnm. El café se cultiva también en plantaciones que se encuentran en zonas con alturas alrededor de los 750 msnm, las cuales representan el 60 % de la superficie cultivada en el estado. Las regiones que más contribuyen con la producción estatal son: Coatepec (24.59 %), Córdoba (17.77 %), Huatusco (17.74 %), Misantla (12.08 %) y Atzalan (11.83 %). Estas regiones aportan aproximadamente el 84 % del total del café en el estado y las cinco regiones restantes, es decir: Tezonapa, Zongolica, Papantla, Los Tuxtlas y Chicon-tepec, aportan el 16 % restante.

La producción de café intercalado con otros cultivos se da principalmente en las regiones de Zongolica, Tezonapa y Córdoba, cuya producción está sujeta al intercalado con arboles maderables, así como con algunos frutales como son: nuez de macadamia, cítricos y plátano (figura 1). También se ha tenido éxito en plantaciones de café intercalado con especies ornamentales como los anturios y palma camedor.

### Plátano (*Musa balbisiana*)

Representa una excelente alternativa de producción en asociación con el café, ya que permite un mejor y mayor aprovechamiento del recurso suelo, sin degradarlo. Además mejora la calidad del cafeto debido a la sombra que le proporciona.

Dicha asociación trae también otros beneficios al productor, como son: la generación de recursos económicos extras provenientes de la venta del plátano, generación de empleo para las familias cafetaleras y disponibilidad de otro producto en la dieta alimenticia familiar.



FIGURA 1. El café (*Coffea arabica*) se produce a alturas mayores de 750 msnm en el estado de Veracruz. Una de las principales prácticas con este cultivo es el intercalado con otros cultivos, que ha representado diversidad en los ingresos del productor (Foto: Archivo propiedad de autores).

### Cítricos

Ocupan una superficie de 186 336 ha que benefician a alrededor de 50 000 familias, como resultado del empleo de 9 millones de jornales año<sup>-1</sup>, aproximadamente. Sin embargo, el problema de la comercialización no es tan serio como en otros monocultivos; lo que sí representa un problema es el bajo precio de venta del producto, debido a la sobreproducción. Las zonas productoras del estado se encuentran ubicadas en el norte principalmente, esto es, en las regiones Totonaca, Nautla y también, con una producción importante, la región de las Montañas. Los principales municipios productores de cítricos son Martínez de la Torre, Álamo, Gutiérrez Zamora, Papantla, Tuxpan y Cuitláhuac. La

diversificación de los cultivos y su intercalado con los cítricos no es muy aplicada en las regiones anteriores; sin embargo, existen registros que demuestran la práctica de la diversificación de la huerta citrícola, donde los cultivos son asociados principalmente con limón en los municipios de Martínez de la Torre y Papantla. Tales cultivos se refieren a tomate, calabaza, pipián, canela y algunos cultivos silvestres como el chiltepín o chile piquín. La diversificación ha traído consigo beneficios cuantificables para los productores, ya que ha representado otra alternativa de sistema de cultivo; sobre todo, por las ventajas de comercialización alternas que dicho sistema ofrece, donde los productos de los cultivos asociados son comercializados en fechas que no coinciden con las épocas de cosecha del limón.

El cultivo de cítricos también se realiza bajo el sistema de policultivos, lo que incluye la siembra de las cortinas rompevientos que sirven de protección a éstos y el establecimiento de leguminosas como cobertura dentro del sistema. Una de las leguminosas usadas en este sistema es el *Arachis pintoi*, conocido comúnmente como cacahuate forrajero.

En algunos casos, estos sistemas de policultivo incluyen, como cortina rompevientos, la siembra de plátano, el coco (*Cocos nucifera*) y algunos cultivos exóticos. El coco es una especie que suministra productos necesarios al hombre, como son: aceites, fruta en fresco con proteínas de alto valor nutritivo y agua, así como materiales para la construcción de viviendas en áreas rurales. Además, en algunos casos se usa para la alimentación del ganado. La distancia de plantación del coco en estos sistemas de policultivos es de 5.5 m x 5.5 m, lo que resulta en una densidad de plantación de 330 plantas ha<sup>-1</sup>; esto equivale a un total de 4 950 plantas en el área destinada a este cultivo. La producción de coco seco es aproximadamente de 42 t ha<sup>-1</sup>, lo que equivale a 2.8 t ha<sup>-1</sup> en coco fresco. La producción de coco está dirigida al consumo humano, generación de ingresos extras, ventas a la industria y al consumo animal (Oldays, 2004).

Otro de los componentes de los sistemas de policultivos son las leguminosas. Éstas se usan como cobertura, abonos verdes y consumo animal en las plantaciones de naranja valencia, con un marco de plantación de 8 x 6 m. Cabe señalar que en este tipo de sistemas no se ha podido prescindir, hasta el día de hoy, de la fertilización nitrogenada, la cual ha sido necesaria para la obtención de rendimientos rentables. Encontrar una solución para incorporar nitrógeno sin hacer uso de agroquímicos puede resultar, además, en beneficios tales como: disminución de la erosión, mejoramiento de la infiltración del agua y de las condiciones físico químicas del suelo, aumento en el contenido de materia orgánica, reducción del escurrimiento superficial, evita la pérdida de los elementos nutritivos y constituye un método de control de las malezas.

### Cultivos exóticos

Los cultivos exóticos representan nuevas opciones productivas que permiten aprovechar las condiciones favorables del medio ambiente y la enorme riqueza de los suelos del estado. Existen frutales exóticos en Veracruz que tienen gran potencial agroecológico y de mercado como el mangostán, maracuyá, rambután, litchi, nuez de macadamia y otros que ocupan una superficie de 1 980 hectáreas, aproximadamente, en todo el estado. Al intercalar estos cultivos con otros, se generan sistemas de cultivo más diversificados y, en consecuencia, el sistema en su conjunto tiende hacia la sustentabilidad.

EL MANGOSTÁN (*Garcinia mangostana* L.), ha sido considerado como el fruto más exquisito de los trópicos. En Veracruz se produce en los municipios de la región de las Grandes Montañas, es decir, en los municipios de Tezonapa, Zongolica, Atoyac y Tepatlaxco, principalmente. Fue introducido a México, a través del estado de Veracruz, al establecerse una pequeña plantación en el Campo Experimental "El Palmar". Aunque es un cultivo poco

conocido, la creciente demanda y los altos precios que alcanza en ciertos nichos del mercado internacional como Japón, Inglaterra, Francia, Alemania y Estados Unidos, permiten considerar a este frutal como una de las mejores alternativas económico-productivas en la región trópico-húmeda de Veracruz. Sin embargo, el largo periodo reproductivo del mangostán (de 8 a 10 años), ha constituido una de las principales limitantes para el establecimiento de dicha plantación. Este frutal ha sido intercalado con cultivos de ciclo corto, lo cual ha constituido una alternativa rentable para la obtención de ingresos económicos durante la etapa reproductiva del mangostán. El sistema de diversificación, practicado en las plantaciones de mangostán, ha incluido las asociaciones con plátano, rambután, maíz, maracuyá, piña y coco.

Algunos estudios han mostrado que los efectos de los cultivos intercalados sobre el desarrollo y crecimiento del mangostán han sido favorables, debido a que la altura de éste se incrementa considerablemente, en la mayoría de los casos, en comparación al sistema sin intercalar. Lo anterior se debe a que se induce el crecimiento del mangostán al ocurrir una competencia por luz y espacio, principalmente (Díaz, 2005).

EL MARACUYÁ (*Passiflora edulis sims*) es originario de la zona tropical de América; su cultivo se vuelve cada día más popular en todo el mundo (figura 2).

Es un cultivo que también se ha vuelto popular en algunas zonas cafetaleras de Veracruz. Aunque su producción en el estado inició como cultivo de traspatio, sus frutos maduros son muy apetecidos para el consumo en estado fresco, como jugo concentrado para la preparación de helados y batidos, o para mezclarse con otros jugos. Su comercio exterior se ha facilitado por la capacidad de conservación del jugo o el extracto natural de la fruta, el cual mantiene gran estabilidad de sus propiedades organolépticas y no sufre deterioro al transportarse a grandes distancias. En Veracruz se cultiva sola-



FIGURA 2. El maracuyá (*Passiflora edulis sims*) es un cultivo introducido a Veracruz; se cultiva en pequeñas áreas de manera comercial en los municipios de Córdoba, Fortín y Martínez de la Torre (Foto: Archivo propiedad de autores).

mente la variedad amarilla, en pequeñas áreas de los municipios de Córdoba, Fortín y Martínez de la Torre. A escala comercial e intercalado con café, este cultivo se produce en la región de la Grandes Montañas, la cual se encuentra en la zona centro del estado de Veracruz. Los principales municipios productores son Comapa, Huatusco, Zentla y Tenampa, donde los rendimientos y la calidad del fruto no son buenos, debido a lo deficiente del sistema de explotación, la falta de mantenimiento de los cafetales y una falta de capacitación y asistencia técnica en relación con los diferentes aspectos de manejo del cultivo (Navarro, 2003).

En 1996, existían 16.8 hectáreas de maracuyá en producción comercial en el estado, ([http://www.vinculando.org/mercado/mercado\\_maracuya\\_mexico.htm](http://www.vinculando.org/mercado/mercado_maracuya_mexico.htm)). Para el 2005 la superficie sembrada con maracuyá alcanzó las 533 hectáreas, y se ha ido incrementando, debido a que algunos productores han adoptado este cultivo como una alternativa para la diversificación de la producción agrícola, intercalándolo con otros cultivos. De acuerdo con las experiencias de productores vera-

cruanos, los costos de establecimiento y manejo son relativamente bajos, y obtienen buenos rendimientos. Algunos de los beneficios de la producción de maracuyá, asociado con otros cultivos, son: *a*) generación de empleo; *b*) ingresos económicos adicionales; *c*) mejoramiento en la dieta alimenticia familiar; *d*) los costos de producción se ven reducidos en las zonas cafeteras, ya que la presencia de lluvias en estas zonas hace posible la producción de maracuyá sin la aplicación de agua de riego y, *e*) protección del suelo contra la erosión causada por las gotas de lluvia.

EL RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* L.) o nefelio, es un fruto que, al igual que el litchi, pertenece a la familia de las Sapindáceas, la cual está formada por más de 1 000 especies de árboles y arbustos distribuidos por regiones cálidas de todo el mundo. De hecho, por su aspecto se le conoce también como “litchi peludo” (figura 3). Se trata de una fruta dulce, muy agradable al paladar y de consistencia similar a la de las uvas. También se le conoce en Centroamérica como “mamón chino”.



FIGURA 3. El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) es una alternativa rentable para los productores de Veracruz, en zonas frutícolas con altitudes que van desde los 100 hasta los 700 msnm (Foto: Archivo propiedad de autores).

En México este cultivo aún no ha alcanzado una amplia distribución; las zonas más importantes de producción se encuentran en los estados de Chiapas y Veracruz, aunque en Veracruz la superficie cultivada no rebasa las 200 hectáreas. El rambután ha demostrado ser una alternativa accesible y económica en el estado, para una transformación ecológica de zonas frutícolas y cafetaleras en altitudes que van desde los 100 hasta los 700 msnm. Sin embargo, el cultivo de este frutal requiere de mayor difusión, más investigación sobre su manejo y aspectos de mercado, lo que implica acciones energéticas y programadas. Lo anterior deberá tener como objetivo principal lograr y mantener rendimientos redituables y buena calidad externa e interna de los frutos.

El rambután se comercializa como fruta en fresco en los mercados regionales del estado, donde su venta a granel permite que los productores de café obtengan ingresos extras al intercalar este frutal dentro de sus cafetales.

EL LITCHI (*Litchi chinensis*) en Veracruz ha tenido un desarrollo claro e inminente, desplazando considerablemente a otros frutales como los cítricos, mango y papaya, y su alto precio en el mercado estimula su producción (figura 4).

Para el año de 1996, Veracruz contaba con una superficie sembrada de 216 ha, no obstante, la superficie cosechada sólo alcanzó las 30.20 ha, cuya producción obtenida fue de 23.70 toneladas (Aserca, 1996). La superficie sembrada en el estado alcanzó las 600 hectáreas, para el año 2003 (Rebollo y Lid, 2003).

La zona centro-norte del estado es la que ha mostrado un importante potencial para la producción de litchi. Comprende a varios municipios, los cuales, de acuerdo a su magnitud de producción, son: Tuxpan, Martínez de la Torre, Misantla, Tlapacoyan, Entabladero, Atzalan, Yecuatla y Tihuatlán, principalmente. Los productores de estos municipios son en general de bajo nivel económico, con una muy baja o nula cultura del cultivo de este



FIGURA 4. La producción de litchi (*Litchi chinensis*) en Veracruz ha crecido considerablemente, desplazando otros cultivos frutícolas; los principales municipios productores son: Tuxpan, Martínez de la Torre, Misantla, Tlapacoyan y Atzalan (Foto: Archivo propiedad de autores).

frutal, y el conocimiento que tienen de éste se restringe a lo que han escuchado o han podido ver en algún huerto pequeño. Estos productores de litchi poseen una superficie sembrada reducida y han intercalado este frutal con cítricos, plátano o café. Para ellos, el cultivo del litchi es una alternativa para incrementar sus ingresos a mediano plazo, mediante la venta de fruta y de plantas. Lo anterior puede darles la posibilidad de aumentar la superficie de su plantación.

Resulta importante mencionar que también existen productores que cultivan el litchi en sus traspatios, denominándoseles productores de traspatio. Este tipo de productores se iniciaron como tales al adquirir algunas plantas de esta especie para su jardín o para experimentar al lado de cultivos tradicionales (5 a 20 plantas), a fin de obtener fruta, observar y valorar su potencial productivo. Existe una gran cantidad de estas plantas, cultivadas a nivel

de traspatio, distribuidas en todo el estado; por lo que resulta complicado obtener un buen censo de la superficie sembrada con este frutal. De acuerdo a las experiencias de productores veracruzanos, que intercalan este cultivo con los tradicionales, se ha encontrado que la práctica de este sistema rinde buenas ganancias económicas. Además, las condiciones edafoclimáticas en el estado favorecen el desarrollo y producción de frutos de buena calidad.

La fruta de este cultivo se comercializa en tres tipos de mercado: *a)* mercado de exportación hacia Japón, Francia y Estados Unidos; *b)* mercado nacional hacia la Central de Abasto de la Ciudad de México y otras ciudades; y *c)* mercado local, en la propia zona productora.

En la zona centro-norte existe la infraestructura para la exportación del litchi, la cual corresponde a las empacadoras de limón persa que se exporta al mercado norteamericano, europeo y japonés. Hasta ahora la escasa producción de litchi ha sido exportada a Japón, Francia y Estados Unidos. El producto no exportable, por ser de menor calidad o por tener un grado de madurez desarrollado, se comercializa hacia la Ciudad de México, Puebla, Monterrey, Guadalajara, Veracruz y a otras localidades del estado.

Los principales beneficios del sistema de cultivo del litchi, en asociación con otros cultivos, son:

1. Un sistema de cultivo nuevo y de mayor rentabilidad que el sistema de monocultivo tradicional, el cual fomenta una mayor biodiversidad en la producción agrícola.

2. El intercalado, durante los primeros años, disminuye los costos de mantenimiento y representa un ingreso adicional para las familias de los productores.

3. El intercalado induce un mayor crecimiento de las especies cultivadas dentro del sistema.

4. Este sistema demanda poca inversión en mano de obra e insumos.

5. Se obtiene un mayor aprovechamiento de los recursos agua, suelo, biodiversidad y clima.



FIGURA 5. La nuez de macadamia (*Macadamia hildebrandii*) ha demostrado ser una alternativa rentable en el estado, sobre todo al intercalarse con otros cultivos, tales como café y especies forestales (Foto: Archivo propiedad de autores).

6. Se promueve el desarrollo de un microclima dentro y alrededor del sistema de cultivo que amortigua el efecto de cambios climáticos bruscos en la atmósfera exterior.

Desde el punto de vista del mercado de los productos, la práctica del sistema de cultivo, por ejemplo, litchi-limón presenta ventajas para los productores, ya que el proceso y ruta de exportación que se han establecido para el limón persa, puede facilitar la exportación del litchi.

LA NUEZ DE MACADAMIA (*Macadamia hildebrandii*) es otro de los cultivos exóticos que puede asociarse con el café, lo que representa otra alternativa productiva, económica y nutritiva para los productores de café en Veracruz (figura 5).

La nuez de macadamia posee un alto valor nutricional, característica importante que impacta positivamente la calidad de la dieta alimenticia familiar, cuando este fruto es consumido. Este cultivo proporciona al cafetal la sombra necesaria para su desarrollo y el fruto, esto es, la nuez de macadamia, puede comercializarse a precios altos. En el estado es poco cultivada de manera comercial; sin embargo su producción en forma intercalada con el cultivo del café ha venido en aumento. La siembra en el 2001 fue de 50 hectáreas, lográndose una producción de 177.50 toneladas, con un rendimiento promedio de  $3.55 \text{ t ha}^{-1}$  (Sagarpa, 2001). Los datos para Veracruz se basan en estimaciones que se muestran contrastantes e indican cambios importantes en la superficie cultivada. En 1994 se estimó que la superficie sembrada con este cultivo fue de 500 ha y, de esta superficie, solamente 150 ha se encontraban en producción. La población en estas plantaciones era de 13 mil árboles y una producción de 100 toneladas de nuez en concha (Mosqueda, 1994). Sin embargo, para 1998 se reportó una drástica disminución de la superficie sembrada, la cual se redujo a una superficie de 57 ha plantadas, con una producción de 66 toneladas (Aserca, 2000). El comportamiento anterior puede deberse a que algunas plantaciones establecidas en áreas ambientalmente inadecuadas fueron sustituidas por otros cultivos, como es el caso del Rancho Las Nueces, localizado en el municipio de Cuitláhuac, donde se habían establecido alrededor de 100 ha y se decidió eliminar los árboles de macadamia, debido a problemas de adaptación y fitosanitarios. En cambio, en otras regiones se establecieron nuevas plantaciones, como en Huatusco, donde se encuentra la plantación más grande del estado.

Para el año 2005 se tenían plantados 40 000 árboles en los ranchos Casa Blanca, Kassandra, Cruz Verde y Dos Puentes. Estas plantaciones se caracterizan por la intercalación de macadamia con café y especies forestales como cedro rojo, cedro rosado y liquidámbar. En ese mismo año se inició el

establecimiento de una planta agroindustrial para el procesamiento de la nuez, hasta el envasado de la almendra, adicionalmente se empezó con el acopio de frutos con productores de la región.

Para el estado de Veracruz, los municipios que presentan áreas importantes de macadamia en etapa productiva, con materiales originados de semillas e injertos son Coatepec, Xalapa, Tlalnelhuayocan, Xico, Teocelo, Córdoba, Huatusco, Totutla, Sochiapa, Zentla, Ixhuatlán, Chocamán, Fortín y Amatlán. Más recientemente se han establecido árboles en la Sierra de Zongolica, en las comunidades de Xonamanca y Nacaxtla, así como en el municipio de Tezonapa, en particular en la localidad El Triunfo. La mayoría de las huertas se ubican entre los 800 y 1 600 msnm, aunque las altitudes más frecuentes se ubican entre 1 000 y 1 500 msnm.

En cuanto al relieve, las plantaciones se ubican en lomeríos suaves con pendientes menores al 5 %; le siguen lomeríos ondulados con pendientes entre 15 y 30 %; y en menor escala laderas y cañadas abruptas con pendientes mayores al 30 %. De acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO, los suelos predominantes de las áreas donde se ubican las plantaciones de macadamia son: Andosol, Luvisol, Acrisol, Cambisol y Litosol.

Es un cultivo que no requiere de fertilización química, de hecho el 59 % de productores realiza la fertilización con productos y desechos orgánicos, y la tendencia es hacia una producción orgánica. Entre las fuentes orgánicas se reportan las siguientes: gallinaza, pulpa de café, estiércoles de ovinos y bovinos, cachaza, compostas y lombricompostas. La introducción de los primeros árboles de macadamia en el estado estuvo a cargo del Inmecafé, que estableció varios lotes de prueba. Uno de estos lotes, intercalado con café, lo estableció el ingeniero Miguel Montalvo, a principios de los años setenta del siglo pasado, en la comunidad de Sabanas del municipio de Huatusco. A partir de esta huerta se fueron plantando árboles de semilla en la región de Huatusco.



FIGURA 6. La agroforestería conlleva a una práctica de manera sustentable que resulta en interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes (Foto: Archivo propiedad de autores).

## AGROFORESTERÍA

Se refiere a sistemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas, etc.) se utilizan deliberadamente en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Nair, 1993). En los sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes (figura 6).

El objetivo de la mayoría de los Sistemas Agroforestales (SAF) es optimizar los efectos benéficos de las interacciones de los componentes boscosos con el componente animal o cultivo. Los patrones productivos así obtenidos, y que tienen mayor representatividad y potencial en el estado de Veracruz, son los cultivos agroindustriales, como el café, y las áreas de praderas dedicadas a la ganadería (López-Morgado, 2005). Como ciencia, es multidisciplinaria y a menudo involucra, o debe involucrar, la

participación de campesinos o agricultores en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación.

La agroforestería tiene como meta optimizar la producción por unidad de superficie, respetando el principio de rendimiento sostenido. Es parte fundamental del proceso integral de la conservación y mejoramiento del suelo (Clason y Robinson, 2000).

Combinar árboles con cultivos permanentes en una unidad de área dentro de una parcela o en los linderos, es una forma beneficiosa de hacer agroforestería, debido a que: *a*) protegen de la radiación solar y de los fuertes vientos; *b*) aportan materia orgánica al suelo; *c*) protegen de daños causados por la erosión hídrica; *d*) aprovechan mejor los nutrientes y el agua de los horizontes inferiores, y *e*) capturan CO<sub>2</sub>, producen oxígeno y sirven de hábitat a aves y especies de la fauna silvestre.

En función de su estructura existen diversos sistemas agroforestales practicados en Veracruz, como son: agrosilvicultura; silvopastoril; agrosilvopastoril, y cortinas cortavientos.

Los beneficios de la agroforestería son múltiples. Se pueden dividir en beneficios directos, aquellos productos que se obtienen directamente como resultado del establecimiento de especies leñosas, y en beneficios indirectos, aquellos aspectos benéficos derivados de la presencia de árboles y arbustos en zonas agrícolas.

### Agrosilvicultura

En estos sistemas se combinan árboles y/o arbustos con cultivos agrícolas, en la misma unidad predial. En este caso se pueden asociar cultivos agrícolas en forma de callejones entre las hileras de árboles. Los espacios entre árboles para incluir cultivos, pueden variar (por ejemplo, entre seis y 21 metros) dependiendo de los tipos de árboles a usar (álamo, castaño, encino, cerezo, nogal u otros) y de los cultivos por establecer (maíz, frijol, trigo, arvejas u otros).

## Silvopastoril

En este sistema se combinan árboles y/o arbustos, ganado y pradera en un mismo sitio (Byrd *et al.*, 1983). De los árboles se puede obtener madera para usos industriales y para usos domésticos (construcciones, leña, carbón, frutos, hojas y otros) y, además, protección y albergue para el ganado, así como protección para el suelo y los cauces de agua. El ganado generará un ingreso para el agricultor mientras crecen los árboles, de los cuales se podrán obtener carne y otros productos como leche, lana y cueros que pueden ser destinados para venta o autoconsumo.

Los sistemas silvopastoriles tienden a tener una alta diversidad genética y a incorporar una amplia variedad de especies de árboles, arbustos y pastos que son deliberadamente plantadas o mantenidas por el agricultor (Clason, 1999). Los componentes arbóreo, arbustivo y pastura, a su vez, proveen estructuras físicas, recursos y hábitat que apoyan especies de plantas y animales adicionales (“biodiversidad asociada”). Comunidades ricas en lianas, musgos, líquenes y plantas epífitas a menudo se encuentran sobre las ramas y troncos de los árboles, mientras que muchas especies de plantas forestales pueden establecerse bajo la sombra del dosel de los árboles. Una amplia variedad de animales (insectos, pájaros, murciélagos y algunos mamíferos) pueden usar los sistemas silvopastoriles para alimento, sombra o para protección contra predadores o condiciones microclimáticas adversas. Además, para proveer hábitat y recursos para animales y plantas, los sistemas silvopastoriles pueden ayudar a conservar la biodiversidad de la siguiente manera: al contribuir a crear condiciones microclimáticas y de suelo que son más favorables para especies del bosque; al servir como escalones o corredores que facilitan el movimiento de los animales a través de los hábitats agrícolas; y al actuar como zonas de amortiguamiento (*buffer*) alrededor de áreas naturales o protegidas. Tal vez, igualmente importante, es que los sistemas

silvopastoriles proveen fuentes alternativas de madera, leña y otros subproductos del bosque. De esta manera reducen consecuentemente la presión sobre el hábitat de bosques naturales remanentes y su biodiversidad.

En la mayoría de pasturas de Veracruz, algunos árboles grandes y arbustos son mantenidos para proveer sombra para el ganado. Estos árboles dispersos pueden pertenecer al bosque original o haberse regenerado, o haber sido plantados desde que las pasturas fueron establecidas. Además de servir como fuente importante de forrajes, frutas, madera, leña y sombra para el ganado, estos árboles aislados también proveen importantes hábitat y recursos para la biodiversidad dentro del paisaje agrícola; asimismo, pueden ayudar a promover la conectividad del paisaje con algunas especies (Clason, 1996).

Aunque la riqueza de especies representada por árboles aislados varía grandemente entre pasturas, fincas y diferentes regiones ecológicas, los árboles dispersos a menudo representan un gran número de especies. En estudios realizados en Veracruz, por ejemplo, se encontró un total de 98 especies de árboles aislados (pertenecientes a 33 familias) presentes en pasturas. De estas especies, 76 correspondieron a bosque primario, mientras que en estudios de pasturas activas en Monteverde, Costa Rica, se encontró un total de 190 especies de árboles, de las cuales el 57 % correspondió a especies de bosque primario. Aunque la densidad de árboles aislados en pasturas es usualmente bastante baja (< 25 individuos  $ha^{-1}$ , comparada con densidades de 300-500 árboles  $ha^{-1}$  en bosques nativos), la presencia de árboles aislados ayuda a mejorar la conectividad de paisajes y provee una cobertura adicional de árboles dentro del área; además, reduce el área abierta que los animales necesitan cruzar.

En adición a la diversidad florística que los árboles mismos representan, muchos árboles aislados, que son remanentes del bosque original, retienen comunidades ricas en epífitas sobre sus ramas y

troncos. Estudios en Veracruz, por ejemplo, han reportado un total de 58 especies de epífitas vasculares y hemiepífitas que representan el 37 % del total de la flora epífita en la región. Estas especies epífitas están presentes en 38 árboles de bosques aislados en pasturas, con una densidad similar a la encontrada sobre árboles de bosques no perturbados. Es conveniente resaltar que mientras los árboles de bosque aislados en pasturas contienen ricas y diversas poblaciones de epífitas, los árboles aislados que son plantados o que se regeneraron naturalmente dentro de las pasturas parecen ser colonizados muy lentamente por epífitas.

### Agrosilvopastoril

En este sistema se combinan árboles y/o arbustos con cultivos y ganado en forma simultánea (figura 7) o en forma secuencial. Este tipo de sistema puede ser usado por productores para satisfacer necesidades de alimento, madera y energía; para dar solución a problemas de espacio; y para contrarrestar los efectos adversos de la erosión sobre los suelos que son susceptibles a este fenómeno.



FIGURA 7. La agrosilvicultura es un sistema para diversificar la huerta y consiste en intercalar árboles maderables o arbustivos con ganado (Foto: Archivo propiedad de autores).

### Cortinas cortavientos

Este tipo de sistema está diseñado para la protección de los cultivos agrícolas, ganado, infraestructura y de los recursos naturales, especialmente del suelo. Consiste en el establecimiento de una o más hileras de árboles, en forma perpendicular al viento, como una barrera para detener el viento o para reducir su intensidad. Otros beneficios de las cortinas es que pueden ser utilizadas como deslindes de predios, cercos y, con un adecuado manejo de los árboles empleados para este fin, se pueden obtener productos maderables y/o madera para combustible. En Veracruz se utilizan algunos árboles frutales como cortinas rompevientos, aunque la siembra de estas especies para este propósito no es muy frecuente. Las especies explotadas en la zona centro de Veracruz, se pueden clasificar en especies forestales y agrícolas (cuadro 1).

CUADRO 1. Especies forestales y agrícolas utilizadas como cortinas rompevientos en el centro del estado.

ESPECIE FORESTAL	FRECUENCIA
Palo Gusano	4
Ixpepe ( <i>Trema micrantha</i> L. Blume.)	5
Huizache ( <i>Acacia pennatula</i> Schlecht.)	5
Cedro ( <i>Cedrela mexicana</i> )	8
Grevillea ( <i>Grevillea robusta</i> Cunn.)	9
Jonote ( <i>Heliocarpus donell-smithii</i> Rose.)	3
Encino ( <i>Quercus</i> spp.)	2
Iquimite ( <i>Erythrina</i> spp.)	2
Nogal ( <i>Juglans</i> spp.)	2
Nacaxtle ( <i>Enterolobium cyclocarpum</i> )	2
Bracatinga ( <i>Mimosa scabrella</i> )	1
ESPECIE AGRÍCOLA	FRECUENCIA
Higuerilla ( <i>Ricinus communis</i> )	4
Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	1
Chalahuite o Vainillo ( <i>Inga</i> spp.)	278
Jinicuil ( <i>Inga jinicuil</i> )	1
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	4
Hule ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	1
Litchi ( <i>Litchi chinensis</i> )	1

## Otros sistemas

Otro sistema de producción que ha contribuido a la diversificación de los agroecosistemas en Veracruz, es la producción de especies agrícolas menores como son las especies ornamentales y las plantas aromáticas y medicinales. Una de las especies ornamentales con gran potencial de producción en Veracruz es la palma camedor (*Chamaedorea elegans*), la cual se desarrolla en forma natural bajo las sombras de los árboles, sin demandar muchos nutrientes. Se ha cultivado en asociación con hule, café, plátano, cacao, entre otras, y ha alcanzado una producción de 288 t/año (INIFAP, 2000). Se cultiva en zonas con alturas de 0 a 1 450 msnm, temperaturas que oscilan entre 22 y 28 °C y con precipitaciones de 1 600 a 4 000 mm.

Las plantas aromáticas representan una alternativa para la recuperación de suelos pobres. Productos como el zacate limón, clavo, pimienta, canela y cominos, los cuales forman parte de nuestra alimentación, cuentan con gran potencial para la diversificación de los productos que se obtienen en las huertas. Se ha tenido la idea de que la mayor parte de las especias como el clavo, pimienta y canela generalmente provienen de Asia; sin embargo, este tipo de cultivos se introdujeron a Veracruz hace 35 años, aproximadamente, a través del Campo Experimental El Palmar, donde, según se reporta, se cuenta con plántulas para la obtención de los productos referidos (Martínez-Sosa, 2002). Estas plantas se han propagado en los municipios de Huatusco, Córdoba, Soledad de Doblado, Comapa, entre otros, con resultados favorables en sistemas agrícolas de policultivos. Su producción, sin embargo, está limitada al sistema de cultivo de traspatio, por la falta de apertura de mercados.

Las plantas medicinales también se han venido produciendo de forma comercial en Veracruz y se han cultivado de manera intercalada con otros cultivos. Bajo estos sistemas de producción, las plantas medicinales constituyen el cultivo secundario que

rinde ingresos extras. Algunas de estas plantas se intercalan en la huerta y otras se ponen dentro del cerco perimetral de la misma. El cultivo de las plantas medicinales es una actividad ancestral en el campo veracruzano, el cual puede representar un gran negocio no sólo para satisfacer materias primas de tiendas naturistas y mercados, sino para abastecer la industria creciente de la fitoterapia, que tenderá a sustituir de forma paulatina a la medicina alópata. Algunas plantas medicinales en el estado se usan como insecticidas, por ejemplo: flor de cempasúchil, ajo, tabaco y toronjil; otras, como la raíz de oro, se han empleado durante muchos años para combatir plagas, ya que se puede producir en la misma parcela, cosecharla y aplicarla en caso de que algún flagelo se presente. El cultivo de las plantas medicinales en Veracruz es altamente rentable, siempre y cuando se tenga establecido y asegurado su mercado; son plantas que no requieren fertilizante, riego, ni el uso de tractor, pues simplemente se siembran y se cosechan. Además, es una oportunidad importante para mantener a los campesinos en su tierra, ya que obtendrían beneficios cuatro o cinco veces superiores a los obtenidos con la siembra de maíz o frijol. Las prácticas que se realizan y fomentan en el estado en relación con las plantas medicinales están orientadas a la diversificación de cultivos, mediante el intercalado de éstas con monocultivos para generar un sistema de mutualismo entre ambos sistemas.

## CONCLUSIONES

La diversidad de cultivos en Veracruz es alta, debido a que en el estado se cuenta con gran variedad de climas y tipos de suelos que permiten el desarrollo y adaptación de las especies. Las especies que mejor potencial demuestran son las siguientes: café, caña, vainilla, limón, naranja, toronja, mango, papaya y piña, principalmente. Además, existe un fuerte potencial en la producción de frutas exóticas y algu-

nos granos, como el arroz, por lo que el estado de Veracruz representa un pilar en el desarrollo agroalimentario de nuestro país, sobre todo en los tiempos actuales de la anunciada crisis mundial alimentaria. En este sentido, la diversificación de cultivos, mediante la incorporación de especies exóticas como el litchi y el maracuyá a los sistemas de producción agrícola ya existentes en Veracruz, es una opción que puede ser viable para contribuir al desarrollo de sus comunidades, siempre y cuando esto no implique el avance de la frontera agrícola en el estado. De esta manera, la diversificación de cultivos y las aplicaciones tecnológicas que este proceso conllevan deberían enfocarse hacia la conservación de la biodiversidad a través de la reconversión productiva de las tierras agrícolas actualmente en uso; lo anterior puede, adicionalmente, resultar en mayores ingresos económicos para los productores y, en consecuencia, mejorar su bienestar familiar y el ambiente en general. Además, el cultivo de los referidos frutales exóticos puede ser de gran utilidad en la apertura de canales de comercialización. La agroforestería se ha convertido en una parte importante de la actividad agrícola en Veracruz. Los beneficios que ésta rinde son los siguientes: alimento para ganado, protección a los cultivos, energía, recursos maderables, entre otros.

#### LITERATURA CITADA

- APOYOS Y SERVICIOS A LA COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA (Aserca), 2000, Macadamia, la nuez más fina del mundo, *Revista Claridades Agropecuarias* 81: 3-39.
- ASERCA/CIESTAAM, 1996, *Mercado Mundial de Litchi mexicano*, Informe técnico.
- BYRD, Nathan A., Lewis, Clifford E., 1983, Managing Pine Trees and Bahiagrass for Timber and Cattle Production, USDA Forest Service, General Report R8-GR 2, pp. 1-9.
- CLASON, T.R., 1996, Timber-Pasture Management Enhances Productivity of Loblolly Pine Plantations, *Louisiana Agriculture* 39(2): 14-16.
- , 1999, Silvopastoral Practices Sustain Timber and Forage Production in Commercial Loblolly Pine Plantations of Northwest Louisiana USA, *Agroforestry Systems* 44: 293-303.
- CLASON, T.R. y J.L. Robinson, 2000, *From a Pine Forest to a Silvopasture System*, USDA NAC, Agroforestry Note 18, pp. 1-4.
- DÍAZ, F.V.H., 2005, *Rentabilidad de los cultivos intercalados durante la etapa preproductiva de Mangostán (Garciana mangostana L.)*, Memoria de la XVIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 2005, p.128.
- <http://lead.virtualcentre.org/silvopastoral/servicio/biodiversidad.htm>, verificado: 13 julio de 2006.
- [http://www.vinculando.org/mercado/mercado\\_maracuya\\_mexic](http://www.vinculando.org/mercado/mercado_maracuya_mexic), verificado el 6 de julio de 2006.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP), 2000, *Manual para la producción de palma camedor*, Folleto Técnico número 26, Centro Investigación Regional Golfo Centro, Campo experimental El Palmar, ISSN 1405-1095.
- LÓPEZ-MORGADO, R., 2005, *Los sistemas agroforestales en el manejo de la agricultura y la ganadería*, Foro Diagnóstico de Ciencia y Tecnología en Veracruz.
- MARTÍNEZ-SOSA, M., 2002, *El cultivo de las plantas aromáticas como alternativa de recuperación de suelos pobres*, Participación en el programa de radio institucional.
- MOSQUEDA V., R., 1994, Situación actual y perspectivas de la Macadamia en México, en *Frutales nativos e introducidos con demanda nacional e internacional*, XXXV Aniversario Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México, pp. 55-73.
- NAVARRO, A., 2003, Reconversión de cultivos para el desarrollo local: El proyecto de 'Industrialización del maracuyá' en zonas cafetaleras de Veracruz, *Boletín informativo*, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).

OLDDAYS A., A., 2004, Propuesta de manejo agroecológico para el cultivo de los cítricos, artículo publicado en Sapiens.com.

REBOLLEDO M., A. y A. Lid, 2005, Diversidad frutícola tropical en el estado de Veracruz: sostenibilidad y desarrollo socioeconómico, Foro Diagnóstico de Ciencia y Tecnología en Veracruz, Disponible en

([http://www.uv.mx/posgrado/memorias/mesa\\_6.htm](http://www.uv.mx/posgrado/memorias/mesa_6.htm)), verificado: 15 de julio de 2005.

SAGARPA, 2005, Producción Agrícola de cultivos 2005, México.

SCHWENTESIUS, Rita y Manuel Ángel Gómez Cruz, *Mercado mexicano de maracuyá*, ([http://www.vinculando.org/mercado/mercado\\_maracuya\\_mexico.htm](http://www.vinculando.org/mercado/mercado_maracuya_mexico.htm)).

# Impacto de la agricultura sobre la biodiversidad



Cesáreo Landeros-Sánchez  
Juan Carlos Moreno-Seceña  
Lourii Nikolskii Gavrilov  
Oktiabrina Bakhlaeva Egorova

## INTRODUCCIÓN

Veracruz es uno de los tres estados con mayor biodiversidad en México. Se estima que cuenta con una flora de alrededor de 8 000 especies, y es el tercer estado con mayor número de especies endémicas (Castillo-Campos *et al.*, 2005). Este estado es potencialmente agrícola y es uno de los tres estados del país con mayor participación en el sector agropecuario. Cuenta con una superficie de 1 780 984 hectáreas de las cuales 1 668 513 se cultivan en la modalidad de temporal y 112 470 en la modalidad de riego, estableciéndose en éstas alrededor de 110 cultivos (Sagarpa, 2005). Veracruz produce el 37.2 % de la caña, 28.8 % de los frutales, 27.3 % del café, 17.2 % del arroz y 14.9 % de carne de bovino del país. Sin embargo, la agricultura en el estado comenzó a cobrar sus efectos sobre la biodiversidad debido a la exploración e incorporación de nuevas áreas, cuyo potencial no es apto para la agricultura. Se ha reportado que en el estado de Veracruz se ha observado la segunda tasa más alta de deforestación

del país, ya que se tiene una pérdida, durante el periodo de 1984 a 2000, del 35 % de los bosques, equivalente a 47 000 ha año<sup>-1</sup>; probablemente Veracruz es el estado con mayor número de especies amenazadas. Esta deforestación ha provocado, a su vez, ciclos de inundación y sequía que cada vez son más fuertes. También ha causado que más del 40 % del estado tenga problemas graves de erosión, cuya tasa supera una pérdida de suelo correspondiente a 10 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Lo anterior, sin lugar a duda, ha resultado en una pérdida de la biodiversidad. En este apartado se abordarán los impactos que tienen el uso de zonas forestales para actividades agrícolas y la agricultura de temporal y de riego en la biodiversidad de Veracruz.

## LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y LA AGRICULTURA

El grado de perturbación del sistema natural varía grandemente entre diferentes tipos de agricultura.

Las prácticas agrícolas de baja intensidad, tales como el pastoreo, jardines y barbechos en rotación, alteran los procesos y composición de la flora, fauna y de los microorganismos de los ecosistemas naturales. Los sistemas más intensivos, incluyendo el monocultivo moderno, las plantaciones y ranchos de ganado de alta densidad, pueden modificar el ecosistema de una manera tan severa que muy poco de la biota previa y del paisaje permanecen (Romero, 2001).

Los impactos sobre los ecosistemas se han hecho más evidentes con el tiempo, a medida que los sistemas agrícolas se han ido intensificando en todo el mundo. La agricultura puede afectar las funciones de los ecosistemas, y a la biota que compone la parte viva de ese ecosistema, en diversas formas. A nivel del paisaje, la agricultura produce una reconversión de las cubiertas terrestres y la eliminación de ciertas características del paisaje (Andrén, 1994). Al nivel de la unidad de producción agraria, genera con frecuencia la pérdida de las coberturas del suelo y la perturbación de la estructura del mismo (Andreasen *et al.*, 2001). La producción de plantas y animales domesticados afectan de manera directa a la diversidad biológica mediante la sustitución de plantas de aparición natural y espontánea (Beier y Noss, 1998).

El United Nations Environment Programme (UNEP) (2006), mencionó que los impactos de la agricultura sobre las funciones de un ecosistema pueden agruparse en cinco áreas: 1) estructura del suelo; 2) nutrientes y microorganismos; 3) ciclo del agua; 4) complejidad del paisaje, 5) propiedades atmosféricas. La agricultura afecta la estructura del suelo y la biota, fundamentalmente, a través de la reducción de material orgánico que se incorpora por encima de la tierra y de las raíces, por la roturación del suelo debido a las labores de cultivo y por la compactación por el ganado. La simplificación de los sistemas agrarios mediante la eliminación de vegetación, particularmente árboles y la cubierta del suelo, provoca la exposición del suelo a las fuerzas

erosivas del sol, la lluvia y el viento, con la consecuente pérdida del mismo.

En el caso de los impactos hacia los microorganismos, éstos se ven afectados por la aplicación de agroquímicos reduciendo la presencia de invertebrados, microorganismos e insectos, responsables de la descomposición y del ciclo de nutrientes, entre ellos, las bacterias fijadoras del nitrógeno, hongos micorrizales, lombrices y termitas.

Por otro lado, la actividad agrícola afecta el movimiento y la calidad de agua, que es esencial para la producción agrícola, así como para el mantenimiento del hábitat (Stoms *et al.*, 2002). La compactación del suelo es un ejemplo de ello, repercutiendo en la pérdida de vegetación y la eliminación de características del paisaje, como son los humedales y arroyos, reducen la infiltración de agua al suelo, lo que afecta el crecimiento de las plantas. La falta de infiltración también genera inundaciones y la reducción de la recarga de los acuíferos. Los agroquímicos y los residuos líquidos de estiércoles, con un alto contenido en nitrógeno, son una fuente importante de contaminación de los recursos hídricos, tanto subterráneos como superficiales. Esto tiene impactos de largo alcance sobre la diversidad biológica de los sistemas acuáticos.

El cuarto tipo de impacto que puede tener la agricultura sobre las funciones de un ecosistema es la reducción de la complejidad biótica y estructural a nivel del paisaje. Una parte importante de la superficie terrestre (aproximadamente un tercio) es utilizada para la producción de alimentos, lo que convierte a la agricultura en la mayor causa aislada de conversión del hábitat a nivel mundial. La tendencia en la agricultura es hacia unidades cada vez más grandes de producción mecanizadas en monocultivo, aunque la disminución de la disponibilidad de agua en el mundo para los diversos sectores y, en particular, para el agrícola, hará que los actuales sistemas de producción experimenten una contracción, lo que resultará en sistemas de producción muy intensivos. Dentro de los escenarios que origi-

nan este tipo de impactos son tierras en barbecho, árboles solitarios, los cuales generalmente son eliminados, pérdida de hábitat y la nivelación de terrenos, como pantanos, arroyos y hondonadas. Asimismo, la conversión de la tierra para la agricultura puede tener un efecto sobre la fijación del carbono y del nitrógeno atmosférico.

### LA AGRICULTURA Y SUS IMPACTOS EN VERACRUZ

Veracruz tiene una gran diversidad biológica, fisiográfica y cultural que ha sido y es la base material y de valores de su desarrollo. Sin embargo, en las últimas décadas la capacidad productiva en el estado ha dis-

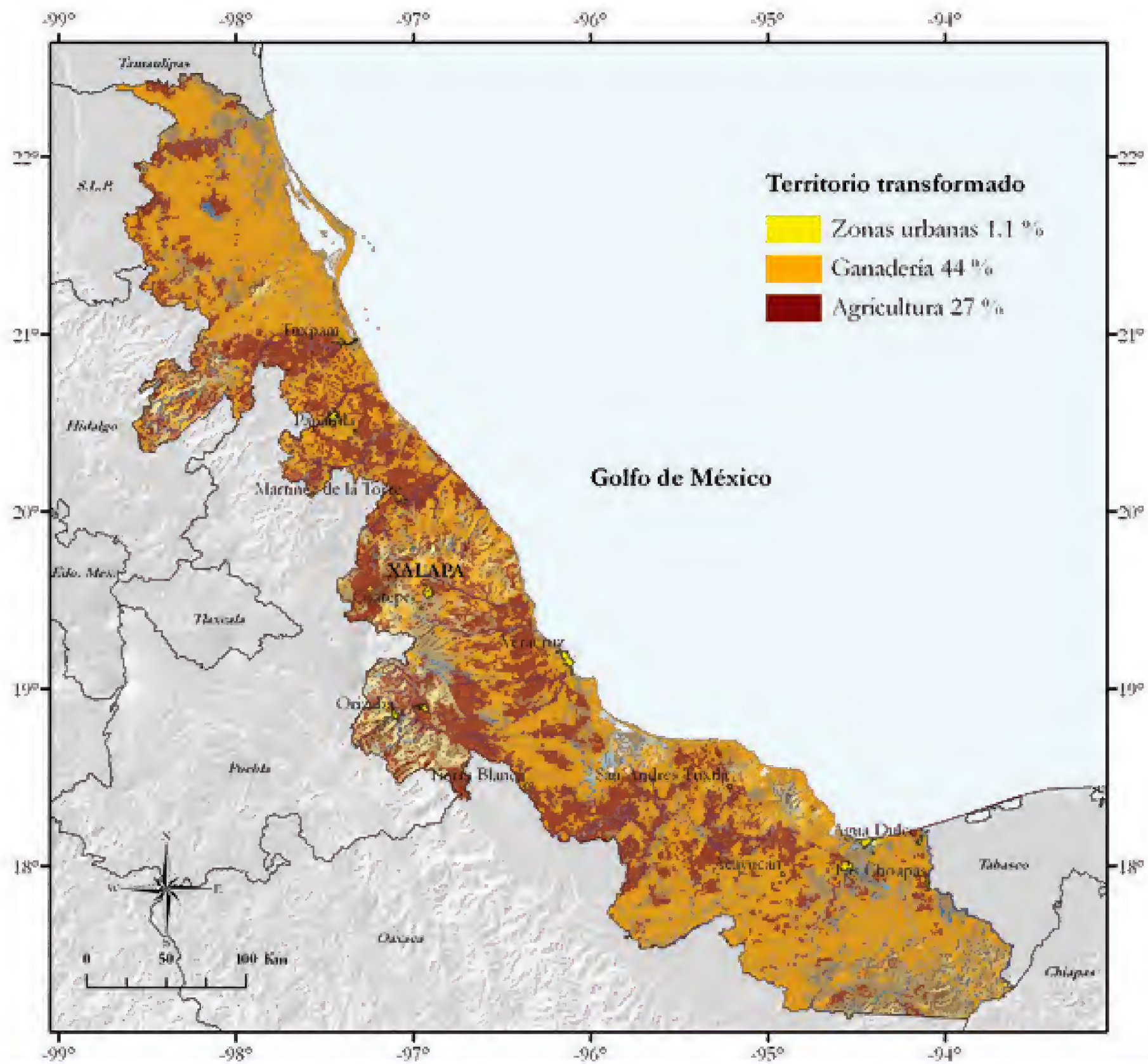


FIGURA 1. La vegetación y uso de suelo en Veracruz han sido transformados, solamente el 27% del territorio veracruzano es destinado para la producción de cultivos y un 44% para el pastoreo de ganado (Fuente: propiedad de Semarnat, citado por Guevara-Sada, 2000).

minuido paralelamente a la pérdida de su diversidad biológica y cultural. Se estima que es el tercer estado en el país con mayor transformación de sus espacios para usos productivos y urbanos (figura 1). Lo anterior es resultado del uso inadecuado de los espacios productivos, aunque es necesario citar que Veracruz es potencialmente agrícola, pues ocupa el tercer lugar con mayor participación en el sector agropecuario.

El estado cuenta con una superficie de 1 780 984 hectáreas de las cuales 1 668 513 hectáreas se cultivan en la modalidad de temporal y 112 470 hectáreas en la modalidad de riego (Sagarpa, 2005). Sin embargo, la agricultura ya comenzó a cobrar sus efectos negativos sobre la biodiversidad, debido a la exploración y apertura de nuevas áreas no aptas para la agricultura, como el uso de zonas forestales.

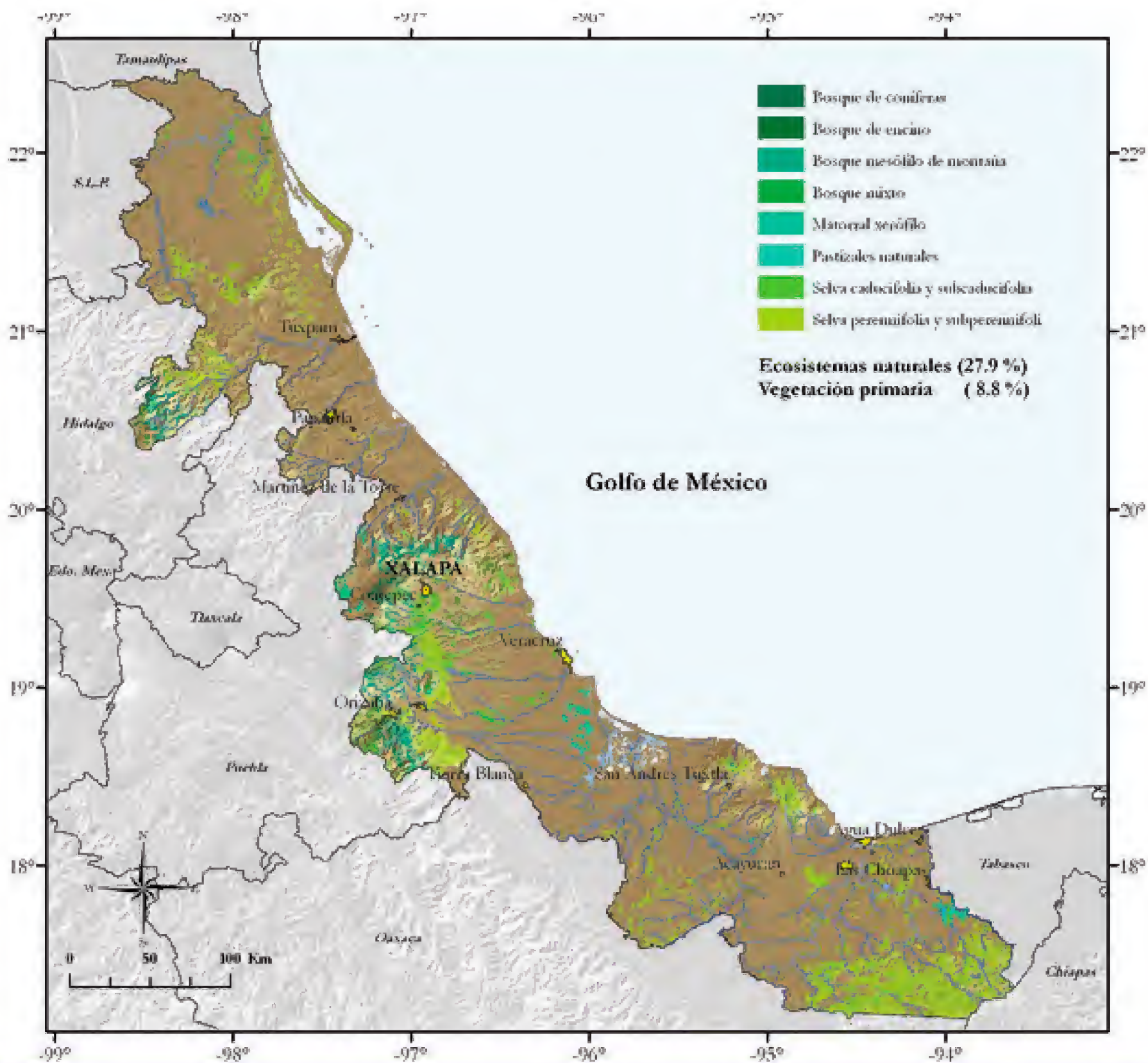


FIGURA 2. El impacto más agresivo de la agricultura en Veracruz ha sido, sin duda, hacia los ecosistemas, los cuales cubren aproximadamente el 27.9% del estado (Fuente: propiedad de Semarnat, citado por Guevara-Sada, 2000).

La introducción de pastos es una práctica alternativa de producción que muchas veces desplaza a las especies nativas del lugar y crea un desequilibrio ecológico, muy pocas veces percibido. Debido a la introducción de nuevas áreas no aptas para la agricultura, así como al crecimiento urbano, se han originado modificaciones ecológicas importantes, causando la reducción de áreas ecológicas en un 27.9 % (figura 2).

De acuerdo con Soto (2004), en el estudio realizado sobre la biodiversidad, se reporta que existen ocho causas por las cuales se modifica el estado ecológico (figura 3). Se agrupan de la siguiente manera:

1) *Zonas poco modificadas*: paisajes prácticamente inalterados o en estado natural, o muy cercano al mismo.

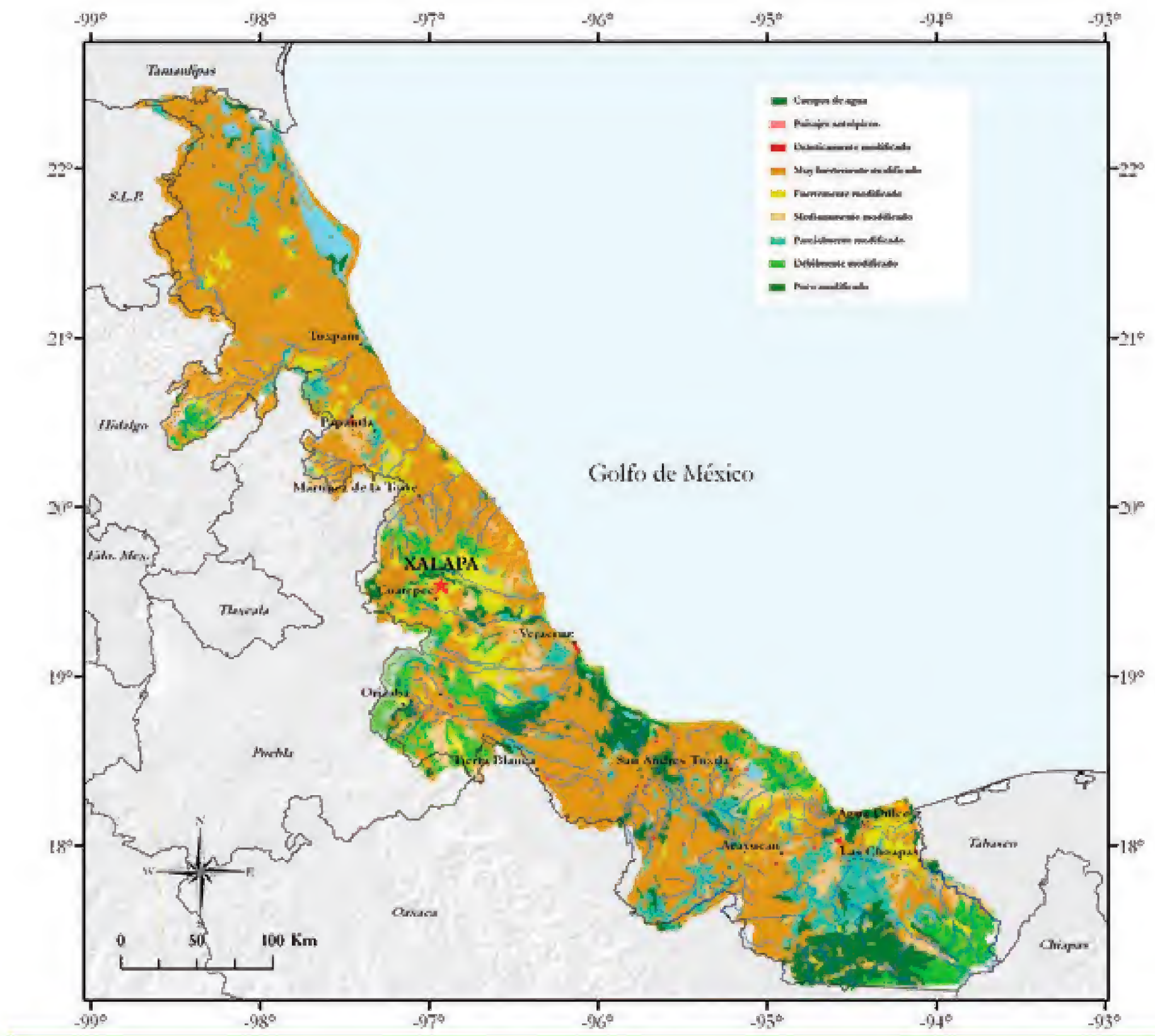


FIGURA 3. La mayoría de las modificaciones ecológico-paisajísticas que ha sufrido el estado de Veracruz, se han concentrado muy fuertemente en la zona norte; esto se ha debido al impulso y al desarrollo de la ganadería y la citricultura en esa región (Fuente: propiedad de la Conabio, citado por Soto, E. M., 2004).



5) *Zonas fuertemente modificadas*: paisajes con predominio de agroecosistemas poco mecanizados sobre restos de formaciones secundarias. Las prácticas antropogénicas comienzan a afectar los componentes abióticos como el microclima y el suelo. Su restauración es posible con una gran inversión de recursos.

6) *Zonas muy fuertemente modificadas*: zonas que han sufrido una total sustitución de sus componentes biogénicos. Presentan transformaciones del microclima, aguas superficiales y subterráneas, y micro y macro relieve. En ellas existen agroecosistemas altamente mecanizados.

7) *Zonas drásticamente modificadas*: paisajes con severas alteraciones en sus propiedades geológicas de carácter irreversible. Sus componentes más estables están afectados. En su entorno destacan un gran número de elementos tecnológicos.

8) *Paisajes antrópicos*: contruidos por el hombre. Predominan los elementos tecnológicos y su dinámica funcional es totalmente artificial.

Manson (2005) señaló algunas causas del impacto que ha tenido la agricultura en el estado de Veracruz y citó, como las más importantes, las siguientes:

1. Los potreros, cultivos y zonas urbanas ocupan un 72 % de la superficie del estado; sólo un 8.8 % de vegetación no perturbada.

2. Veracruz cuenta con la segunda tasa más alta de deforestación en el país (pérdida del 35 % de los bosques de 1984 a 2000, es decir, 47 000 ha año<sup>-1</sup>).

3. Más de 40 % del estado está afectado por erosión grave (>10 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>).

4. Veracruz es probablemente el estado con mayor número de especies amenazadas.

5. En los últimos cuatro años se han presentado en el estado ciclos de inundación y sequía cada vez más fuertes que causan miles de millones de pesos en daños.

La mayor parte de sus cuencas y ríos están contaminados, entre otras.

Es notorio que al relacionar el efecto del crecimiento de la agricultura en el estado con los impactos sobre la diversidad, ésta es negativa debido a que, al incrementarse los espacios productivos, existe una disminución en la diversidad del ambiente ecológico.

Tan sólo en Veracruz, la agricultura aumentó en 29 %, aproximadamente 473 114 ha en el periodo de 1984 al 2000; asimismo, se tuvo un aumento en la agricultura de temporal de un 27 % (figura 4), cubriéndose 1 862 922 ha del estado (Manson, 2005).

La agricultura de riego también experimentó un incremento de 46 %, cubriéndose 173 148 ha, es decir, el 2.4 % del estado. Sin embargo, cabe señalar que no es el crecimiento o expansión de la agricultura la que causa efectos negativos en la biodiversidad directamente, si no la apertura de nuevas áreas para la agricultura que no son aptas para ella. Estos casos están principalmente representados por los pastizales. En Veracruz, los pastizales aumentaron un 5.9 % durante el periodo de 1984 al 2000; actualmente cubren 3 323 507 ha (figura 5), lo cual representa el 46 % del estado; su crecimiento ha sido mayor en la zona norte y sur de la entidad (Manson, 2005).

Se tienen ubicadas algunas problemáticas de las regiones del estado, las cuales han sido, generalmente, provocadas por el efecto de la agricultura intensiva. Al respecto se citan las regiones siguientes:

### Los Tuxtlas

Está ubicada en las coordenadas extremas de 18°42'36" y 18°03'00" de latitud N, y 95°25'48" y 94°34'12" de longitud W. La principal problemática es sobre las especies endémicas y amenazadas debido a la modificación del entorno, deforestación, fragmentación de hábitat, erosión de suelos, presión demográfica, azolvamiento y eutrofización de cuerpos de agua.

### Encinares tropicales de la planicie costera veracruzana

Se localizan a todo lo largo de la costera veracruzana, la principal problemática es la pérdida de la biodiversidad por la alta presión que se ejerce sobre especies clave en los encinares dominantes,

debido a la utilización directa de madera de encino, y sobre especies asociadas, como resultado de las actividades ganaderas. Además, ocurre una alta pérdida de superficie vegetal original.

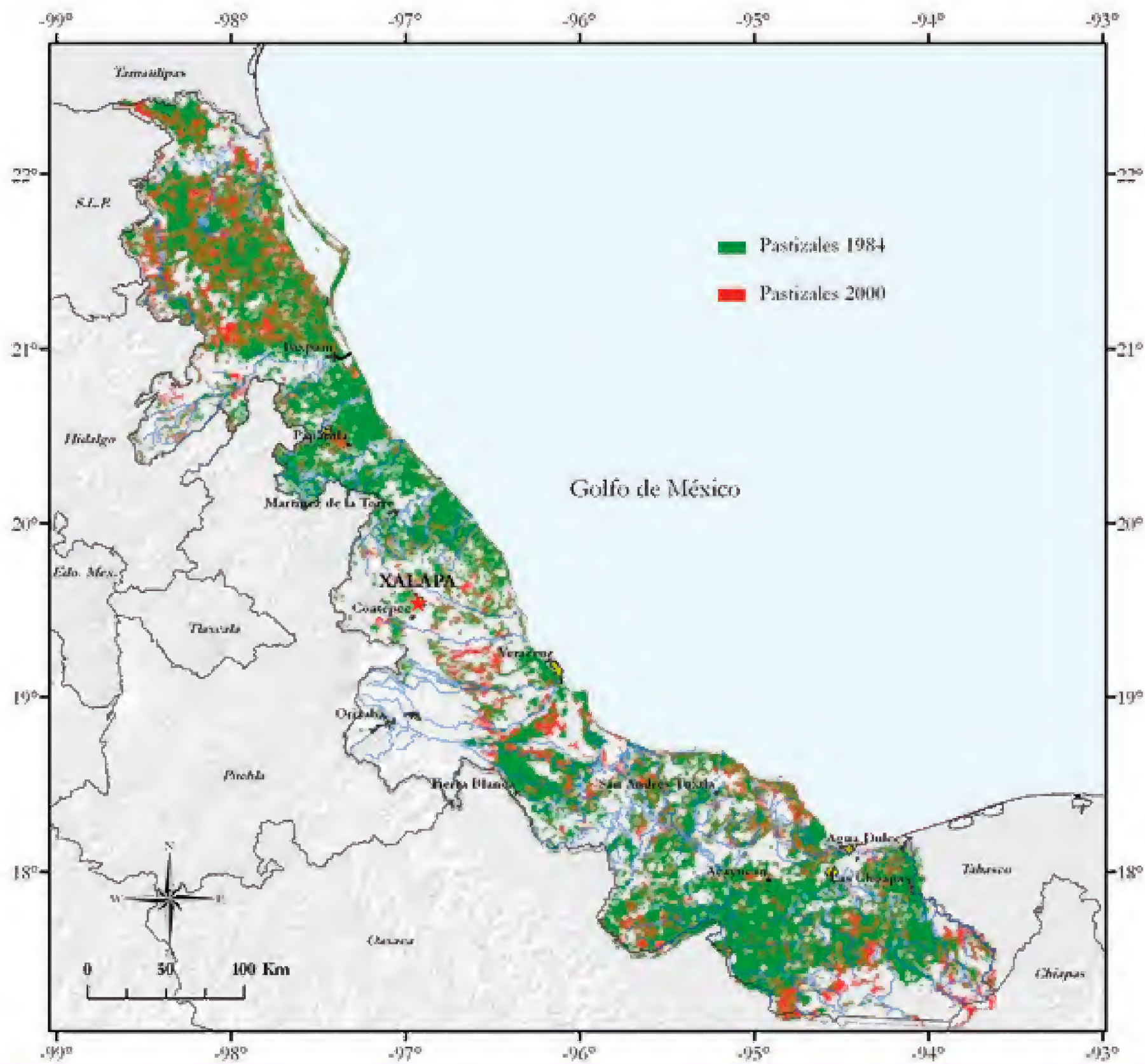


FIGURA 5. La distribución y el crecimiento de las áreas con pastizales han sido considerables; tan sólo durante el periodo de 1984 al 2000, éstas aumentaron un 5.9 % llegando a cubrir una superficie de 3 323 507 ha (Fuente: Mapa propiedad del Incol, citado por Manson, 2005).

### Dunas costeras del centro de Veracruz

Se ubican en el centro de Veracruz, en las coordenadas extremas 19°12'20" y 19°39'50" de latitud N y 96°11'15" y 96°39'50" de longitud W. La problemática se cimbra sobre las especies endémicas, ya que esta área forma parte del corredor migratorio de aves rapaces. La principal problemática incluye a los proyectos turísticos mal planeados, tala de vegetación, relleno de lagunas para construcción y la fragmentación del hábitat.

### Centro de Veracruz

Esta área se localiza en las coordenadas geográficas 19°12'20" y 19°39'50" de latitud N, y 96°11'15" y 96°26'18" de longitud W. Forma parte del corredor migratorio de aves rapaces y zona de anidación de siete especies de garzas, las cuales están amenazadas por la puesta en marcha de proyectos turísticos no sustentables, tala de vegetación de dunas para siembra y algunas obras como relleno de lagunas para construcción.

### La Mancha y El Llano

Esta área natural, ubicada en las coordenadas 19°36' de latitud N y 96°23' de longitud W, es importante porque alberga un bosque decíduo estacionalmente inundado de *Crysobalanus icaco* y *Enterolobium cyclocarpum*, y comunidades de *Cyperus articulatus* y *Phyla nodiflora*. Los manglares hospedan poblaciones de *Crocodylus moreletii*, *Mycteria americana* y *Egretta rufescens*. Es de importancia económica para la pesca de ostión, camarón y almeja, aunque esto ha sido afectado por el reemplazo de dunas costeras debido al crecimiento urbano y la obstrucción de lagunas por deforestación de la cuenca superior. La infraestructura de ductos petroleros y el crecimiento intensivo de pastizales han causado un impacto negativo en esta área.

Además, se tienen casos más graves y más estudiados en el estado, como el bosque de niebla en la región oeste de Xalapa y la del manglar de Sontecomapan, donde el principal problema es la extensión de las áreas agrícolas.

### La destrucción del bosque de niebla en la región oeste de Xalapa

Este fenómeno se ha acelerado considerablemente en las últimas décadas. El bosque mesófilo de montaña proporciona varios servicios ambientales importantes, como son: la captación de agua, reducción del escurrimiento pluvial y el aumento en la recarga de los mantos acuíferos. Lo anterior resulta en un aumento de la cantidad de agua disponible de la precipitación anual (Stadtmüller, 1987) y disminución de las inundaciones y sequías que dañan a los sistemas agropecuarios.

El bosque de niebla igualmente contribuye de manera significativa al enriquecimiento y desarrollo de los suelos debido a su baja tasa de descomposición (Challenger, 1998). Además, los bosques saludables son muy importantes en la purificación del agua, control de la erosión de los suelos y en la disminución del azolvamiento de los ríos, riesgo de inundaciones y deslaves, como los que recientemente han afectado varios estados del sureste de la República Mexicana (Myers, 1997).

A pesar de lo importante de su biodiversidad y los servicios ambientales que presta a nivel mundial, el bosque de niebla está sumamente amenazado y presenta la tasa de deforestación más alta entre los bosques de tipo tropical (Aldrich *et al.*, 2000). Se estima que en México, más del 50 % de los bosques de niebla han desaparecido (Challenger, 1998).

Históricamente, Veracruz ha sido el cuarto estado del país con mayor proporción de este tipo de ecosistemas, pero gran parte de éste y otros tipos de bosque han sido convertidos en otro tipo de sistemas, donde el uso del suelo ha sido cambiado (Williams-Linera, 1992). Lo anterior ayuda a expli-

car el hecho de que Veracruz tenga el mayor número de especies en peligro de extinción (Flores-Villela y Gerez, 1988).

### El manglar de Sontecomapan, Veracruz

Los manglares representan un gran potencial económico y alimenticio para las poblaciones humanas que habitan en los alrededores de estos ecosistemas lagunares, y su deterioro ha traído una baja en la productividad natural del manglar. Particularmente, los árboles de los manglares son apreciados como fuente de leña, carbón y madera para construcción. Sin embargo, el manejo inadecuado de estos recursos ha hecho que los manglares estén desapareciendo a un ritmo acelerado (Villalobos *et al.*, 1999). Un ejemplo de esto, lo constituye la laguna de Sontecomapan (figura 6), ubicada dentro de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, al sur del estado de Veracruz, donde la falta de un plan de manejo propició la pérdida continua de sus recursos (Carmona-Díaz *et al.*, 2004). Se encuentra en la localidad del mismo nombre, dentro del municipio de Catemaco y cuenta con una extensión aproximada de 891 hectáreas (Contreras y Castañeda, 1995). La superficie actual de este manglar es de, aproximadamente, 700 hectáreas, localizándose la mayor cobertura en el extremo noreste de la laguna (Carmona-Díaz *et al.*, 2001).

La deforestación del manglar y de otros ecosistemas adyacentes a la laguna de Sontecomapan es promovida con la finalidad de ampliar áreas para la agricultura y para la ganadería extensiva. La práctica ganadera avanza cada vez más hacia el interior del manglar, aún cuando los sitios inundables no son propicios para la cría de ganado. No obstante, los ganaderos han desarrollado técnicas para superar esta limitante, mediante la apertura de canales en los linderos de los terrenos vecinos al manglar, con lo que se evita que la



FIGURA 6. El manglar de Sontecomapan, Veracruz es uno de los que han sido fuertemente modificados; está ubicado dentro de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, al sur del estado de Veracruz (Foto: Carmona-Díaz *et al.*, 2004).

marea inunde los campos ganaderos cuando ésta sube. Asimismo, las prácticas agrícolas que se realizan en la zona están sustituyendo manchones de selva para introducir la agricultura de temporal. Así, por ejemplo, los cultivos tradicionales de maíz y frijol son reemplazados por el cultivo de chile, el cual, hoy en día, genera empleos para los habitantes de la región. Esto también ha ocasionado graves problemas ambientales como son el azolve de los ríos y de la laguna por arrastre eólico y fluvial. Como consecuencia de lo anterior, se tienen los problemas siguientes: se impide la circulación normal de lanchas turísticas y de pescadores; se observa un descenso de los niveles de profundidad de los ríos y la laguna; se presentan cambios de temperatura en los cuerpos de agua; y la descarga de agroquímicos, tales como fertilizantes, insecticidas y herbicidas causan la contaminación de los ríos y de la laguna de Sontecomapan. Esta problemática ha causado el descenso de los niveles de productividad pesquera en esta área.

## LA DEFORESTACIÓN PRODUCTO DE LA AGRICULTURA INTENSIVA EN VERACRUZ

El estado de Veracruz es representativo de la dramática situación que sufre el país por la pérdida de masa forestal, biodiversidad y recursos hidráulicos. Esto no sólo nos muestra un problema “ecológico”, como algunos sectores pretenden presentarlo, sino también un problema económico y social, ya que sus implicaciones

afectan la mayoría de las actividades humanas y ponen en grave riesgo la factibilidad de un futuro digno y sustentable para toda la población. La pérdida de bosques y selvas causa alteraciones al ciclo hidrológico, al clima, a la flora y fauna, y provoca una fuerte erosión del suelo que se traduce en una pérdida de tierra cultivable. Todo lo antes mencionado es claro que trae como resultado una pérdida de la biodiversidad. Una muestra de la gravedad de esta problemática se ilustra en las figuras 7 y 8.

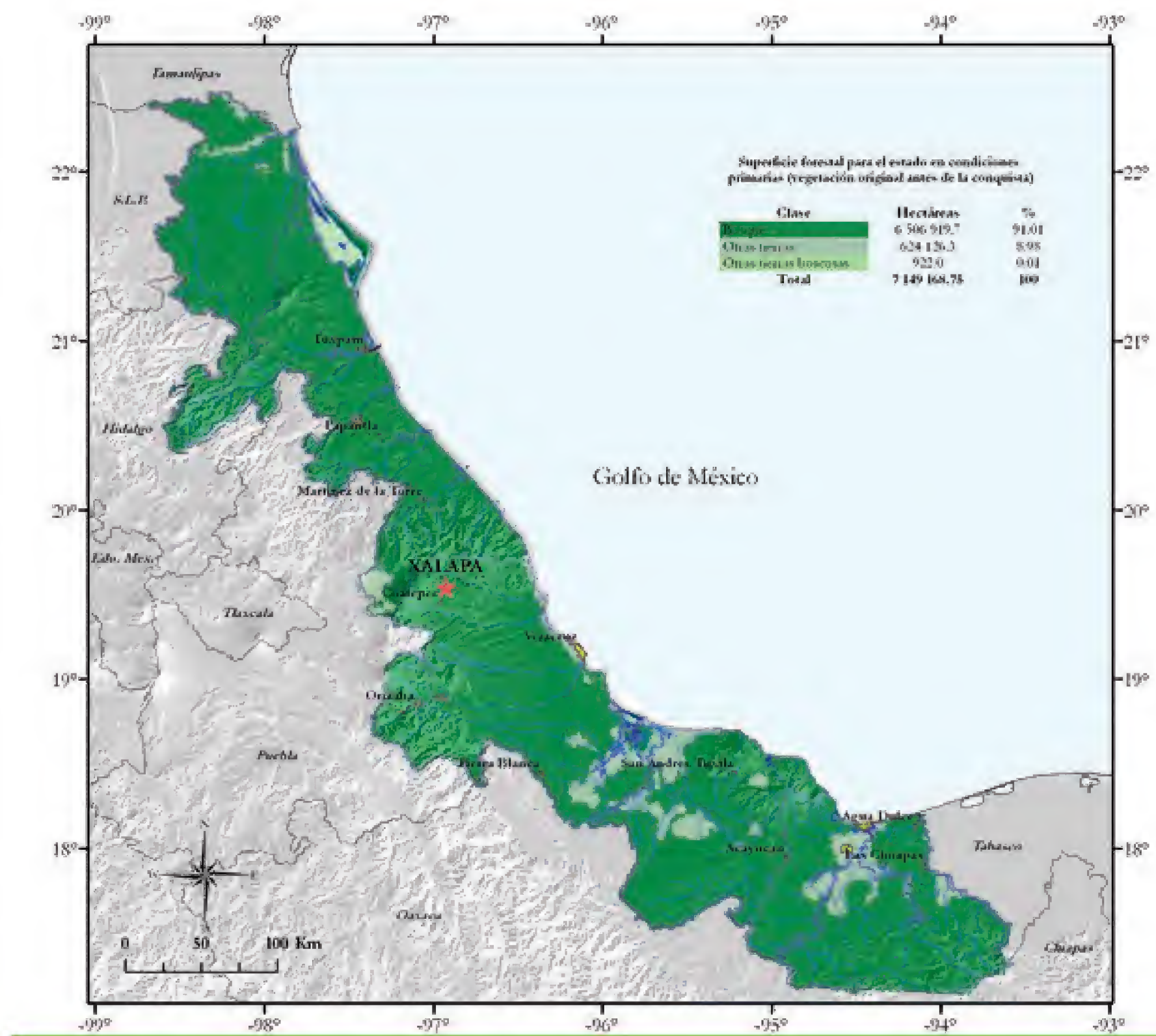


FIGURA 7. La población de árboles forestales y otra vegetación antes de la Conquista de México era, sin duda, abundante y diversa, cubriendo el 91.01% del estado, donde predominaba la vegetación primaria (Fuente: INEGI; obtenido de la Iniciativa para el Agua, Bosques y la Cuenca; Iniciativa ABC, Gobierno del Estado de Veracruz 2006).

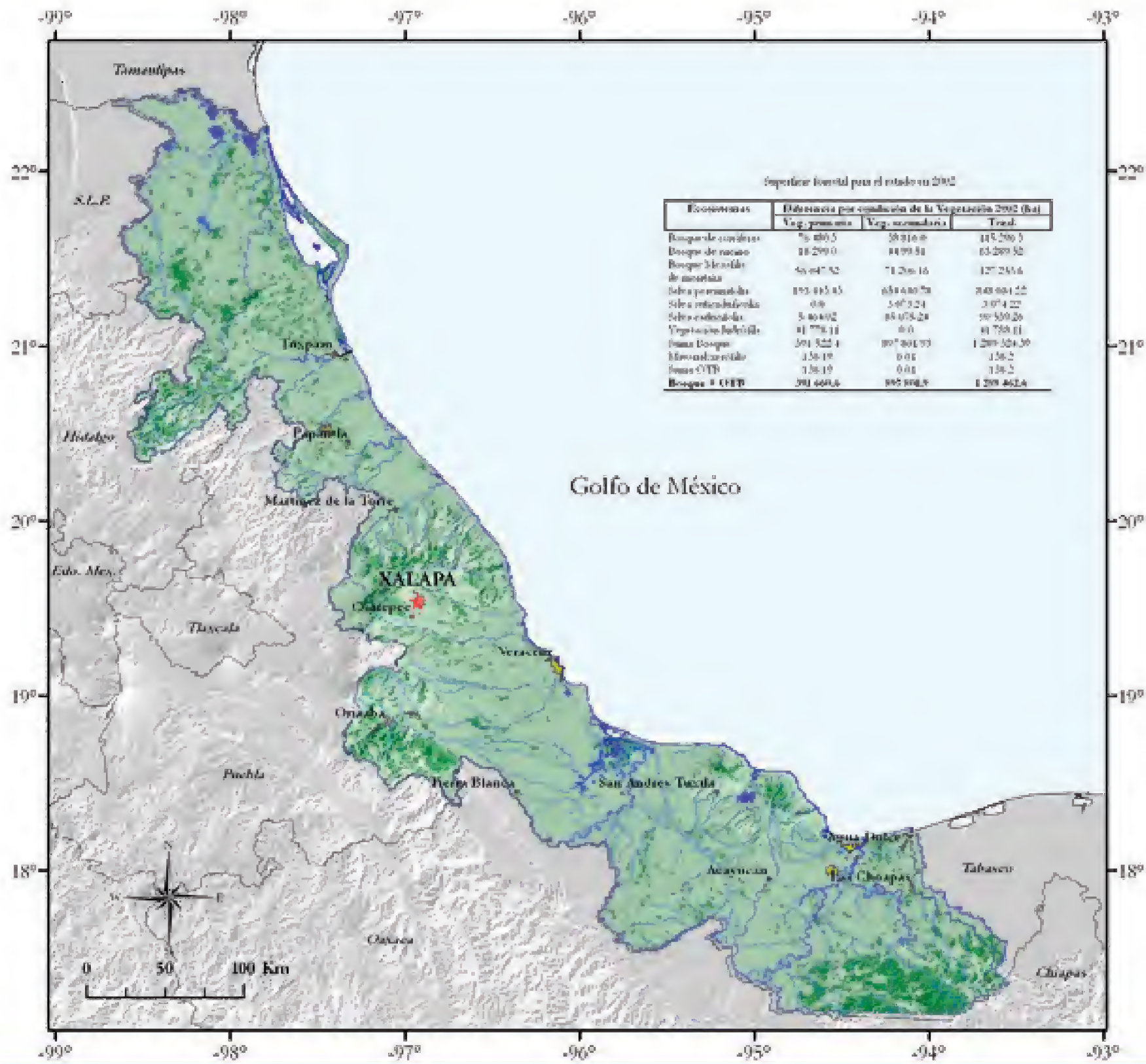


FIGURA 8. Para el año 2002, la población de árboles forestales era escasa en comparación a la que existía durante la Conquista de México por los españoles; actualmente predomina la vegetación secundaria (Fuente: INEGI; obtenido de la Iniciativa para el Agua, Bosques y las Cuencas; Iniciativa ABC, Gobierno del estado de Veracruz, 2006).

Como se observa, Veracruz ha perdido gran parte de sus recursos forestales. Un factor determinante de esta pérdida lo representa la ganadería con la extensión de pastizales.

### LA EROSIÓN Y LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Se denomina erosión al transporte de partículas sedimentarias acumuladas en superficie por corrientes superficiales de agua, viento y procesos gravitatorios (Benes y Forsbach, 2001). La erosión de una cuenca puede ser influenciada fuertemente por actividades humanas tales como la

deforestación, la construcción de caminos y la urbanización. Sin embargo, este fenómeno es, sin lugar a duda, acelerado por las explotaciones agrícolas intensivas. Un problema serio en Veracruz es la erosión causada por ríos, arroyos o por las aguas que fluyen sobre la superficie del suelo durante las lluvias intensas, en áreas cuyas tierras no se encuentran protegidas adecuadamente. La erosión de los suelos en Veracruz es provocada por muchos factores; sin embargo, los que mayor impacto han tenido en el aceleramiento de este fenómeno son las actividades antrópicas, como lo es la excesiva deforestación, la cual causa, a su vez, la destrucción de la vegetación de la superficie del suelo y provoca la degradación de las capas superiores del suelo. Asimismo, este proceso destruye la integridad física de los terrenos, provoca la pérdida de nutrimentos orgánicos e inorgánicos, y causa, además, el transporte de material de un lugar a otro por acción del agua (erosión hídrica) o del viento (erosión eólica).

Manson (2005) mencionó que Veracruz posee la tasa más alta de deforestación en el país, lo que ha causado que más de 40 % del estado esté afectado por erosión grave, es decir, se tiene una pérdida de suelo mayor de  $10 \text{ ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ .

El INEGI, en 1999, reportó que en Veracruz existe una superficie afectada por erosión eólica de 71 429 ha, la cual se distribuye, de acuerdo a la intensidad de este fenómeno, de la siguiente manera:

Ligera:	4 104 ha
Moderada:	34 130 ha
Severa:	22 538 ha
Muy severa:	10 657 ha
<i>Total:</i>	71 429 ha

La erosión hídrica en Veracruz es la que más daños ha causado al entorno agroecológico, debido a prácticas incorrectas en la agricultura.

Al respecto, el INEGI (1999) reportó una superficie de 72 005 ha dañadas por erosión hídrica y el INIFAP (2006) reportó la existencia de alrededor de 4 709 875 ha, distribuidas en todo el estado de Veracruz (figura 6).

Según Lal (1982), el surgimiento de daños causados por la erosión hídrica en áreas cultivadas no es más que un síntoma del empleo de métodos de cultivo inadecuados para determinada área y su ecosistema. No es la naturaleza (relieve e intensidad de lluvias), sino los métodos irracionales de cultivo utilizados por el hombre. El agricultor puede, mediante la utilización de sistemas de cultivo adaptados al lugar, controlar eficazmente la erosión, reducir la escorrentía y aumentar la infiltración de agua en sus campos. Las prácticas agrícolas tradicionales utilizadas en Veracruz, han traído consigo consecuencias negativas en términos de conservación de suelos, conservación del agua y del medio ambiente en general. Esto se debe al mal uso y manejo del suelo, a la práctica del sistema de monocultivo y al uso de implementos de labranza inadecuados, así como a la excesiva deforestación que deja el suelo desnudo y pulverizado, dejándolo en condiciones propicias para ser arrastrado por la lluvia.

La incapacidad de los propietarios de tierras y empresarios agrícolas de comprender el significado de la erosión, así como el intenso desgaste de los suelos bajo condiciones de climas calurosos y húmedos, ha causado la amplia distribución de suelos pobres, fuertemente erosionados, infértiles en todas las regiones de los trópicos y subtrópicos (Ochse *et al.*, 1961). La presencia de vegetación, en particular de árboles y arbustos, disminuye de manera significativa la tasa de erosión de suelos (Gade, 1996). Sin embargo, con un aumento en la pendiente de 5 a 25 %, la tasa de erosión de suelo en milpas del estado de Veracruz se eleva de  $62 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $492 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente (Sancholuz, 1984).

## CONCLUSIONES

Los impactos sobre los ecosistemas se han hecho más evidentes con el tiempo, a medida que los sistemas agrícolas se han ido intensificando en todo el mundo. La agricultura ha afectado las funciones de los ecosistemas, lo cual se ha venido manifestando, de manera significativa, a través de la pérdida de su diversidad biológica. Tal pérdida causa impactos negativos en los diversos procesos que se dan dentro de los ecosistemas y en aquellos que ocurren como resultado de la interacción de éstos con otros sistemas. Ejemplo de esto último es el caso del cambio climático y calentamiento global. Es claro que lo anterior ha traído severas consecuencias al medio ambiente y, por ende, al ser humano. Una de las acciones que puede contribuir a mitigar tal afectación de manera importante es la incorporación de mejores prácticas de manejo en la producción agrícola, las cuales deberán integrar los conocimientos técnicos más relevantes que han sido generados en la región y en otras áreas afines, sobre nuevas tecnologías en el manejo sustentable de los recursos agua, suelo y planta.

## LITERATURA CITADA

- ANDREARSEN, J.K., O'Neill, R.V., Noss, R. y N.C. Slosser, 2001, Considerations for a terrestrial index of ecological integrity, *Ecological Indicators* 1: 21-35.
- ANDRÉN, H., 1994, Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review, *Oikos* 71: 355-366.
- ALDRICH, M., P. Bubb, S. Hostettler y H. Van de Wiel, 2000, *Bosques nublados tropicales montanos. Tiempo para la acción*, WWF International/IUCN The World Conservation Union, Cambridge, Inglaterra, 28 pp.
- BEIER, P. y R. F. Noss, 1998, Do Habitat Corridors Provide Connectivity?, *Conservation Biology* 12 (6): 1241-1252.
- BENES, B., y R. Forsbach, 2001, Layered Data Structure for Visual Simulation of Terrain Erosion, en IEEE Proceedings of SCCG'01 25(4): 80-86.
- CARMONA-DÍAZ, G. y E. Rodríguez-Luna, 2001, *Estructura, distribución y abundancia del manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz*, Memorias del XXI Congreso Mexicano de Botánica, Querétaro, Querétaro, 118 pp.
- CARMONA-DÍAZ, G., J.E. Morales-Mávil y E. Rodríguez-Luna, 2004, Plan de manejo para el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la conservación de sus recursos naturales, *Madera y Bosques*, número especial 2: 5-23.
- CASTILLO-CAMPOS, G., M. Medina, P. Dávila y José Alejandro Zavala, H., 2005, Contribución al conocimiento del endemismo de la flora vascular de Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 73: 19-57.
- CONTRERAS, F. y O. Castañeda, 1995, *Los ecosistemas costeros del estado de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero, Veracruz, México, 144 pp.
- CHALLENGER, A., 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*, Conabio/UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C., México, 847 pp.
- FLORES-VILLELA, O. y P. Gerez, 1988, *Conservación en México: Síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo*, Inireb y Conservation International, México, 302 pp.
- GADE, D.W., 1996, Deforestation and its effects in highland Madagascar, *Mountain Research and Development* 16: 101-116.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2006, Iniciativa para el agua, bosques y las cuencas; Iniciativa ABC. Disponible en: (<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/GOBVERSFP/SFPPDIFUSION/SFPOTRASPUBLICACIONES/SFPFORODELAGUA2006/5.%20INICIATIVA%20ABC.PDF>).
- GUEVARA-SADA, S., 2000, *Diversidad de ecosistemas de Veracruz*, Instituto Nacional de Ecología.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1999, *Superficies Continental e Insular del Territorio Nacional*, inédito, México.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP), 2006, *Erosión Hídrica en Veracruz*, Laboratorio de agro mapas digitales, Producción Cartográfica 2006.
- LAL, R., 1982, Management of clay soils for erosion control, *Tropical Agriculture* 59 (2), 133-138.
- LÓPEZ-ZAMORA, I., 2006, Periódico *El Dictamen*, martes 1º de agosto de 2006, estado de Veracruz.
- MANSON, R., 2005, Primera reunión de trabajo hacia la Estrategia estatal sobre biodiversidad de Veracruz, Instituto de Ecología.
- MYERS, N., 1997, The world's forests and their ecosystem services, en G.C. Daily (ed.), *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, Island Press, Washington, D.C., pp. 215- 235.
- OCHSE, J.J., M.J Soule Jr., M.J. Dijkman y N.C. Wehlburg, 1961, *Tropical and Subtropical Agriculture*, vol. 1, The Macmillan Company, Nueva York, Londres, 760 pp.
- ROMERO CASTILLO, Daniel, 2001, *La agroindustria de Veracruz ante la globalización. Problemas y perspectivas*, Arana Editores, México, 270 pp.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (Sagarpa), 2005, Producción Agrícola de cultivos 2005, México.
- SANCHOLUZ, L.A., 1984, *Land degradation in Mexican maize fields*, tesis doctoral, Universidad de British Columbia, 212 pp.
- SOTO, E., M., 2004, *La Biodiversidad y el Desarrollo Regional*, Informe Técnico, Instituto de Ecología.
- STADMÜLLER, T., 1987, *Los Bosques Nublados en el Trópico Húmedo*, UNU, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 85 pp.
- STOMS, D., J.M. McDonald y F.W. Davis, 2002, Fuzzy Assessment of Land Suitability for Scientific Research Reserves, *Environmental Management* 29: 545-558.
- VILLALOBOS, J.G., A. Yáñez-Arancibia, J.W. Day y A.L. Lara-Domínguez, 1999, Ecología y manejo de los manglares en la Laguna de Términos, Campeche, México, en A. Yáñez-Arancibia y A.L. Lara-Domínguez, (eds.), *Ecosistemas de manglar en América Tropical*, Instituto de Ecología, México, UICN/HORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS, Silver Spr., MD, EUA, pp. 263-274.
- WILLIAMS-LINERA, G., 1992, Ecología del paisaje y el bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz, *Ciencia y Desarrollo XVIII* (105): 132-138.
- WILLIAMS-LINERA, G., R. Manson y E. Isunza, 2002, La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México, *Madera y Bosques* 8(1) 2002: 73-89.
- ([www.unep.org/unep/regoffs/medu/home.htm](http://www.unep.org/unep/regoffs/medu/home.htm)), verificada el 7 de julio de 2006.

## ESTUDIO DE CASO

### PÉRDIDA DE SUELO Y NUTRIMENTOS EN UN ENTISOL CON PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN EN LOS TUXTLAS, VERACRUZ, MÉXICO

Sergio Uribe-Gómez  
Néstor Francisco-Nicolás  
Antonio Turrent-Fernández

La erosión es el principal problema edáfico en gran parte de los terrenos agrícolas de México, donde las características de su clima tropical, la baja estabilidad de sus diferentes tipos de suelos y la marginación y pobreza de sus habitantes aceleran la pérdida de suelo (Benes y Forsbach, 2001). Para estudiar este problema, se instalaron lotes de escurrimiento de 2 m de ancho por 25 m de longitud, en un suelo Entisol, es decir, suelo con proceso de transformación lento, que no cuenta con horizontes característicos, con 15 % de pendiente, con el objetivo de evaluar la pérdida de suelo, el escurrimiento superficial y la pérdida de nutrientes en Los Tuxtlas, Veracruz. Se evaluaron los siguientes tratamientos: 1) labranza tradicional, la cual consistió en la quema de los residuos y roturación mecánica del suelo en el sentido de la pendiente; 2) terrazas de muro vivo con setos a 1 m de desnivel y tracción mecánica; 3) terrazas de muro vivo con setos a 1 m de desnivel y tracción animal; 4) labranza de conservación. La pérdida de suelo media registrada de 1995 a 1999 fue 199, 13, 3 y 1 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los tratamientos indicados, respectivamente. El escurrimiento superficial para los mismos tratamientos fue 31, 16, 15 y 17 % de la lluvia. La pérdida promedio de nitratos en los tratamientos con terrazas fue 23 kg ha<sup>-1</sup>, debido tal vez al aporte de nitrógeno por la descomposición de los residuos de la poda de los setos que se colocaron en la superficie del suelo. La mayor pérdida de bases se registró con labranza tradicional, (19, 21 y 25 kg ha<sup>-1</sup> de K, Ca y Mg, respectivamente) originada quizá por el alto contenido de cationes en las cenizas de los residuos de los cultivos. El costo ecológico fue 40.0, 3.0, 0.5 y 0.2 kg de suelo perdido por cada kg de maíz producido, para el mismo orden de los tratamientos. La labranza de conservación y las terrazas de muro vivo redujeron la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial (Martínez, 1997); sin embargo, su eficacia fue menor para disminuir la pérdida de nutrientes solubles en el agua de escurrimiento.

BENES, B., y R. Forsbach, 2001, Layered Data Structure for Visual Simulation of Terrain Erosion, en *IEEE Proceedings of SCCG'01* 25(4): 80-86.

MARTÍNEZ R., E., 1997, *Comportamiento de un suelo Xerosol háptico ante la acción de los implementos de labranza*, tesis doctoral, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

# Diversidad y conservación de plantas epífitas vasculares en el centro del estado



Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco  
Susana Valencia-Díaz  
Lislie Solís-Montero  
Andrea Cruz-Angón

## RESUMEN

En Veracruz hay al menos 604 especies de plantas epífitas y el centro de Veracruz es uno de los sitios donde este grupo ha sido más estudiado, desde el punto de vista ecológico y de su diversidad. En esta zona se han encontrado al menos 297 especies de plantas epífitas y al menos para un municipio este grupo comprende el 32 % de las especies. Al igual que otros grupos, las plantas epífitas enfrentan dos principales fuentes de presión para su supervivencia, la primera es la deforestación y fragmentación del hábitat, y la segunda es la extracción de las plantas para uso humano. En la presente investigación se encontró que la fragmentación cambia la estructura de la comunidad de epífitas, reduciendo su riqueza, su diversidad y produciendo comunidades saturadas. Estos cambios se deben en parte a la eliminación de hospederos específicos, a la reducción de ambientes riparios y posiblemente al cambio microclimático en los doseles aislados. Además, la extracción de las plantas de los fragmentos podría estar

amenazando al 58.6 % de las especies de epífitas del centro del estado, lo cual es particularmente intenso en orquídeas epífitas. Sin embargo, cultivos arbolados como el cafetal de sombra podrían ser útiles para la conservación de las epífitas, pues en ellos se generan comunidades de epífitas similares a las del bosque y algunas especies son capaces de generar grandes poblaciones y encontrar a sus polinizadores. Además, la comunidad de epífitas tiene un papel fundamental para la diversidad de animales de los cafetales de sombra. A pesar del trabajo acumulado, la diversidad y ecología de las plantas epífitas vasculares del centro de Veracruz merece mucha atención, por lo que es necesario reforzar su protección legal y generar mecanismos de aprovechamiento sustentable.

## INTRODUCCIÓN

Las plantas epífitas son aquellas que pasan al menos una parte de su ciclo de vida sobre otras plantas, sin

parasitarlas. Las plantas epífitas comprenden al menos el 10 % de las especies de plantas en el mundo (Kress, 1986), son un recurso importante para la fauna (Cruz-Angón y Greenberg, 2005) y participan en la dinámica de nutrientes y del agua en el bosque (Coxson y Nadkarni, 1995).

Las epífitas son un grupo poco estudiado en México, pero en el estado de Veracruz se condensa la investigación. En Veracruz al menos 604 especies de plantas pueden vivir como epífitas (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007). En el centro del estado se ha estudiado con detalle la flora epífita (cuadro 1) y las listas generadas (Castillo-Campos, 2003; Flores-Palacios y García-Franco, 2001; Valencia-Díaz, 2002; Zamora-Crescencio y Castillo-Campos, 1997), sugieren que hay al menos 297 especies de plantas

epífitas. De éstas, los grupos más importantes son las orquídeas (133 especies), los helechos y plantas afines (63 especies) y las bromelias (42 especies). Sin embargo, aún existen especies que no están registradas (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007).

La alta diversidad de epífitas del centro de Veracruz contrasta con ser uno de los paisajes más afectados por la acción humana. Esta zona concentra actividades agropecuarias y dos de las principales ciudades del estado (Xalapa y Veracruz). Esto ha ocasionado la reducción y fragmentación de los ambientes naturales y un fuerte impacto por la extracción de los recursos naturales que albergan (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007). Ante este escenario de constante deterioro del ambiente ¿cuál es la situación de las plantas epífitas en estos nuevos ambientes?

CUADRO 1. Localidades donde se ha estudiado la diversidad de plantas epífitas en el centro de Veracruz

LOCALIDAD	MUNICIPIO	ALTITUD (msnm)	NÚMERO DE ÁRBOLES MUESTREADOS	TIPO DE VEGETACIÓN	NÚMERO DE ESPECIES DE EPÍFITAS POR ÁRBOL		
					Epífitas	Parásitos	(%)
La Mancha <sup>1</sup>	Actopan	50	107	Dunas	6	1	0.06
Jalcomulco <sup>2</sup>	Emiliano Zapata	720	61	Selva mediana Encinar	42	-	0.69
Chavarrillo <sup>2</sup>	Emiliano Zapata						
Coatepec		1 000	49	Encinar tropical	40	-	0.82
Coacoatzintla <sup>2</sup>	Coacoatzintla	1 370	38	Bosque mesófilo	22	-	0.58
Cerro Campana <sup>2</sup>	Coatepec	1 430	35	Bosque mesófilo	53	-	1.51
Acatlán <sup>2</sup>	Acatlán	1 980	35	Bosque mesófilo	39	-	1.11
La Joya <sup>2</sup>	Acajete	2 370	34	Pinar	23	-	0.68
La Orduña <sup>3</sup>	Coatepec	1 200	51	Cafetal	42	1	0.82
Rancho Viejo <sup>4</sup>	Tlalnahuayocan	1 600	31	Bosque mesófilo (borde)	34	3	1.10
Rancho Viejo <sup>4</sup>	Tlalnahuayocan	1 570	36	Bosque mesófilo (interior)	49	3	1.36
Rancho Viejo <sup>4</sup>	Tlalnahuayocan	1 520	41	Bosque mesófilo (junto a un río)	87	1	2.12
Rancho Viejo <sup>4</sup>	Tlalnahuayocan	1 557	36	Pastizal	49	3	1.36
Rancho Viejo <sup>4</sup>	Tlalnahuayocan	1 500	46	Riparia	55	3	1.20
Rancho Viejo <sup>4</sup>	Tlalnahuayocan	1 500	47	Riparia	74	3	1.57
Rancho Viejo <sup>5</sup>	Tlalnahuayocan	1 500	100	Bosque mesófilo (junto a un río)	55	-	0.55
La Orduña <sup>3</sup>	Coatepec	1 200	96	Cafetal	55	1	0.57

FUENTES: <sup>1</sup> García-Franco (1996), <sup>2</sup> Hietz y Hietz-Seifert (1995), <sup>3</sup> Cruz-Angón (datos no publicados), <sup>4</sup> Flores-Palacios (2003), <sup>5</sup> Mehlreter *et al.* (2005).

## EFFECTO DE LA FRAGMENTACIÓN EN LAS PLANTAS EPÍFITAS

La fragmentación es la división de un hábitat continuo como consecuencia de actividades antropogénicas (Meffe y Carrol, 1994) y es, junto con la deforestación, la principal amenaza para la supervivencia de la vida silvestre (Saunders *et al.*, 1991). Por la dependencia de sus hospederos y por su distribución en parches de hábitat, las plantas epífitas podrían ser particularmente afectadas por la deforestación y la fragmentación (Williams-Linera *et al.*, 1995; Olmsted y Juárez, 1996; Sosa y Platas, 1997). Por ejemplo, en Yucatán 22 especies de orquídeas no han sido vistas en los últimos 10-20 años (Olmsted y Juárez, 1996), y en Veracruz seis especies de orquídeas epífitas están erradicadas y una se propuso como extinta (Sosa y Platas, 1997). En estos casos la desaparición de especies de epífitas ha sido asociada a un efecto combinado de deforestación, fragmentación y extracción ilegal.

Un árbol es la unidad mínima de hábitat de las plantas epífitas ya que están adaptadas para germinar, establecerse y pasar su vida en él (Flores-Palacios y García-Franco, 2006, 2008). Desde este punto de vista, en un bosque los árboles pueden ser considerados como las islas de un archipiélago denso. Mientras que en sitios muy perturbados y fragmentados, como lo es un pastizal, los árboles son islas completamente apartadas de las demás. En estudios sobre fragmentación del hábitat, esto permite diferenciar el efecto por la reducción del tamaño del hábitat, del efecto por el aislamiento, pues los árboles remanentes en los pastizales son hábitats aislados, pero no reducidos.

Para investigar el efecto de la fragmentación en la comunidad de epífitas se ha trabajado en un paisaje derivado de la fragmentación de bosque mesófilo de montaña (estudios de caso 1, 2 y 3). Este tipo de bosque es el de vegetación con mayor número de especies epífitas en el país. En él habitan preferentemente especies de las familias Bromeliaceae (la

familia de la piña) y Orchidaceae (orquídeas), entre otras familias que contienen una alta proporción de epífitas (Aguirre-León, 1992; Espejo-Serna y López-Ferrari, 1999). Esto hace que el bosque mesófilo de montaña sea un modelo adecuado para estudiar el efecto de la fragmentación en la comunidad de epífitas. Se ha encontrado que al dividir el bosque mesófilo en pequeños fragmentos aislados, se puede disminuir la heterogeneidad de hábitats, pues cada fragmento contiene sólo algunos de los hábitats del bosque (estudio de caso 1), y la alta diversidad de epífitas del bosque mesófilo está asociada a la heterogeneidad de hábitats.

El ambiente dominante en muchas zonas de Veracruz es el pastizal y en numerosas zonas este ambiente contiene árboles aislados que se usan para dar sombra al ganado. En estos árboles aislados se alberga una importante cantidad de plantas epífitas, pero en ellos se ejemplifica lo que ocurre cuando la disminución del hábitat es llevada al máximo. En los árboles que nacieron en el bosque y quedaron aislados, la comunidad de epífitas se satura, esto es, ya no caben más especies (estudio de caso 2) y en ellos dominan especies de epífitas que no lo hacen en el bosque, ocasionando una comunidad poco diversa y con dominancia de especies xéricas (estudio de caso 3). Pero, además, estas nuevas características de la comunidad aislada pueden también explicar su baja tasa de recambio de especies entre árboles (estudio de caso 1).

## COMERCIO ILEGAL DE PLANTAS EPÍFITAS EN XALAPA

El comercio ilegal de vida silvestre es una de las actividades más importantes a nivel mundial. Dos herramientas legales, íntimamente ligadas, tratan de regular la extracción de vida silvestre, la primera es la lista de especies protegidas y la segunda son las regulaciones al comercio ilegal (De Grammont y Cuarón, 2006). En México la lista de plantas protegidas reconoce el nivel de amenaza que enfrenta una

especie (Semarnat, 2002) y protege a 980 plantas vasculares, de las cuales al menos 19 % son especies de plantas epífitas (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007).

Las plantas epífitas son particularmente interesantes para el comercio porque incluyen, entre otros grupos, a orquídeas y bromelias que son altamente codiciadas en el mercado hortícola. Si la protección legal está frenando el tráfico ilegal, es de esperarse que el comercio ilegal de plantas epífitas incluya sólo a las especies de alto valor comercial, que sea secreto y poco frecuente. Para probar esto se monitoreó por 85 semanas un punto de venta ilegal de flora silvestre en Xalapa (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007). Se encontró que en este punto de venta se comerciaron 7 598 plantas o fragmentos de planta de 207 especies. Diecinueve especies eran plantas colectadas fuera de Veracruz pero conocidas para México y dos especies fueron colectadas en Veracruz pero nuevas para México. El 99.6 % de los ejemplares que se registraron fueron plantas que no estaban sembradas, que tenían raíces descubiertas y con rastros de su origen silvestre (*e.g.* flora acompañante, cohortes de adultos e hijuelos, marcas de herbivoría) (figura 1), el resto eran plantas sembradas (no cultivadas) pero con algunos signos de origen silvestre. Los datos muestran que el comercio ilegal en un sólo punto de venta cubre al menos al 25.3 %

de las epífitas de Veracruz y al 58.6 % de las epífitas del centro de Veracruz. Entre los grupos con mayor presión de colecta están las orquídeas, en este grupo la presión de colecta ilegal abarca al menos al 46.9 % de las especies de Veracruz y al 92.5 % de las especies del centro del estado.

La mayor parte de las especies que se venden ilegalmente son habitantes de bosque mesófilo, siendo éste, al parecer, el principal tipo de vegetación de donde se extraen epífitas, aunque potencialmente todos los tipos de vegetación del centro de Veracruz son áreas de extracción (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007). El tráfico ilegal observado incluyó 27 especies protegidas en México (figura 1), 41 especies endémicas de México y seis especies endémicas de Veracruz. Lo anterior indica que el amparo legal es insuficiente para la protección de este grupo, pues el tráfico de flora silvestre incluye tanto especies de alto y bajo valor comercial (particularmente orquídeas y plantas de flores pequeñas), y no es una actividad que ocurra en la clandestinidad, pues ocurre de manera frecuente, a plena luz del día, en puntos de venta establecidos y con una clientela regular. Pero, además, después de 85 semanas de monitoreo sólo hubo dos decomisos consecutivos de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, lo que refleja la subestimación oficial sobre el tráfico ilegal.

FIGURA 1 (página de enfrente). En un tianguis de Xalapa se monitoreó el comercio ilegal y se encontró que la riqueza y volumen de plantas que se comercializan es muy alta. Entre otras especies se observó tráfico ilegal de plantas afines a helechos como *Hupertzia taxifolia* (Sw.) Trevis. (5); de bromelias como *Pitcairnia heterophylla* (Lindl.) Beer (12), *Tillandsia leiboldiana* Schltdl. (11) y *Tillandsia lucida* E. Morren ex Baker (2). La mayor parte de las especies traficadas fueron orquídeas como *Acineta barkeri* (Bateman) Lindl. (19), endémica de México y amenazada de extinción; *Coelia triptera* (Sm.) G. Don ex Steud. (8); *Epidendrum longipetalum* A. Rich. & Galeotti (14), endémica de México; *Epidendrum raniferum* Lindl. (1); *Lycaste aromatica* (Graham) Lindl. (7); *Maxillaria cucullata* Lindl., *Maxillaria variabilis* Bateman ex Lindl. (15); *Oncidium sphacelatum* Lindl. (3); *Pleurothallis ornata* Rchb. f. (16), endémico de México; *Prosthechea vitellina* (Lindl.) W. E. Higgins (18), sujeta a protección especial; *Rhynchostele cordata* (Lindl.) Soto Arenas & Salazar (4); amenazada de extinción; *Rhynchostele rossii* (Lindl.) Soto Arenas & Salazar (17), amenazada de extinción; *Stanhopea tigrina* Bateman ex Lindl. (6 y 13), endémica de México y amenazada de extinción; *Stelis* sp. (9) y *Stenorrhynchos speciosus* (Jacq.) Rich. ex Spreng. (10). En algunos casos el comercio ilegal es realizado por vendedores ocasionales pero especializados, como el vendedor (6) de la foto, quien únicamente vendía la orquídea *Stanhopea tigrina* Bateman ex Lindl. (6), nótese en el acercamiento de esta especie (13) la flora acompañante del ejemplar (briofitas y dos especies de helechos).



## SOBREVIVENCIA DE EPÍFITAS EN PLANTACIONES DE CAFÉ

Una opción alentadora para la conservación de las plantas epífitas en el centro de Veracruz es que algunas especies están invadiendo ambientes secundarios y al parecer en ellos encuentran condiciones para su supervivencia (Solís-Montero *et al.*, 2005; Cruz-Angón y Greenberg, 2005). Gran parte de la superficie originalmente ocupada por bosque mesófilo ha sido sustituida por cafetales de sombra y se sabe que, a nivel nacional, 214 especies de orquídeas han sido colectadas en cafetales (Espejo-Serna *et al.*, 2005) pero desconocemos cuántas de ellas

realmente mantienen poblaciones estables en el cafetal.

Con las listas de especies de epífitas obtenidas en los bosques nativos y de un cafetal del centro de Veracruz (cuadro 1), se elaboró un análisis preliminar para saber si la comunidad de epífitas de un cafetal cercano a Coatepec se parece a la del bosque mesófilo que fue sustituido por el cafetal. Se obtuvo que las comunidades de epífitas se acomodan de acuerdo a la altitud y a la comunidad vegetal de donde vienen (figura 2). El cafetal incluido en el análisis tiene una comunidad epífita parecida a la del bosque mesófilo, sugiriendo que las únicas limitantes para el establecimiento de una comunidad de

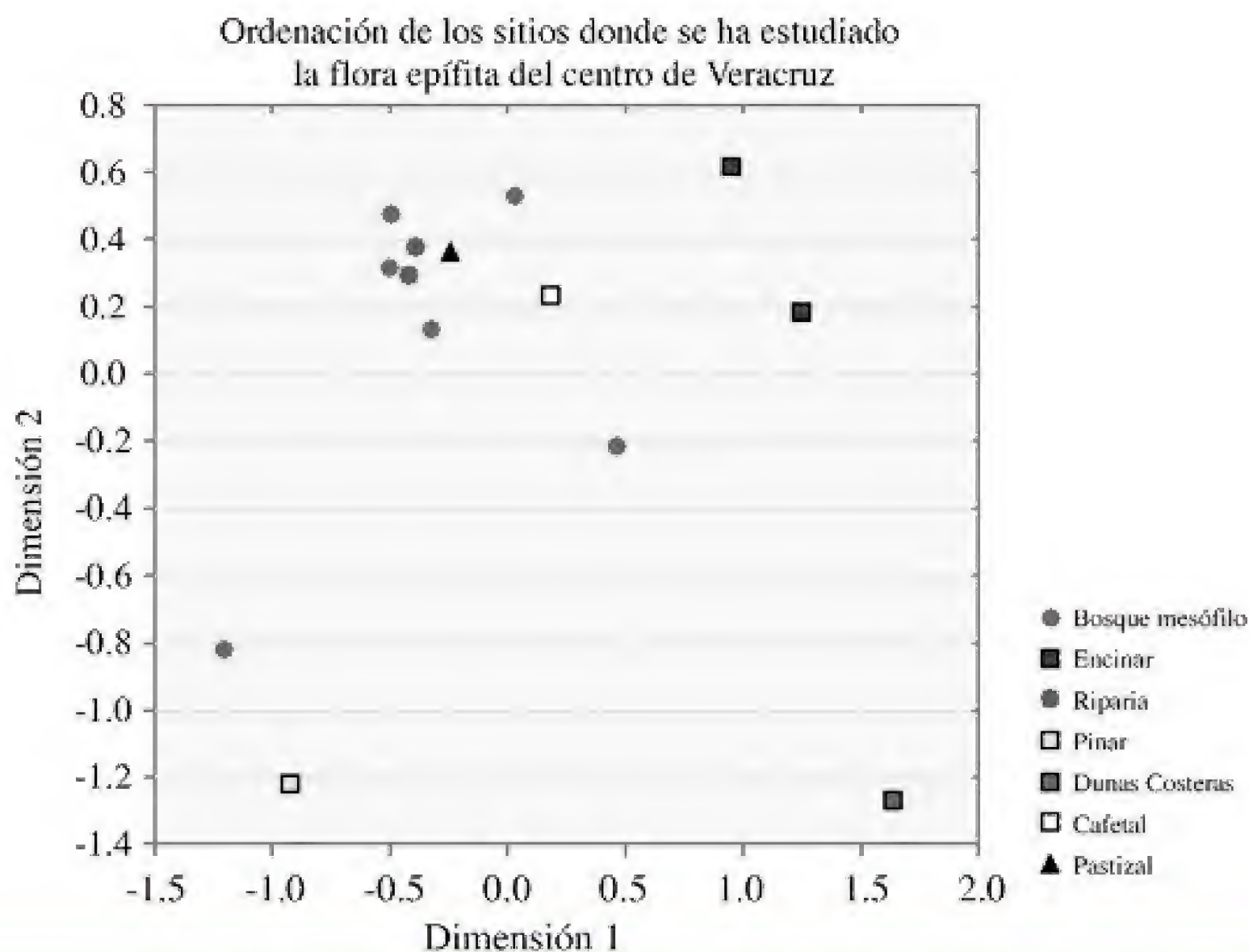


FIGURA 2. Ordenación de los sitios donde se ha estudiado la flora epífita del centro de Veracruz. Las localidades corresponden a las señaladas en el cuadro 1. La ordenación fue hecha con la técnica de escalamiento multidimensional y explica más del 90 % de la variación (estrés = 0.05). La dimensión uno está correlacionada con la altitud ( $r = -0.93$ ,  $P < 0.05$ ) y la dimensión dos con la riqueza de especies ( $r = 0.70$ ,  $P < 0.05$ ). Nótese cómo el sitio de cafetal se agrupa con los de bosque mesófilo.

epífitas son la masa arbolada y la altitud. Aun así el número de especies de epífitas que hay en el cafetal es más bajo que el de los bosques nativos (cuadro 1), especialmente cuando se le compara ponderando el tamaño de muestra (número de especies de epífitas entre número de árboles muestreado, cuadro 1). El bajo número de especies podría deberse a la ausencia de más especies de hospederos, a limitantes microclimáticas dentro del cafetal, a la juventud de las plantaciones cafetaleras (comparada con la edad de los bosques primarios), o a la actividad de recolección de epífitas en los cafetales. Sin embargo, aquellas especies de epífitas que habitan en cafetales pueden desarrollar poblaciones tan grandes como las de los bosques primarios, al encontrar microhábitats para su supervivencia y por la presencia de polinizadores, como se registró para tres especies de orquídeas (Solís-Montero *et al.*, 2005).

#### PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN

Es necesario conservar bosques primarios que mantengan sitios, micro-ambientalmente diversos, y una gran cantidad de hospederos. También es necesario intensificar la exploración en el dosel, pues aún no se entiende claramente la distribución y abundancia de las especies epífitas de Veracruz. La exploración del dosel no es una tarea fácil, requiere entrenamiento y equipo especial para ascender a los árboles; además, la diversidad de plantas es muy alta, con grupos muy poco estudiados (*e.g. Peperomia*), lo que promete el descubrimiento de nuevos registros y especies.

Si hubiera suficientes bosques protegidos sería posible conservar una gran diversidad de epífitas, y de ellos se podría extraer, de forma sustentable, material para la industria hortícola. Como complemento, sería necesario incrementar la protección y la vigilancia de los bosques para evitar la colecta ilegal, ya que es una actividad delicada. La extracción comercial de plantas epífitas es posible si las pobla-

ciones bajo manejo son muy abundantes, de otra forma la única opción es la propagación artificial (Wolf *et al.*, 2006). Desgraciadamente, la mayor parte de las especies de epífitas tienen poblaciones divididas geográficamente, con bajas densidades, haciéndose necesaria la propagación (Wolf *et al.*, 2006).

La razón por la que la extracción no puede ser sustentable tal y como se hace en la actualidad, es que usualmente los recursos aprovechados bajo extracción libre y no controlada terminan agotándose (Tang *et al.*, 2005). La extracción de plantas epífitas de poblaciones silvestres disminuye tanto los crecimientos recientes de la planta (clones), como el número de individuos sexualmente reproductivos, lo que podría afectar la dinámica poblacional (Mondragón *et al.*, 2004).

#### CONCLUSIONES

La extracción ilegal debe ser frenada y los actuales comerciantes ilegales deben ser conducidos a formas sustentables de aprovechamiento de las epífitas, tal como se ha logrado en otros grupos de plantas con uso hortícola, como las cícadas (véase Vovides *et al.*, 2002). Por ahora, los resultados de la investigación acumulada demuestran que en la región del centro de Veracruz existe una fuerte actividad de tráfico ilegal y que existe tanto el material biológico como el mercado interesado en él, pero lo que falta es integrarlo de una forma legal y sustentable.

Las plantas epífitas son un componente diverso de los bosques de Veracruz y su uso, como recurso para la industria hortícola, tiene mucho potencial. Sin embargo, la tendencia actual de extracción desmedida y destrucción de su hábitat, ha provocado la reducción de sus poblaciones, poniéndose en riesgo de extinción a muchas de éstas. Si se quiere conservar y aprovechar adecuadamente el potencial que tiene este grupo de plantas, es necesario procurar mayor protección legal y acciones de conservación

del bosque. Pero estas acciones de conservación deben estar acompañadas de programas que implementen técnicas de propagación que ayuden a su uso sustentable. El mercado que las demanda ya existe y está dispuesto a pagar por nuevas especies y variedades. La perspectiva actual es la de un recurso amenazado y desperdiciado.

## LITERATURA CITADA

- AGUIRRE-LEÓN, E., 1992, Vascular epiphytes of Mexico: preliminary inventory, *Selbyana* 13: 72-76.
- CASTILLO-CAMPOS, G., 2003, *Biodiversidad de la selva baja caducifolia en un sustrato rocoso de origen volcánico en el centro del estado de Veracruz, México*, tesis de doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- COXSON, D.S. y N.M. Nadkarni, 1995, Ecological Roles of Epiphytes in Nutrient Ecosystems, en M.D. Lowman y N.M. Nadkarni (eds.), *Forest canopies*, Academix Press, San Diego, pp. 495-543.
- CRUZ-ANGÓN, A. y R. Greenberg, 2005, Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment, *Journal of Applied Ecology* 42: 150-159.
- DE GRAMMONT, P.C. y A.D. Cuarón, 2006, An evaluation of threatened species categorization systems used on American continent, *Conservation Biology* 20: 14-27.
- ESPEJO-SERNA, A. y A.R. López-Ferrari, 1999, Mexican Bromeliaceae: Diversity and notes on their conservation, *Harvard Papers in Botany* 4: 119-128.
- ESPEJO-SERNA, A., A.R. López-Ferrari, R. Jiménez-Machorro y L. Sánchez-Saldaña, 2005, Las orquídeas de los cafetales de México: una opción para el uso sustentable de ecosistemas tropicales, *Revista de Biología Tropical* 53: 73-84.
- FLORES-PALACIOS, A., 2003, *El Efecto de la Fragmentación del Bosque Mesófilo en la Comunidad de Plantas Epífitas Vasculares*, tesis de doctorado, Instituto de Ecología, Xalapa, México.
- FLORES-PALACIOS, A. y J.G. García-Franco, 2001, Sampling methods for vascular epiphytic plants: their effects on recording species richness and frequency, *Selbyana* 22: 181-191.
- , 2004, Effect of isolation on the structure and nutrient budget of oak epiphyte communities, *Plant Ecology* 173: 259-269.
- , 2006, The relationship between tree size and epiphyte richness: testing four different hypotheses, *Journal of Biogeography* 33: 323-330.
- , 2008, Habitat isolation changes the beta diversity of the vascular epiphyte community in lower montane forest, Veracruz, Mexico, *Biodiversity and Conservation* 17: 191-207.
- FLORES-PALACIOS, A. y S. Valencia-Díaz, 2007, Local illegal trade of wild vascular epiphytes reveals unknown diversity, *Biological Conservation* 372-387.
- GUEVARA, S. y J. Laborde, 1993, Monitoring seed dispersal at isolated standing trees in tropical pastures: consequences for local species availability, *Vegetation* 107/108: 319-338.
- KRESS, W.J., 1986, The systematic distribution of vascular epiphytes: An update, *Selbyana* 9: 2-22.
- LOREAU, M., 2000, Are communities saturated? On the relationship between  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$  diversity, *Ecology Letters* 3: 73-76.
- MACARTHUR, R.H. y E.O. Wilson, 1967, *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
- MEFFE, G.K. y C.R. Carrol, 1994, *Principles of Conservation Biology*, Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.
- MEHLTRETER, K.V., A. Flores-Palacios y J.G. García-Franco, 2005, Host preferences of vascular trunk epiphytes in a cloud forest of Veracruz, Mexico, *Journal of Tropical Ecology* 21: 651-660.
- MONDRAGÓN, D., R. Durán, I. Ramírez y T. Valverde, 2004, Temporal variation in the demography of the clonal epiphyte *Tillandsia brachycaulos* (Bromeliaceae) in the Yucatán Peninsula, Mexico, *Journal of Tropical Ecology* 20, 189-200.

- OLMSTED, I. y M. G. Juárez, 1996, Distribution and conservation of epiphytes on the Yucatan Peninsula, *Selbyana* 17: 58-70.
- PEDRAZA, R.A., 2003, *Árboles nativos para plantaciones: una estrategia de restauración en áreas deforestadas*, tesis de doctorado, Instituto de Ecología, Xalapa, México.
- SAUNDERS, D.A., R.J. Hobbs y C.R. Margules, 1991, Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review, *Conservation Biology* 5: 18-32.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-59-ECOL-2001. Protección ambiental.- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres.- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio.- Lista de especies en riesgo, *Diario Oficial de la Federación*, Tomo DLXXXII núm. 4, segunda sección, pp. 1-80.
- SOLIS-MONTERO, L., A. Flores-Palacios y A. Cruz-Angón, 2005, Shade coffee plantations as refuges for tropical wild orchids in Central Veracruz, Mexico, *Conservation Biology* 19: 908-916.
- SOSA, V. y T. Platas, 1997, Extinction and persistence of rare orchids in Veracruz, Mexico, *Conservation Biology* 12: 451-455.
- TANG, Y., L. Mao y H. Gao, 2005, Over-exploitation and lack of protection is leading to a decline of a protected calcicolous tree species *Excentrodendron hsienmu* (Tiliaceae) in China, *Biological Conservation* 126: 14-23.
- VALENCIA-DÍAZ, 2002, *Estructura de tamaños, densidad y hábitat de Mammillaria eriacantha Link & Otto ex Pfeiff. Una cactácea endémica del centro de Veracruz: Estudio Piloto*, tesina, Universidad Veracruzana.
- VOVIDES, A.P., C. Iglesias, M.A. Pérez-Farrera, M.V. Torres y U. Schippmann, 2002, Peasant nurseries: a concept for integrated conservation strategy for cycads in Mexico, en M. Mauder, C. Clubbe, C. Hankamer, M. Groves (eds.), *Plant conservation in the tropics. Perspectives and practice*, The Royal Botanic gardens, Kew, pp. 423-444.
- WHITTAKER, R.H., 1972, Evolution and measurement of species diversity, *Taxon* 21: 213-251.
- WILLIAMS-LINERA, G., R.H. Manson y E. Isunza Vera, 2002, La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México, *Madera y Bosques* 8: 69-85.
- WILLIAMS-LINERA, G., V. Sosa y T. Platas, 1995, The fate of epiphytic orchids after fragmentation of a Mexican cloud forest, *Selbyana* 16: 36-40.
- WOLF, J.H. D., P. Romeijn y H.F.M. Vester, 2006, *Toward the sustainable use of canopy biodiversity for forest conservation and poverty reduction - lessons learned from Chiapas, Mexico*, Proceedings of the Annual Meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation, Kunming, Yunnan.
- WOLF, J.H.D. y A. Flamenco, 2003, Patterns in species richness and distribution of vascular epiphytes in Chiapas, Mexico, *Journal of Biogeography* 30: 1-19.
- ZAMORA-CRESCENCIO, P. y G. Castillo-Campos, 1997, *Vegetación y flora del municipio de Tlalnelhuayocan, Veracruz*, Textos Universitarios, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.

## ESTUDIO DE CASO 1

### DIVERSIDAD DE EPÍFITAS EN UN PAISAJE ORIGINADO POR LA FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA

Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco

Se estudió un paisaje derivado de la fragmentación del bosque mesófilo. Este paisaje es un rancho privado del municipio de San Andrés Tlalnahuayocan, Veracruz, México (19°30'57.6" N, 96°59'42.42" O; 19°30'54" N, 96°59'49.89" O y 19°30'53.7" N, 97°00'05" O). El paisaje en el sitio estaba formado por un mosaico de hileras de árboles aislados a lo largo de un río (vegetación ribereña), árboles aislados en pastizal y por un fragmento de bosque que representa al bosque continuo. Todos los elementos eran contiguos, compartían la misma historia y representaban un gradiente de fragmentación que iba desde los árboles del bosque hasta los árboles aislados en el potrero. Los árboles aislados en el pastizal son islas de hábitat donde el número de especies (riqueza) de epífitas tiene un patrón diferente respecto del bosque. Los árboles aislados albergan una riqueza de especies alta (en promedio 11.7 especies por árbol), mientras que en el bosque y en los fragmentos de ribereña la riqueza por árbol es muy variable, y el bosque contiene los árboles con el menor y el mayor número de especies de epífitas (6.6-14.1 epífitas por árbol) (Flores-Palacios y García-Franco, 2008). Esto sugiere que el incremento de luz en el pastizal favorece el establecimiento de epífitas y es lógico que éstas puedan invadir árboles aislados, pues una de sus características es la dispersión a gran distancia. En el sitio estudiado, la mayor parte de las especies de orquídeas, helechos y afines tienen semillas dispersadas por el viento. A pesar de tener un alto número promedio de especies epífitas, los árboles aislados tienen la menor tasa de recambio de especies entre ellos; esto es, tienen las mismas especies o grupos de especies muy similares. La tasa de recambio de especies (diversidad  $\beta$ ) indica cómo se reparte la diversidad en un área. Si se usa un valor de semejanza para medir la diversidad  $\beta$ , entonces un valor alto significa que las mismas especies están en todo el paisaje; pero si el valor es bajo significa que la riqueza está repartida en muchas áreas y el paisaje es diverso. Los árboles del pastizal comparten en promedio al 42 % de las especies, mientras que los árboles del bosque y los árboles de los fragmentos de ribereña comparten en promedio entre el 16 y el 26 % de las especies de epífitas. En el bosque y en los fragmentos de ribereña la riqueza acumulada de especies de epífitas es alta y podrían habitar de 42 a 103 especies en el bosque y de 67 a 90 especies en la riparia; mientras que en el pastizal sólo podría haber 58 especies (Flores-Palacios y García-Franco, 2008).

El aislamiento de los árboles en pastizales ocasiona una riqueza acumulada de especies de epífitas menor a la del bosque. Esta es una diferencia fundamental, pues el bosque puede albergar una gran cantidad de especies de epífitas y esta capacidad está asociada a la diversidad de hábitats.

Se encontró que la diversidad de hábitats para epífitas dentro del bosque mesófilo tiene al menos dos niveles: la variación micro-climática dentro del bosque y la diversidad de hospederos. La primera ocasiona que la diversidad de epífitas cambie entre áreas húmedas y relativamente secas dentro del bosque, de hecho el área de bosque más húmeda casi duplica la diversidad de epífitas del área más seca (Flores-Palacios y García-Franco 2008). En el segundo nivel están los helechos arborescentes, quienes suelen tener especies de epífitas que sólo habitan en ellos y consecuentemente su comunidad de epífitas es claramente diferente (Mehlreter *et al.*, 2005; Flores-Palacios y García-Franco, 2008). Sin embargo, en el pastizal que se estudió no había helechos arborescentes.

FLORES-PALACIOS, A. y J.G. García-Franco, 2008, Habitat isolation changes the beta diversity of the vascular epiphyte community in lower montane forest, Veracruz, Mexico, *Biodiversity and Conservation* 17: 191-207.

MEHLRETER, K.V., A. Flores-Palacios y J.G. García-Franco, 2005, Host preferences of vascular trunk epiphytes in a cloud forest of Veracruz, Mexico, *Journal of Tropical Ecology* 21: 651-660.

## ESTUDIO DE CASO 2

### RELACIONES DE RIQUEZA DE ESPECIES DE EPÍFITAS CON EL TAMAÑO DE LOS ÁRBOLES

Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco

La fragmentación tiene un efecto en la comunidad epífita y es fácilmente detectable en los árboles aislados del pastizal (Flores-Palacios, 2003). Los árboles aislados son un componente importante de diversidad y en los últimos años han recibido mucha atención porque ayudan a mantener la diversidad biológica (Guevara y Laborde, 1993). Los árboles aislados pueden ser colonizadores del pastizal o remanentes del bosque. En cada caso se esperan relaciones diferentes con el número de especies de epífitas que albergan. En árboles colonizadores se espera que haya colonización de epífitas, pues ellos equivalen a islas oceánicas, donde la fuerza que explica el número de especies es la tasa de colonización y la distancia desde el continente. En árboles remanentes se espera relajación o saturación, pues equivalen a islas continentales que una vez aislados tendrán extinciones hasta alcanzar un equilibrio (MacArthur y Wilson, 1967).

En el paisaje estudiado, los encinos (*Quercus* spp.) son árboles remanentes en el pastizal y en las áreas de ribereña, pues son grandes y no hay plántulas. Mientras que los árboles de liquidámbar (*Liquidambar macrophylla*) son colonizadores de áreas abiertas (Flores-Palacios y García-Franco, 2006; Pedraza, 2003). Usando el diámetro del tronco como un estimador del tamaño del árbol (isla) se relacionó este tamaño con el número de especies de epífitas (Flores-Palacios y García-Franco, 2006). Se encontró que independientemente de la especie del árbol (encinos o liquidámbar), en el bosque los árboles pueden seguir albergando nuevas especies de epífitas mientras crecen, lo que sugiere que no están saturados. En el pastizal lo anterior sólo ocurrió con los liquidámbar; mientras que los encinos aislados tienen relaciones que sugieren saturación, pues la riqueza de epífitas no se incrementa con el tamaño de los árboles y todos tienen una riqueza alta. Esto refuerza la idea de que el aislamiento en pastizales genera comunidades de epífitas saturadas donde ya no caben más especies.

FLORES-PALACIOS, A., 2003, *El efecto de la fragmentación del bosque mesófilo en la comunidad de plantas epífitas vasculares*, tesis de doctorado, Instituto de Ecología, Xalapa, México.

FLORES-PALACIOS, A. y J.G. García-Franco, 2006, The relationship between tree size and epiphyte richness: testing four different hypotheses, *Journal of Biogeography* 33: 323-330.

GUEVARA, S. y J. Laborde, 1993, Monitoring seed dispersal at isolated standing trees in tropical pastures: consequences for local species availability, *Vegetatio* 107/108: 319-338.

MACARTHUR, R.H. y E.O. Wilson, 1967, *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

PEDRAZA, R.A., 2003, *Árboles nativos para plantaciones: una estrategia de restauración en áreas deforestadas*, tesis de doctorado. Instituto de Ecología, Xalapa, México.

## ESTUDIO DE CASO 3

### ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE EPÍFITAS EN ÁRBOLES REMANENTES AISLADOS

Alejandro Flores-Palacios  
José G. García-Franco

La saturación de una comunidad ocurre por limitaciones físicas, esto es, se agota el espacio y, como consecuencia, se incrementan las interacciones de competencia (Loreau, 2000). Si los encinos aislados en pastizales están saturados (véase estudio de caso 2), entonces se espera que las epífitas en ellos hayan llenado los espacios. Para probar esto se colectaron las epífitas establecidas en secciones de 2 m de longitud de las ramas interiores de cinco encinos aislados y cinco del bosque (Flores-Palacios y García-Franco, 2004), y se comparó la estructura de la comunidad. La estructura de la comunidad es la relación de abundancia que guardan sus integrantes y a partir de ella se define biológicamente la diversidad y la dominancia. La máxima diversidad ocurre cuando en una comunidad hay un número infinito de especies y todas tienen la misma abundancia.

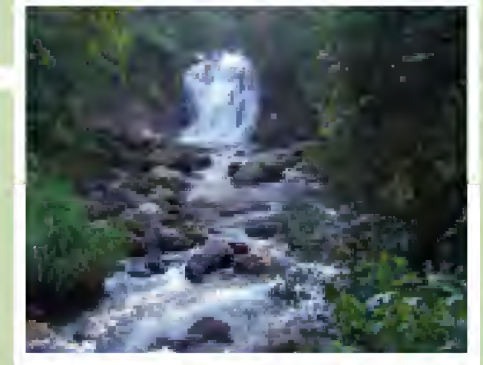
La comunidad epífita de las ramas interiores de los encinos aislados tuvo el doble de biomasa que los encinos del bosque y además la estructura de la comunidad fue diferente, con un patrón de dominancia más pronunciado. En las ramas interiores de los encinos aislados la dominancia fue de una especie de bromelia (*Tillandsia punctulata* Schldl. & Cham), que nunca domina ese estrato en el bosque y que además es más frecuente en los árboles aislados que en cualquier otro sitio (Flores-Palacios, 2003; Flores-Palacios y García-Franco, 2004). Así que las condiciones de fragmentación generan que unas cuantas especies dominen la comunidad y como consecuencia la diversidad se reduzca.

FLORES-PALACIOS, A., 2003, *El efecto de la fragmentación del bosque mesófilo en la comunidad de plantas epífitas vasculares*, tesis de doctorado. Instituto de Ecología, Xalapa, México.

FLORES-PALACIOS, A. y J.G. García-Franco, 2004, Effect of isolation on the structure and nutrient budget of oak epiphyte communities, *Plant Ecology* 173: 259-269.

LOREAU, M., 2000, Are communities saturated? On the relationship between  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  diversity, *Ecology Letters* 3: 73-76.

# Ecohidrología



Cesáreo Landeros-Sánchez  
Juan Carlos Moreno-Seceña  
Juan Pablo Martínez-Dávila  
Óscar L. Palacios-Vélez

## INTRODUCCIÓN

La Ecohidrología tiene una amplia aplicación en los ecosistemas ya que se deriva de la interacción entre las plantas y el ambiente a partir del ciclo hidrológico (Peters *et al.*, 2005). Un aspecto importante de la investigación en ecohidrología es la evaluación y predicción de la presencia de especies vegetales en relación con la hidrología. Veracruz es un estado con diferentes ecosistemas a lo largo y ancho de sus cuencas. Por tal motivo es de sumo interés conocer la influencia y el manejo del agua en los diferentes ecosistemas, tomando en cuenta que el estado ecológico de los ríos en Veracruz ha sido alterado. Por una parte, la explotación y exploración de nuevas áreas ha dado lugar a una severa modificación de la morfología de los cauces y de las zonas adyacentes y una alteración de la dinámica hidrológica, principalmente de la recarga local y de las relaciones de flujo entre el acuífero y el río (Guevara *et al.*, 1999). Los impactos en el medio natural son evidentes: la reducción de su riqueza ecológica y de su diversidad

biológica, así como un efecto negativo en la conectividad entre distintas zonas, dado el carácter de corredor biológico de las zonas fluviales. En este sentido, la ecohidrología se presenta como un espacio en el que se integran el estudio de las variables hidrológicas y ecológicas para la mejora de la predicción de los procesos que las afectan, como base para un desarrollo sostenible. Para conocer la ecohidrología en Veracruz se abordarán en el presente apartado temas como: las cuencas y los corredores fluviales, y sus respectivos ecosistemas, así como la conservación de los recursos ecohidrológicos.

## ENFOQUE DE LA ECOHIDROLOGÍA Y GENERALIDADES

Actualmente en diversas áreas del mundo el recurso agua se ha convertido en un factor limitante de gran importancia, no sólo como elemento para el desarrollo, sino también para la subsistencia de las comunidades. Por otra parte, el crecimiento expo-

nencial de la población humana ha traído consigo un aumento considerable de los impactos sobre los ecosistemas de agua. Por esta razón, un nuevo paradigma fue postulado en 1992 durante la Conferencia Internacional de Dublín sobre el Agua y el Ambiente, llamado Ecohidrología.

Éste trata sobre el estudio y desarrollo de estrategias para conservar la interacción entre el agua y todos los componentes del ecosistema. Este fin puede ser alcanzado mediante investigaciones orientadas hacia la integración del funcionamiento de los ecosistemas de agua junto con los procesos hidrológicos de gran escala. De esta forma, la integración de la dinámica de los tres componentes, esto es, la cuenca, el agua y la biota en un superorganismo, marca el cumplimiento del objeto del manejo del recurso (Zalewski *et al.*, 1997).

La República Mexicana cuenta con 137 lagunas costeras alojadas en una superficie de 1 250 000 ha; cuerpos de agua dulce (lagos, lagunas y embalses) que suman 2 900 000 ha; y numerosos ríos, arroyos y cascadas que constituyen un gran potencial de recursos para fines energéticos, productivos, recreativos y turísticos (INEGI, 2006). Se estima que la extracción total de agua en México durante 2006, para los principales usos, fue de 217.6 km<sup>3</sup>; de los cuales 77.3 km<sup>3</sup> se destinaron para usos consuntivos, distribuidos de la siguiente manera: agrícola 59.4 km<sup>3</sup> (incluye los rubros agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros de la clasificación del Registro Público de Derechos de Agua [REPGA]); abastecimiento público, 10.7 km<sup>3</sup> (incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPGA); industria autoabastecida (sin termoeléctricas), 3.0 km<sup>3</sup> (incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPGA), y termoeléctricas, 4.2 km<sup>3</sup>. Los 140.3 km<sup>3</sup> restantes se destinaron a la generación de energía en centrales hidroeléctricas, clasificada como uso no consuntivo (Comisión Nacional del Agua, 2007). En la parte angosta del país, esto es, en los estados de Chiapas, Oaxaca, Campeche,

Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco, cae una parte importante del agua de lluvia (49.6 %). Sin embargo, se reporta que en México llueve cada vez menos. De 1994 a la fecha ha llovido menos del promedio histórico anterior, y en la clasificación mundial México está considerado como un país de disponibilidad baja de agua (Fuente: Semarnat, CNA. Editado en Agua.org.mx: [http://www.imac-mexico.org/ev\\_es.php?ID=16646\\_208&ID2=DO\\_TOPIC](http://www.imac-mexico.org/ev_es.php?ID=16646_208&ID2=DO_TOPIC)).

Veracruz presenta una gran diversidad de formas de relieve, lo que hace que sea uno de los estados de México con mayor número de características y variedades topográficas contrastantes y heterogéneas, así como poseedor de un gran potencial en lo que respecta a disponibilidad de recursos naturales. Los tipos de cuencas y recursos hídricos desempeñan un papel importante en las actividades económicas y sociales del estado, ya que influyen en las características climáticas, en el tipo de suelo y en la vegetación, los que, a su vez, inciden en las actividades agrícolas, ganaderas, forestales e industriales, así como en la distribución de asentamientos humanos.

## CUENCAS Y SUS ECOSISTEMAS

La unidad física básica en la regulación del agua es la cuenca. Existen varias clasificaciones de las cuencas de Veracruz. Por ejemplo, el INIFAP (2006), clasificó a las cuencas de Veracruz de la manera en que se muestran en la figura 1.

Semarnat (2005), en su marco conceptual operativo para el manejo sustentable de los recursos naturales renovables y mediante la regionalización de cuenca hidrológica, clasificó al estado de Veracruz en tres grandes cuencas. Esta clasificación será tomada como base para el desarrollo de los apartados subsecuentes: Cuenca del Tuxpan al Jamapa; Cuenca del río Papaloapan, y Cuenca del río Coatzacoalcos (apéndice VII.1).

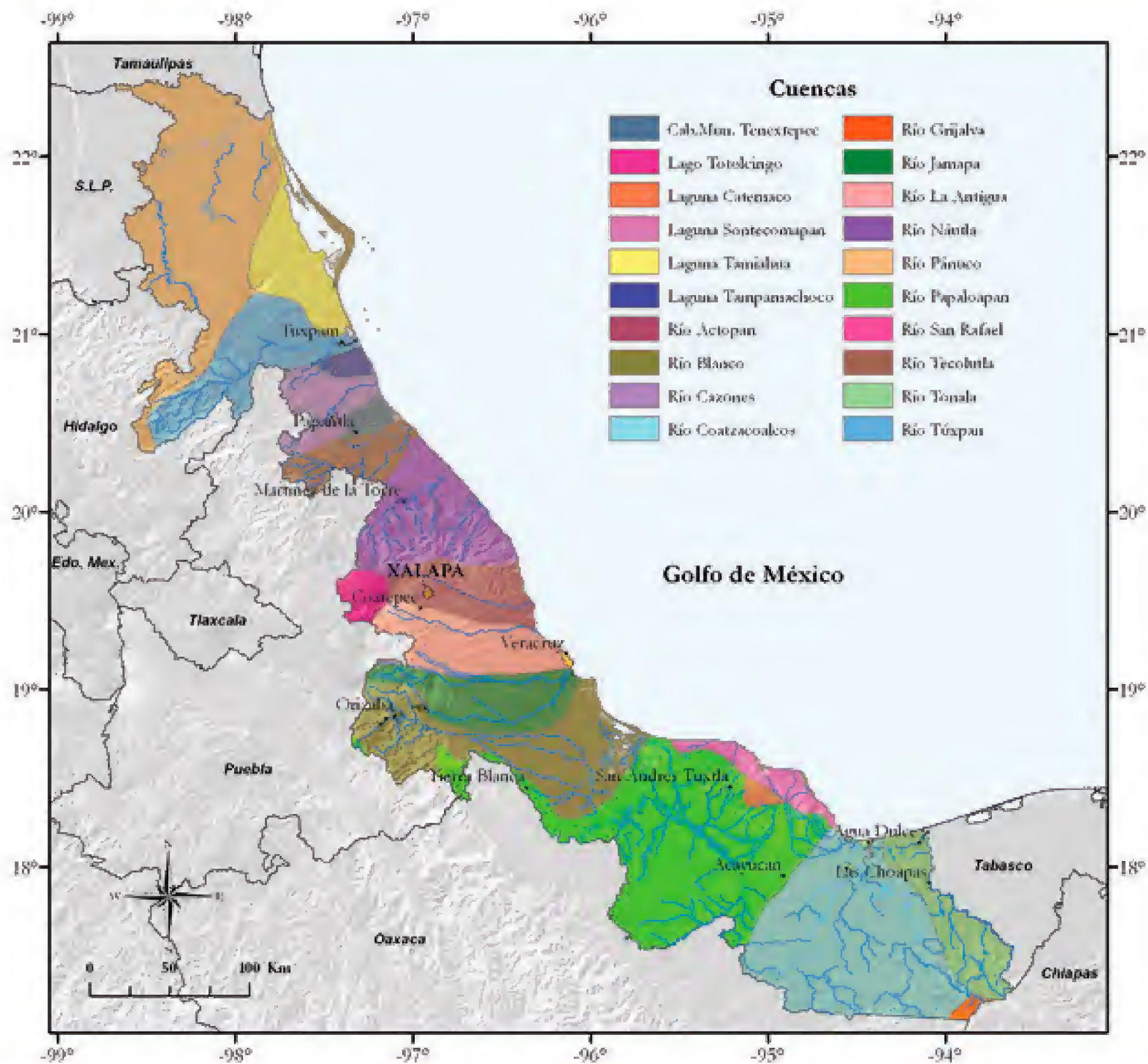


FIGURA 1. Clasificación de las cuencas en Veracruz, tomando en cuenta los principales ríos del estado (Fuente: Conabio. Mapa proporcionado por el Departamento Cartográfico del INIFAP en noviembre de 2006, a través del M.C. Gabriel Díaz Padilla).

### CORREDORES FLUVIALES

Veracruz cuenta con más de 40 ríos que representan el 35 % del total a nivel nacional (figura 2). Nacen en las montañas y corren hacia el Golfo de México; en su recorrido reciben aguas de otros más pequeños, formándose así grandes cuencas

que son superficies donde se capta el agua que escurre hacia los ríos. Los ríos más importantes son: Pánuco, Tuxpan y Nautla en el norte; Tecolutla y Jamapa, en el centro; Papaloapan y Coatzacoalcos en el sur (SEP, 1997).

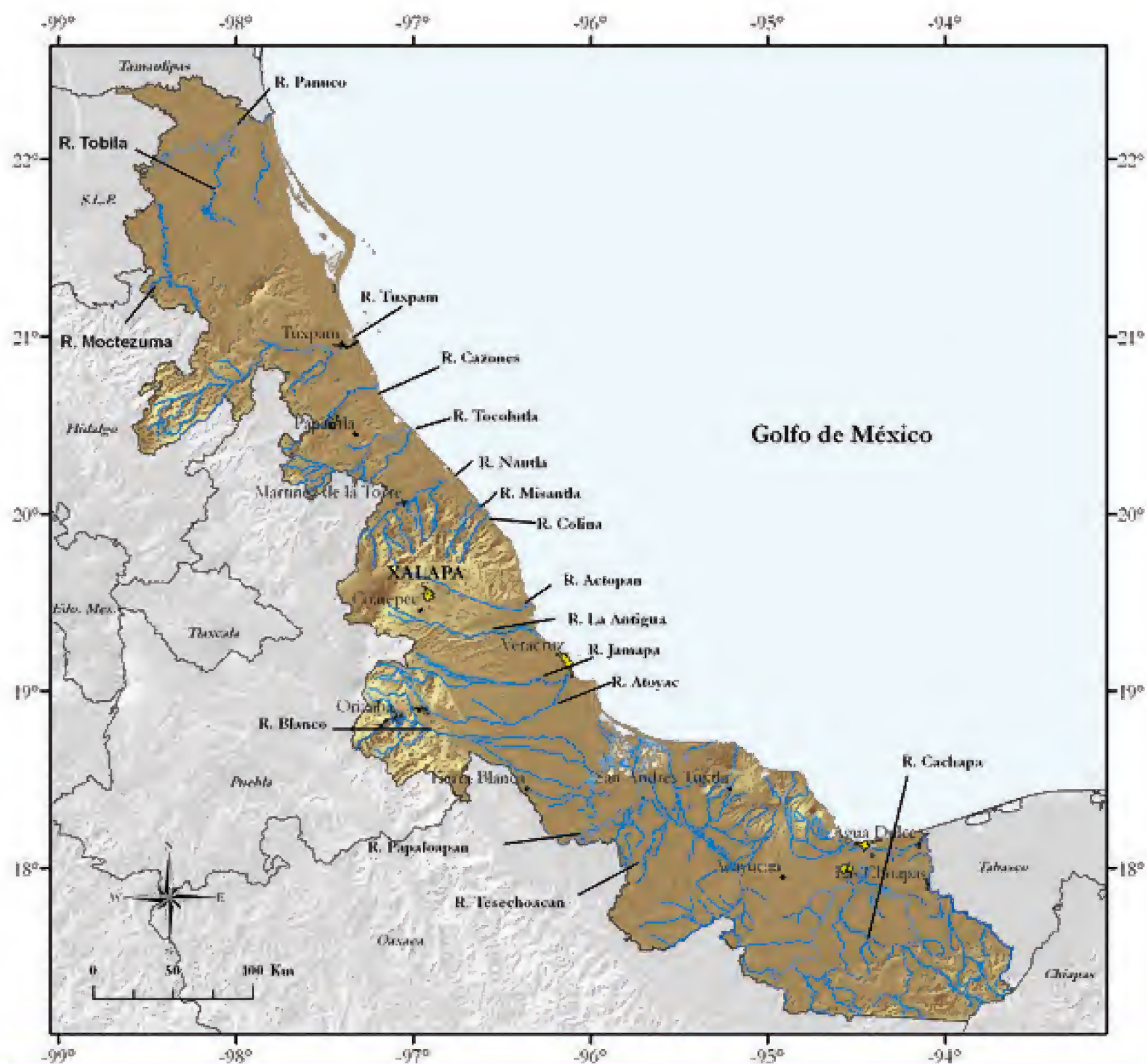


FIGURA 2. Los ríos de Veracruz representan el 35 % del total a nivel nacional; los más importantes en el estado son: Pánuco, Tuxpan, Nautla, Tecolutla, Jamapa, Papaloapan y Coatzacoalcos (Fuente: Mapa proporcionado por el Departamento Cartográfico del INIFAP en noviembre de 2006, a través del M.C. Gabriel Díaz Padilla).

### Río Pánuco

Tiene una extensión de 107 200 km<sup>2</sup>, lo que lo distingue como uno de los más importante del país (SRH, 1975). Su desembocadura forma el límite entre los estados de Tamaulipas y Veracruz. Este río hace posible la subsistencia de diversas especies ani-

males y vegetales que se desarrollan en las riberas, lagos y lagunas; además son aprovechadas para uso agrícola mediante sistemas de riego y para la generación de energía eléctrica a través de presas hidroeléctricas. Los principales cultivos que ahí se producen son caña de azúcar, café, arroz, maíz, naranja, tabaco, hule, piña, mango, plátano, papaya, chile,

sandía y papa, entre otros. Las aguas propician el crecimiento de pastizales que favorecen la ganadería que incluye la crianza de ganado bovino, porcino, ovino y caprino. Este río ha facilitado también la permanencia de la tradición pesquera. Desafortunadamente, muchos tramos del Pánuco son afectados por desechos de aguas residuales, así como por el depósito de basura y la utilización de sustancias no biodegradables que provocan la pérdida de organismos acuáticos.

### Río Tuxpan

Es un río navegable y constituye una importante vía de transporte del petróleo de la región; su cauce cruza 29 municipios, de los cuales cinco se encuentran en el estado de Hidalgo, seis en el estado de Puebla y 18 en el estado de Veracruz. En esta región se encuentran ecosistemas de gran importancia para la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales (Martínez, 2003). Asimismo, la riqueza de combustibles fósiles en el subsuelo hace que esta zona sea importante para el desarrollo de actividades de exploración, explotación y procesamiento de petróleo. Es uno de los más limpios de nuestro país; el clima en el río Tuxpan es cálido subhúmedo con lluvias en verano y en el resto de la zona es cálido húmedo con lluvias en verano (García, 1981).

### Río Tecolutla

Se forma en el estado de Puebla, cuenta con una extensión de 7 950.05 km<sup>2</sup>. Cuenta con un clima templado húmedo, con lluvias abundantes en verano, su temperatura media anual es de alrededor de 20 °C. Los principales poblados que recorre en Veracruz son: El Espinal, Papantla, Gutiérrez Zamora, Tecolutla, Cazonas, Coatzintla, Chumatlán, Poza Rica. La biodiversidad de este corredor fluvial a lo largo y ancho de su trayectoria está repre-

sentada por bosques de pino-encino, pino, encino y bosque mesófilo de montaña en la cuenca alta; así como selva mediana subperennifolia, sabana, manglar, vegetación halófila y palmar en la cuenca baja. Se presenta una alta diversidad de hábitats terrestres y acuáticos, con diferentes grados de degradación a lo largo de la cuenca. Las principales problemáticas identificadas de este corredor son: deforestación, pérdida de suelos por deslave, desecación de ríos y mantos freáticos, contaminación por agroquímicos.

### Río Nautla

Nace en el estado de Puebla, poco antes de la ciudad de Martínez de la Torre, Veracruz. Pasa por la Barranca de Minas, donde se le conoce como río Frío, convirtiéndose más adelante en el llamado río Bobos y, finalmente, en el Nautla. Su curso total es de 112 kilómetros (SRH, 1975). Presta gran ayuda al tráfico de pasajeros y al comercio por ser un río navegable para barcos de poco calado.

Su recorrido se encuentra al sur del río Tecolutla y su desembocadura en las cercanías de la población de Nautla al sureste de Tecolutla, Veracruz. Nace como el río Las Minas que recibe aportaciones de diversas corrientes, tanto perennes como intermitentes. Al unirse con el río Migueta recibe el nombre de río Bobos; éste, a su vez, tiene como tributarios a los ríos Ixtoteno, Apaxteno, Las Truchas, Naranjasta y Tazolapa.

Aproximadamente a 5 km al noreste de la ciudad de Tlapacoyan, el río Bobos recibe, por la margen izquierda, al río Tomata. Esta corriente nace como la unión de los ríos Cozalateno, Matequila y Tatahuicapa que dan origen al río Alseseca, el cual, aguas abajo, cambia de nombre a Tomata. Éste, a su vez, recibe aguas abajo a los ríos Jalacingo e Itzapa. Después de recibir aguas abajo al río Tomata, el Bobos-Nautla pasa por la población de Martínez de la Torre y recibe, por la margen derecha, al río Quilate, que a su vez tiene como afluente

al río Marta Ruiz y éste al Pedernales. A partir de la unión con el Marta Ruiz, a 4 km aguas abajo, aproximadamente, el río Bobos-Nautla recibe al río María de la Torre, uno de sus principales afluentes, el cual drena la parte poniente de la cuenca y cuenta asimismo con el río Cañas (Consoquico), como uno de sus principales tributarios. Aguas abajo del poblado El Pital, el río Bobos-Nautla recibe por la margen derecha al río Chapachapa y pasa en las inmediaciones de San Rafael y Nautla, para desembocar en el Golfo de México en la Barra de Nautla (CONAE, 1995).

A lo largo de todo este recorrido se identifica una gran variedad de flora y fauna nativa de la región. Esta biodiversidad resulta de la coexistencia de los ecosistemas con el río, como es el caso de la selva perennifolia con especies de amate, caoba y huapaque. Su fauna está compuesta por poblaciones de conejos, armadillos, tejones, aves y reptiles. Su clima es cálido-húmedo-regular con una temperatura promedio de 23.7 °C; su precipitación pluvial media anual es de 1 293.6 mm.

### Río Jamapa

Nace en la Sierra Madre Oriental, en las vertientes del Pico de Orizaba, y se une a los ríos Cotaxtla, Huatusco y Totolapan. Tiene su desembocadura en el Golfo de México, al sureste del Puerto de Veracruz, en Boca del Río. Abastece a la laguna de Mandinga y recorre el territorio veracruzano a lo largo de 150 kilómetros (SRH, 1975). Este corredor cuenta, en general, con un clima cálido-regular, con una temperatura promedio de 25 °C; su precipitación pluvial media anual es de 1 694 mm. Los ecosistemas que coexisten en este río son el bosque alto o mediano tropical perennifolio con especies como el chicozapote, caoba y pucté (árbol de chicle). En éstos se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de armadillos, ardillas, conejos, tlacuaches, tejones, comadreas y zorrillos. El suelo es de tipo

regosol y se caracteriza por no presentar capas distintas y tonalidades claras; presenta susceptibilidad variable a la erosión. El mayor porcentaje de las tierras se utiliza en la ganadería y la agricultura.

### Río Papaloapan

Nace en el estado de Oaxaca, donde recibe los nombres de Quiotepec, Vueltas y Tuxtepec. Su curso es de aproximadamente 445 km y desemboca al mar en Alvarado, Veracruz. Llega a alcanzar una anchura de 200 m, estrechándose luego en su parte final hasta los 100 metros. El río Papaloapan cuenta con la segunda cuenca hidrográfica más importante, en cuanto a su caudal, de la República Mexicana. Su longitud es de 900 km; a sus orillas habitan 1 950 mil personas en tres estados de la República que son: Puebla, Oaxaca y Veracruz (SRH, 1975). Las fuentes del Papaloapan son dos: el río Tehuacán en la sierra de Puebla y el Quiotepec en la alta Mixteca oaxaqueña, al unirse reciben la denominación de río Grande; algunos kilómetros aguas abajo se le une el río Salado, llamándose entonces Santo Domingo. Después, aguas abajo, recibe el afluente del río Valle Nacional y a partir de ese momento es conocido como el río Papaloapan.

En los límites de los estados de Oaxaca y Veracruz recibe las aguas del río Tonto, comenzando un lento descenso hacia el mar a través de las llanuras del Sotavento. Se convierte en un río de comportamiento viejo, con abundantes meandros, en los últimos 430 km sólo dispone de 90 metros para descender al mar.

En la alta cuenca del Papaloapan se tienen ríos de comportamiento "joven", de montaña, con rápidos y desfiladeros. La baja cuenca con su lento y serpenteante cauce provoca inundaciones. Para prevenir inundaciones catastróficas se han construido dos enormes represas en los afluentes: el Tonto y el Santo Domingo. Sus embalses se comu-

nican y forman el lago artificial más grande de México.

Los principales problemas en este río son los cambios ecológicos que se originaron principalmente por la deforestación, la cual ha provocado el ensanchamiento del río y la elevación de su fondo; por lo que el río ha dejado de ser navegable. En la actualidad, la zona está densamente poblada y enfrenta serios problemas de contaminación de índole urbana, industrial y agrícola (CODEPAP, 2007).

Los climas de este río son cálido húmedo y semicálido húmedo con lluvias abundantes en verano y semicálido húmedo con lluvias en verano. Presenta temperaturas que oscilan entre 18 y 26 °C. La precipitación total anual varía de 1 500 a 4 500 mm. La actividad principal en esta cuenca hidrológica es la pesca y agricultura. Los tipos de vegetación que se benefician con este río son: selva alta perennifolia y subperennifolia; selva mediana subperennifolia; selva baja caducifolia; bosques de pino-encino, encino-pino y de pino; bosque mesófilo de montaña; acahuales; matorral xerófilo y pastizal cultivado.

### Río Coatzacoalcos

Nace en el corazón de la sierra de Niltepec, en Oaxaca, en la región del Istmo de Tehuantepec. La desembocadura del río Coatzacoalcos es el punto más meridional del Golfo de México y el que marca en línea recta hacia el Pacífico la parte más estrecha del Istmo de Tehuantepec. El mayor de sus afluentes es el río Uxpanapa y su curso se estima en 240 kilómetros.

Es un río abundante que alimenta principalmente el sur del estado de Veracruz. Avanza en dirección al oeste; en su recorrido se funde con los cauces del Jaltepec, el Chalchijalpa, el Chiquito, el Uxpanapa y el río de Las Calzadas. Sus aguas tributarias lo ubican como la cuarta corriente más cauda-

losa del país. Dos terceras partes de su longitud son navegables.

Los tipos de suelos por donde corre este río son lateríticos arcillosos, Acrisol y Luvisol. En la planicie se presentan los suelos Gleysol, Cambisol, Vertisol y Nitosol. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 25 °C. Su precipitación total anual varía de 1 500 a 2 500 mm. Las aguas de este río hacen que prospere la actividad ganadera, la industria lechera, la pesca y los cafetales.

La biodiversidad de este corredor fluvial incluye la vegetación siguiente: bosque mesófilo de montaña, de pino y de pino-encino en las partes altas; vegetación riparia, tular y popal en zonas inundables de la cuenca media; selva alta perennifolia y mediana subperennifolia en lomeríos; zonas de acahual en pastizales abandonados y pastizal cultivado. La problemática de este río se enmarca en lo siguiente: modificación del entorno, contaminación por agroquímicos y aguas residuales, uso y manejo inapropiados del recurso suelo y la introducción de especies de tilapia que ha causado una invasión en algunos cuerpos de agua, principalmente.

Para abatir y controlar lo anterior se requiere la ejecución de programas de conservación para preservar las zonas de selva alta y mediana, y controlar los procesos de azolvamiento en ríos (Conabio, 2008).

### CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS ECOHIDROLÓGICOS

En el estado de Veracruz la cantidad y disponibilidad de agua de lluvia han disminuido sensiblemente debido a escurrimientos superficiales violentos y no controlados. La calidad del agua ha sido afectada por el arrastre de suelo, disolución de fertilizantes, insecticidas, desechos industriales y urbanos (Gobierno de Veracruz, 2005). Las especies anima-

les han emigrado a otros lugares e incluso han tendido a su extinción, debido a que las condiciones de los humedales y la biodiversidad natural han cambiado. Todo lo anterior ha sido causado, en gran medida, por la deforestación irracional, la práctica de sistemas agrícolas de monocultivo, la ganadería, las descargas industriales, el mal uso y manejo de los recursos suelo y agua, la falta de planeación para el establecimiento de los asentamientos humanos, la falta de tratamiento de las aguas residuales, ausencia de la aplicación de las leyes relacionadas con la protección del medio ambiente, entre otras.

Para mitigar los impactos negativos de los procesos contaminantes sobre el medio ambiente y, en particular, sobre los recursos hídricos, es necesaria la participación responsable de todos los niveles de gobierno, instituciones públicas y privadas, ONG, la industria y la sociedad en general para ejecutar todo tipo de acciones tendientes a la conservación de la disponibilidad y calidad de estos recursos. Lo anterior es requerido debido a que la calidad del agua se ha deteriorado en gran medida por la presencia de fuentes de contaminación puntuales y no puntuales dispersas dentro del estado. El 66 % de las cuencas hidrológicas se encuentran afectadas por descargas del tipo agroindustrial; se considera que los ríos cuentan con un importante grado de contaminación. Se pueden citar por lo menos tres problemas que requieren atención prioritaria (Gallina y Hernández, 2006):

1. La contaminación de cuerpos de agua por descargas sin tratamiento, provenientes de las agroindustrias, especialmente de los ingenios azucareros.

2. La falta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la mayoría de las ciudades y, especialmente, en las comunidades con menos de 50 000 habitantes (son 22 022 en el estado).

3. La falta de tratamiento de los efluentes de pequeñas industrias de tipo químico, tales como las galvanoplásticas, lo que promueve la contaminación por metales pesados de las aguas domésticas y de los ríos.

Para atender la problemática antes referida, se proponen las acciones siguientes:

1. Fortalecer las capacidades institucionales en materia de gestión ambiental, creando y desarrollando programas de capacitación para equipos técnicos y tomadores de decisiones.

2. Mejorar la capacidad operativa de las comisiones municipales de ecología y de los ayuntamientos, mediante la identificación y atención de sus necesidades de capacitación para apoyarles en la elaboración de sus agendas ambientales municipales.

3. Desarrollar un programa de becas para formar profesionales que atiendan problemas ambientales específicos de interés estatal.

4. Profesionalizar la actividad de los facilitadores y promotores ambientales, mediante cursos de capacitación y actualización.

5. Conformar una red de instituciones diseminadoras de información ambiental en el estado.

6. Establecer un acuerdo interinstitucional para difundir la estrategia veracruzana de educación ambiental en páginas de internet y en espacios de uso público (Gallina y Hernández, 2006).

7. Respetar la normatividad, como la que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 para el vertido de aguas residuales tratadas a los ríos. La mayor parte de las ciudades con más de 50 000 habitantes está en abierto desacato de esta norma, ya que no se da el tratamiento requerido a las aguas residuales.

Aunado a lo anterior, Landeros *et al.* (2007) propusieron las siguientes acciones: creación de una Secretaría del Agua, a nivel estatal; instrumentar de manera efectiva la aplicación de las leyes en materia de contaminación del agua; crear y modernizar la infraestructura hidroagrícola a nivel parcelario para incrementar la eficiencia en el uso y manejo del agua, a fin de rescatar las pérdidas de agua que actualmente ocurren (nuevas tecnologías de riego) y, en consecuencia, reducir el transporte de agroquímicos hacia cuerpos de agua receptores;

que los Consejos de Desarrollo Rural Sustentable de cada municipio norme, entre otras cosas, la aplicación de fertilizantes y agroquímicos en los sistemas de producción, tanto en su cantidad, frecuencia y forma de aplicación; desarrollo de fertilizantes orgánicos con base en los desechos agrícolas, para reducir el uso de fertilizantes químicos; no explotar los acuíferos por encima de la tasa de recarga; tratamiento de las aguas residuales; fomentar y consolidar la cultura del agua a través de los programas de educación primaria y secundaria, así como de programas de capacitación continua a la sociedad en general, dando énfasis en la no contaminación del agua; promover el establecimiento de estaciones de monitoreo ambiental e integración de una base de datos sobre el estado de la calidad del agua, mediante un sistema de información geográfica; elaboración de manuales que contengan la descripción de las “Mejores Prácticas de Manejo”, es decir, prácticas de cultivo capaces de reducir la contaminación del agua superficial y subterránea, así como el impacto en la salud humana y el ambiente en general, causados por la actividad agrícola y otras fuentes de contaminación; que se instrumenten programas complementarios orientados al financiamiento de proyectos sobre contaminación del agua y desarrollo de alternativas de mitigación de los impactos de este fenómeno; difundir la legislación y normatividad ambiental, poniéndose énfasis en los delitos ambientales que afecten la calidad del agua; e iniciar programas de reforestación y control de la erosión.

## CONCLUSIONES

Es importante resaltar que la ecohidrología, como un nuevo paradigma, se enfoca al estudio y desarrollo de estrategias para conservar la interacción entre el agua y todos los componentes del ecosistema. Un aspecto importante de estudios en ecohidrología es la evaluación y predicción de la presencia de especies vegetales en relación con la hidrología. El estado de Veracruz cuenta con diferentes ecosistemas a lo largo y ancho de sus cuencas. La cuenca es la unidad física básica en la regulación del agua y es, además, una unidad fisiográfica difícil de delimitar. En el estado se tienen operativamente registradas tres cuencas, las cuales son: Cuenca del Tuxpan al Jamapa; Cuenca del río Papaloapan y Cuenca del río Coatzacoalcos. Éstas albergan subcuencas que cuentan con diversos corredores fluviales que presentan problemas de contaminación de diferente tipo y grado, los cuales han sido provocados por la agricultura, actividades petroleras y desechos tóxicos vertidos a fuentes puntuales y no puntuales. Lo anterior ha causado un impacto negativo importante en la biodiversidad de plantas y animales, y en la salud humana. Por lo tanto, es prioritario fomentar y continuar con la aplicación de políticas públicas que se orienten al cuidado y conservación de los recursos ecohidrológicos. Además, es necesario que la legislación existente, en materia de protección al ambiente y conservación de la biodiversidad, sea aplicada en tiempo y forma, a fin de preservar la calidad de los recursos bióticos y abióticos de los corredores fluviales. En particular, es esencial evitar o reducir la contaminación del agua superficial y subterránea, así como asegurar la disponibilidad de este recurso en estos hábitats para conservar la biodiversidad que en ellos existe.

## LITERATURA CITADA

- ADAMS, R.H., Domínguez V., García L., 1999, Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano, *Terra* 17: 159-174.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA), 2002, *Compendio Básico del Agua en México: 2002*. México, 96 pp.
- , 2007, *Estadísticas del Agua en México*. 2ª reimpresión, editado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, ISBN 978-968-817-852-2.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE LA ENERGÍA (Conae), 1995, *Estudio hidrológico en el estado de Veracruz*.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD, 2008. Regionalización, consultado en: (<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html>)
- CONSEJO DE DESARROLLO DEL PAPALOAPAN, 2007. Consultado en: (<http://www.codepap.gob.mx/codepapweb/main/consejo/historia/historia.htm>)
- DIARIO DE XALAPA, 2001, Millonarios recursos a carreteras, 1 de septiembre de 2002. sección A, p. 6.
- FITZPATRICK, F.A. y J.C. Knox, 2000, Spatial and temporal sensitivity of hydrogeomorphic response and recovery to deforestation, agriculture, and floods, *Physical Geography* 21: 89-108.
- GALLINA, T.S. y A. Hernández, 2005, *Diagnóstico de las principales problemáticas ambientales de Veracruz*, Foro Diagnóstico de Ciencia y Tecnología en Veracruz.
- GARCÍA, E., 1981, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), UNAM, 246 pp.
- GOBIERNO DE VERACRUZ, 2005, Plan Veracruzano de Desarrollo 2005-2010.
- GUEVARA, S.S., Laborde, J. y Sánchez, G., 1999, *La Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, México*, UNESCO, 50 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 2006, *Anuario de estadísticas por entidad federativa*, México, Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 1999-2004.
- LANDEROS, S.C., R.S.L. Hernández, V.M.C. López y L.A. Ortega, 2000, *Pérdidas de nitrógeno (N-NO<sub>3</sub>) proveniente de fertilizantes en los ingenios La Gloria y El Modelo del estado de Veracruz*, Avances de Investigación del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Tepetates, Veracruz, México.
- LANDEROS, S.C., J. C. Moreno-Seceña, G.J.M. Palomares y C.M.R. Castañeda, 2007, *Contaminación del agua y su impacto en la salud humana*, Foro de consulta para el desarrollo rural sustentable, Veracruz, México.
- MAASS, J.M. y F. García-Oliva, 1990, La conservación de los suelos en las zonas tropicales: el caso de México, *Ciencia y Desarrollo* 25: 21-36.
- MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, M., 2003, *Características estructurales de la Laguna de Tampamachocho, municipio de Tuxpan, Veracruz*, tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, 56 pp.
- MORALES, M. y M. Méndez, 1997, *Diagnóstico sobre la seguridad integral de la cuenca del río Papaloapan*, tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, México.
- MYERS, N., 1997, The world's forests and their ecosystem services, en G. Daily (ed.), *Natures Services: societal dependence on natural ecosystems*, Island Press, Washington, D.C., pp. 215-235.
- PÉREZ, A. y A. Ortiz, 2002, Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz, Investigaciones Geográficas, UNAM, *Boletín del Instituto de Geografía* núm. 48, pp.90-105.
- PETERS, Jan, Vanessa Wieme y Pascal Boeckx, 2005, Monitoreo ecohidrológico en ecosistemas naturales y manejados en el sur de Chile, *Gayana Botánica* 2(62): 120-129.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH), 1960-1978, Boletín hidrométrico de la

- cuenca del río Papaloapan, Comisión del Papaloapan, México.
- SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA (SEP), 1997, *Veracruz. Historia y Geografía*, Tercer grado, México.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA (Semarnap), 2005, La cuenca hidráulica, *Boletín Técnico* 1999-2005.
- WANIELISTA, M., R. Kersten y R. Eaglin, 1997, *Hydrology: Water quantity and quality control*, 2ª ed., John Wiley & Sons, Inc. Nueva York, 567 pp.
- ZALEWSKI, M., G.A. Janauer y G. Jolankaj, 1997, *Ecohydrology: A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources*, Technical Documents in Hydrology 7, UNESCO, Paris.

## ESTUDIO DE CASO

### ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LA ANTIGUA, VERACRUZ

Octavio Ruiz Rosado

Se presenta un ejemplo de interés en ecohidrología en Veracruz, que considera aspectos sociales, económicos y ecológicos para coadyuvar a los tomadores de decisión en los planes de desarrollo estatal, regional o municipal (Morales y Méndez 1997). El objetivo general del estudio fue evaluar la calidad del agua del río La Antigua en el estado de Veracruz, desde la localidad de Barranca Grande hasta su desembocadura al Golfo de México. Los resultados analíticos de la primera campaña son: la corriente principal (desde Barranca Grande hasta el Puente de la Autopista en la población de La Antigua) y los afluentes ríos Hueyapan, Los Pintores, Pixquiac y Sordo presentan problemas de contaminación química y biológica, tales como: *a*) coliformes fecales; *b*) nitrógeno amoniacal; *c*) grasas y aceites; *d*) nitratos en la corriente principal (en Barranca Grande, El vado del Puente Los Pescados y en Carrizal). En la segunda campaña rebasó los límites permisibles al igual que el río Los Pintores: *a*) SAAM (detergentes), su concentración está en el límite permisible; *b*) adicionalmente presentan problemas con coliformes totales en todo su cauce; *c*) los ríos Los Pintores, Pixquiac y Sordo presentan problemas con fósforo total, turbidez y color, y *d*) finalmente, el río Los Pintores presenta problemas con DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales. La presencia de estos contaminantes hace no aptas estas corrientes para: la protección de la vida acuática; uso recreativo con contacto primario, y abastecimiento de agua potable. Se encontró que las descargas municipales, como la de Jalcomulco, no cumplen con los límites permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 en lo referente a: coliformes fecales; huevos de helmintos; grasas y aceites; DBO5 y sólidos suspendidos totales. La descarga del Ingenio de Mahuixtlán no cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 sobre coliformes fecales y DBO5. Asimismo, la descarga de Nestlé no cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 respecto de coliformes fecales.

Con base en los resultados obtenidos, y para mejorar la calidad del agua de la cuenca, se recomienda: *a*) hacer que las industrias ubicadas en la región cumplan con la normatividad existente, y *b*) establecer los sistemas de tratamiento de aguas residuales requeridos en los municipios de Xalapa y Coatepec, los cuales contaminan los ríos Sordo, Pixquiac y Los Pintores, así como para los pequeños poblados localizados en la ribera del río Los Pescados y sus afluentes.

MORALES, M. y M. Méndez, 1997, *Diagnóstico sobre la seguridad integral de la cuenca del río Papaloapan*, tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, México.

# La biodiversidad pesquera y acuícola: su preservación a través de sistemas de calidad



Fabiola Lango Reynoso  
María del Refugio Castañeda Chávez

## INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz posee un extenso litoral, 41 grandes ríos con una longitud aproximada de 1 118 km y 116 mil hectáreas de lagunas costeras, recursos que ofrecen innumerables posibilidades para actividades pesqueras y de acuicultura (SAGARPA, 2002). En estos ecosistemas, las pesquerías de atún, tiburón y raya, jaiba, camarón, cangrejo y acocil, langostino, pulpo, almeja, caracol y la pesquería del ostión, así como las principales actividades acuícolas enfocadas al cultivo de tilapia, trucha, tortuga, robalo, lisa y camarón, integran la biodiversidad pesquera y acuícola del estado.

Los diagnósticos realizados a través de la aplicación del sistemas de calidad, basados en los manuales de buenas prácticas (MBP), a productos pesqueros y acuícolas en el estado de Veracruz, indican que en estos sectores no se han implementado sistemas de calidad como una herramienta de trabajo para asegurar la inocuidad de los productos, a diferencia de los sectores agrícola y pecuario

(Sagarpa, 2005). Por lo anterior, el presente tópico pretende dar a conocer la importancia de la implementación del sistema HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points), no sólo como una herramienta que permite el cuidado y mejoramiento de la calidad de los procesos productivos de los organismos obtenidos de la pesca y la acuicultura, sino también como un instrumento que permite proponer la recuperación, conservación y uso de una gran diversidad de especies acuáticas nativas que existen en el estado de Veracruz, y que a su vez permite normar el uso de especies introducidas para la actividad acuícola, como lo es la tilapia.

## BIODIVERSIDAD PESQUERA Y ACUÍCOLA

El estado de Veracruz se caracteriza por su gran patrimonio y diversidad de recursos hídricos, especialmente en la zona costera, en donde se distribuyen numerosos ecosistemas complejos como lagunas, ríos y estuarios. Éstos interactúan entre sí, generan y sos-

tienen una importante biodiversidad biológica, desde la base de la cadena alimenticia, con el fitoplancton, hasta los consumidores terciarios, los cuales favorecen el desarrollo ambiental, social, productivo y económico de Veracruz. En este estado existe una gran riqueza acuática, perteneciente al grupo de los moluscos, peces y crustáceos; de estos tres grupos, una proporción importante incluye a las especies de importancia comercial y económica, clasificadas den-

tro de este documento como pesqueras y acuícolas. La biodiversidad pesquera está clasificada en las siguientes pesquerías: atún, tiburón y rayas, jaiba, camarón, cangrejo y acocil, langostino, pulpo, almeja, caracol y ostión. Existe una amplia diversidad de especies acuícolas que están enfocadas a los diferentes cultivos de tilapia, trucha, tortugas dulceacuícolas y encierros rústicos de robalo, lisa y camarón, como se observa en las figuras 1 y 2 (Sagarpa, 2002).

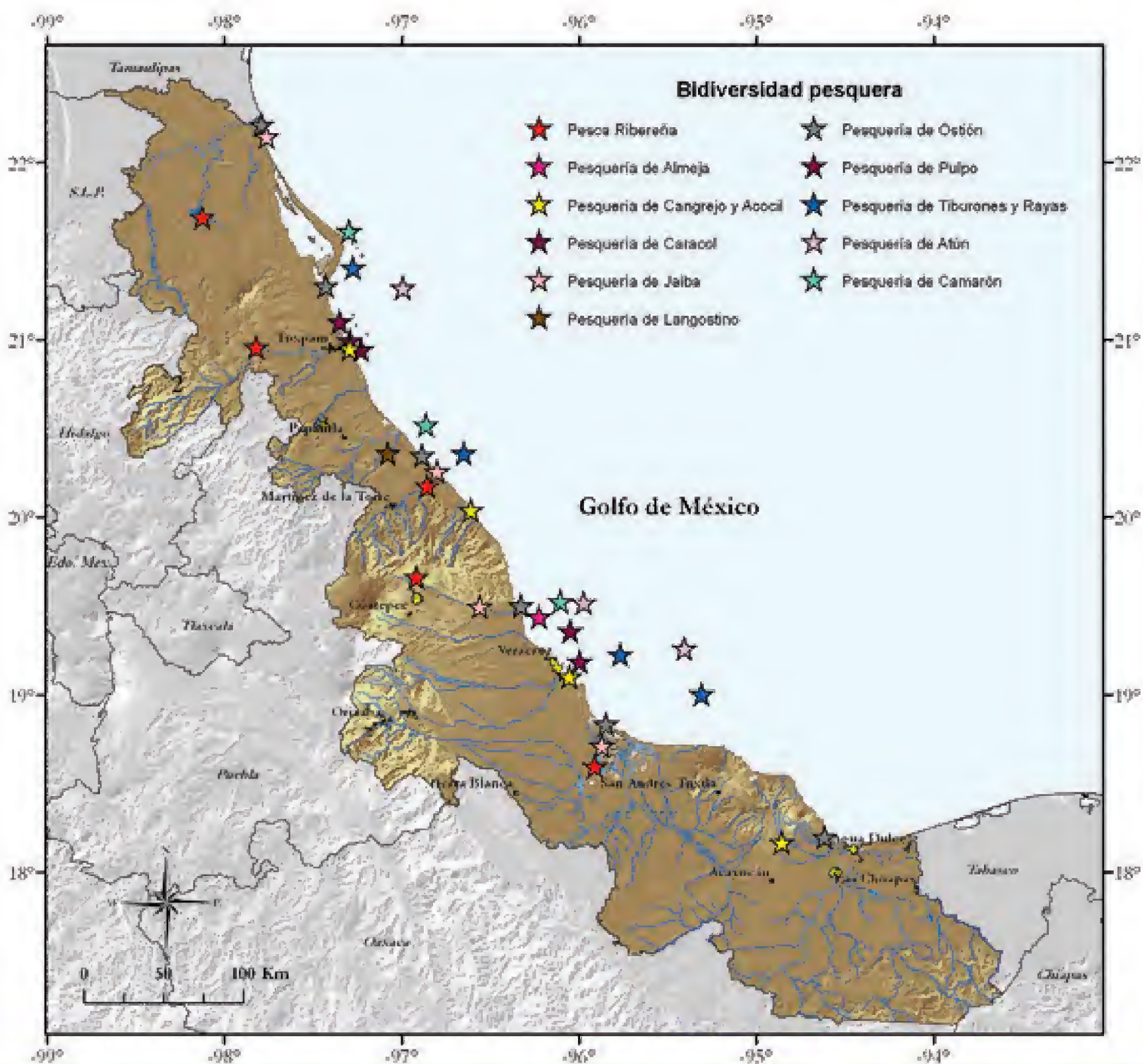


FIGURA 1. Biodiversidad pesquera del estado de Veracruz (Sagarpa, 2002).

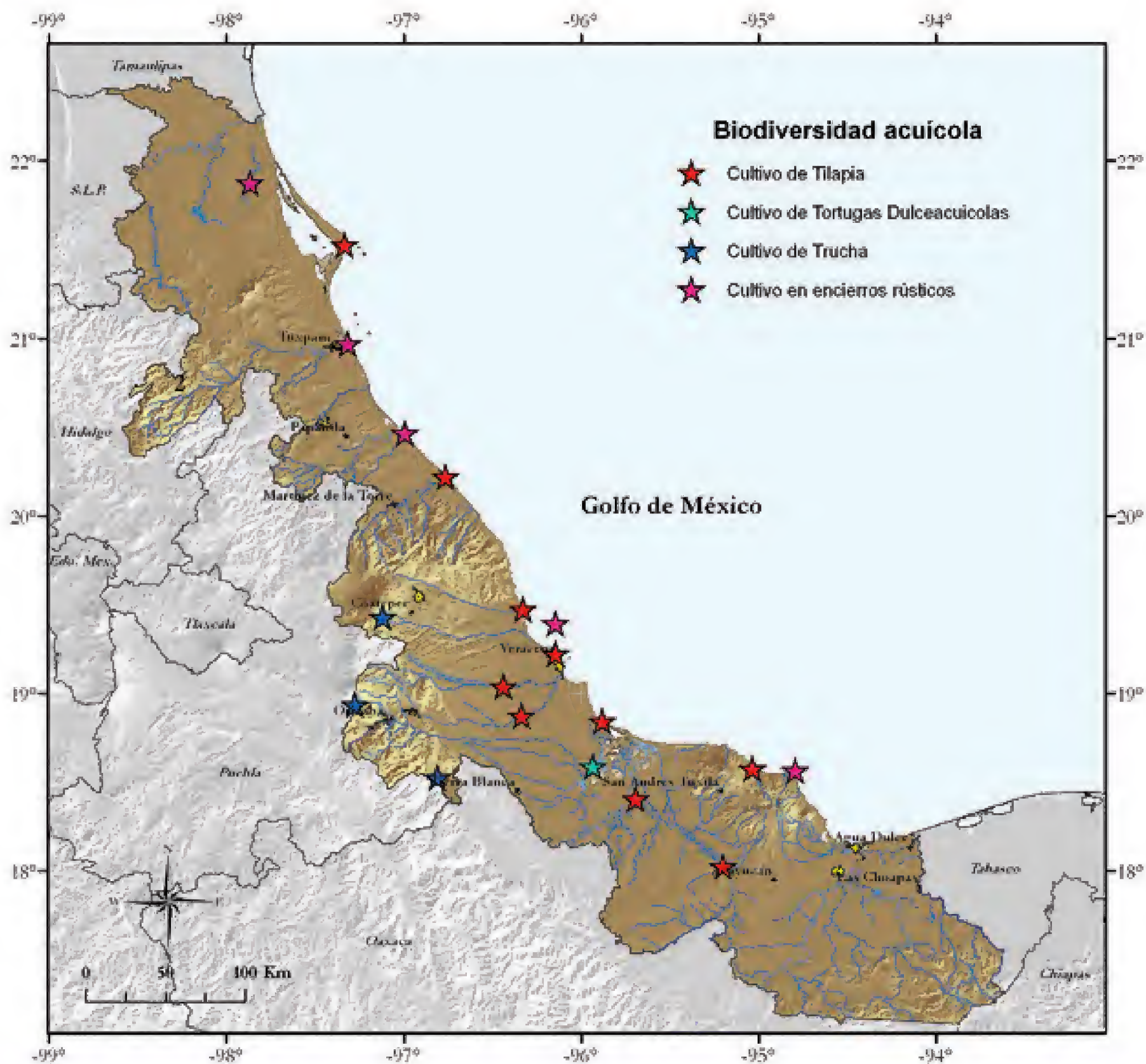


FIGURA 2. Biodiversidad acuícola del estado de Veracruz (Sagarpa ,2002).

### BIODIVERSIDAD PESQUERA

La producción pesquera en el estado ha alcanzado niveles del orden de 150 000 t en la última década, con un valor de 906 millones de pesos, cifras que colocan a Veracruz en el tercer lugar a nivel

nacional. La diversidad de estos recursos pesqueros está plasmada en los registros estadísticos que incluyen a la pesca ribereña enfocada a las siguientes especies (Quiroga *et al.*, 2002) (cuadro 1):

CUADRO 1. Especies de pesca ribereña en el estado de Veracruz

NOMBRE DE LA ESPECIE		OBSERVACIONES
Dulceacuícolas	Carpa (familia Ciprinidae), mojarra (familia Cichlidae y género Cichlasoma), Lisa y lebrancha ( <i>Mugil cephalus</i> ), Topote ( <i>Dorosoma petenense</i> ).	Se distribuyen a lo largo del estado de Veracruz, el topote es una pesquería localizada en el Lago de Catemaco, Veracruz.
Estuarinas	Robalo blanco ( <i>Centropomus undecimalis</i> ), chucumite ( <i>C. parallelus</i> ), mojarra (familia Gerridae), naca ( <i>Dormitator maculatus</i> ) y robalo prieto ( <i>Centropomus poeyi</i> ).	Se reproducen en el mar, en áreas someras situadas frente a desembocaduras de ríos y realizan varios desplazamientos cortos mar-laguna-ríos, durante su crecimiento.
Marinas	Sierra ( <i>Scomberomorus maculatus</i> ) y peto ( <i>S. cavalla</i> ), huachinango, pargo, besugo y cherna, mero, negrillo, abadejo y cabrilla.	Estas son pelágicas como las de la familia Scombridae o especies demersales, representadas principalmente por las familias Lutjanidae y Serranidae.
Estenohalinas	Barracuda ( <i>Sphyraena barracuda</i> ), sierra ( <i>Scomberomorus maculatus</i> ), cinta ( <i>Trichiurus lepturus</i> ), palometa ( <i>Peprilus paru</i> ), papelillo ( <i>Selene comer</i> y <i>S. setapinnis</i> ), jurel blanco ( <i>Caranx latus</i> ), algunas especies de pargo ( <i>Lutjanus</i> sp.), boquilla ( <i>Haemulon plumero</i> ), payaso o sargento ( <i>Anisotremus virginicus</i> ), cabrilla ( <i>Epinephelus guttatus</i> y <i>E. adscensionis</i> ), doradilla ( <i>Urbina coroides</i> ) y el conejo ( <i>Lagocephalus laevigatus</i> ).	Estas especies sólo toleran aguas marinas y penetran a los estuarios en épocas de sequía, cuando la salinidad es similar a la marina.
Eurihalinas	Sábalo ( <i>Megalops atlanticus</i> ), macabí ( <i>Elops saurus</i> ), anchoveta ( <i>Albula culpes</i> ), bagre ( <i>Arius felis</i> ), chile ( <i>Synodus foetens</i> ), palometa ( <i>Trachinotus</i> sp.), jurel aleta amarilla ( <i>Caranx hippos</i> ), algunos pargos ( <i>Lutjanus</i> spp.), gurrubata ( <i>Pomadasys crocro</i> ), mojarra ( <i>Eucinostomus melanopterus</i> ), mojarra rayada ( <i>Eugeres plumero</i> ), sargo ( <i>Archosargus probatocephalus</i> ) y corvina ( <i>Cynoscion arenarius</i> y <i>C. nebulosus</i> ).	Son especies marinas con capacidad para tolerar cambios de salinidad; sin embargo, su ciclo de vida no está relacionado obligatoriamente con la penetración a los sistemas acuáticos.

Históricamente, Veracruz ha sido el estado más importante en la captura de tiburón en el Golfo de México, con el 28.5 % de la producción reportada. En el año 2001 fue de 23 t, proveniente de Pueblo Viejo, Tamiahua, Tuxpan, Barra de Czones, Chachalacas, Casitas, Veracruz, Alvarado, Tecolutla y Coatzacoalcos. Esta producción está representada por una diversidad de 57 especies de elasmobranchios, de los cuales 36 son tiburones y 21 son rayas y mantas (Schaldach *et al.*, 1997). En el estado de Veracruz, se captura el 24.9 % de rayas y mantas, lo que significa una producción de 500 t, reportadas en el año 2001. En el cuadro 2, se presentan las pes-

querías de importancia económica en el estado (Fuentes *et al.*, 2002).

#### NORMATIVIDAD PESQUERA

La normatividad existente para regular la explotación pesquera considera las características propias de la pesquería, el objetivo de dicha extracción, periodos de veda, intensidad de pesca, talla mínima de captura, características de arte de pesca, entre otros aspectos, los cuales se encuentran vigentes en el estado de Veracruz, de acuerdo a las normas

NOM-009-PESC-1993, NOM-059-ECOL-2001, NOM-016-PESC-1994, NOM-017-PESC-1994 y NOM-023-PESC-1996.

### BIODIVERSIDAD ACUÍCOLA

En el estado de Veracruz existe una amplia diversidad de especies acuícolas que están enfocadas a los diferentes cultivos de tilapia, trucha y tortugas dul-

ceacuícolas en unidades productivas comerciales (cuadro 3) y encierros rústicos, en los cuales se producen especies de peces que utilizan los sistemas fluvio-lagunares como áreas naturales de crianza y/o alimentación. A esta categoría pertenecen el robalo (*Centropomus undecimalis*), lebrancha (*Mugil curema*), guabino (*Gobiomorus dormitor*), lisa (*Mugil cephalus*) y sargo (*Archosargus probathocephalus*). Además de peces residentes permanentes, donde se incluyen especies como la mojarra

CUADRO 2. Pesquerías de importancia económica en el estado de Veracruz.

PESQUERÍA	ESPECIES	CARACTERÍSTICAS
Atún	Atún de aleta amarilla ( <i>Tunnus albacares</i> )	La pesquería del atún en el estado de Veracruz se enfoca al atún aleta amarilla y se desarrolla en los puertos de Tuxpan y Veracruz. La captura se realiza en el Golfo de México con anzuelo, mostrando un aumento de la producción de 729 857 t en 1997 a 1 515 360 t en el año 2001 (González <i>et al.</i> , 2002).
Camarón	Camarón blanco ( <i>Litopenaeus setiferus</i> )	La zona norte del estado de Veracruz aporta el 61% de la captura de esta especie y corresponde a las aguas interiores (Schultz Ruiz <i>et al.</i> , 2002).
	Camarón café ( <i>Farfantepenaeus aztecus</i> )	Se captura en la zona sur del estado y representa el 39 % del total de captura (Schultz Ruiz <i>et al.</i> , 2002; Palomarez, 2005).
Jaiba	Jaiba gringa o jaiba azul ( <i>C. sapidus</i> ) y la jaiba café ( <i>C. similis</i> )	Se encuentran en la parte baja de los ríos y lagunas costeras del estado, como la laguna de Alvarado, La Mancha, San Martín, Tamiahua, del Ostión, Salada, San Marcos, del Lodo, La Costa, Pueblo Viejo, estero El Ingenio, río Papaloapan, río Cazones, río Jamapa, río Tancochín, entre otros.
Cangrejo y acocil	Cangrejos del género <i>Cardisoma</i> , <i>Ucides</i> y <i>Menippe</i> Acocil ( <i>Procambarus acanthophurus</i> )	Los cangrejos azules o de tierra ( <i>Cardisoma guanhumi</i> ) son apreciados a nivel nacional e internacional. Entre otras especies de menor importancia se encuentran el cangrejo moro ( <i>Ucides cordatus</i> ), y el cangrejo moro o cangrejo de piedra ( <i>Menippe mercenaria</i> ). La captura de estos organismos se intensifica en época de lluvias. De las especies de acociles o cangrejos de río existentes en Veracruz, sólo el <i>P. acanthophurus</i> es de importancia comercial en el estado (Loran y Martínez, 2002a).
Langostino	<i>Macrobrachium carcinus</i> (langostino, acamaya, camarón de río o langostino real) <i>M. heterochirus</i> (camarón manudo o camarón amarillo) <i>M. acanthurus</i> (camarón prieto)	La comercialización de la acamaya y camarón a menudo es en fresco y con concha; el camarón prieto se comercializa en fresco con concha, cocido con concha o cocido en pulpa (Loran y Martínez, 2002b). No existen reportes estadísticos de su producción.
Pulpo	Pulpo común ( <i>Octopus vulgaris</i> ), pulpo malarío ( <i>O. macropus</i> ) y pulpo mariposa ( <i>O. hummelincky</i> )	El pulpo común es la especie más importante por su volumen de captura y por su talla que llega a rebasar el kilogramo. Las capturas comerciales de pulpo en el litoral veracruzano están compuestas en más del 90 % por el pulpo común, y menos del 10% por el llamado pulpo malarío. En forma esporádica aparecen ejemplares del pulpo mariposa (Hernández <i>et al.</i> , 2002).
Almeja	Almeja gallito ( <i>Rangia cuneata</i> ), almeja negra ( <i>Polymesoda caroloneana</i> ) y la almeja casco ( <i>Rangia flexuosa</i> )	En orden de abundancia y valor comercial éstas representan el 77.4 % de la producción del Golfo de México con 1 600 t (Sagarpa, 2002).
Caracol	Caracol canelo ( <i>Strombus pugilis</i> )	En el Golfo de México esta pesquería representa el tercer lugar de producción con un 11.8 %, equivalente a 100 t, aproximadamente, la cual está por debajo de los estados de Quintana Roo y Campeche con producciones de 17.3 % y 68.7 %, respectivamente (Sagarpa, 2002).
Ostión	Ostión americano ( <i>Crassostrea virginica</i> )	La producción de esta especie, reportada en el año 2001, es de 25 000 t y se ubica en el primer lugar de la región Golfo con 47 %, seguida por la que se obtiene en Tabasco, Tamaulipas y Campeche, con el 40.7, 7.8 y 4.5 %, respectivamente (Galaviz, 2003).

encartada (*Cichlasoma urophthalmus*), mojarra guapota ("*Cichlasoma fenestratum*"), ronco amarillo (*Conodon nobilis*), ronco blanco (*Bairdiella* sp.), tilapia (*Oreochromis* sp.), mojarra tenguayaca (*Petenia splendida*) y ronco negro (*Bairdiella* sp.). Asimismo se cultivan crustáceos como el camarón café (*Farfantepenaeus aztecus*) y jaiba (*Callinectes* spp., *C. sapidus*), jaiba gringa o jaiba azul y la jaiba café (*C. similis*) (Ricarte, 2004).

La biodiversidad pesquera y acuícola del estado de Veracruz aporta 9.5 % del mercado nacional, con una producción de 105 390 t que han generado, aproximadamente, un millón de pesos (Sagarpa, 2002).

Con el objetivo de conservar y preservar la biodiversidad pesquera y acuícola en la región, y apoyar la economía de ésta, la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca creó, en el año 2004, el fondo de reconversión pesquera del Golfo de México para impulsar y capitalizar dicha actividad. Es a

partir del año 2005 que se han apoyado 95 proyectos productivos de acuicultura, maricultura y pesca, con una inversión por proyecto de hasta dos millones de pesos; 35 proyectos productivos para el desarrollo de infraestructura comercial hasta por dos millones de pesos por proyecto, y 75 proyectos de formulación de estudios de viabilidad técnica, financiera y ambiental, hasta por 150 mil pesos por proyecto. Con esto, el gobierno de México marcó como prioridad la implementación de políticas orientadas al desarrollo sustentable de las actividades acuícolas y pesqueras (Sagarpa, 2005).

Dichos proyectos tienen como finalidad el abastecimiento de proteína de alta calidad, la generación de empleos y la protección de la población humana contra enfermedades causadas por la contaminación de alimentos. De tal manera que se mejore la competitividad comercial de los productos derivados de la biodiversidad acuícola y pesquera de México.

CUADRO 3. Especies acuícolas en unidades productivas comerciales.

ESPECIE	TIPO DE PRODUCCIÓN	IMPORTANCIA
Tilapia	275 unidades de producción comercial y 427 de autoconsumo, en una superficie de 13 457.31 ha.	Las principales variedades de tilapia cultivadas en el estado son: Rocky mountain o Aurea blanca, tilapia roja de Florida, <i>Oreochromis niloticus</i> , <i>O. niloticus</i> rosa, <i>O. mossambicus</i> roja y la <i>O. spp.</i> A partir del año 2001, se propuso una nueva población para el cultivo, esto es, la tilapia sintética llamada "El Pargo – UNAM" (de Rocky mountain, <i>O. niloticus</i> y tilapia roja de Florida) (Muñoz y Garduño, 2003).
Trucha	99 unidades de producción comercial y 56 de autoconsumo alojadas en 4.78 ha.	La especie que se cultiva en la zona centro del estado de Veracruz es la trucha arcoiris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ). El estado cuenta con dos centros de producción de crías, ubicados en las poblaciones de Matzinga y Los Amates (Sagarpa, 2002).
Tortugas dulceacuícolas	Comercial y de conservación.	Se encuentran en el estado de Veracruz, el pochitouque negro, montera ( <i>Kinosternon acutum</i> ), casquito, galápago ( <i>K. herrerai</i> ), chachagua, pochitoque ( <i>K. leucostomun leucostomun</i> ), casquito ( <i>K. scorpioides cruentatum</i> ), chopontil, taimán, taimame, joloque ( <i>Claudius angustatus</i> ), tortuga tres lomos, guao, guaruso ( <i>Staurotypus triporcatus</i> ), tortuga blanca ( <i>Dermatemys mawii</i> ), tortuga pinta ( <i>Trachemys scripta cataspila</i> ), tortuga pinta, jicotea ( <i>T. scripta venusta</i> ), y la mojina, tortuga payaso, montera ( <i>Rhinoclemmys areolata</i> ) (Aguirre y Cázares, 2002).

## SISTEMAS DE CALIDAD

Lo anterior ha originado que el sector productivo incrementa la oferta de organismos que provienen de unidades de extracción pesquera (UEP) y unidades productivas acuícolas (UPA), en las que se implementan sistemas de calidad e inocuidad de los productos acuícolas y pesqueros.

Específicamente, los diagnósticos realizados a las UEP y UPA a través de la aplicación de la normatividad vigente descrita en los manuales de buenas prácticas (MBP) para el diseño del sistema de calidad en el estado de Veracruz, indican que en estos sectores no ha sido implementado como una herramienta de trabajo para asegurar la inocuidad de los productos alimenticios, a diferencia de los sectores agrícola y pecuario. Lo anterior ha dado como resultado un impacto negativo en la conservación y sustentabilidad de la biodiversidad pesquera y acuícola (Sagarpa, 2005).

A partir del 10 de julio de 2001, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), adquirió competencia en materia de inocuidad de alimentos, contenida en su reglamento interior. En éste se establecen atribuciones específicas para el Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica). Para el desarrollo de estas atribuciones, se estableció el Plan Maestro de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquero, donde se describen las acciones de los distintos eslabones de la cadena productiva de los alimentos de origen agropecuario, acuícola y pesquero. Lo que promueve tanto la aplicación como la certificación de sistemas de reducción de riesgos, tales como: buenas prácticas agrícolas (BPA), buenas prácticas pecuarias (BPP), buenas prácticas de producción acuícola (BPPA), buenas prácticas de manufactura o de manejo (BPM), procedimientos operacionales de sanitización estándar (POES) y el sistema HACCP.

Con base en lo anterior se generaron, como guías de trabajo, cuatro manuales: Manual de Bue-

nas Prácticas de Producción Acuícola de Camarón, Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Moluscos Bivalvos, Manual de Buenas Prácticas de Manufactura en el Procesamiento Primario de Productos Acuícolas, y el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha. No obstante que a nivel internacional, Estados Unidos, Canadá y la Comunidad Económica Europea buscan continuamente reducir los riesgos a la salud humana por el consumo de productos no inocuos de la pesca y la acuicultura. Estos países han desarrollado tecnologías innovadoras para el control de la calidad por medio de sistemas HACCP que contempla una certificación de los organismos desde la zona de cultivo o captura, hasta su procesamiento y comercialización, lo que garantiza un producto final de alta calidad.

La implementación de sistemas HACCP en las actividades pesqueras y acuícolas, analiza la problemática considerando los aspectos físico-químicos y biológicos, lo que permite identificar puntos críticos en la biología y fisiología de los organismos que conforman la biodiversidad acuícola y pesquera del estado. Lo anterior, a su vez, facilita el tomar acciones en el control de estos puntos críticos, como es la sobreexplotación, la contaminación, el inadecuado manejo pesquero y acuícola, y los impactos meteorológicos en cada una de las etapas del proceso productivo, como son: pesca o cultivo, captura o recolección, transporte, procesamiento o transformación, y comercialización.

El concepto del HACCP se basa en el principio de que es más efectivo confiar en un método que anticipe posibles riesgos, y no enfrentarse a los efectos que modifican o alteran el proceso productivo. Ha sido aplicado en diferentes sectores industriales con resultados exitosos (cuadro 4), obteniendo productos de calidad, competitivos en los mercados nacionales e internacionales. El HACCP se divide en tres etapas (A, B, C) que identifican los puntos críticos a través de un árbol de decisiones (figura 3).

CUADRO 4. Área de aplicación del HACCP en la producción de diferentes productos alimenticios.

EMPRESA	PRODUCTO	ÁREA	REFERENCIA
Sea Grant, Florida.	Almeja	Procesamiento	Steven y Garrido, 1995.
University of California, Davis, CA.	Mejillón	Procesamiento	Price <i>et al.</i> , 1996.
University of California, Davis, CA.	Ostión	Procesamiento	Price <i>et al.</i> , 1996.
U.S. Pork	Cárnicos	Proceso de producción	U.S. Meat, 1999.
Avicultores de Colombia	Cárnicos	Proceso productivo y comercialización	Paculli y Varón, 1999.
Viña Canepa e Hidalgo, 2002.	Vinos	Producción	Barisione

## ETAPAS DEL HACCP

### A. Estudio preliminar

Paso 1: Información general.

Paso 2: Descripción del producto y del método de producción, distribución y conservación.

Paso 3: Identificar el uso final y tipo de población de destino.

Paso 4: Desarrollo del diagrama de flujo de la granja.

### B. Análisis de riesgos e identificación de puntos críticos

Paso 5: Establecer la hoja de trabajo.

Paso 6: Identificar los riesgos potenciales asociados con cada producto.

Paso 7: Identificar los riesgos potenciales asociados con cada proceso.

Paso 8: Análisis de riesgos (implementación).

Paso 9: Determinar si el riesgo potencial es significativo.

Paso 10: Identificar los Puntos Críticos de Control (PCC).

### C. Formulario del sistema HACCP

Paso 11: Establecer el formulario del sistema HACCP.

Paso 12: Establecer los límites críticos de cada medida preventiva.

Paso 13: Establecer los procedimientos de vigilancia (monitoreo), esto es: qué/cómo/frecuencia/ quién.

Paso 14: Establecer las medidas correctivas.

Paso 15: Establecer un sistema de registros.

Paso 16: Establecer los procedimientos de verificación.

Un ejemplo de la aplicación del plan HACCP es el que actualmente se aplica para moluscos bivalvos (Steven y Garrido, 1995; Price *et al.*, 1996), ya que los países donde han sido diseñados cuentan con zonas certificadas de producción que respaldan la calidad sanitaria del producto cultivado. En el Golfo de México no existen zonas certificadas o acreditadas para tal efecto, lo que genera la necesidad de implementar el HACCP en el manejo sustentable de la ostricultura y su interacción con la biodiversidad en los ecosistemas, con el objetivo de identificar los puntos críticos a los que es sometida la producción de este recurso y dar soluciones donde se apliquen acciones, para incrementar su aprovechamiento.

El HACCP no sólo es una herramienta que permite la prevención y mejoramiento de la calidad de los procesos productivos de los organismos obtenidos de la pesca y la acuicultura, sino que también es un instrumento que propone la recuperación, conservación y uso de la gran diversidad de especies acuáticas nativas que existen en el estado de Veracruz. Este proceso de control de calidad, a su vez,

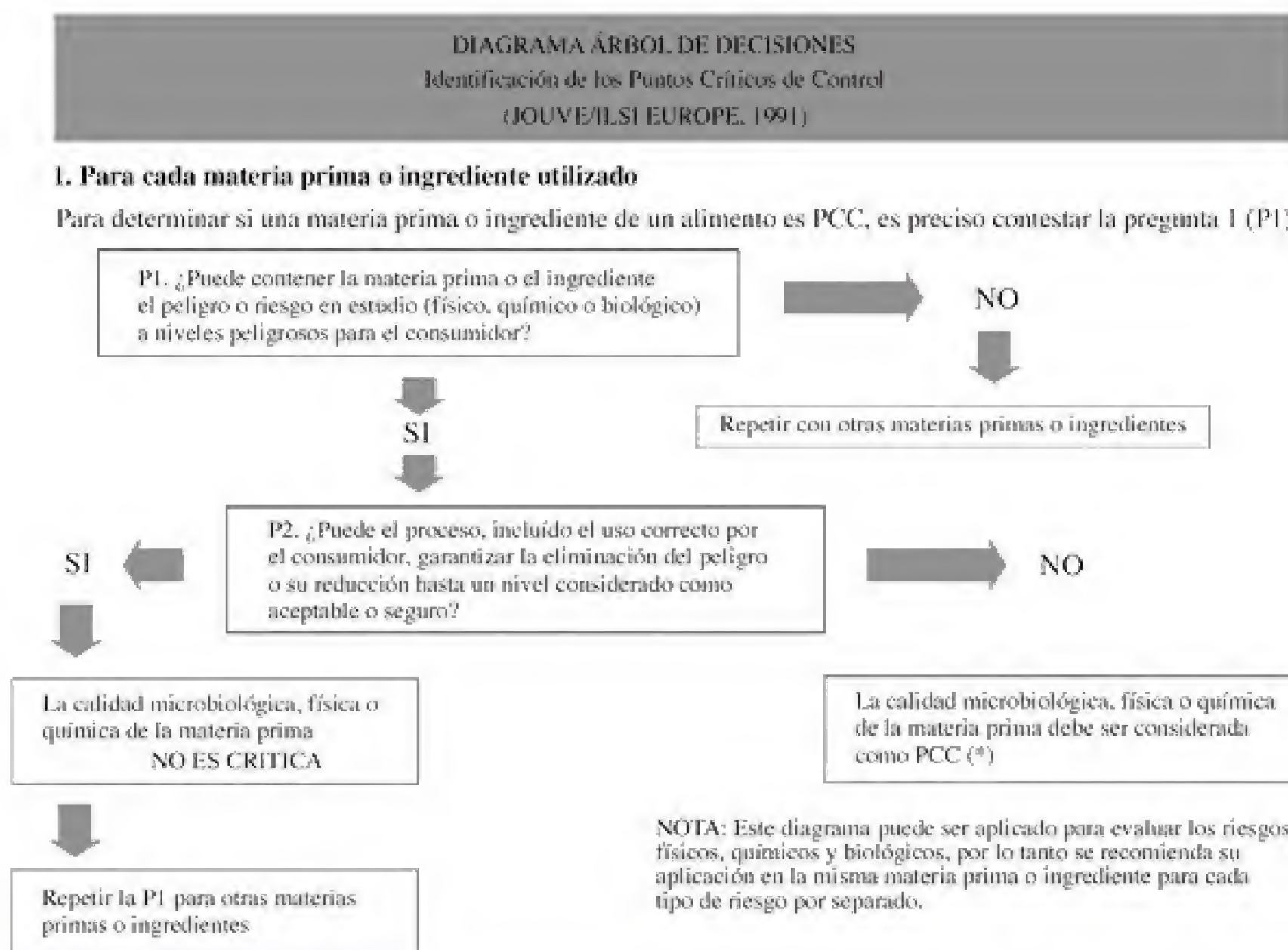


FIGURA 3. Diagrama de árbol para la toma de decisiones dentro del HACCP (HACCP, 1999).

regula el uso de especies introducidas para la actividad acuícola, como es el caso de la tilapia. El proceso también contempla el uso de instrumentos de verificación, basados en normas y códigos que los productores y exportadores del sector acuícola y pesquero deben cumplir en términos de sanidad e inocuidad acuícola y pesquera. Los productores y exportadores deben, además, procurar la protección ambiental y el cuidado de la biodiversidad en los diferentes ecosistemas, mediante la implementación de los programas de buenas prácticas y sistemas de calidad, desde la producción primaria o manejo de la biodiversidad, hasta su comercialización.

La actividad acuícola en el estado de Veracruz, por sus características climáticas y su estratégica ubicación, se promueve como una alternativa de producción desde 1973 a través de agencias gubernamentales, con la creación de centros de producción de crías de tilapia. Lo que ha generado que se establezcan unidades de producción acuícola (UPA) con diferente nivel de manejo y producción (Hernández *et al.*, 2002), repartidas en 153 municipios de los 210 con que cuenta el estado de Veracruz, divididos en tres zonas (cuadro 5) en donde el tipo de instalación varía en función del ingreso económico y de la experiencia en el cultivo (figura 4).

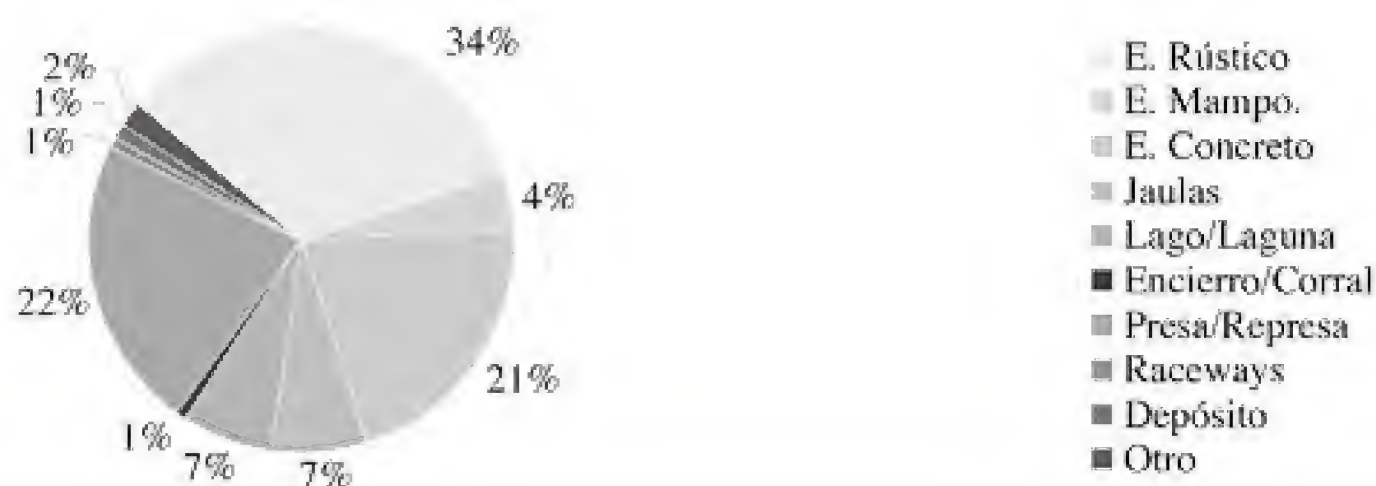


FIGURA 4. Clasificación de instalaciones acuícolas en el estado de Veracruz (Cervantes y Platas, 2004).

CUADRO 5. Municipios con actividad acuícola, UPA, porcentaje estatal y municipios con mayor actividad acuícola por zonas en el estado de Veracruz (Cervantes y Platas, 2004).

De 210 municipios con que cuenta el estado de Veracruz, en 141 de ellos se realiza la actividad acuícola, con un total de 1 145 UPA			
ZONA NORTE	ZONA CENTRO	ZONA SUR	ZONA NO IDENTIFICADA
34 Municipios 242 UPA 22.36 %	72 Municipios 533 UPA 47.36 %	38 Municipios 335 UPA 25 %	8 Municipios 35 UPA 5.26 %
Panuco (46 UPA = 9.91 %)	Xico (70 UPA = 13.13 %)	Las Choapas (38 UPA = 11.34 %)	Uxpanapa (16 UPA = 45.71 %)
Cazones (24 UPA = 9.91 %)	Coatepec (33 UPA = 6.19 %)	Acayucan (34 UPA = 10.14 %)	Ixhuatlán (6 UPA = 17.14 %)
Tempoal (20 UPA = 6.26 %)	Huatusco (31 UPA = 5.8 %)	Minatitlán (32 UPA = 9.55 %)	(5 UPA = 14.28 %)

La actividad acuícola se ha realizado hasta la fecha sin un plan estratégico de desarrollo a largo plazo que contemple sus necesidades desde el punto de vista de planificación económica, gestión de la producción, gestión de calidad e inocuidad de la producción, de los sistemas de comercialización y la relación empresa-ciencia. Actualmente, la aplicación de los sistemas HACCP en la producción acuícola estatal se realiza como resultado de la relación empresa-ciencia, a nivel de diagnóstico en las granjas de tipo rural y en una mínima proporción en las de tipo empresarial (Hernández *et al.*, 2002), en las que se han identificado como un punto crítico los sistemas de abastecimiento de agua para la actividad

acuícola, ya que éstos reciben el impacto directo de las actividades antropogénicas, industriales y turísticas que se desarrollan en las zonas aledañas a los sistemas de cultivo.

#### LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, G. y E. Cázares, 2002, *Tortugas dulceacuícolas del Estado de Veracruz: Un recurso para conservar y aprovechar*, Instituto de Ecología ISBN 970-709-001-4., p. 12.
- BARISIONE, W.M., Hidalgo, B.P., 2002, *Propuesta HACCP para Viña Canepa*, Portal Silvoagropecuario de Chile, Website: (www.agronegocios).

- BERTULLO, E., N. Avdalov, y A. Ripoll, 1999, *Manual sobre el Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP)*, Instituto de Investigaciones Pesqueras, INFOPE.
- CERVANTES, T.M., Platas, P.L., 2004, *Estadísticas de la actividad acuícola en el estado de Veracruz, México*, Memorias del XI Congreso Latinoamericano de Acuicultura 23-26 de noviembre del 2004, Villahermosa, Tabasco, México.
- FUENTES MATA, P., C.M. Rodríguez Mouriño, R.M. Loran Núñez, N. García Hernández, F.A. Escudero González y V.S. Echevarría Reyes, 2002, Pesquería de Tiburones y Rayas, en P. Guzmán, Amaya, C. Quiroga Brahm, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de la Pesca, pp.187-194.
- GALAVIZ VILLA, Itzel, 2003, *Estudio de la calidad sanitaria del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha, Veracruz; mediante el Método de Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos (ARICPC O HACCP)*, maestría en Ciencias en Acuicultura, Instituto Tecnológico del Mar núm. 01, 150 pp.
- GONZÁLEZ ANIA, L.V., P.A. Ulloa Ramírez y P. Arenas Fuentes, 2002, Pesquería del Atún, en P. Guzmán, Amaya, C. Quiroga Brahm, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de la Pesca, pp. 177-185.
- HAZARD ANALYSIS CRITICAL CONTROL POINT (HACCP), 1999, *Un enfoque sistemático a la seguridad de los alimentos. Manual para el desarrollo e implementación de un plan de análisis de peligros y puntos críticos de control*, National Food Processors Association, The Food Processors Institute. Washington, D.C. 20005-3305, 5-60.
- HERNÁNDEZ-MOGICA, M., J.L. Reta-Mendiola, F. Gallardo-López y M. Nava-Tablada, 2002, Tipología de productores de tilapia (*Oreochromis* spp.): base para la formación de grupos de crecimiento productivo simultáneo (GCPS) en el estado de Veracruz, México, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1: 13-19.
- HERNÁNDEZ TABARES, I. y P.R. Bravo, Gamboa, 2002, Pesquería de pulpo, en: P. Guzmán, Amaya, C. Quiroga Brahm, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos y C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de la Pesca, pp. 218-228.
- LORAN NÚÑEZ, R.M. y F.R. Martínez Isunza, 2002a, Pesquería de Cangrejo y Acocil, en: P. Guzmán, Amaya; C. Quiroga Brahm, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de la Pesca, pp. 207-210.
- LORÁN NÚÑEZ, R.M. y F.R. Martínez Isunza, 2002b, Pesquería de Langostino, en P. Guzmán, Amaya, C. Quiroga Brahm, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de la Pesca, pp. 210-215.
- MUÑOZ-CÓRDOVA, G. y M. Garduño-Lugo, 2003, *Mejoramiento Genético en Tilapia: Sistemas de cruzamiento y mecanismos genéticos en la determinación del color*, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, 84 pp.
- NOM-009-PESC-1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-016-PESC-1994, que regula la pesca de lisa y liseta o lebrancha en aguas de jurisdicción del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California, Golfo de México y Mar Caribe.
- NOM-017-PESC-1994, que regula las actividades de pesca deportiva recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.

- NOM-023-PESC-1996, que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palanqueras en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.
- NOM-059-SEMARNAT-2001, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.
- NOM-009-PESC-1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-016-PESC-1994, que regula la pesca de lisa y liseta o lebrancha en aguas de jurisdicción del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California, Golfo de México y Mar Caribe.
- NOM-017-PESC-1994, que regula las actividades de pesca deportiva recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-023-PESC-1996, que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palanqueras en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.
- NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.
- PALOMAREZ, M., 2005, *Influencia de metales pesados en la maduración gonádica del camarón nativo de la laguna de Tamiahua y Vega de la Alatorre, Veracruz*, tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz.
- PASCULLI, H.L., Varón G.A., 1999, *Plan genérico para la implementación del sistema HACCP en la industria avícola. Producción, beneficio, transporte y comercio de pollo*, Federación Nacional de Avicultores de Colombia (Fenavi) y Fondo Nacional Avícola (Fonavi), pp. 45-67.
- PRICE, R.J., D.E. Kramer y P.D. Tom, 1996, *Processing Mussels-The HACCP Way*, Available from Robert J. Price, Food Science and Technology Department, University of California, Davis, CA 95616, p. 43.
- QUIROGA BRAHMS, C., A. Valdés Guzmán, I. Hernández Tabares, M. García Gómez y P. Guzmán Amaya, 2002, Peces Ribereños, en P. Guzmán, Amaya, C. Quiroga Brahms, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de la Pesca, pp. 155-165.
- RICARTE RIVERA, R., 2004, *Caracterización de los recursos ícticos, de importancia comercial presentes en el sistema lagunar de Alvarado, Ver.*, tesis de maestría, Instituto Tecnológico del Mar 01, 150 pp.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (Sagarpa), 2002, Anuario Estadístico de Pesca, México. (<http://www.sagarpa.gob.mx/conapesca/planeacion/anuario2002/>).
- , 2005. Boletín informativo núm. 308/04, (<http://www.sagarpa.gob.mx/egrs/boletines/2004/diciembre>).
- SCHALDACH, W.J., L. Huidobro C. y H.R. Espinosa P., 1997, Peces marinos, en R. Dirzo y R.C. Vogt S. E. González S. (eds.), *Historia natural de Los Tuxtlas México*, pp.463-471.
- SCHULTZ RUIZ, L.E., J. Rivas Villegas y C.A. Severino Hernández, 2002, Pesquería de camarón, en P. Guzmán, Amaya, C. Quiroga Brahms, C. Díaz Luna, D. Fuentes Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (eds.), *La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Universidad Veracruzana/Instituto Nacional de Pesca, pp.196-201.
- STEVEN, O., Garrido M.V., 1995, *Aseguramiento de la calidad total (TQA) y análisis de riesgos y control de puntos críticos. Manual para la producción y procesamiento de la almeja*, Sea Grant Florida-University of Florida, pp.1-8.
- U.S. MEAT EXPORT FEDERATION, 1999, Seguridad Porcina, Panorama General de HACCP. U.S Pork Issue Review. Website: ([www.usmef.org](http://www.usmef.org)).

## ESTUDIO DE CASO

### DETERMINACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS EN PRODUCCIÓN DE TILAPIA EN GRANJAS ACUÍCOLAS

María del Refugio Castañeda Chávez  
Fabiola Lango Reynoso

**INTRODUCCIÓN.** La tilapia es el principal producto pesquero y acuícola del estado de Veracruz, con una producción de 160 000 t. Esta especie se cultiva en granjas acuícolas, desconociéndose su operación y manejo con base en el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (MBPPA). En México se aplica el MBPPA, el cual se elaboró siguiendo las referencias establecidas por la ONU, la FAO y la OMS, a través de la Comisión del *Codex Alimentarius*. Incluye aspectos, tales como: *a)* la selección del área de cultivo; *b)* programas de monitoreo y control del agua, alimentos, fármacos y procesos; *c)* inspección final del producto, y *d)* programas de capacitación para el personal involucrado (Bertullo *et al.*, 1999).



**OBJETIVO.** Evaluar el proceso de producción acuícola de la tilapia en las granjas acuícolas del estado de Veracruz, aplicando el MBPPA para la certificación por Sagarpa-Senasica.

**MATERIALES Y MÉTODOS.** *a)* Diagnóstico del proceso de producción acuícola a través del MBPPA, y *b)* propuesta HACCP para el sistema de producción acuícola.

**RESULTADOS.** Como resultado del diagnóstico, las granjas del estado de Veracruz se consideran en un 90 % de tipo rural con un esquema de organización familiar (figura 1). El 100 % de las granjas han recibido apoyo económico a través de programas de fomento del Gobierno Federal, Estatal y Municipal. Las granjas fueron construidas en terrenos que ya habían sido utilizados para fines de acuicultura, en las que el 70 % cultivaban peces de ornato y *Artemia*, por lo cual en los terrenos ya se contaba con estanques de concreto y estanques rústicos. El 90 % de las granjas actualmente realizan cultivos semi-intensivos de engorda de tilapia, así como cultivos alternos. El diagnóstico refleja que las fuentes de abastecimiento de agua son un problema común para el 90 % de las granjas de acuerdo a los análisis químicos, físicos y biológicos efectuados a éstas. La propuesta basada en el sistema HACCP establece la necesidad de realizar diseños de granjas acuícolas en las que se aplique la transferencia de tecnología encaminada al aprovechamiento sustentable de las especies para cultivo acuícola, así como el desarrollo de esta actividad en un esquema de proceso productivo sistemático. Que integren sistemas de filtración y tratamiento para sus afluentes, efluentes y programas de monitoreo periódicos, así como la identificación de fuentes puntuales de contaminación (HACCP, 1999).

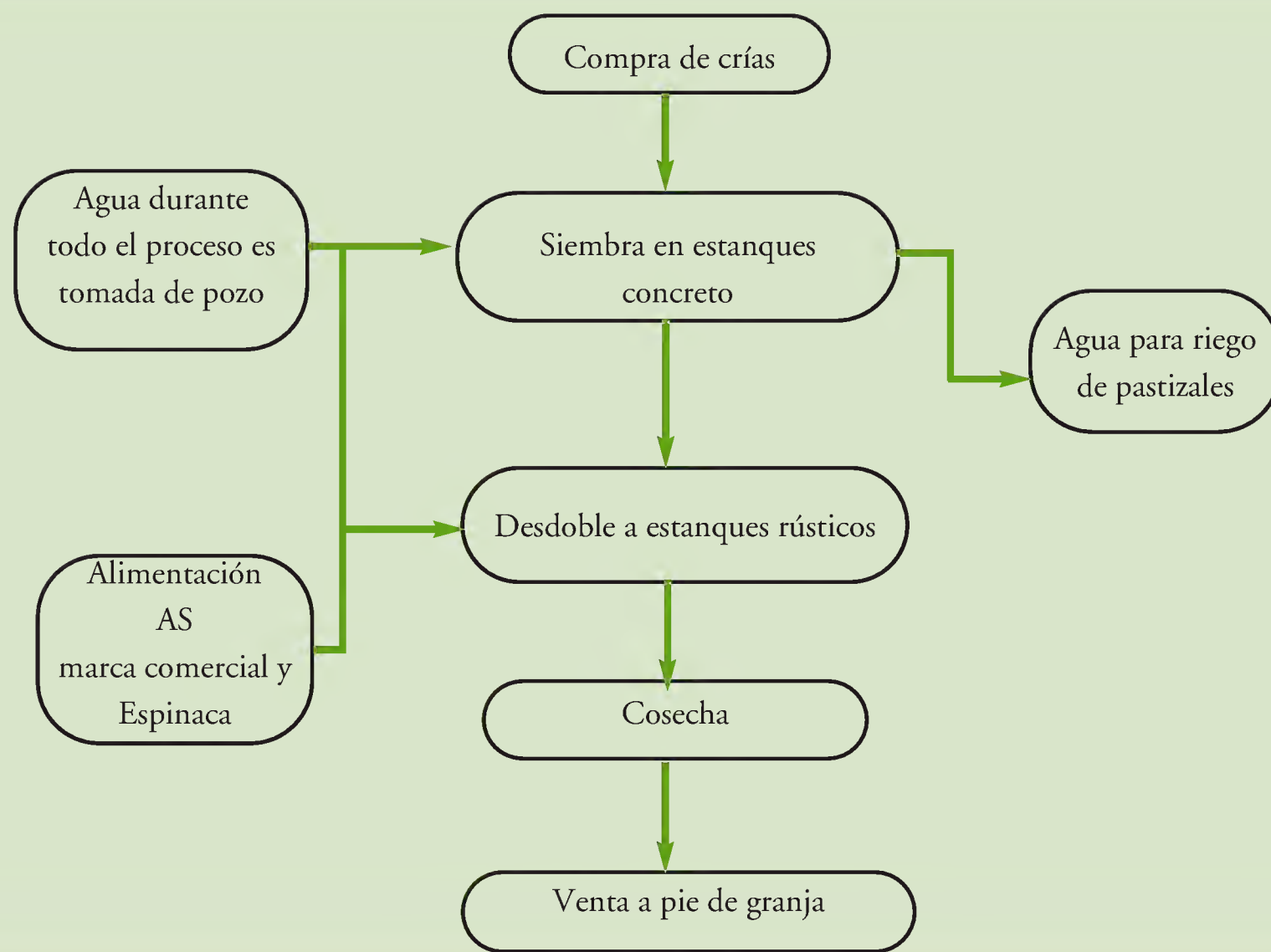


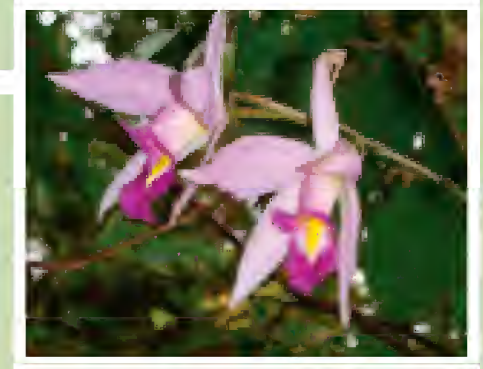
FIGURA 1. Diagrama de procesos de una granja rural tipo.

CONCLUSIONES. Las granjas del estado de Veracruz no cumplen con el 40 % de las verificaciones propuestas por el Manual de BPPA, lo que implica una necesidad de realizar diseños basados en la transferencia de tecnología con inversión financiera de tipo empresarial y con apoyo de los gobiernos Federal, Estatal y Municipal. Una vez que se cumpla con la mayoría de las verificaciones, las granjas podrán solicitar la revisión por la Senasica para su posible certificación.

FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, A., C. Reyes Velásquez, Y. Silva Cruz, M. Castañeda Chávez, del Refugio, 2008, *Puntos críticos en la reversión sexual en granjas de producción de tilapia*, Memorias del Simposium Internacional de Acuicultura 14-16 de noviembre del 2008, Boca del Río, Veracruz, México.

DOMÍNGUEZ MACHIN, M., Pedro Reyna González, Julián Guerrero Reyes y María del Refugio Castañeda Chávez, 2008, *Diagnóstico sanitario en granjas del estado de Veracruz*, Memorias del Simposium Internacional de Acuicultura 14-16 de noviembre del 2008, Boca del Río, Veracruz, México.

# Turismo alternativo y uso sustentable de la biodiversidad



Martha Elena Nava Tablada  
Felipe Gallardo López  
Itzel Díaz Juárez  
Pernilla Fajersson

## INTRODUCCIÓN

La preocupación mundial por lograr el desarrollo económico y social sin degradar el ambiente se ha traducido en acuerdos internacionales que proponen el desarrollo sustentable como único medio para enfrentar los desafíos globales en materia ambiental (Aceranza, 2007). Una alternativa que cumple estas características es el turismo alternativo, modalidad que plantea además de un ingreso económico para los pobladores locales, la conservación de los recursos naturales y sociales del área en que se efectúa la actividad turística. En este contexto, y con el objetivo de proponer al turismo alternativo como una estrategia viable para el uso sustentable de la riqueza biológica de Veracruz, en el presente capítulo se define dicha modalidad turística, subrayando su contribución a la conservación de la biodiversidad. También se describe de manera general el contexto nacional del turismo alternativo y el alto potencial de Veracruz para esta actividad, dado por su variedad de climas, ecosistemas, actividades pro-

ductivas primarias y expresiones culturales. Además, se expone un proyecto de turismo alternativo que preserva el entorno natural: la cooperativa *Eco-turismo Campesino Selva El Marinero*. Finalmente, se analizan algunas limitantes que enfrenta el turismo alternativo en Veracruz para cumplir con su carácter sustentable y se exponen conclusiones generales respecto al futuro del mismo como estrategia viable de conservación de la biodiversidad del estado.

## DEFINICIONES

En México la actividad turística ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente, debido a la construcción de grandes desarrollos turísticos que provocan la modificación y/o destrucción del hábitat natural, afectando negativamente la biodiversidad (Daltabuit *et al.*, 2000). Ante ello, el sector turístico mexicano se ha sumado al enfoque de desarrollo sustentable mediante el turismo alternativo, que plantea

una actividad turística que contribuya a la conservación de los ecosistemas (Aceranza, 2006).

Sobre turismo alternativo existen varias definiciones, sin embargo, todas lo conciben como una modalidad turística preocupada por la conservación de los recursos naturales y sociales del área en que se efectúa (Zamorano, 2004). Según el tipo de actividades, la Secretaría de Turismo (2004a) ha diferenciado tres modalidades de turismo alternativo: 1) Turismo de aventura, el cual tiene como fin realizar actividades recreativas y deportivas, asociadas a desafíos impuestos por la naturaleza. 2) Ecoturismo, que consiste en visitar áreas naturales con la finalidad de disfrutar y valorar sus atractivos, a través de un proceso que promueva la conservación ambiental y cultural. Los principios rectores del ecoturismo son: no afectar la biodiversidad, contribuir al bienestar económico y social de la población local, incluir una experiencia de educación para el turista promoviendo acciones ambientalmente responsables; y trabajar con grupos reducidos para tener un mínimo impacto en el hábitat natural (Mendiola, 2004). 3) Turismo rural, cuyo fin es que el turista realice actividades de convivencia e interacción con una comunidad campesina o indígena, compartiendo sus expresiones sociales, culturales y productivas para sensibilizarlo hacia el respeto de otras identidades. El turismo rural representa una alternativa económica que hace compatible la producción agropecuaria y la conservación del ambiente natural en que se desarrolla, además promueve la producción sustentable, como forma de rectificar la imagen de actividad depredadora que comúnmente tienen la agricultura y la ganadería (Ciani, 2003).

#### EL TURISMO ALTERNATIVO EN MÉXICO

En México, la Secretaría de Turismo (Sectur) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), presentaron en el año 2000 la

Política y Estrategia Nacional para el Desarrollo Turístico Sustentable, con el objetivo de promover actividades turísticas que propicien de manera equilibrada la preservación natural, la equidad social y la rentabilidad de la inversión, para garantizar el desarrollo sustentable, a futuro, del sector. Esta estrategia implica que los pobladores locales se involucren directamente en la actividad turística y sean los principales beneficiarios, así como el establecimiento de mecanismos de autofinanciamiento para la conservación de las áreas naturales donde se realiza dicha actividad (Sectur, 2003).

A partir de la década de los noventa, México ha experimentado un gran crecimiento del turismo alternativo, para el año 2003 se reportan alrededor de 390 destinos de aventura, ecoturismo y turismo rural, cuyos servicios son prestados por empresas privadas y comunitarias. La mayor parte de destinos de turismo alternativo en el país se encuentran en zonas rurales y Áreas Naturales Protegidas (ANP), propiedad de comunidades indígenas y campesinas, sin embargo, el grueso de la actividad turística está en manos de operadoras privadas nacionales e internacionales y poco benefician a las comunidades locales. Dichas empresas, además, se orientan sobre todo al turismo de aventura y se enfocan al aprovechamiento económico de las bellezas naturales, pero no a su preservación, pues las actividades que realizan carecen de estudios ambientales serios que valoren su impacto ecológico (López, 2003). Para revertir esta situación, instituciones de gobierno, organismos no gubernamentales y comunidades rurales e indígenas han promovido programas, corredores, rutas y empresas de turismo alternativo que beneficien directamente a los pobladores asentados en las áreas ricas en recursos naturales, logrando que para 2003 se reporten alrededor de 180 empresas comunitarias que operan en su mayoría en ANP (López, 2003).

## EL TURISMO ALTERNATIVO EN VERACRUZ

Veracruz tiene alto potencial para implementar actividades de turismo alternativo debido a su variedad de climas, ecosistemas, actividades agropecuarias y expresiones culturales. El estado cuenta con importantes recursos hidrológicos y un amplio litoral costero donde destacan: 1) playas de Nautla, Tecolutla, Costa Esmeralda, Montepío y Barra de Sontecomapan, que pueden convertirse en sitios de protección para la biodiversidad terrestre y acuática de los ecosistemas costeros; 2) cascadas como Texolo en Teocelo y el Salto de Eyipantla en San Andrés Tuxtla, con gran atractivo ecoturístico por su paisaje y biodiversidad; 3) ríos para practicar el descenso en Jalcomulco, Actopan y Filobobos, que actualmente constituyen destinos importantes del turismo de aventura; 4) ecosistemas de especial interés ecoturístico por su gran biodiversidad, como manglares y arrecifes coralinos, donde pueden realizarse recorridos en lancha y actividades de buceo que promuevan su conocimiento y cuidado (Gobierno del Estado de Veracruz, 2006). A nivel estatal se registran 86 Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMAS) que operan con un plan de manejo sustentable del hábitat y realizan un constante monitoreo del estado de las poblaciones vegetales y animales, constituyendo sitios potenciales para el ecoturismo orientado a la educación ambiental (Semarnat, 2006). Como ejemplo del aprovechamiento turístico sustentable de la fauna silvestre, a mediados de los años noventa Pronatura, Veracruz<sup>1</sup>, implementó un programa de ecoturismo basado en la observación de aves rapaces migratorias que llegan anualmente al centro de Veracruz, constituyendo los principales sitios de observación: Laguna de San

Julián, Cardel, Chichicaxtle, Reserva Ecológica de La Mancha, La Joya, Cascada de Texolo y Parque Ecológico Macuiltépetl (Pronatura Veracruz, 2006).

El estado cuenta con 15 ANP federales (destacan la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas; Parques Nacionales Cañón de Río Blanco, Cofre de Perote, Pico de Orizaba y Parque Marino Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano) y 19 ANP estatales (siendo las más conocidas el Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero, Parque Ecológico Macuiltépetl, Cerro de las Culebras y Río Filobobos) (Semarnat, 2006), donde el turismo alternativo es una opción viable para que las comunidades campesinas e indígenas que las habitan, puedan aprovechar los recursos naturales y la biodiversidad existente de manera sustentable, obteniendo ingresos que mejoren sus condiciones de vida. Un ejemplo de esta posibilidad es *Ecoturismo Campesino Selva El Marinero* que opera en la reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas (véase estudio de caso).

En Veracruz se realiza una amplia gama de actividades agropecuarias que representan un ámbito potencial para implementar el turismo rural, lo cual posibilitaría que los productores rurales obtuvieran un ingreso extra a sus actividades tradicionales, armonizando la producción primaria con la conservación de la base natural que la sustenta y disminuyendo con ello la presión sobre los recursos. Mención especial merecen los recursos forestales que pertenecen a las comunidades rurales, dado que son susceptibles de un aprovechamiento ecoturístico que preserve el hábitat de una gran cantidad de especies y a la vez provea ingresos económicos para mejorar la vida de las poblaciones que las manejan (Goeritz, 2007).

<sup>1</sup> Asociación Civil Mexicana cuyo objetivo es conservar la flora y fauna de los ecosistemas promoviendo un desarrollo social en armonía con la naturaleza.

CUADRO 1. Regiones turísticas de Veracruz y su potencial para turismo alternativo.

TIPO	UBICACIÓN	POTENCIAL PARA TURISMO ALTERNATIVO
Altas Montañas	Región montañosa del centro de Veracruz, incluye los parques nacionales Pico de Orizaba y Cañón de Río Blanco.	El café de sombra es uno de los cultivos más importantes de la región con potencial para turismo rural. El ecoturismo y turismo rural pueden practicarse en las extensas áreas de bosque que alternan con zonas dedicadas a la agricultura y ganadería, así como en los numerosos viveros e invernaderos donde se producen plantas de ornato y forestales. En la Sierra de Zongolica existen importantes zonas de bosque y habitan grupos indígenas Nahuas que conservan una variada tradición cultural y artesanal, propios para implementar actividades de turismo rural. También destacan desarrollos ecoturísticos como “La Quinta”, predio privado que conserva bosque tropical subperenifolio y bosque mesófilo de montaña con una gran diversidad de epífitas (principalmente orquídeas nativas) y plantas medicinales. El relieve y diversidad de vegetación y fauna de la zona, la hace apta para práctica de deportes como ciclismo de montaña, caminatas y campismo. Cercana a la ciudad de Huatusco se encuentra la Reserva “Las Cañadas”, donde se conserva con actividades de ecoturismo y agroecoturismo uno de los remanentes de bosque de niebla de la zona centro del estado.
Cultura y aventura	Se localiza en el centro del estado y comprende la ciudad de Xalapa y los municipios aledaños; incluye el Parque Nacional Cofre de Perote.	Está situada en una zona de transición climática con variada orografía, por lo que presenta una gran diversidad biológica, existiendo gran número de especies endémicas y ecosistemas característicos como el bosque de niebla. También cuenta con abundantes recursos hidrológicos de gran belleza (ríos, cascadas, etc.). Toda esta riqueza natural tiene un alto potencial para el ecoturismo. El café de sombra y la floricultura son dos de las principales actividades agrícolas características de la región que representan atractivos para turismo rural.  La variada orografía, vegetación y ríos de la zona han propiciado el auge de actividades de turismo aventura como <i>rafting</i> , rappel, caminatas, cabalgatas y tirolesa, principalmente en los ríos Los Pescados-La Antigua (Jalcomulco), Actopan, Apazapan y Filobobos. Cuenta además con sitios de gran interés para ecoturismo como la Cascada de Texolo, el Descabezadero, aguas termales de El Carrizal, parques ecológicos entre los que se cuenta el Macuiltépetl y Natura, jardines botánicos como el Francisco Javier Clavijero, áreas boscosas como San Juan del Monte, Valle Alegre y el Ciclo Verde, el ANP Cerro de la Martínica que conserva un área de bosque de niebla y el Parque Nacional Cofre de Perote, sitios donde puede observarse gran diversidad de flora y fauna endémica. También destacan las poblaciones de Coatepec (incorporada en 2006 al programa Pueblos Mágicos, que impulsa el turismo cultural y rural en combinación con la conservación del medio ambiente) y Xico (con importante tradición de cuidado de los recursos naturales y que forma parte del programa “México limpio y querido” de la Secretaría de Turismo).
Pasos de Cortés	Comprende la zona costera central del estado donde desembarcó el conquistador español Hernán Cortés.	Entre sus atractivos culturales están los sitios arqueológicos prehispánicos Cempoala, (Quiahuixtlán) y monumentos históricos en La Antigua (casa de Cortés) y Veracruz (San Juan de Ulúa y Baluarte de Santiago). Cuenta con gran variedad de paisajes y especies de flora y fauna apropiados para el ecoturismo, siendo importantes las aves rapaces migratorias que cada año congregan a un número importante de turistas para su observación, así como las zonas de manglares y dunas costeras. Frente a las playas de Antón Lizardo se encuentra el Parque Arrecifal Veracruzano, ANP cuyas aguas son propias para el buceo y la observación de los arrecifes coralinos y la gran diversidad de especies de moluscos, peces y crustáceos que los habitan. Destacan otros sitios como laguna de La Mancha donde se desarrolla investigación para la conservación natural y opera el proyecto ecoturístico comunitario “Ecoguías la Mancha en Movimiento” que realiza un uso sustentable de los ecosistemas: playa, dunas, selva mediana subcaducifolia, humedales de agua dulce, manglares y laguna costera, preservando el hábitat de gran diversidad de aves rapaces migratorias y del cangrejo azul. También es digna de mencionarse, por su valor para turismo rural, la población de Tlacotalpan, a orillas del río Papaloapan, declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO.

concluye cuadro 1

TIPO	UBICACIÓN	POTENCIAL PARA TURISMO ALTERNATIVO
Totonaca	Se ubica en el norte del estado y comprende el área de influencia del pueblo totonaco en torno al centro prehispánico El Tajín y la ciudad de Papantla.	Esta zona está irrigada por numerosos ríos y arroyos, su vegetación predominante es selva alta y baja perennifolia, con potencial para el ecoturismo. También existen zonas de playa en Nautla, Costa Esmeralda y Tecolutla, donde se realizan actividades de protección de tortugas marinas y se encuentra un ANP de manglares, conocida como la Ciénega del Fuerte en la que se realizan recorridos en lancha para observación del ecosistema. El principal cultivo tradicional de la región es la vainilla, epífita con la que se elaboran extractos y artesanías; dicha actividad tiene gran potencial para turismo rural. Papantla fue incorporada en 2006 al programa Pueblos Mágicos de Sectur. La numerosa población indígena totonaca que la habita conserva ricas tradiciones como Los Voladores y la Fiesta de <i>Corpus Christi</i> que constituyen recursos culturales con gran valor turístico.
Huasteca	Se localiza en el nore del estado, colinda con la región totonaca; incluye las sierras boscosas de Huayacocotla y Otontepec, así como el ANP conocida como Santuario del Loro Huasteco.	Cuenta con playas, ríos, lagunas, esteros y manglares, especialmente en la región de Tuxpan y Tamiahua, donde son comunes los paseos en lancha con observación de los ecosistemas costeros. También la tradición gastronómica y cultural de la zona representa uno de sus más fuertes atractivos para turismo rural. En Pánuco se localiza el ANP denominada Santuario del Loro Huasteco, donde existe gran diversidad de aves canoras y ornamentales que constituyen un valioso recurso para turismo alternativo. Las zonas boscosas de las sierras de Huayacocotla y Otontepec son un recurso natural con alto potencial para el ecoturismo.
Los Tuxtlas	Ubicada al sur del estado; se identifica por la conjunción de una sierra montañosa y vegetación de selva tropical lo cual configura un hábitat de singular riqueza natural de flora y fauna. Incluye la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas.	La Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas es un área natural con una gran diversidad biológica, donde se han registrado más de 2 368 especies de plantas vasculares, 561 de aves (algunas en peligro de extinción), 117 de reptiles y 45 de anfibios. Por ello, en esta zona existe una fuerte actividad ecoturística desarrollada por las comunidades campesinas aledañas a la Reserva de la Biosfera, las cuales intentan mediante un uso sustentable conservar el hábitat de especies en peligro de extinción como el jaguar. Existen también lagunas donde se desarrollan actividades de turismo alternativo como la de Catemaco, Encantada y Majahual. Aledaña a la Laguna de Catemaco se encuentra Nanciyaga, una reserva ecológica que en 40 ha de selva, resguarda una gran diversidad de flora y fauna, cuenta con manantiales de agua mineral, baños de temazcal y barro, solarium y criaderos de tortugas y cocodrilos. Cerca de Catemaco se localiza el Salto de Eyipantla, cascada que forma parte del hábitat de especies como jabalí, venado, tlacuache, tigrillo y gran variedad de aves (águila, faisán, paloma silvestre y canoras), lo cual aunado a su belleza paisajística le confieren un alto potencial ecoturístico. También existen islas como la de los Monos y la de las Garzas, donde puede observarse fauna en hábitat natural. Catemaco es también rica en tradiciones culturales ancestrales de medicina tradicional que atrae turistas que buscan experiencias alternativas.
Olmeca	Comprende el sur del estado donde tuvo influencia la cultura Olmeca, su clima tropical húmedo permite el desarrollo de paisajes de selva con una gran variedad de flora y fauna.	La existencia de numerosos grupos indígenas (Nahuas, Zapotecos, Zoques y Popolucas) confieren a la zona una notable complejidad cultural, además, cuenta con importantes vestigios arqueológicos en San Lorenzo Tenochtitlán y Las Choapas; ambas características son propicias para el desarrollo de actividades de turismo rural. La región incluye diversos sitios relevantes para la conservación de la biodiversidad, tales como la Laguna del Manatí, donde arriban miles de aves migratorias provenientes de Estados Unidos y Canadá y la reserva forestal El Gavilán, ANP con vegetación de selva baja y alta perennifolia; ambas zonas tienen gran potencial para ecoturismo.

FUENTES: Arriaga, 2002; Arriaga, 2000, Gobierno del Estado de Veracruz, 2006; Secretaría de Turismo, 2006; *Visite México*, 2006.

El patrimonio cultural veracruzano (sitios arqueológicos, monumentos históricos, museos, fiestas tradicionales, artesanía, gastronomía y actividades culturales) tiene gran potencial para turismo alternativo, sin embargo (sobre todo en zonas rurales), se encuentra desaprovechado, aunque puede proporcionar al turista una experiencia más completa del entorno natural y social que visita (Gobierno del Estado de Veracruz, 2006). La Secretaría de Turismo y Cultura contempla en Veracruz siete regiones turísticas con un alto potencial para el turismo alternativo que se han descrito en el cuadro 1.

En la última década se observa en Veracruz un auge de actividades de turismo alternativo, especialmente ecoturismo y turismo de aventura, donde el estado ocupa el primer lugar nacional (Gobierno del Estado de Veracruz, 2006). Sin embargo, el turismo alternativo es una actividad relativamente nueva, por lo que existe poca información respecto a su operación. A pesar de dicha limitante, se presentan algunos datos que reflejan el auge que ha tenido. Sectur (2004b) reportó 50 empresas (la mayoría privadas) operando en el estado (cuadro 2). Para el año 2005, la Secretaría de Turismo y Cul-

CUADRO 2. Empresas que realizan actividades de turismo alternativo en Veracruz, por municipio, donde se localiza su oficina principal y tipo de turismo predominante.

MUNICIPIO	NÚMERO DE EMPRESAS	TIPO DE TURISMO		
		Aventura <sup>1</sup>	Ecoturismo <sup>2</sup>	Rural <sup>3</sup>
Oficina principal con domicilio en Veracruz				
Actopan	2	X	X	
Apazapan	1	X	X	
Atzacan	1	X	X	X
Catemaco y San Andrés Tuxtla	3	X	X	X
Emiliano Zapata	1		X	
Fortín	2	X	X	X
Huatusco	1		X	X
Jalcomulco	8	X	X	
Orizaba	1	X		
Poza Rica	1	X	X	X
Tlapacoyan	4	X	X	
Veracruz	3	X	X	
Xalapa	3	X	X	
Oficina principal con domicilio en otro estado				
Zona conurbada Cd. de México	11	X	X	
Cuernavaca, Mor.	1	X		
Monterrey, N.L.	1	X		
Oaxaca, Oax.	1	X	X	X
Puebla, Pue.	3	X	X	X
Querétaro, Qro.	1	X	X	X
Cd. Madero, Tam.	1	X	X	

FUENTE: Secretaría de Turismo (2004b)

<sup>1</sup> Cabalgata, caminata, ciclismo de montaña, espeleísmo, montañismo, rappel, buceo, descenso en río, pesca recreativa, paracaidismo, vuelo y viaje en globo aerostático.

<sup>2</sup> Educación ambiental, observación (flora, fauna, fósiles, ecosistemas, geológica, sideral, fenómenos y maravillas naturales), safari fotográfico, senderismo interpretativo, proyectos de investigación biológica y programas de rescate de flora y/o fauna.

<sup>3</sup> Etnoturismo, eco-arqueología, agroturismo, talleres (medicina tradicional, gastronómicos y artesanales), vivencias místicas, fotografía rural y aprendizaje de dialectos.

tura del Estado de Veracruz registra 93 empresas dedicadas al turismo alternativo (especialmente turismo de aventura y ecoturismo), de ellas 64 son privadas y 29 sociedades cooperativas que se concentran en el sur del estado: Catemaco-San Andrés Tuxtla (11 empresas), Pajapan (3) y Uxpanapa (2). Las empresas de turismo alternativo reportaron para el año 2005 una afluencia de 128 648 turistas (mayormente nacionales), siendo los principales destinos: Jalcomulco, Filobobos, Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, Carrizal y El Descabezadero en Actopan. Las actividades más solicitadas fueron: descenso en río, rappel, escalada, tirolesa, caminata, senderismo interpretativo, montañismo, ciclismo de montaña y observación de flora y fauna (Secretaría de Turismo y Cultura de Veracruz, 2006). El sector de turismo alternativo de mayor crecimiento en el estado es el turismo de aventura, pues en pocos años se han multiplicado las operadoras (sobre todo privadas) que lo manejan. Sin embargo, muchas de ellas aprovechan los recursos naturales, pero no destinan suficiente atención a su preservación, ya que sus actividades carecen de estudios ambientales que valoren su impacto ecológico. Además, las ganancias económicas de la actividad turística poco benefician a las comunidades rurales donde se realiza. En contraste, la Reserva Las Cañadas-Bosque de Niebla, constituye un ejemplo de una empresa privada comprometida con la conservación de la biodiversidad.

#### IMPLICACIONES DEL TURISMO ALTERNATIVO EN LA BIODIVERSIDAD EN VERACRUZ

El turismo alternativo, cuando es una actividad bien planeada y que cumple con todas las normas técnicas y legales que garanticen el mínimo impacto sobre los recursos naturales, representa una estrategia viable para la conservación y uso sustentable de las zonas con gran biodiversidad en Veracruz (incluidas Áreas Naturales Protegidas), sobre todo

tomando en cuenta que en muchas de estas áreas se asientan poblaciones rurales e indígenas que utilizan los recursos naturales locales. De otra forma, los espacios donde aún existen especies vegetales y animales importantes para la biodiversidad del estado (por ser endémicas, amenazadas o en peligro de extinción), corren el riesgo de ser destruidos por el cambio de uso del suelo a otras actividades económicas que no contemplan la conservación de la naturaleza (urbanización, actividad agropecuaria convencional, turismo a gran escala, etc.). La viabilidad del turismo alternativo como una estrategia de conservación de la biodiversidad en Veracruz, se ilustra con el ejemplo citado en el presente texto, donde proyectos de turismo alternativo (privados y comunitarios), están contribuyendo a la conservación de ecosistemas como el bosque de niebla, selva tropical, manglar, arrecifes de coral, sistemas lagunares costeros y pantanos, entre otros, que poseen una gran riqueza de flora nativa y son el hábitat de especies animales importantes (aves rapaces migratorias, loro huasteco, tortugas marinas, cangrejo azul, jaguar, por citar algunas). Asimismo, diversos autores (Amador y Moreno-Casasola, 2006; Equihua, 2007; Ferriz, 2007; Friscione, 2007; Goeritz, 2007; Moreno-Casasola *et al.*, 2006; Romero, 2005) consideran que el turismo alternativo es una estrategia de uso sustentable de los ecosistemas que resguardan la biodiversidad de Veracruz. Sin embargo, debido el desarrollo no planificado y sin control del turismo alternativo en el estado, su expansión implica también serios riesgos para la preservación de la biodiversidad, dado que su crecimiento ha sido determinado mayormente por los intereses económicos de la industria turística, ante la escasa capacidad de planeación y control de las instituciones encargadas del desarrollo turístico sustentable y la protección del ambiente, que enfrentan limitantes en cuanto a claridad en sus políticas, coordinación interinstitucional, falta de presupuesto y personal. Por ello, muchos de los proyectos de turismo alternativo (especialmente de turismo de

aventura) que han proliferado en el estado, no contemplan los principios del desarrollo sustentable y su operación representa una amenaza para ecosistemas caracterizados por ser complejos, ricos en biodiversidad, únicos y frágiles. El deterioro que sufren dichos ambientes es a veces irreversible, tanto por la contaminación que provocan las actividades turísticas, como por el uso excesivo que ocurre cuando el número de turistas que los visita supera el nivel que garantiza su equilibrio ecológico. Es decir, la presencia de turistas en áreas naturales debe estar cuidadosamente planeada para que afecte en grado mínimo la vida y reproducción de las especies vegetales y animales, así como el entorno que les proporciona albergue y sustento (Sectur, 2001). Además, actualmente en Veracruz no existen mecanismos institucionales para garantizar que los operadores de turismo alternativo que aprovechan comercialmente los recursos naturales, contribuyan con recursos económicos para la conservación de los mismos. A pesar de estas limitantes, subsanar las deficiencias y hacer confluir en el desarrollo futuro del turismo alternativo las acciones de investigación, educación y evaluación que se realizan actualmente de manera aislada, representa uno de los caminos viables para el uso sustentable de la riqueza biológica del estado (Aceranza, 2006).

## CONCLUSIONES

1) Para el desarrollo del turismo alternativo en Veracruz se tiene un amplio rango de actividades que pueden realizarse, gracias a la diversidad biológica y de ecosistemas, las condiciones climáticas que posibilitan practicar el turismo al aire libre en cualquier época del año y la existencia de más de 90 empresas que actualmente ofrecen este tipo de servicios. No obstante, en el territorio veracruzano los sitios y actividades de turismo alternativo están atomizados y dispersos, por lo que se requiere integrar los en circuitos que ayuden a incrementar el

potencial de las diferentes regiones. Asimismo, dado que en el estado el turismo extranjero apenas representa 5 % del total, resulta necesario promover el aumento del flujo de turismo internacional, pues es un mercado potencial para el turismo alternativo. En el ámbito nacional y estatal se carece de una política de turismo alternativo a largo plazo, por ello es prioritario definir una estrategia conjunta que involucre a las dos secretarías a quienes compete impulsar y regular este sector: Semarnat y Sectur (Sectur, 2001).

2) Entre los sitios más atractivos para el turismo alternativo se encuentran las Áreas Naturales Protegidas. Sin embargo, la falta de planes de manejo es uno de los principales obstáculos para implementar esta actividad como una forma de uso sustentable de su riqueza biológica, pues aunque la ley obliga a publicar dicho plan un año después de la creación del ANP, en Veracruz de las 34 ANP sólo dos cuentan con éste (Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas y Reserva Ecológica Cerro de las Culebras) (Semarnat, 2006).

3) El ecoturismo y turismo de aventura son los tipos de turismo alternativo que tienen auge en Veracruz y reciben apoyo de las instituciones del sector, en contraste, el turismo rural ha sido escasamente promovido, representando un área de oportunidad y una estrategia de uso sustentable de los recursos naturales y la biodiversidad en zonas donde habitan poblaciones dedicadas a la actividad agropecuaria.

4) Muchas de las empresas de turismo alternativo que operan actualmente en el estado, desconocen las prácticas sustentables de aprovechamiento turístico. Sobre todo en la operación de empresas privadas de turismo aventura, se observa sobreexplotación de los recursos (especialmente ríos), pues se realizan actividades de descenso sin los estudios de impacto ambiental y la planeación adecuada. Ante ello, es prioritario promover la capacitación de las empresas en estos aspectos y diseñar los mecanismos institucionales para que cumplan con el marco

jurídico (permisos, normatividad, manifestación de impacto ambiental, etc.) que evite daños ambientales a la región y garantice el uso sustentable del recurso natural.

5) Finalmente, la escasa disponibilidad de fuentes de financiamiento para iniciar y desarrollar empresas de turismo alternativo (sobre todo de tipo comunitario) ha limitado la participación de más comunidades locales como operadoras, ya que los apoyos financieros institucionales aunque existen son insuficientes. Tomando en cuenta que las regiones con mayor biodiversidad en el estado (incluidas las ANP) se encuentran en su mayoría en zonas rurales que habitan comunidades campesinas e indígenas, resulta evidente que una estrategia institucional de uso sustentable de los recursos basada en el turismo alternativo, tendrá que contemplar de manera prioritaria el apoyo a estas poblaciones, para que paralelamente a su desarrollo económico y social, se asegure la conservación de la biodiversidad local.

#### LITERATURA CITADA

- ACERANZA, M.A., 2006, *Efectos económicos, socioculturales y ambientales del turismo*, Trillas, México, 96 pp.
- , 2007, *Desarrollo sostenible y gestión del turismo*, Trillas, México, 92 pp.
- AMADOR Z., L.E. y P. Moreno-Casasola, 2006, Turismo alternativo en los municipios costeros: en búsqueda de un desarrollo sustentable, en P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa R. y A.C. Travieso-Bello (eds.), *Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal*, vol. 3, Instituto de Ecología/Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Xalapa, Ver., México, pp. 971-987.
- ARRIAGA S., L., 2000, *La Ruta de la Niebla*, Latin América Stock, México, 383 pp.
- , 2002, *La Ruta del Son*, Latin América Stock, México, 223 pp.
- CIANI, A., 2003, Turismo rural y Agroecoturismo, un desafío para las áreas rurales débiles y parte sur del mundo, en *Memoria del Segundo Foro Mundial de Agroecoturismo y Turismo Rural*, Santa Fé, Argentina.
- DALTAUIT, M., H. Cisneros, L.M. Vázquez y E. Santillán, 2000, *Ecoturismo y Desarrollo Sustentable*, UNAM/Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, México, 357 pp.
- EQUIHUA Z., M.E., 2007, Las oportunidades de ecoturismo en Veracruz, en Filobello N., G. (coord.), *Veracruz en tus sentidos*, Filomedios, México, pp. 73.
- FERRIZ D., N., 2007, Turismo ecológico en Veracruz, en Filobello N., G. (coord.), *Veracruz en tus sentidos*, Filomedios, México, pp. 68-71.
- FRISCIONE C., A., 2007, Una ventana al universo azul, en Filobello N., G. (coord.), *Veracruz en tus sentidos*, Filomedios, México, pp. 66-67.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2006, (<http://www.veracruz.gob.mx>), consultada mayo 17 de 2006.
- GOERITZ R., D., 2007, La belleza de Veracruz, en Filobello N., G. (coord.), *Veracruz en tus sentidos*, Filomedios, México, pp. 28-31.
- LÓPEZ P., G., 2003, Ecoturismo comunitario. Para muestra, algunos botones, en Aguilar S., P. y J.M. Pons G. (coords.), *Introducción al ecoturismo comunitario*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, pp. 99-113.
- LAS CAÑADAS, Bosque de Niebla, 2006 (<http://www.bosquedeniebla.com.mx>). consultada agosto 28 de 2006.
- MENDIOLA, G.M.E., 2004, *Temas ambientales del siglo XXI. Ecoturismo Práctico*, Colegio de Postgraduados, México, pp. 117-123.
- MORENO-CASASOLA, P., G. Salinas, L. Amador, A. Juárez, H.H. Cruz, A.C. Travieso-Bello, L. Ruelas, R. Monroy, D. Infante M., H. López-Rosas, L.A. Peralta, K. Paradowska y A. Valencia, 2006, El proyecto comunitario de conservación y producción, en P. Moreno-Casasola, (ed.), *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México, pp. 493-536.

- PRONATURA Veracruz, 2006 (<http://www.pronaturaveracruz.org/principal>), consultada septiembre 8 de 2006.
- ROMERO, R., 2005, Reserva Privada Las Cañadas-Bosque de Niebla. Centro Ecológico y Agroecoturístico, en *Memoria del Primer Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible en el Trópico*, Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México, pp. 45-46.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), 2006 (<http://portal.semarnat.gob.mx/veracruz>) consultada mayo 18 de 2006.
- SECRETARÍA DE TURISMO (Sectur), 2001, *Estudio estratégico de viabilidad del segmento de ecoturismo en México*, Resumen Ejecutivo, Secretaría de Turismo, Instituto Tecnológico Autónomo de México, México, 14 pp.
- , 2003, *Planeación y gestión del desarrollo turístico municipal*, México, 188 pp.
- , 2004a, *Turismo Alternativo. Una nueva forma de hacer turismo*, México, 58 pp.
- , 2004b, *Ecoturismo, Turismo de Aventura y Rural*, Directorio de prestadores de servicios, México, 215 pp.
- , 2006 (<http://www.sectur.gob>), consultada agosto 28 de 2006.
- SECRETARÍA DE TURISMO Y CULTURA DE VERACRUZ, 2006, *Estadísticas de Turismo* (datos no publicados), Xalapa, Veracruz, México.
- VISITE MÉXICO, 2006 (<http://www.visitmexico.com>) consultada agosto 28 de 2006.
- ZAMORANO C., F.M., 2004, *Turismo Alternativo*, Trillas, México, 336 pp.

## ESTUDIO DE CASO

### ECOTURISMO CAMPESINO SELVA EL MARINERO

Gustavo López Pardo

La comunidad campesina del ejido Adolfo López Mateos, colindante con el Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, decidió en 1993, después de un taller participativo, la restricción voluntaria del uso de sus recursos naturales para la conservación de 100 ha de terreno de selva virgen, pero es hasta 1997 que se implementó un proyecto de ecoturismo en la selva El Marinero. En este sitio los visitantes pueden realizar campamentos, caminatas para la observación de aves (tucanes, águilas, cotorras), recorridos por senderos de interpretación natural en el bosque de niebla y selva tropical, así como actividades de convivencia con la población campesina, que incluyen comidas en casas de ejidatarios. Son alrededor de 25 ejidatarios los que conforman la sociedad de solidaridad social “Cielo, Tierra y Selva”, que administra la empresa de ecoturismo, pero la articulación de otras actividades productivas y de servicios (artesanías, transporte, alimentación, elaboración de conservas) con el proyecto ecoturístico, ha permitido distribuir los beneficios entre toda la comunidad. El proyecto ha recibido apoyo y asesoría de universidades, organismos no gubernamentales y gobierno federal.

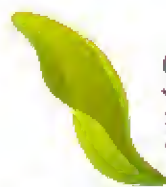
En el año 2000, este proyecto se une a otras tres comunidades de la zona (Sontecomapan, Miguel Hidalgo y Las Margaritas) para formar la Red de Ecoturismo Comunitario de Los Tuxtlas que ofrece servicios turísticos y actividades recreativas en ambientes de selva, bosque, mar y lago. Esta unión representa una ampliación de la estrategia de desarrollo comunitario basada en el ecoturismo y el compromiso de conservar los recursos naturales y la biodiversidad que hacen posible dicha actividad en la región. El proyecto representa para sus integrantes, además de una alternativa económica para mejorar sus condiciones de vida, la reapropiación y revaloración no sólo de sus recursos naturales, sino también de su identidad, valores y conocimientos campesinos.

LÓPEZ PARDO, Gustavo, 2003, Ecoturismo comunitario. Para muestra, algunos botones, en P. Aguilar S., y J.M. Pons G. (coords.), *Introducción al ecoturismo comunitario*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, pp. 99-113.





# Veracruz



**SEDEMA**  
SECRETARÍA DE MEDIO  
AMBIENTE



Universidad Veracruzana



**INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.**  
INECOL



**aecid**  
Agencia Española  
de Cooperación  
Internacional  
para el Desarrollo

ISBN: 978-607-7607-50-2



9 786077 607502