



ISSN 1405-0471

Maderay Bosques

Vol. 22, Núm. 3 ■ Otoño 2016 ■ Xalapa, Ver.

Cultura y ambiente en **Misantla**

The background of the entire page is a series of concentric circles in a light gray color, centered on the page. The circles vary in size and are spaced out, creating a subtle, organic pattern that resembles a tree trunk or a ripple in water.

Madera y Bosques

vol. 22 núm. 3 Otoño 2016



comité editorial

- Dr. Óscar Aguirre Calderón**
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- Dr. Miguel Cerón Cardeña**
Universidad Autónoma de Yucatán, México
- M.C. Mario Fuentes Salinas**
Universidad Autónoma de Chapingo, México
- Dr. Rubén F. González Laredo**
Instituto Tecnológico de Durango, México
- Dr. Raymond P. Guries.**
University of Wisconsin, EUA
- Dr. Lázaro R. Sánchez Velázquez**
Universidad Veracruzana, México
- Dr. Amador Honorato Salazar**
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias, México*
- Dr. Ezequiel Montes Ruelas**
Universidad de Guadalajara, México
- Dr. José de Jesús Návar Cháidez**
Instituto Politécnico Nacional, Durango, México
- Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera**
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- Dr. Hugo Ramírez Maldonado**
Universidad Autónoma de Chapingo, México
- Dra. María de los Ángeles Rechy de von Roth**
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- Dr. Víctor L. Barradas Miranda**
Instituto de Ecología, UNAM, México

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

Dr. Patrick J. Pellicane
Dr. Martín A. Mendoza Briseño
Dr. Ariel Lugo
M.C. Freddy Rojas Rodríguez
Dr. Alejandro Velázquez Martínez

Reyna Paula Zárate Morales
Producción editorial

consejo editorial

Damián Piña Bedolla
Maquetación

Gina Gallo
Diseño de portada

Madera y Bosques, Año 22, núm. 3, diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec núm. 351. Col. El Haya, C.P. 91070, Tel. (228) 8421800, ext. 6106, www.inecol.mx, mabosque@inecol.mx. Editor responsable: Dr. Raymundo Dávalos Sotelo. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo núm. 04-2012-102312120900-102, ISSN 1405-0471, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Licitud de Título núm. 12906 y Licitud de Contenido núm. 10479, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Fís. Arturo Sánchez y Gándara, Cuapinol 52, Colonia Pedregal de Santo Domingo, Delegación Coyoacán, C.P. 04369, México, D.F., este número se terminó de imprimir el 16 de diciembre de 2016 con un tiraje de 100 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del editor.

La suscripción anual para 2016 es de \$800.00+\$400 para gastos de envío al interior de la República y \$90.00 USD al extranjero (no incluye gastos de envío). Precio por ejemplares sueltos \$300.00 y \$30.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en Departamento de Adquisiciones del Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa 91070, Ver. Tel.: (228) 842 1800 ext 5125. c.e. miguel.castillo@inecol.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e.: biblio@inecol.mx.

Contenido

artículos científicos

11

Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: the case of *Oecopetalum mexicanum*

Maite Lascurain, Citlalli López-Binnqüist y Marla R. Emery

23

Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México

Griselda Chávez-Aguilar, Gregorio Ángeles-Pérez, Marlín Pérez-Suárez, Miguel Ángel López-López, Edmundo García-Moya y Craig Wayson

37

Diversidad, composición florística y estructura en el Chaco Serrano, Argentina

Patricia Hernández y Ana María Giménez

49

Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades

Liliana Y. López-Reyes, Marivel Domínguez-Domínguez, Pablo Martínez-Zurimendi, Joel Zavala-Cruz, Armando Gómez-Guerrero y Saúl Posada-Cruz

61

Abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca

Arianne Ríos-Altamirano, Cecilia Alfonso-Corrado, Víctor Aguirre-Hidalgo, Gregorio Ángeles-Pérez, Magdalena M. Mendoza-Díaz, Viviana Rodríguez-Rivera, Eusebio Roldán-Felix y Ricardo Clark-Tapia

75

Estructura y composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la Empresa Agroforestal Minas, Cuba

Yatsunaris Alonso-Torrens, Fernando Ramón-Hernández Martínez, Héctor Barrero-Medel, Germán López-Ibarra, Nora Madanes y Judith Prieto-Méndez

87

Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba

María Amparo León-Sánchez, Jorge Luís Reyes-Pozo, Grisel Herrero-Echevarría y Víctor Ernesto Pérez-León

103

Evaluación de dos barnices mediante intemperismo acelerado, aplicados en madera de plantaciones

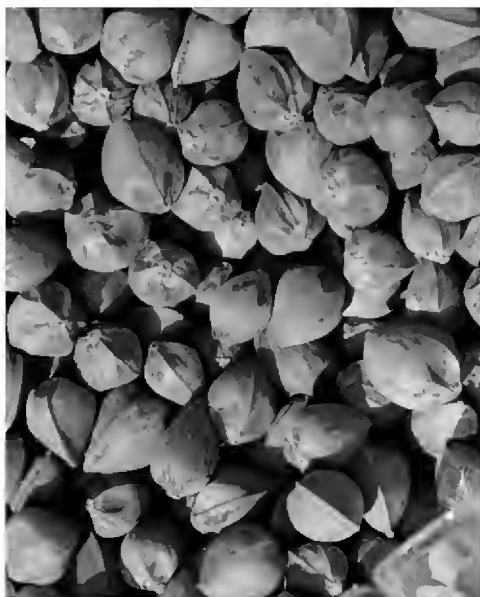
Juana Laura Rivera-Nava, Amparo Borja de la Rosa, Alejandro Corona-Ambriz, Rogelio Flores-Velázquez y Roberto Machuca Velasco

113

Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México

Carmen de la Paz-Pérez Olvera y Raymundo Dávalos-Sotelo

Portada:
Frutos de cachichín
(*Oecopetalum mexicanum*)
Foto de: Maite Lascurain Rangel
Instituto de Ecología, A.C.



C Contents

scientific papers

11

Cultura y ambiente en la Sierra de Misantla, Veracruz, México: el caso de *Oecopetalum mexicanum*

Maite Lascurain, Citlalli López-Binnqüist and Marla R. Emery

23

Aboveground biomass allocation in a managed forest of *Pinus patula* in Zacualtipán, Hidalgo, Mexico

Griselda Chávez-Aguilar, Gregorio Ángeles-Pérez, Marlín Pérez-Suárez, Miguel Ángel López-López, Edmundo García-Moya and Craig Wayson

37

Diversity, floristic composition and structure in the Chaco Serrano, Argentina

Patricia Hernández and Ana María Giménez

49

Stored carbon in the aboveground biomass of rubber (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) plantations at different ages

Liliana Y. López-Reyes, Marivel Domínguez-Domínguez, Pablo Martínez-Zurimendi, Joel Zavala-Cruz, Armando Gómez-Guerrero and Saúl Posada-Cruz

61

Abundance and distribution of the genus *Pinus* in Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca

Arianne Ríos-Altamirano, Cecilia Alfonso-Corrado, Víctor Aguirre-Hidalgo, Gregorio Ángeles-Pérez, Magdalena M. Mendoza-Díaz, Viviana Rodríguez-Rivera, Eusebio Roldán-Felix and Ricardo Clark-Tapia

75

Structure and composition of the pine forest vegetation in Alturas de Pizarra in the Minas Agroforestal Enterprise, Cuba

Yatsunaris Alonso-Torrens, Fernando Ramón-Hernández Martínez, Héctor Barrero-Medel, Germán López-Ibarra, Nora Madanes and Judith Prieto-Méndez

87

The effect of fertilization on growth, in diameter and height, of *Pinus caribaea* in plantations of western Cuba

María Amparo León-Sánchez, Jorge Luís Reyes-Pozo, Grisel Herrero-Echevarría and Víctor Ernesto Pérez-León

103

Evaluation of two varnishes by accelerated weathering applied to plantation timber

Juana Laura Rivera-Nava, Amparo Borja de la Rosa, Alejandro Corona-Ambriz, Rogelio Flores-Velázquez and Roberto Machuca Velasco

113

Anatomical characteristics of the wood of six *Pinus* (Pinaceae) species of the state of Durango, México

Carmen de la Paz-Pérez Olvera and Raymundo Dávalos-Sotelo

Cover:
Cachichín fruits (*Oecopetalum mexicanum*)
Photo by: **Maite Lascurain Rangel**
Instituto de Ecología, A.C.



La función de las revistas científicas es de la mayor importancia en términos de la difusión de la información generada por los centros de investigación nacionales e internacionales, de manera tal que contribuyan a elevar la capacidad técnica y científica de los países y, en consecuencia, el estándar de vida de sus poblaciones. Para poder competir con mayores posibilidades de éxito en el ámbito nacional e internacional, las revistas tienen que reevaluar permanentemente su pertinencia, tratar de acceder a mayores niveles de visibilidad, aumentar su impacto social y en el medio académico, así como la calidad intrínseca de los artículos que publican. En el entorno tecnológico del Siglo XXI, esto solamente se puede lograr, en general, llegando al mayor número posible de lectores y usuarios de la información. Alcanzar esas ambiciosas metas, requiere que las revistas se gestionen y publiquen utilizando los más modernos medios tecnológicos disponibles y esos están ligados a la publicación digital de las revistas y su difusión por medio del Internet y las redes sociales en un contexto académico. La publicación digital representa un reto tecnológico de grandes proporciones que implica una capacidad técnica considerable.

Madera y Bosques inició con el cambio a un formato digital en 2013, a instancias de CONACyT y se han tenido logros que nos parecen considerables. El reto que *Madera y Bosques* pretende superar para alcanzar estándares internacionales implica perfeccionar algunos componentes de la plataforma digital que actualmente maneja e incorporar algunos nuevos. En la segunda mitad de la segunda década del Siglo XXI, *Madera y Bosques* ha adoptado de manera formal y definitiva el formato de gestión y publicación digital con el uso del software OJS de PKP. También ha empezado a usar el lenguaje de marcaje de textos XML, para alinearse con los requerimientos de los portales que incorporan sus textos completos como es el caso de SciELO-México y Redalyc. Con la generación de nombres DOI (Digital Object Identifier), se integra un conjunto de elementos informáticos del más alto nivel que deben ayudar a posicionar la revista en el entorno cibernético del mundo contemporáneo.

Desde luego que, si los artículos publicados no tienen la calidad requerida o no tratan temas de utilidad e interés para los lectores, ningún medio informático logrará elevar la visibilidad de la revista. Esta calidad se consigue, en primer lugar, por medio de las evaluaciones de los árbitros, cuya extraordinaria y desinteresada labor representan el primer control de calidad de la revista, el famoso *peer-review*. Este filtro inicial es confirmado o modificado por el cuerpo editorial y cuando los artículos son finalmente aceptados, se completa el trabajo de verificación de la calidad de los trabajos aceptados con el apoyo de especialistas para corrección de estilo en los diversos idiomas en que se publican los artículos de la revista. Los nueve trabajos publicados en este número han seguido dicho proceso y estamos seguros que tienen un elevando estándar de calidad. Ellos son de la autoría de investigadores de cuatro países de América: Argentina, Cuba, Estados Unidos y por supuesto, México.

El primer trabajo, que tiene como autoras a Lascurain, López-Binnqüist y Emery trata de la cultura y ambiente en la Sierra de Misantla, Veracruz, México y analiza el caso de la especie *Oecopetalum mexicanum*, conocida en la región como 'cachichín'. Este estudio proporciona información valiosa para el manejo, uso y conservación de los recursos forestales no maderables con raíces bioculturales. El segundo artículo se refiere a la distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México por Chávez-Aguilar y colaboradores. El punto principal que se hace aquí es que la acumulación y distribución de biomasa hacia los componentes estructurales de los árboles es determinante en bosques manejados, tanto en términos de productividad maderable como en la reacti-

vación de diversos procesos ecosistémicos. El patrón de asignación de biomasa aérea entre los componentes estructurales de los árboles puede ser incorporado como base para el diseño de prácticas silviculturales en los programas de manejo forestal y contribuir en la evaluación de la sustentabilidad de los bosques. Además, puede clarificar el papel de los bosques regenerados después de los aprovechamientos en la fijación y almacenamiento de bióxido de carbono atmosférico. El tercer trabajo publicado aborda la diversidad, composición florística y estructura en el Chaco Serrano, Argentina por Hernández y Giménez. Ellas destacan que es esencial evaluar la biodiversidad forestal para conservar eficazmente y ordenar de forma sostenible los recursos forestales. El cuarto manuscrito analiza el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades y es de la autoría de López-Reyes y colaboradores. Los autores señalan que las plantaciones de hule contribuyen a la reducción de dióxido de carbono en la atmósfera al fijar carbono a través de la fotosíntesis y almacenarlo en cada uno de los componentes del árbol (hojas, ramas, fustes, cortezas y raíces) y por la transformación de residuos orgánicos en materia orgánica estabilizada en el suelo. Los resultados indican que *H. brasiliensis* puede considerarse como una fuente potencial de mitigación ante el cambio climático.

En el quinto estudio publicado se determinó la abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca por Ríos-Altamirano y colaboradores. En él se analizan los factores ambientales que determinan la abundancia y distribución de las diferentes especies comerciales y aprovechadas del género *Pinus* en el municipio estudiado. El análisis de nicho mostró que las especies del género *Pinus* muestran alta marginalidad y baja tolerancia a procesos de cambio ambiental, donde una modificación al hábitat podría restringir o disminuir su abundancia y distribución. El sexto trabajo de este número discute la estructura y composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la Empresa Agroforestal Minas, Cuba por Alonso Torrens *et al.* Esta investigación fue realizada en pinares con el objetivo de determinar su estructura y composición para el manejo de los mismos. Los resultados obtenidos en este estudio, al precisar en algunos de los parámetros de esta formación vegetal en Cuba, constituyen un referente el manejo de estos pinares. El séptimo trabajo de investigación analiza el efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba por León Sánchez *et al.* En su investigación estudiaron la respuesta de la fertilización mineral a largo plazo aplicada de forma fraccionada durante los primeros cinco años de establecida una plantación de *Pinus caribaea*. El estudio en dos etapas demostró que de 33 a 41 años se logra, en general, homogeneidad en altura entre tratamientos. Los dos últimos trabajos son del tema de tecnología de productos forestales y son de autores de México. En el primer caso se hizo una evaluación de dos barnices mediante intemperismo acelerado, aplicados en madera de plantaciones por Rivera-Nava y colaboradores. Se hacen recomendaciones de uso de acuerdo con el tiempo estimado de la vida útil de los acabados empleados en esta investigación. El último estudio describe las características anatómicas de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México. Las especies estudiadas tienen características que las hacen muy útiles y representan un valioso recurso para la entidad.

Estamos seguros que la información presentada en estos nueve artículos enriquecerá de manera importante la literatura de las especies, formaciones boscosas y plantaciones estudiadas, contribuyendo al mejor conocimiento de los temas abordados.

Raymundo Dávalos-Sotelo

Editor

The function of the scientific journals is of the utmost importance in terms of the dissemination of the information generated by national and international research centers in such a way that they contribute to raise the technical and scientific capacity of countries and as a result, the standard of living of their populations. To compete with higher chances of success in the national and international level, the journals have to permanently reassess their relevance, to try to achieve higher levels of visibility, increase their social impact and in the academic world, as well as the intrinsic quality of the articles they publish. In the technological environment of the 21st century, this can only be achieved, generally, by reaching the greatest number of readers and users of the information. Achieving these ambitious goals, requires that the journals are managed and published using the most modern technological means available and those goals are linked to the digital publication of the journals and their dissemination through the Internet and social networks in an academic context. The digital publication represents a technological challenge of large proportions that involves a sizable technical capacity.

Madera y Bosques started with the change to a digital format in 2013, at the behest of CONACyT and we believe that there have been considerable achievements so far. The challenges that *Madera y Bosques* aims to overcome in order to reach international standards implies the need to improve some components of the digital platform that currently is used to manage the journal and incorporate some new ones. In the second half of the second decade of the 21st century, *Madera y Bosques* has adopted formally and in a definitive way the management and digital publishing with the use of OJS software from PKP. It has also started to use the mark-up XML language, to align itself with the requirements of the portals that incorporate their full texts, as it is the case of SciELO-Mexico and Redalyc. With the generation of DOI names (Digital Object Identifier), it integrates a set of elements of computer usage of the highest level that should help to position the journal on the Cyber environment of the contemporary world.

Certainly, if the published articles do not have the required quality or do not represent topics of interest and utility for readers, no computer capability will succeed in raising the visibility of the journal. This quality is achieved, in first place, by means of the evaluations of the papers by the peer-review process, by evaluators whose extraordinary and disinterested work represent the first quality control of the journal. This initial filter is confirmed or modified by the editorial body and when the articles items are finally accepted, the work of verifying the quality of papers accepted is supplemented with the support of specialists for proofreading and style revision in the various languages that the journal articles are published. The nine papers published in this issue have followed this process and we are sure they all meet these high quality standards. They are authored by researchers from four countries of the Americas: Argentina, Cuba, United States, and of course, Mexico.

The first work, that is authored by Lascurain, López-Binnquist and Emery deals with issues of the culture and environment in the Sierra of Misantla, Veracruz, Mexico and analyzes the case of the species *Oecopetalum mexicanum*, known in the region as 'cachichin'. This study provides valuable information for the management, use and conservation of non-timber forest resources with bio-cultural roots. The second item refers to the distribution of aboveground biomass in a forest of *Pinus patula* under forest management in Zacualtipan, Hidalgo, Mexico by Chavez-Aguilar and collaborators. The main point which is made here is that the accumulation and distribution of biomass to the structural components of the trees is determinant in managed forests, both in terms of timber productivity and

the reactivation of several ecosystem processes. The pattern of allocation of aerial biomass between the structural components of trees can be built-in as base for the design of silvicultural practices in the forest management programs and contribute in the evaluation of the sustainability of the forests. It also can clarify the role of the forests regenerated after exploitation in the fixing and storage of atmospheric carbon dioxide. The third published work deals with diversity, floristic composition and structure in the Chaco Serrano, Argentina by Hernandez and Gimenez. They argue that it is essential to assess the biodiversity of the forest to effectively preserve and to put order in a sustainable use of forest resources. The fourth manuscript examines the carbon stored in the aboveground biomass of rubber plantations of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. of different ages and is authored by Lopez-Reyes and contributors. The authors point out that the rubber plantations contribute to the reduction of carbon dioxide in the atmosphere by fixing carbon through photosynthesis and storing it in each one of the components of a tree (leaves, branches, trunk, bark and roots) and by the transformation of organic waste in stabilized soil organic matter. The results indicate that *H. brasiliensis* can be considered as a potential reservoir for mitigation of the effects of climate change.

In the fifth published study it was determined the abundance and distribution of the genus *Pinus* in Capulalpam de Mendez, Sierra Juarez, Oaxaca by Rios-Altamirano and associates. In it, the environmental factors that determine the abundance and distribution of the different species commercial and used of the gender *Pinus* in the municipality studied are analyzed. Niche analysis proved that species of the genus *Pinus* show high marginalization and low tolerance to environmental change processes, where a modification of the habitat could restrict or reduce its abundance and distribution. The sixth work of this number discusses the structure and composition of the vegetation of pine forests of Alturas de Pizarras at the 'Empresa Agroforestal Minas, Cuba' by Alonso Torrens *et al.* This research was performed in pine forests in order to determine its structure and composition for its management. The results obtained in this study, by specifying some of the parameters of this forest formation in Cuba, constitute a reference for the management of these pine forests. The seventh research work analyzes the effect of fertilization on the growth in diameter and height of *Pinus caribaea* plantations of Western Cuba by León Sánchez *et al.* In this research, they studied the response of long-term mineral fertilization applied in a fractionated manner during the first five years of establishment of a plantation of *Pinus caribaea*. The two-stage study showed that between 33 to 41 years of age it is achieved, generally, homogeneity in height between treatments. The last two works are the subject of forest products technology by authors from Mexico. The first one was an assessment of two coatings by means of accelerated weathering, applied on hardwoods from plantations by Rivera-Nava and contributors. Recommendations for use in accordance with the estimated useful life of the finishes employed in this investigation are given. The last study describes the anatomical features of the wood of six species of *Pinus* (Pinaceae) from the State of Durango, Mexico. The species studied have characteristics that make them very useful, and represent a valuable resource for the region.

We are sure that the information presented in these nine articles will significantly enrich the literature of the species, forest formations and plantations studied, contributing to a better understanding of the topics.

Raymundo Davalos-Sotelo

Editor

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS





Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: the case of *Oecopetalum mexicanum*

Cultura y ambiente en la Sierra de Misantla, Veracruz, México: el caso de *Oecopetalum mexicanum*

Maite Lascurain^{1*}, Citlalli López-Binnqüist² and Marla R. Emery³

¹ Instituto de Ecología, A. C., Red Ambiente y Sustentabilidad, Xalapa, Veracruz, México.

² Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales, Xalapa, Veracruz, México.

³ U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Burlington, Vermont, USA.

* Corresponding author. maite.lascurain@inecol.mx

ABSTRACT

We analyze the cultural and environmental dimensions of foraging the wild edible fruit *cachichín* (*Oecopetalum mexicanum*) in the Sierra de Misantla in central Veracruz, Mexico, including gathering practices, social organization, subsistence, commerce, and consumption. Gathering *cachichín* brings together generations and genders in practices that provide amusement, as well as resources for economic income and personal consumption. Socialization during the gathering of *cachichín* renews and strengthens family bonds, friendships, and a sense of belonging. This study provides valuable insights for management, use and conservation of non-timber forest resources with biocultural roots.

KEYWORDS: forest products, gathering, Mexico, non-timber.

RESUMEN

Se analizaron las dimensiones cultural y ambiental de la recolección del fruto silvestre comestible (*Oecopetalum mexicanum*) de la Sierra de Misantla en el centro de Veracruz, México. Se describen las prácticas de recolección, la organización social, la subsistencia, el comercio y el consumo. Las prácticas de recolección del cachichín proporcionan diversión y reúnen diferentes generaciones de hombres y mujeres; el fruto es para consumo personal y su venta genera ingresos económicos. La socialización durante la recolección de cachichín renueva y fortalece los lazos familiares, de amistad y sentido de pertenencia. Este estudio proporciona información valiosa para el manejo, uso y conservación de los recursos forestales no maderables con raíces bioculturales.

PALABRAS CLAVE: productos forestales, recolección, México, no maderables.

INTRODUCTION

For over four decades, scholars have examined the gathering of plant materials under the banner of non-timber forest products (NTFPs). Gathering represents a clear, direct relationship between cultural values and the biophysical environment. Gathering practices are grounded in thousands of years of interactions between human beings and nature (Posey and Baleé 1989; Emery, 2002;

Turner, Deur and Lepofsky, 2013); the resulting knowledge includes biology of valued species, habitats in which these species grow, and strategies to maximize harvest volume and/or quality. Social functions of gathering include identity formation and cultural maintenance, which may be supported or impeded by terms of access to plant and fungal resources. Gathering practices are dynamic in place and time (Hall, 2009).

Globally, gathering forms part of the ecological knowledge of many rural communities. As Berkes, Coling and Folke (2000) state:

the analysis of many Traditional Ecological Knowledge systems shows that there is a component of local observational knowledge of species and other environmental phenomena, a component of practice in the way people carry out their resource use activities, and further, a component of belief regarding how people fit into or relate to ecosystems. In short, traditional knowledge is a knowledge-practice-belief complex.

Gathering frequently has been associated with poverty. However, evidence suggests that this activity is closely associated with strong cultural traditions and provides significant livelihood resources through both exchange and use values. In addition, gathering contributes to wellbeing by reinforcing a sense of belonging and identity and strengthening family links (Caballero and Mapes, 1985; Altieri, 1991; Cocks, 2006; Herrmann, 2006; Alm, Blahna and Chávez, 2008; Reyes-García *et al.*, 2015).

The practice of gathering can create intimate knowledge of the environment and resources utilized (e.g., phenology and ecological relationships), particularly where gathering experience accumulates over generations. Gatherers often carry out management practices that modify the structure and composition of the vegetation with the aims of enhancing and maintaining spatial and temporal distribution at scales from the individual plant to the landscape (Peacock and Turner, 2000). At the species level, such stewardship practices may include selecting for phenotype quality and other species variation (Blancas, Casas, Pérez-Salicrup, Caballero and Vega, 2013). Where plant materials enter markets, whether formal or informal, quantities gathered also may reflect prices and demand.

In Mexico, and other regions of the world, gathering is carried out for a variety of reasons including dietary,

religious, and medicinal purposes (García-Fernández, Casado and Ruíz-Pérez, 2003; Shackleton and Shackleton, 2005; López, 2005; Rojas, 2008; Gerritsen, Ortiz-Arrona and González-Figueroa, 2009; Shanley, Cymerys, Serra and Medina, 2011; Oldfield and Jenkins, 2012; Martínez-Ballesté and Mandujano, 2013). Gathering may also take on a leisure and cultural role (McAvoy and Shirilla, 2005), as an incentive to be outdoors in the natural environment or to pass on family traditions, thereby enriching family bonds. In short, gathering is a dynamic reflection of the articulation between nature, culture, and biodiversity, including agro-biodiversity, in rural-to-urban settings (Cocks and Wiersum, 2014).

Access to plant and mushroom resources is essential to the practices of gathering and their social and cultural functions (Ginger, Emery, Baumflek and Putnam, 2011). However, often the latter aspects escape analysis within the framework of property rights and regimes. The work of Tucker (2010), on clay beds used for pottery in a community in Honduras offers a notable exception. While clay deposits are located on privately owned land, they are managed and used as common property resources. Each of these rights may be held by single individuals or collectives and are independent of one another. It is possible to have entry rights without withdrawal rights, to have withdrawal rights without management rights, to have management rights without exclusion rights, and to have exclusion rights without the rights of alienation (Schlager and Ostrom, 1992). In their work related to NTFP governance and access, Wiersum, Ingram and Ros-Tonen (2014) recognize that the property rights enjoyed by individuals may change over time and be differentiated by type of land, tree, plant species, and the products derived from them.

For NTFPs with commercial markets, production and marketing systems interact, raising three core concerns for governance and conservation of these resources. First, sustainability of the production base depends on species abundance, anthropogenic and natural disturbance, and species response to harvest, with the latter depending to a great extent, on plant part(s) harvested, as



well as the timing and method of harvest. Second, the organization of access to resources and their markets conditions the distribution of benefits from a species. Third, commercialization of NTFPs has implications for actual and potential gatherers living with poverty (Wiersum *et al.*, 2014).

Cachichín

Cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thoms.) is part of the daily lives of the approximately 105,000 inhabitants of the Sierra de Misantla, a mountain system that runs east-west across the state of Veracruz, Mexico at latitude 19°45'N. Valued for its wood and edible nut, *cachichín* occurs natively in forests at an elevational band between 400 m and 1100 m, at the ecotone of cloud forest, tropical high subevergreen forest, and tropical high forest (Gutiérrez, 1993; Gómez-Pompa, 1996). *Cachichín* trees also are found in intensively managed landscapes including shade coffee plantations, small woodlands known as *cachichinales*, and patio gardens (Lascurain *et al.*, 2013; López, Lascurain, López and Covarrubias, 2014; Covarrubias, 2014).

Both the tree and fruit are called *cachichín*, a word of Totonac origin that means bitter fruit. As the name suggests, the flavor of the seed is bitter, with aroma and texture similar to those of peanuts. *Cachichín* seeds contain high levels of protein (19.37%) and polyunsaturated fatty acids (60.02% [Hernández *et al.*, 2013]). Medicinal uses of the seed include treatments for diabetes and diseases of the liver and gallbladder. *Cachichín* wood is widely used as fuel by inhabitants of the Sierra de Misantla, with much of this firewood derived from prunings and fallen and diseased or old trees. *Cachichín* timber, which is regarded as superior to pine, is used for posts and beams in the construction of rustic dwellings (Lascurain *et al.*, 2007). Branches are used in the construction of traps to catch langoustines in the Rio Misantla.

Harvested during the months of April and May, fruits are stored for consumption throughout the year, are eaten at any time of day, most commonly toasted and on its own or with tortillas and a sauce. The toaster o boiled fruit is

cracked open with the teeth to extract the seed. Much of the harvested is destined for personal consumption by gatherers and their social networks. They also are sold in regional markets. In some years, the price of fruit exceeds that of coffee. For example, in 2008 green *cachichín* sold for approximately 10.00 Mexican pesos, while coffee cherries sold for 50 percent less in the same year, 5.00 Mexican pesos per kilogram (Lascurain *et al.*, 2013).

OBJECTIVES

The purpose of the work was to analyze cultural and environmental dimensions of foraging for *cachichín* including harvest practices, social organization, subsistence, commerce, and consumption. Following a description of methods, we report on results in terms of gathering practices, access to *cachichín*, and the fruit's ongoing significance in maintaining identity for the region's peoples. Such an evaluation provides potential insights for management, use and conservation of NTFP with deep cultural roots. We conclude with a discussion of the cultural and environmental aspects of gathering and consumption of *cachichín*.

MATERIALS AND METHODS

One community of the Sierra de Misantla was chosen as study site (Fig. 1): Pueblo Viejo (847 inhabitants) in the municipality of Misantla. This community is recognized regionally for gathering and trade of *cachichín* fruits and is accessible to the important urban centers of Misantla and Xalapa. Maize, beans, chili, and other food crops are cultivated in the area. Citrus fruits are cultivated in the warmest locations. However, shade coffee plantations dominate regional agricultural production. Results of semi-structured interviews and participant observation revealed the social, material, temporal, and spatial practices of *cachichín* gathering in the Sierra de Misantla. Semi-structured interviews ranging in length from two to three hours were conducted with 50 heads of household in their places of residence or other location of their choice to probe the socio-cultural structures and functions of *cachichín* gathering and use.

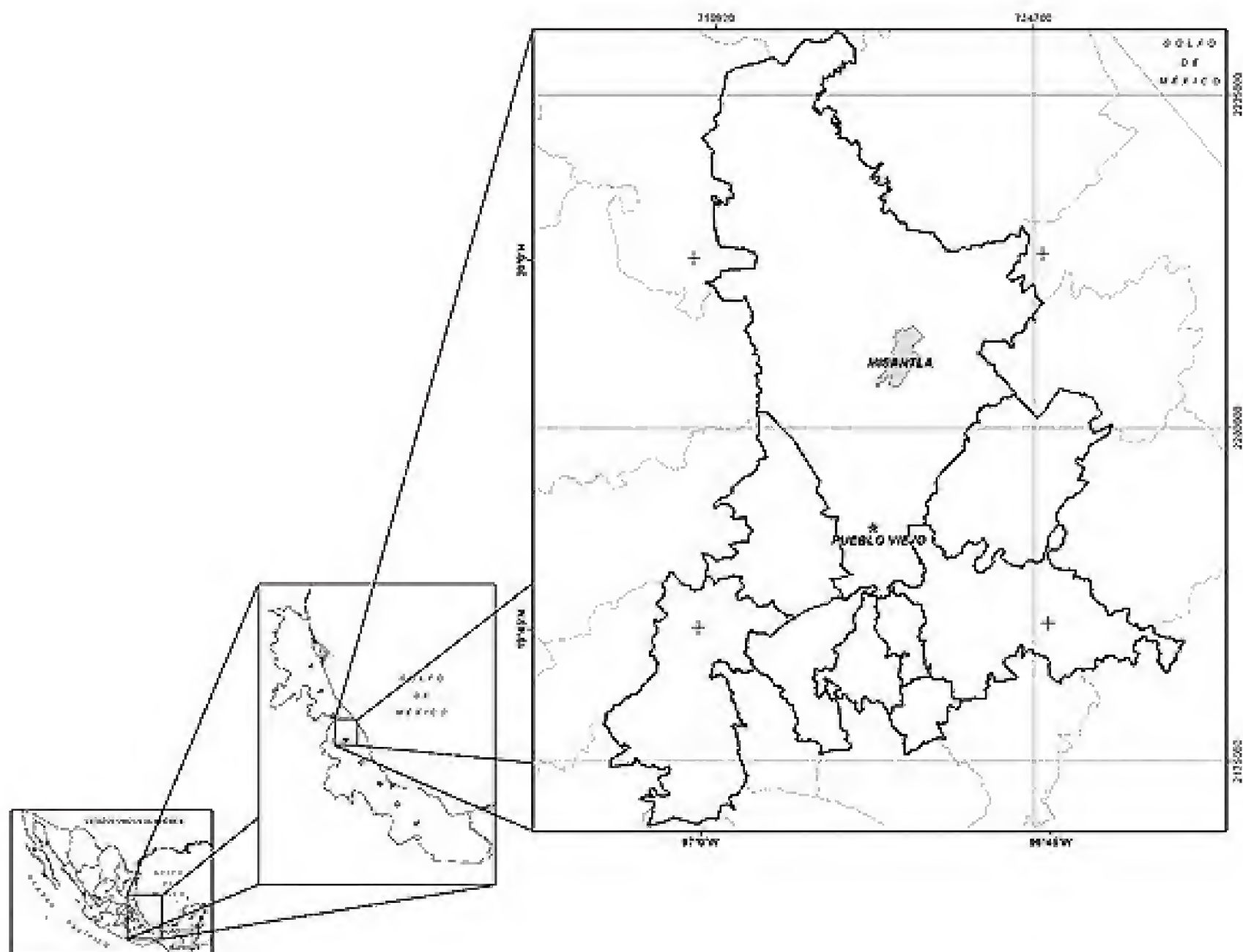


FIGURE 1. Map of the Sierra and location of Pueblo Viejo, Veracruz, Mexico.

Participant observation with gatherers and property owners provided further information about *cachichín* management, gathering practices, and commerce. Five additional interviews were conducted with key informants to obtain detailed information about market chains in Pueblo Viejo. Qualitative data were analyzed using thematic analysis techniques (Denzin and Lincoln, 2000; Patton, 2002). Interviews were recorded, transcribed, and analyzed applying the basis of thematic analysis. This analysis is a qualitative approach; it consists of examining by careful and repetitive reading the responses from the semi-structured and ambulatory interviews, in order to identify themes or patterns across the data (Denzin and Lincoln, 2000). Themes identified included gathering activities, marketing, subsistence activities among others. Data analysis included the integration of participants'

reflections. Throughout the data analysis and interpretation, the interviewee reflections and knowledge were directly quoted with the aim to strengthen credibility of the research (Patton, 2002).

RESULTS

Gathering practices

The social structures of *cachichín* gathering are diverse. Gathering groups may be composed of entire families, individuals, or groups of single- or multi-generational friends. Children are involved from an early age. Both native inhabitants of the area and more recent arrivals gather and use *cachichín*. In general, the only rural and small town residents who do not participate are the ill, elderly, and owners of grocery stores.



Cachichineros, as they are known, reported waiting with anticipation throughout the year for the time of gathering. It is commonly said that the sound of cicadas announces the start of the 15- to 20-day long season. Gathering outings typically begin before sunrise. Women, men, and children make their way individually or in groups to coffee plantations and forests carrying lanterns, bags, backpacks, and sacks. They exchange comments about where the most fruit can be found and who arrived first. Enthusiasm is evident in the laughter, shouting, and exclamations of people preparing to gather and those who already are on the return journey. Most *cachichineros* arrive on foot; a small proportion use donkeys or horses. *Cachichín* fruits are collected by hand from the ground. In *cachichinales*, people sweep the soil with brushes made of leaves or dry stalks to remove leaf litter a few days before the fruit begin to fall. This facilitates locating the fruits and prevents surprise encounters with snakes. Fruits of a light-to-dark green, light brown, or slightly purple color are gathered. Light weight fruits are rejected, as this implies absence of the seed.

Ease of access plays a key role in *cachichineros*' choice of gathering sites. A previous study found that the production of fruit is approximately 680 pieces per tree, regardless of management system (Lascurain *et al.*, 2013). *Cachichineros* may gather in one or several sites, and generally obtain fruits from a combination of management systems and forest. More than 50 percent of those interviewed stated that there is a higher density of trees and, therefore, of fruit in natural forests. However, they also noted that "in the forest you suffer" because of rocky terrain, steep slopes, and greater travel distances. Therefore, the most commonly reported gathering sites are *cachichinales*, which offer both high *cachichín* tree density and easier access due to their proximity to communities and flatter terrain. Much gathering occurs in planned locations, but most individuals also gather opportunistically when they come upon fruits during other activities.

Harvest volumes are difficult to confirm because participants in our study were not asked to weigh gathered fruit, but appear to vary with the vigor and skill levels of

the gatherer, density of *cachichín* trees in gathering sites, and inter-annual fruit production. In Pueblo Viejo, participants estimate that a *cachichinero* gathers between ten and 30 kilograms, with neophytes gathering volumes at the low end of that range. One person stated that "it varies because there are years in which there is more fruit and years in which there is less". Another person claimed to gather "five kilograms each morning for a month". Volumes harvested by older people may be constrained by diminished strength and health, but also are counter balanced by experience that increases their efficiency in terms of site selection, recognition of mature fruits on the ground, and skillful movement of leaf litter to find fruits.

The number of days and time invested in gathering vary depending on the abilities of each gatherer, other time demands, and the intended destination of the fruit. Considering the heterogeneity, social and ecological conditions, we estimate that a single individual can gather from seven to 30 kilograms of *cachichín* per day. Those gathering for sale appear to spend more time doing so (four to ten hours per day, three to seven days per week) than those who gather exclusively for personal consumption. Pooling their harvest, two or three people can gather between 30 kilograms and 100 kilograms during an extended outing. Other factors influencing time spent gathering include distance, terrain, and weather conditions; study participants' typical outings range from thirty minutes to four hours and cover distances from one to five kilometers. *Cachichineros* dedicating the most time may gather 500 kilograms of fruit or more during the harvest period.

Access to *cachichín* trees

Landownership is predominantly private and all *cachichín* gathering sites in our study area are owned by private individuals. Nevertheless, trees and fruit function primarily as open access or common property resources, in the sense that the rules in use effectively allocate *cachichín* on a first-come-first-served basis in the case of the former, while a more complex set of norms and relationships govern the latter. One study participant stated that "no

one owns the trees”. Land owners reported they are aware that people enter their properties to gather. *Cachichinales*, which are actively managed to increase the density of trees and volume of fruit production, may be an exception to open access governance. Where possible, landowners who are dependent on income from the sale of *cachichín* limit access to their properties, especially in areas of *cachichinal*, taking turns among relatives to maintain a vigilant presence. Occasionally, gatherers reported asking landowners for permission and/or offering maize in exchange for *cachichín*. Half of interviewees who did so reported that access was granted only in cases where landowners were family or friends. Proximity to population centers also is a factor in *cachichín* governance. The closer a potential gathering site to a town, the more likely the identity of its owner(s) will be known and permission may be required. This has the effect of pushing the landless and those whose social networks do not include landowners to more distant sites.

Livelihood and Market chain

Cachichín gathering is a household livelihood diversification strategy in which use value is more important than exchange value. The *cachichín* production chain is based on family labor with low technological input and minimal infrastructure. With some variation in the relative mix of use and exchange values, families that gather, process, and sell rely on the fruit and wood primarily for personal consumption. Where sale does occur, it complements other sources of income from agriculture and commercial activities such as sale of coffee. For landless members of the community, harvest and sale make up a greater proportion of income than is the case for families that own property, including land with *cachichín* trees. However, some property owners indicate that while *cachichín* income may be modest, they value it because it is secure. Pueblo Viejo is known in the region for its many inhabitants that gather and sell *cachichín*. The market chain for Pueblo Viejo may be divided into two broad divisions, transactions that occur in the village (intra-community markets) and those that occur outside it (extra-community; Fig. 2).

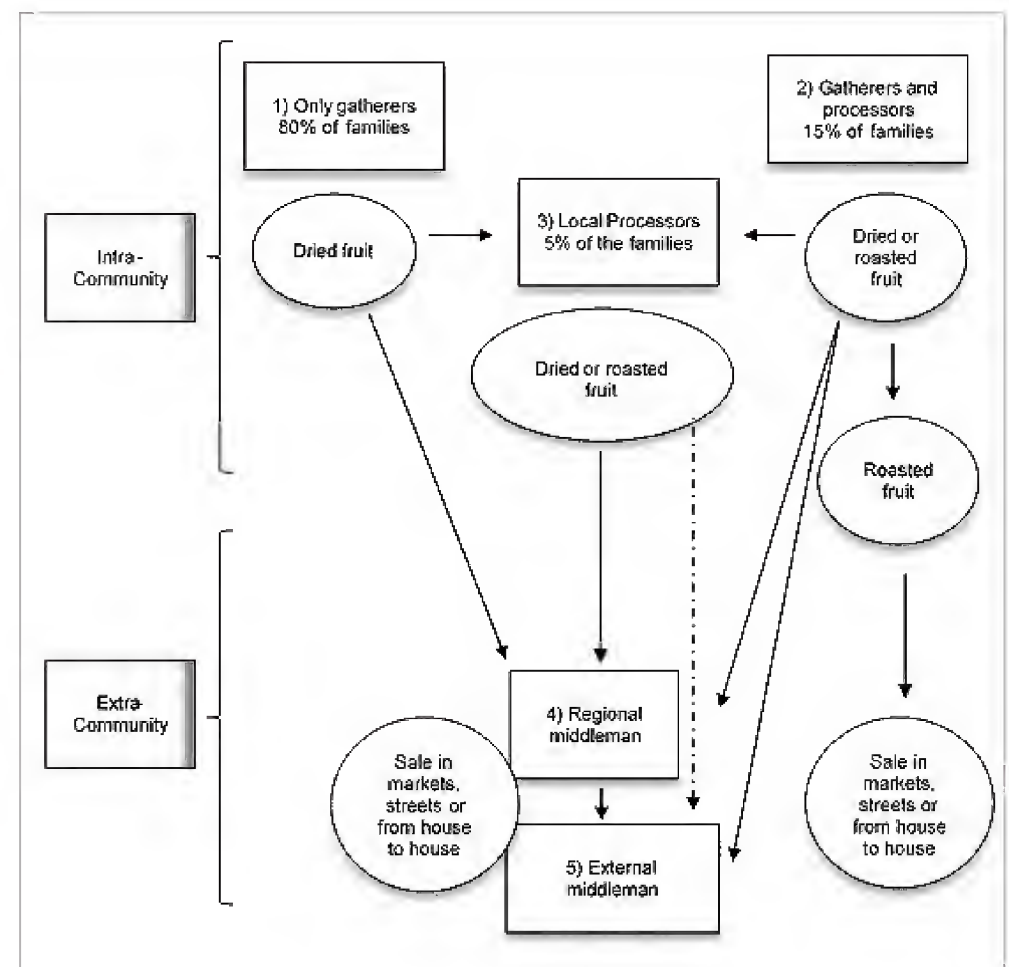


FIGURE 2. Market chain of *Oecopetalum mexicanum* in Pueblo Viejo, Veracruz, Mexico.

Intra-community market: Our interviews suggest all Pueblo Viejo households that gather *cachichín* eat at least some of their harvest. Eighty percent also sell fresh fruit to local processors and local or regional consolidators. Approximately 15 percent of households interviewed gather and process the fruit by drying and/or toasting it before selling it to local consolidators or intermediaries from the region or more distant locations, who come to the village. In addition, some 10 percent of Pueblo Viejo households that gather *cachichín* engage in sale of processed nuts in neighboring towns and cities. Of residents who sell toasted outside Pueblo Viejo, 20 percent are women and 80 percent men. Five percent of Pueblo Viejo households are consolidators who do not gather *cachichín*. Rather, these households specialize in purchasing dried and toasted or fresh fruit, which they subsequently process, generally without extra-family labor. Sources of *cachichín* for local consolidators include individuals from Pueblo Viejo and surrounding areas. Primary markets are regional intermediaries from larger nearby towns or locations outside the Sierra de Misantla.



Extra-community market: Two primary types of intermediaries are involved in market transactions outside Pueblo Viejo; regional intermediaries and external intermediaries. Regional intermediaries live in communities that neighbor the Sierra de Misantla and travel to Pueblo Viejo to buy fresh or processed fruits. These intermediaries sell *cachichín* in their home towns or transport them for sale in regional cities. Most these intermediaries are women. External intermediaries share some characteristics with regional intermediaries. In general, they are *campesinos* who engage in *cachichín* commerce on a seasonal basis. However, they come from outside the Sierra de Misantla. In Xalapa's Toluca street market, we observed a young man from a region where the trees do not grow, using his mobile phone to arrange with relatives for a shipment of toasted *cachichín*.

Social and cultural values of *cachichín*

Gathering and eating *cachichín* creates powerful connections to place and family for people with roots in the Sierra de Misantla. As noted above, gathering brings together family and friends. Consuming is at once a part of everyday life and a marker of special occasions. Children are given *cachichín* to eat as soon as they have the teeth needed to crack them open and extract the seed. Offering to friends and relatives for shared consumption during visits is an important gesture of hospitality and welcome.

Cachichín continues to be important for people with roots in the Sierra de Misantla even when they no longer live in the region. We interviewed individuals purchasing *cachichín* in Xalapa, the capital of the state of Veracruz, and found that all were from the area where *cachichín* grows. The comments of one interviewee exemplify the place of *cachichín* in identity, "I buy because I am from Misantla. Since I was a girl, I have sold *cachichín*; I collected and toasted them". Another buyer commented: "My family has lived in Xalapa for many years. We are from Misantla and when we cannot go there, we come here to buy [*cachichín*]".

This attachment persists, even among people living temporarily or permanently in other parts of the country,

as well as outside Mexico. It is common for family members remaining in the Sierra de Misantla to send one or two kilograms of toasted *cachichín* each year at a cost of 400–600 Mexican pesos per parcel (U.S. \$20–\$30). Our interviewees report that receiving packages helps these distant relatives feel closer to their land and family, because it is a food they have eaten since childhood.

For generations, *cachichín* has contributed to social cohesion and identity formation among the inhabitants of the Sierra de Misantla. *O. mexicanum*, gathering is linked to the dimension of entertainment and a liking for walking in the forest, *cachichinales* and coffee plantations. Reciprocity is observed in the gathering and consumption, on sharing the entertainment that influences the family cohesion and maintains the links of interaction and belonging to a region. While no special symbolic value was associated with the fruit or the trees in relation to the forest or to the history of the community, the general attitude of the people is that the *cachichín* is another example of the reviewed cases in which gathering is considered a recreation that serves as a diversion or pastime for family and friends.

Market chains are based in social networks of friends and family, giving commerce a basis in trust and reciprocity. Social and cultural values also are observed in the consumption of *cachichín*, shared across the region of Misantla, the only place where the tree grows, and related to the territory and terrain. It is a flavor that connects the people to their region. As previously described, sending parcels to family members in the United States demonstrates this important relationship between the fruit and the home and region. Gathering in and of itself also constitutes an important collective and deep-rooted activity. We could say that the knowledge and motivations of the people of the Sierra to practice gathering rest on a combination of the purposes of commerce and subsistence, in addition to cultural and recreational values. The *cachichín* is an important part of social and family networks, is enjoyed by all members of the family, is offered to visitors as a sign of courtesy and welcome, is sent to family members who have emigrated to other cities or countries and who miss eating the fruit.

DISCUSSION

The ecological knowledge, use and management of NTFPs has a social, cultural and spiritual basis that the inhabitants maintain with the resource and their environment. The gathering of *cachichín* is a clear example of this, where the importance of the practice of gathering, the product and/or resource itself not only has an objective of commerce or subsistence, but also one of ritual, leisure or free time: gathering plays a role of reaffirmation of cultural and social links. Analysis of these relationships determines how the people and their knowledge contribute to conservation of this resource (Cocks, 2006; Herrmann, 2006). This knowledge, which forms part of the relatively new participative accesses to development, is proposed as a promising context in which to advance interdisciplinary research (Sillitoe, 2004).

The significance of gathering wild resources in areas of natural forest in non-economic terms is little recognized and studied (Robbins, Emery and Rice, 2008) by designers of public policy or researchers, and this is certainly the case in Mexico. Nevertheless, the extractors or gatherers play a key role in processes between society and nature that can be viewed as a frontier in behavior related to the environment processes of domestication, harvest practices, economic income, historical memory, etc. According to Poe, McLain, Emery and Hurley (2013), traditional practices have recently become crucial elements for the development of alternative systems for sustainable natural resource management.

In order to design strategies of management, use and exploitation of NTFP, it is necessary to incorporate the knowledge of the gatherers and their motivation for gathering (Emery, Ginger, Newman and Giammusso, 2003; Ticktin and Johns 2002; Poe *et al.*, 2013). This is important because considering the activity of gathering with the exclusive purpose of commerce or subsistence means that possible cultural and recreational values are left aside. Other broader studies have addressed the theme of the role of the forests and the NTFP in fulfilling the requirements of subsistence and of emotional needs, such as the sense of belonging and identity (Cocks, 2006). Without

doubt, this characteristic demonstrates its complexity and multidimensionality; since it must also be considered that resource use that is based on cultural values can be more sustainable and contribute to the conservation of the forests and biodiversity.

It has been said that rights imply a known demand recognized by society; however, such a right is not currently perceived for the *cachichín*. Availability and access exist without the need of some socially articulated approval. As already stated, the different relationships maintained by a community are related to the meanings of production, exchange and consumption. We see that, in the case of the *cachichín*, the concept of maintenance is presented, since access is open to one and all. In contrast, that of control (the ability to mediate the access of others) is absent. While private property dominates in Pueblo Viejo, the gatherers can access the resource in any plot where the tree grows. On many occasions, the inhabitants state that there is no competition to access the trees and fruits. However, a difference is observed between each site; a little more control is exercised in the *cachichinal* management systems, in which more time and effort has been invested.

The importance of this local product, from its gathering to its marketing and personal consumption, is related to regional history, form of access to the resources, distribution of human settlements and forms of organization of the inhabitants. Another aspect of relevance in relation to resources gathered in sites close to urban zones, is that permanence is observed in gathering and consumption even though Pueblo Viejo is located close to important cities. The gathering and use of the *cachichín* is conserved by its multifunctional importance, for direct use (edible, firewood, and other materials) and sale. Regarding property rights, Wiersum *et al.* (2014) describe the emergence of a hybrid of multi-layered, plural NTFP governance regimes subject to ongoing alteration and aggregation, characterized by a wide diversity of actors and complex institutional arrangements. If this aspect is not well understood, well-intended innovations of governance may overshoot their



targets and underestimate their impacts. If external control over resource use and access is imposed, due consideration may not be given to the social and cultural values.

CONCLUSIONS

Cachichín is a classic example of a biocultural system, in which a wild edible fruit is the nexus of an articulated network of human relationships, land management, and terms of access to forests in a mountainous region of México. Natural forest and more intensively managed land uses anchor the biological components of the system. Knowledge of the biology of valued species, habitats in which these species grow, and strategies to maximize harvest volume and/or quality links the biological and cultural components. Culture is central to gathering, processing, consumption, and commerce. Thus, *cachichín* is emblematic of identity for the inhabitants of the Sierra de Misantla.

There is a global trend of abandonment of gathering due to the replacement of resources, reduction of gathering areas, overexploitation of resources or because gathering may be seen as being of little importance or even viewed in a derogatory manner. However, the gathering of *cachichín* remains alive and the integration of young people are the key. Gathering and consumption continues to form a key part of the current landscape and the way of life of the inhabitants of the Sierra de Misantla.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the people of Pueblo Viejo for their collaboration and interest in the development of this study. The initial stages of the project were supported by the Strategic Projects of Instituto de Ecología, A. C. Preparation of this paper was supported in part through a sabbatical grant to the first author from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (ConacyT), Project 233738. Our gratitude, also to USDA Forest Service and New York City Department of Parks and Recreation staff for their generous support and use of

space at the New York City Urban Field Station in Queens, New York offices.

REFERENCES

- Alm, J. A., Blahna, D. J. and Chávez, D. J. (2008). Management assumptions and program realities: a case study of non-commercial fern gathering. In D. J. Chavez, P. L. Winter and J. D. Absher (Eds.), *Recreation Visitor Research: Studies of Diversity* (General Technical Report PSW-GTR-210). (87-96) USA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Pacific Southwest Research Station.
- Altieri, M. A. (1991). ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? *Agroecología y Desarrollo*, 1 (1), 16-24.
- Berkes, F., Colding, J. and Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 10 (5), 1251-1262.
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero, J. and Vega, E. (2013). Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9 (1), 1.
- Caballero, N. J. and Mapes, C. (1985). Gathering and subsistence patterns among the p'urhepecha indians of Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 5 (1), 31-47.
- Cocks, M. L. (2006). Bio-cultural diversity: moving beyond the realm of 'indigenous' and 'local' people. *Human Ecology*, 34 (2), 185-200.
- Cocks, M. L. and Wiersum, F. (2014). Reappraising the Concept of biocultural diversity: a perspective from South Africa. *Human Ecology*, 42 (5), 727-737.
- Covarrubias, M. (2014). Estrategia forestal diversificada para la conservación de especies útiles: el caso de los bosques de *Oecopetalum mexicanum* en el municipio de Misantla, Veracruz, México. Unpublished master's thesis, Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones Forestales, Xalapa, Veracruz, México.
- Denzin, N. K. and Lincoln, Y. S. (2000). *The SAGE handbook of qualitative research*. London: Sage Publications.
- Emery, M. R. (2002). Historical Overview of nontimber forest product uses in the northeastern United States. In E. T. Jones, R. J. McLain and J. Weigand (Eds.), *Non Timber*

- Forest Products in the United States* (3-25). Lawrence, KS: University Press of Kansas.
- Emery, M. R., Ginger, C., Newman, S. and Giammusso, M. R. B. (2003). *Special forest products in context: gatherers and gathering in the eastern United States*. (General Technical Report number NE-306). Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station.
- García-Fernández, C., Casado, A. and Ruíz-Pérez, M. (2003). Benzoin gardens in North Sumatra, Indonesia: effects of management on tree diversity. *Conservation Biology*, 17 (3), 829-836.
- Gerritsen, P. R. W., Ortiz-Arrona, C. and González-Figueroa, R. (2009). Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo: estudio de caso en la Costa Sur de Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 9 (29), 185-207.
- Ginger, C., Emery, M. R., Baumflek, M. J. and Putnam, D. E. (2011). Access to natural resources on private property: factors beyond right of entry. *Society and Natural Resources*, 25 (7), 700-715.
- Gómez-Pompa, A. (1966). *Estudios Botánicos en la Región de Misantla, Veracruz*. México, D.F, México: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C.
- Gutiérrez, B. C. (1993). *Listado Florístico de la Sierra del Chiconquiaco, Ver.* Textos Universitarios. Xalapa, Ver.: Universidad Veracruzana.
- Hall, S. J. (2009). Cultural disturbances and local ecological knowledge mediate cattail (*Typha domingensis*) invasion in Lake Pátzcuaro, México. *Human Ecology*, 37 (2), 241-249.
- Hernández, B., Luna, G., García, O., Mendoza, M. R., Azuara, E., Beristain, C. I. and Jimenez, M. (2013). Extraction and characterization of *Oecopetalum mexicanum* seed oil. *Industrial Crops and Products*, 43, 355-359.
- Herrmann, T. M. (2006). Indigenous knowledge and management of *Araucaria araucana* forest in the Chilean Andes: Implications for native forest conservation. *Biodiversity and Conservation*, 15 (2), 647-662.
- Lascurain, M., Ángeles, G., Ortega-Escalona, F., Ordóñez-Candelaria, V. R., Ambrosio, M. and Avendaño S. (2007). Características anatómicas y propiedades mecánicas de la madera de *Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C. H. Thomps. (Icacinaceae): cachichín de la Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 13 (2), 83-95.
- Lascurain, M., Avendaño-Reyes, S., López Binnqüist, C., López-Acosta, J. C., Covarrubias-Báez, M. and Duno-de Stefano, R. (2013). Uso, aprovechamiento y diversidad vegetal asociada a *Oecopetalum mexicanum* (Icacinaceae): una especie comestible nativa de la Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 91 (4), 477-484.
- López, C. (2005). Amate, Mexican bark paper: resourceful harvest strategies to meet market demands. In M. N. Alexiades and P. Shanley (Eds.), *Forest products, livelihoods and conservation: case studies of non-timber forest product systems*. Vol. 3 (365-390). Bogor, Indonesia: Cifor.
- López, J. C., Lascurain, M., López, C. and Covarrubias, M. (2014). Structure and floristic composition in local forest management systems of the edible fruit tree *Oecopetalum mexicanum* in the Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Economic Botany*, 68 (1), 44-58.
- Martínez-Ballesté, A. and Mandujano, M. C. (2013). The consequences of harvesting on regeneration of a non-timber wax producing species (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) of the Chihuahuan desert. *Economic Botany*, 67 (2), 121-136.
- McAvoy, L. and Shirilla, P. (2005). Indigenous gathering activities as culture (and maybe leisure?): a study of the Leech Lake Band of Ojibwe in the Chippewa National Forest. In C. R. Delamere and D. Robinson (Eds.), *Abstracts of papers presented at the eleventh Canadian Congress on Leisure Research* (394-397). British Columbia: Canadian Association for Leisure Studies.
- Oldfield, S. and Jenkins, M. (2012). *Wild flora for improved rural livelihoods. Case studies from Brazil, China, India and Mexico*. Richmond, U.K: Botanic Gardens Conservation International.
- Patton, M. (2002). *Qualitative research & evaluation methods* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Peacock, S. and Turner, N. (2000). Just like a garden: traditional resource management and biodiversity conservation



- in the interior Plateau of British Columbia. In P. Minnis and W. Elisens (Eds.) *Biodiversity and native America* (133-69). Oklahoma: University of Oklahoma.
- Poe, M. R., McLain, R. J., Emery, M. and Hurley, P. T. (2013). Urban forest justice and the rights to wild foods, medicines and materials in the city. *Human Ecology*, 41 (3), 409-422.
- Posey, D. A. and Baleé, W. (1989). *Resource management in Amazonia: indigenous and folk strategies (Advances in economic botany, Special edition)*. New York: Botanical Garden.
- Reyes-García, V., Menéndez-Baceta, G., Aceituno-Mata, L., Acosta-Naranjo, R., Calvet-Mir, L., Domínguez, P., Garnatje, T., Gómez-Baggethun, E., Molina-Bustamante, M., Molina, M., Rodríguez-Franco, R., Serrasolses, G., Vallés, J. and Pardo-de-Santayana, M. (2015). From famine foods to delicatessen: Interpreting trends in the use of wild edible plants through cultural ecosystem services. *Ecological Economics*, 120, 303-311.
- Robbins, P., Emery, M. and Rice, J. L. (2008). Gathering in Thoreau's backyard: nontimber forest product harvesting as practice. *Area*, 40 (2), 265-277.
- Rojas, A. M. (2008). El controvertido peyote. *Ciencias*, 91, 44-49.
- Schlager, E. and Ostrom, E. (1992). Property-rights regimes and natural resources: a conceptual analysis. *Land Economics*, 68, 249-262.
- Shackleton, S. and Shackleton, C. (2005). The contribution of marula (*Sclerocarya birrea*) fruit and fruit products to rural livelihoods in the Bushbuckridge District, South Africa: Balancing Domestic Needs and Commercialization. *Forests, Trees and Livelihoods*, 15 (1), 3-24.
- Shanley, P., Cymerys, M., Serra, M. and Medina, G. (2011). *Fruit trees and useful plants in Amazonian life*. Rome: FAO-CIFOR-PPI.
- Sillitoe, P. (2004). Interdisciplinary experiences: working with indigenous knowledge in development. *Interdisciplinary Science Reviews*, 29 (1), 6-23.
- Ticktin, T. and Johns, T. (2002). Chinanteco management of *Aechmea magdalenae*: implications for the use of TEK and TRM in management plans. *Economic Botany*, 56 (2), 177-191.
- Tucker, C. M. (2010). Private goods and common property: pottery production in a Honduran Lenca community. *Human Organization*, 69 (1), 43-53.
- Turner, N. J., Deur, D. and Lepofsky, D. (2013). Plant management systems of British Columbia's First Peoples. *British Columbia Studies*, (179), 107.
- Wiersum, F., Ingram, V. and Ros-Tonen, M.A.F. (2014). Governing access to resources and markets in non-timber forest product chains. *Forests, Trees and Livelihoods*, 23 (1-2), 6-18.
- Manuscrito recibido el 27 de mayo de 2016.
Aceptado el 25 de octubre de 2016.
- Este documento se debe citar como:
Lascurain, M., López-Binnqüist, C. and Emery, M. R. (2016) Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico; the case of *Oecopetalum mexicanum*. *Madera y Bosques*, 22 (3), 11-21.



Distribución de **biomasa aérea** en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México

Aboveground biomass allocation in a managed forest of *Pinus patula* in Zacualtipán, Hidalgo, Mexico

Griselda Chávez-Aguilar¹, Gregorio Ángeles-Pérez^{1*}, Marlín Pérez-Suárez², Miguel Ángel López-López¹,
Edmundo García-Moya³ y Craig Wayson⁴

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Posgrado en Ciencias Forestales. Texcoco, Estado de México, México.

² Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Toluca, Estado de México, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Posgrado en Botánica. Texcoco, Estado de México, México.

⁴ United States Department of Agriculture. Forest Service. Silva Carbon. Lima, Perú.

* Autor de correspondencia. gangeles@colpos.mx

RESUMEN

La acumulación y distribución de biomasa hacia los componentes estructurales de los árboles es determinante en bosques manejados, tanto en términos de productividad maderable como en la reactivación de diversos procesos ecosistémicos. En el presente estudio se analizó el patrón de acumulación de biomasa aérea total (BAT) y su asignación hacia fuste, ramas, corteza y follaje en una cronosecuencia de un bosque de *Pinus patula* bajo aprovechamiento forestal en Zacualtipán, Hidalgo. Mediante el uso de ecuaciones alométricas se estimó la BAT y por componente estructural de los árboles en rodales con diferentes años después de la cosecha, en diferentes años de remediación (años 2005, 2008 y 2012). Se encontró que la BAT aumentó con el tiempo después de la cosecha, con diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$) entre los rodales. El rodal de 30 años después de la cosecha presentó una biomasa aérea total (BAT) de 178.1 Mg ha^{-1} , la cual resultó solo 20% menor a la observada en el rodal sin cosecha (AN), lo que indica que un bosque bajo aprovechamiento podría alcanzar niveles de biomasa aérea similares a la del AN, en un menor tiempo. La asignación de biomasa aérea (BA) presentó el siguiente orden: fuste > ramas > corteza > follaje. Esta asignación de BA fue favorecida hacia fuste como un producto maderable comercial, objetivo principal de estos bosques bajo producción. El patrón de asignación de BA entre los componentes estructurales de los árboles puede ser incorporado como base para el diseño de prácticas silviculturales en los programas de manejo forestal y contribuir en la evaluación de la sustentabilidad de los bosques. Además, puede clarificar el papel de los bosques regenerados después de los aprovechamientos en la fijación y almacenamiento de bióxido de carbono atmosférico.

PALABRAS CLAVE: componente estructural, follaje, fuste, prácticas silviculturales, ramas, rodal.

ABSTRACT

Aboveground biomass accumulation and allocation to the structural components of trees is crucial in managed forests, both in terms of timber productivity and the reactivation of different ecosystem processes. In this study, we analyzed the pattern of accumulation of aboveground total biomass and its allocation among stems, branches, bark and foliage in a chronosequence of managed *Pinus patula* forests in Zacualtipán, Hidalgo. Total aboveground biomass (TAB) and its allocation to structural components were estimated by using allometric equations in stands with different numbers of years since harvest, in different years of measurement (2005, 2008 and 2012). We found that the TAB increased with time since harvest, with highly significant differences ($p < 0.0001$) among stand ages. The stand with 30 years since harvest showed an aboveground biomass (AB) of 178.1 Mg ha^{-1} which was only 20% lower than that estimated for the stand without harvest (AN), indicating that a managed forest could reach levels of aboveground biomass similar to those of the AN, but in less time. Aboveground biomass allocation was made in the following order: stem > branches > bark > foliage. Allocation favored the stem as a commercial timber product, which is the main objective of these managed forests. The pattern of aboveground biomass allocation among the structural components of the trees reflects the fact that forest management in temperate forests operates as an important alternative for the recovery of degraded forests. Because of climate change, it can also represent an appropriate strategy for carbon sequestration and mitigation of carbon dioxide emissions.

KEY WORDS: structural components, foliage, stem, silvicultural practices, branches, stand.

INTRODUCCIÓN

La gestión forestal sostenible representa en muchas regiones del mundo una alternativa útil para la reducción de la deforestación y degradación de los ecosistemas forestales (von Gadow, Sánchez y Aguirre, 2004; Durán, Mas y Velázquez, 2007; Galicia, Saynes y Campo, 2015). La gestión de los bosques permite su conservación y la producción de bienes y servicios demandados por la sociedad; lo que constituye una estrategia apropiada para la fijación y reducción de las emisiones de bióxido de carbono y, por tanto, la mitigación del cambio climático (Pompa-García y Yerena-Yamalliel, 2014; Torres-Rojó, Moreno-Sánchez y Mendoza-Briseño, 2016).

A través de la gestión forestal sostenible se busca principalmente el aumento en la producción maderable como resultado del incremento del volumen fustal, mediante prácticas silviculturales de aplicación intensiva (Jandl *et al.*, 2007; Porter-Bolland *et al.*, 2012). Lo anterior trae como consecuencia el aumento de la biomasa forestal y su cuantificación es de suma importancia para entender el funcionamiento y dinámica de los ecosistemas forestales, y además porque es una de las principales formas de cuantificar la capacidad de fijación de carbono en la vegetación (Montero, Ruiz-Peinado y Muñoz, 2005; Brandeis, Delaney, Parresol y Royer, 2006) que a su vez, es uno de los factores determinantes en la sustentabilidad de los bosques (Montero *et al.*, 2005). De esta forma, la gestión forestal sostenible de ecosistemas terrestres comprende la búsqueda de conocimiento sobre los bienes y servicios del ecosistema, propiciando la necesidad de cuantificar no únicamente la biomasa total de los árboles, sino su distribución hacia los diferentes componentes estructurales (Bazzaz, 1997; Montero *et al.*, 2005).

La distribución de la biomasa varía en cada componente estructural del árbol y depende de la función que desempeña cada uno dentro del ecosistema (Bazzaz, 1997). Por ejemplo, la asignación de biomasa hacia fuste influye sobre la producción de madera aprovechable, pero también es fundamental para la conducción de nutrientes y agua (von Gadow *et al.*, 2004), mientras que la asignación hacia ramas, influye sobre la capacidad de soporte de

follaje. Por su parte, hacia el follaje influye sobre la fotosíntesis y las tasas de reincorporación de nutrimentos hacia el piso forestal. De esta forma, los cambios en el almacenamiento y distribución de la biomasa pueden también estar fuertemente influenciados por factores relacionados con factores como: desarrollo del rodal, edad, calidad del sitio, composición de especies, variables ambientales, densidad del rodal, prácticas silvícolas aplicadas (Figueroa, Ángeles, Velázquez y de los Santos, 2010; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2012; Soriano-Luna, Ángeles-Pérez, Martínez-Trinidad, Plascencia-Escalante y Razo-Zárate, 2015), entre otros.

Paralelamente, la estimación de la distribución de dicha biomasa viene acompañada con el conocimiento de procesos de suma importancia para el ecosistema, tales como productividad, ciclo de nutrientes, movimiento de materia y energía, fijación y almacenamiento de carbono (Castillo, Imbert, Blanco, Traver y Puertas, 2003; Escobar *et al.*, 2008; Gerez-Fernández y Pineda-López, 2011; León, González y Gallardo, 2011; Pompa-García y Yerena-Yamalliel, 2014; Aquino-Ramírez, Velázquez-Martínez, Castellanos-Bolaños, De los Santos-Posadas y Etchevers-Barra, 2015) y en la evaluación de la gestión forestal sostenible (Brandeis *et al.*, 2006) cuando de bosques intervenidos se trata. Sin embargo, seguir el patrón de cambios en esta distribución de biomasa a través del tiempo requiere de instrumentación de estudio a largo plazo. Por lo tanto, una forma de superar esta limitante es la utilización del enfoque de cronosecuencia, donde se sustituye espacio por tiempo (Law, Sun, Campbell, Van Tuyl y Thornton, 2003). En bosques bajo gestión forestal este enfoque representa una herramienta útil que permite comparar la estructura y atributos funcionales del ecosistema en intervalos de condiciones ambientales similares (Law *et al.*, 2003; Figueroa *et al.*, 2010).

Los estudios para la cuantificación de la biomasa aérea para conocer su asignación en los diversos componentes estructurales de los árboles en especies forestales son frecuentes (Acosta-Mireles, Vargas-Hernández, Velázquez-Martínez y Etchevers-Barra, 2002; Gómez-Díaz, Etchevers-Barra, Monterrosos-Rivas, Campo-Alvez



y Tinoco-Rueda, 2011; Díaz-Franco *et al.*, 2007; Figueroa *et al.*, 2010; Soriano-Luna *et al.*, 2015), sin embargo, la mayoría de ellos se han realizado a nivel de individuo y han estado encaminados a la generación de funciones matemáticas para la estimación de biomasa total y de carbono (Pompa-García y Yereña-Yamalliel, 2014; Aquino-Ramírez *et al.*, 2015), o bien, para el mejoramiento genético y establecimiento de plantaciones forestales (Morales-González, López-Upton, Vargas-Hernández, Ramírez-Herrera y Muñoz, 2013). La región de Zacualtipán, Hidalgo, México, es un ejemplo de ello, donde se han realizado estudios significativos para la cuantificación de la biomasa aérea forestal en bosques de *Pinus patula* bajo aprovechamiento (Aguirre-Salado *et al.*, 2009; Figueroa *et al.*, 2010; Soriano-Luna *et al.*, 2015). Pese a ello, se carece de información sobre el patrón de cambios en la distribución de dicha biomasa en los diferentes componentes estructurales de los árboles relacionados directamente con el desarrollo del rodal.

OBJETIVOS

Cuantificar la biomasa aérea total y determinar el patrón de su distribución en los diferentes componentes estructurales de los árboles: fuste, ramas, corteza y follaje, a lo largo del desarrollo estructural de rodales en un bosque de *P. patula* bajo aprovechamiento forestal. Así como realizar una comparación de dicha biomasa con aquella registrada en un área sin intervención silvícola, bajo la hipótesis de que no hay diferencias en la capacidad de acumulación de biomasa aérea entre ambas condiciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el ejido La Mojonera, al sureste del municipio de Zacualtipán de Ángeles en el estado de Hidalgo a 20°37'11" y 20°37'43" N y 98°36'22" y 98°37'37" O (Fig. 1). Se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, conocida como Sierra Alta Hidalguense y una parte de la Faja Volcánica Transmexicana (Eje Neovolcánico), subprovincia Carso

Huasteco. Está conformado por pendientes, mesetas y cañones, con una altitud media de 2100 m. El relieve es generalmente accidentado con pendientes de 0% a 25% y la exposición dominante es Norte y Noroeste. El clima que predomina es templado húmedo [C(m)] y templado subhúmedo [C(w2)] con temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C. La temperatura del mes más frío puede llegar a -3 °C y el promedio en el mes más cálido a 22 °C. La precipitación media anual oscila entre 700 mm y 2050 mm y la precipitación del mes más seco puede llegar a 40 mm. Se presentan lluvias casi todo el año (García, 2004) y las lluvias de verano e invierno pueden comprender 5% a 10.2% de la total anual (Servicio Meteorológico Nacional, 2014). El período de lluvias es de junio a septiembre, aunque se presenta un período de sequía aproximadamente entre febrero y mayo. La zona presenta abundante

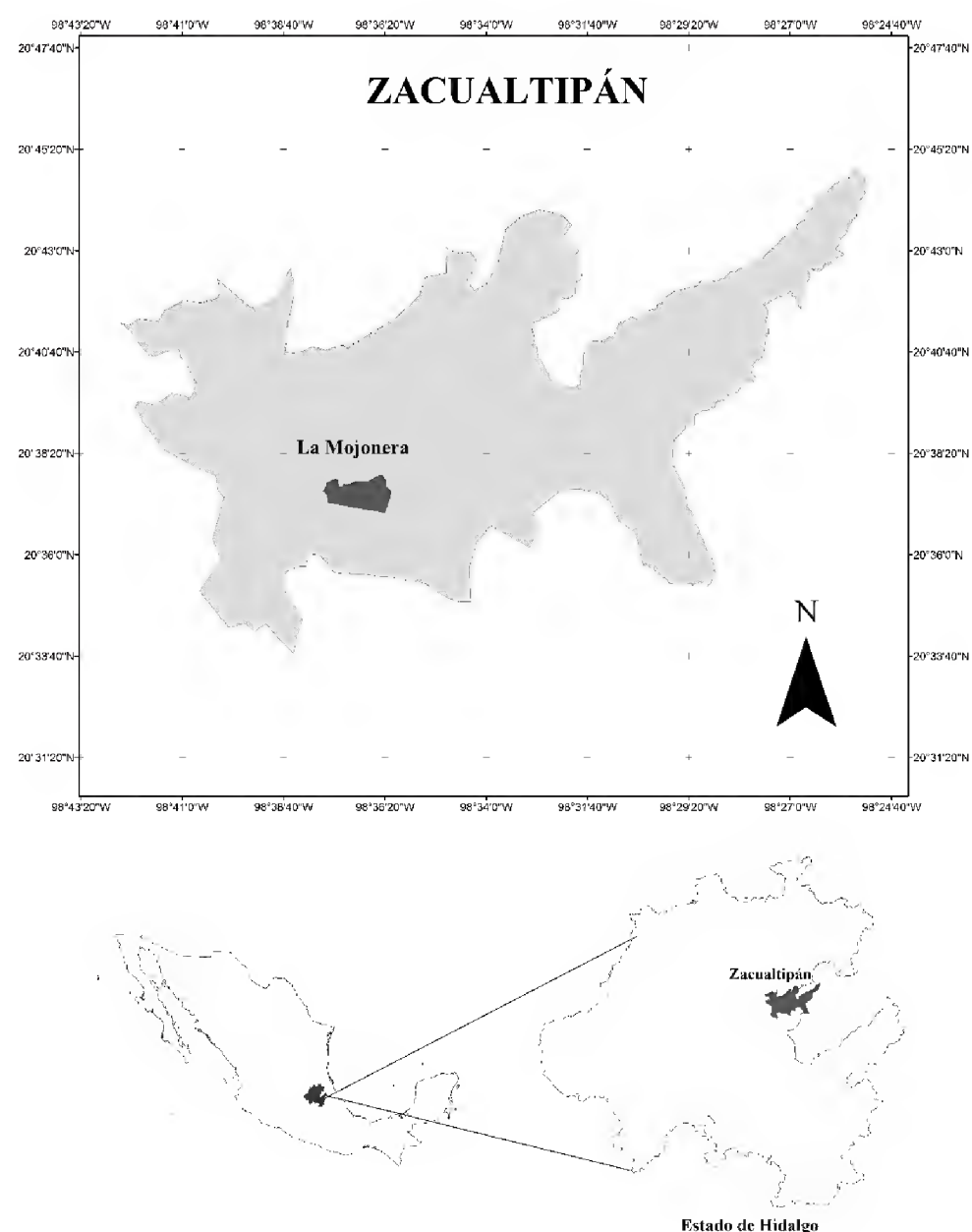


FIGURA 1. Ubicación geográfica del ejido La Mojonera en Zacualtipán Hidalgo, México.

pedregosidad y el sustrato geológico data del período Cenozoico (terciario superior) conformado por rocas ígneas extrusivas del tipo toba ácida (Ts-Ta al Norte) y basalto (Ts-B al Sur). La unidad geológica Ts (Ta) está representada por tobas e ignebritas de composición riolítica y dacítica asociadas con intercalaciones gruesas de obsidiana y derrames basálticos y riolíticos. El suelo predominante es feozem háplico y secundariamente el regosol calcárico y litosol, con buen drenaje, textura media y alto contenido de materia orgánica y nutrimentos. Los principales tipos de vegetación a nivel regional son bosque de encino, pino-encino y bosque mesófilo de montaña (Ponce-Vargas, Luna-Vega, Alcántara-Ayala y Ruiz-Jiménez, 2006), que es un ecosistema que alberga un gran número de especies vegetales de restringida distribución natural y que es altamente vulnerable por la alta presión antropógena que sufre actualmente (Rzedowski, 1996).

El aprovechamiento de los recursos forestales y no forestales en el ejido se originó a consecuencia de la deforestación y el cambio de uso de la tierra en la región (Ángeles-Pérez, 2009). El ejido está constituido por 316 ha en total, de las cuales aproximadamente 160 ha se encuentran con aprovechamiento maderable a partir de 1982 mediante el método de desarrollo silvícola (MDS), en el cual se utiliza el método de repoblación de árboles padres (Castelán-Lorenzo y Arteaga-Martínez, 2009; Torres-Rojo *et al.*, 2016). Este método produce rodales coetáneos donde la especie de mayor distribución e importancia económica es *P. patula* (Patiño y Kageyama, 1992; Dvorak, 2000; Velázquez, Ángeles, Llanderal, Román y Reyes, 2004; Castelán-Lorenzo y Arteaga-Martínez, 2009). Todos los rodales recibieron las mismas prácticas silviculturales; además de la corta de repoblación por árboles padres, se aplican cortas intermedias como preparación del sitio, limpias, cortas de liberación, aclareos, podas, y cortas de mejoramiento y saneamiento.

En los rodales intervenidos la especie que domina es *P. patula* y en menor abundancia se pueden encontrar *P. teocote* Schltdl. & Cham. En áreas de vegetación natural se encuentran especies como *Quercus excelsa* Liebm., *Q. laurina* Hump et Bonpl, *Q. rugosa* Neé, *Q. castanea* Neé,

Clethra mexicana D.C., *Cleyera theaoides* Sw., *Vaccinium leucanthum* Schltdl., *Cornus disciflora* Moc. & Sessé ex D.C., *Alnus* sp., *Arbutus jalapensis* Kunth., *Prunus serótina* Ehrh., entre otras (Ángeles-Pérez, 2009; Figueroa *et al.*, 2010) que también están asociadas a la vegetación en rodales con aprovechamiento.

Establecimiento de las unidades de muestreo y medición de variables dasométricas

Se seleccionaron rodales con las siguientes anualidades: 1998, 1995, 1991, 1988, 1984 y 1982. Cada anualidad correspondió al año en que fue aplicada la corta de repoblación. Adicionalmente, se seleccionó un bosque sin intervención silvícola de aproximadamente 80 años de edad, utilizado en el presente estudio como área de referencia (AN). En cada rodal y AN se establecieron al azar tres unidades de muestreo permanentes (UMP), cada una de 400 m² en el año 2005. Las UMP permiten evaluar el comportamiento de la asignación de biomasa aérea del bosque a través del tiempo (variación temporal). Dentro de cada UMP se identificaron y etiquetaron todos los individuos arbóreos con una altura ≥ 1.3 m y diámetro normal ≥ 2.5 cm. Estas variables dasométricas fueron documentadas en los mismos individuos en los años 2005, 2008 y 2012; en el caso del AN se realizaron dos mediciones en 2005 y 2012. Las diferencias en las características estructurales de los rodales tuvieron relación con sus edades al momento de las remediciones, y la edad del rodal se definió como el tiempo transcurrido a partir del año en que se aplicó la corta de repoblación. Es importante mencionar que la comparación entre edades a nivel de individuo no formó parte de los objetivos del presente estudio.

Estimación de la biomasa aérea total y por componente estructural

La biomasa aérea total (BAT) y por componente estructural (fuste, ramas, corteza y follaje) fue estimada con los modelos de biomasa generados para la misma área de estudio (Soriano-Luna *et al.*, 2015). La BAT incluyó diferentes especies de latifoliadas (*Q. excelsa*, *Q. laurina*, *Q.*

rugosa, *Clethra mexicana*, *Cornus disciflora*, *Arbutus jalapensis*, *Vaccinium leucanthum*) y *P. patula*. El modelo de biomasa presentó la siguiente forma:

$$B = Exp (-\beta_0) * (dn^2 * h)^{\beta_1}$$

Donde:

- B : biomasa por árbol
- dn : diámetro normal (DAP)
- h : altura total del árbol
- β_0 y β_1 : estimadores cuyos valores se presentan en la tabla 1

La mayoría de los modelos matemáticos utilizan el DAP como variable estimadora de la biomasa (Vásquez y Arellano, 2012), lo cual podría conducir a errores estadísticos en la estimación de la biomasa aérea total (Chave *et*

TABLA 1. Estimadores estadísticos obtenidos del modelo alométrico por tipo de especie, en el cálculo de la biomasa aérea total y por componente estructural.

Parámetro	<i>Pinus patula</i>	Spp. Latifoliadas
<i>Biomasa total:</i>		
β_0	4.554805	3.109407
β_1	1.047218	0.952688
<i>Fuste:</i>		
β_0	4.682959	4.196867
β_1	1.033543	0.988965
<i>Ramas:</i>		
β_0	5.510841	6.663739
β_1	0.951067	1.208846
<i>Corteza:</i>		
β_0	7.441298	5.630984
β_1	1.103910	0.949278
<i>Follaje:</i>		
β_0	4.750974	2.437957
β_1	0.709796	0.574860

Fuente: Soriano-Luna *et al.* (2015).

al., 2004). Sin embargo, para tratar de reducir algunos de esos errores el modelo utilizado en este estudio estimó la biomasa en función del diámetro (DAP) con la inclusión de la altura del árbol (H), lo cual reduce el error estándar, mejora el ajuste de los modelos matemáticos (Soriano-Luna *et al.*, 2015) y, dado que estos parámetros son responsables de la variación de la biomasa, proporcionan información indirecta sobre las características del entorno competitivo como la edad del rodal, índice de sitio, densidad, etcétera (Vásquez y Arellano, 2012; Soriano-Luna *et al.*, 2015).

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando como repeticiones a las observaciones realizadas dentro de cada rodal que constituyeron pseudoréplicas (Pérez, Frangi, Goya, Luy y Arturi, 2013). En consecuencia, se evaluaron las diferencias entre los rodales. La BAT se comparó entre rodales mediante un análisis de varianza (Anova) de una vía usando como factor principal el rodal. Se realizó un análisis *a posteriori* de las diferencias entre rodales mediante la prueba de Tukey HSD ($\alpha \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (2009). La proporción relativa para cada componente se estimó a partir de la biomasa total, con la finalidad de comparar la asignación de biomasa aérea entre los rodales. Esto se realizó para cada año de registro (2005, 2008 y 2012).

RESULTADOS

Biomasa aérea total

La biomasa aérea total (BAT) presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.0001$; Tabla 2) entre rodales (Fig. 2) y aumentó a lo largo de la cronosecuencia del bosque de *P. patula* bajo aprovechamiento forestal. Sin embargo, una excepción a esta tendencia fue observada en el rodal de la anualidad 1995 en la remediación 2005 (Fig. 2a) que mostró 10% menor BAT que el rodal de anualidad 1998 (Fig. 2a), dicho comportamiento coincidió con que en el primer rodal (1995) la densidad fue dos veces mayor que la del segundo (Tabla 3). En la remediación 2008 se

TABLA 2. Resultados del análisis de varianza (Anova) para la biomasa aérea total en rodales de diferente edad de aprovechamiento, remedidos en tres años diferentes (2005, 2008 y 2012).

Año de remediación	SC	CM	GL	F _o	Pr>F
2005	71 779.26	11 963.21	6	18.94	< 0.0001
2008	23 117.98	4623.59	5	16.93	
2012	44 811.7	7468.61	6	22.11	

Donde; SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrado de la media, GL = Grados de libertad, F_o = Estadístico F de Fisher y Pr = Probabilidad.

TABLA 3. Área basal y densidad en rodales de diferente edad de aprovechamiento, durante un período de siete años (2005-2012) en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán Hidalgo.

Anualidad	Área basal (m ² ha ⁻¹)			Densidad (árboles ha ⁻¹)		
	2005	2008	2012	2005	2008	2012
1998	21.3	35.7	25.7	4692	4100	1708
1995	14.8	27.5	34.5	2292	2208	1917
1991	17.9	23.5	27.9	733	733	700
1988	24.5	30.4	31.4	1133	1100	592
1984	32.6	31.4	34.9	2308	1908	1808
1982	36.1	39.7	39.9	4083	3908	3583
AN*	36.7	**	38.2	2150	.	1867

* AN = área sin aprovechamiento forestal de aproximadamente ochenta años de edad.

** Los puntos en las celdas indican que no se realizó registro en ese año.

presentó un comportamiento similar (Fig. 2b), lo cual se debió a la aplicación de aclareos. Este efecto fue observado en el rodal de anualidad 1998 con una disminución notable en su densidad, de 4100 árboles ha⁻¹ presentes en la remediación 2008 a 1708 árboles ha⁻¹ en la remediación 2012 (Tabla 3), lo cual representó más de la mitad de extracción en términos de densidad (59%). Así mismo, el rodal de anualidad 1988 mostró una disminución en su

densidad que fue de 1100 árboles ha⁻¹ cuantificados en la remediación 2008 a 592 árboles ha⁻¹ en la remediación 2012, representando aproximadamente 46% de remoción de árboles (Tabla 3). Por su parte, la variación temporal de la densidad de árboles fue menor en etapas más avanzadas de desarrollo de los rodales; se observó que en el rodal de anualidad 1984 y 1982 representaron solamente 5% y 8% de disminución de la densidad (Tabla 3).

Cabe destacar que, pese a estos altos porcentajes de extracción, al finalizar el período de medición en el presente estudio la biomasa aérea total no resultó afectada, ya que los rodales tuvieron el tiempo para recuperar e incluso aumentar la biomasa removida por los aclareos. Ejemplo de lo anterior, se observó en el rodal 1995 que de 30.51 Mg ha⁻¹ en la remediación 2005 aumentó a 99.95 Mg ha⁻¹ en la remediación 2012, es decir, aumentó 70% de su BAT (Fig. 2a y c). Por su parte, el rodal de mayor desarrollo estructural (anualidad 1982) para la remediación 2012 (Fig. 2c) presentó 78% (178.1 Mg ha⁻¹) de la BAT cuantificada en el AN (227.6 Mg ha⁻¹), sin diferencias estadísticamente significativas (p<0.0001; Tabla 2) entre ellos (Fig. 2c). Esto indicó que el contenido de BAT fue 22% menor que la registrada en AN, lo cual ocurrió 30 años después de haber sido aplicada la corta de repoblación.

Durante las primeras etapas de desarrollo de los rodales (anualidad 1998, 1995 y 1991), la BAT no fue estadísticamente diferente entre ellos (p < 0.0001; Tabla 2); el mismo patrón se presentó en las tres remediciones (Fig. 2). Sin embargo, la BAT fue diferenciándose a partir de etapas de desarrollo intermedias, tal como se observó en los rodales de anualidad 1988, 1984 y 1982 (Fig. 2a, b y c) en un intervalo de 17 a 30 años después de haber aplicado la corta de repoblación.

Biomasa aérea por componente estructural

La distribución de la biomasa aérea (BA) en los diferentes componentes estructurales de los árboles a lo largo del desarrollo estructural de los rodales presentó el siguiente orden descendente general: fuste> ramas> corteza> follaje (Tabla 4). Así mismo, el contenido de BA para todos los componentes aumentó con el desarrollo del rodal, excepto

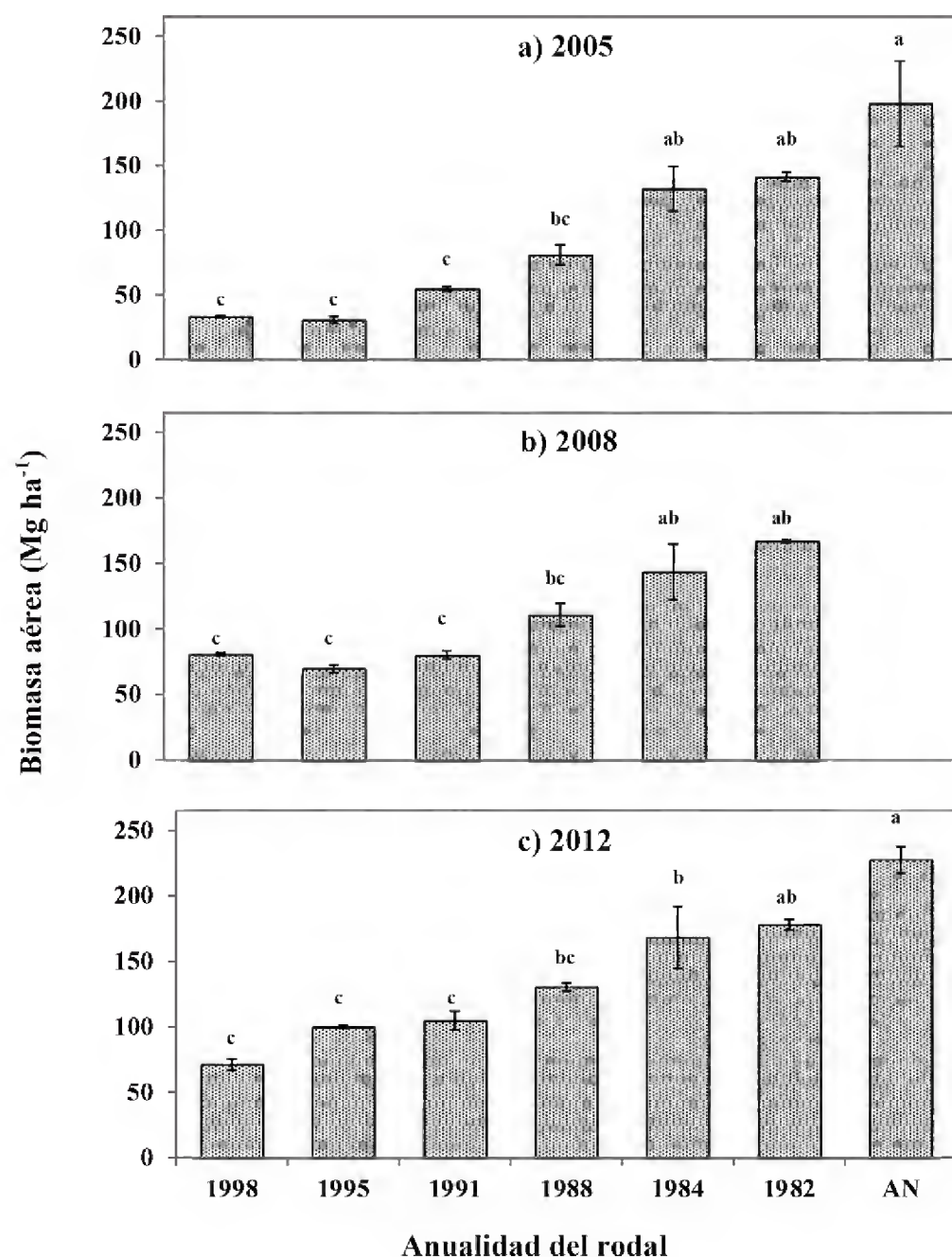


FIGURA 2. Biomasa aérea total (Mg ha^{-1}) en rodales de diferente edad, durante un período de siete años (2005-2012), en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtípán Hidalgo. AN es un área sin aprovechamiento forestal de aproximadamente 80 años de edad.

para el rodal de anualidad 1998 que mostró aproximadamente 1.5 veces mayor BA que el rodal de anualidad 1995 (Tabla 3). Por su parte, únicamente en el rodal de anualidad 1995 se observó una disminución en la remediación 2012 con respecto a la BA registrada en la del 2008 (Tabla 4).

El fuste fue el componente estructural con mayor contenido y asignación respecto a la BAT (Tabla 4 y Fig. 3). Este componente presentó una BA de 25 Mg ha^{-1} en el rodal de anualidad 1998 y representó una quinta parte de la contenida en el AN. Mientras, que el rodal con mayor desarrollo (anualidad 1982) mostró una BA de 125 Mg ha^{-1} en fuste, que fue 20% menor en comparación a la

obtenida en el AN (Tabla 4). Durante las primeras etapas de desarrollo de los rodales (anualidad 1998, 1995 y 1991) la asignación de BA en fuste representó 69% a 72% de la BAT (Fig. 3). A medida que los rodales avanzaban en edad y desarrollo, la asignación de BA hacia fuste se mantuvo relativamente constante, entre 70% y 71% de la BAT (Fig. 3). En el AN se encontró que la asignación de BA hacia fuste disminuyó hasta 66% de la BAT en comparación con el resto de los rodales (Fig. 3a y c).

Las ramas fueron el segundo componente estructural con la mayor asignación de BA (Tabla 4), la cual disminuyó con el aumento en edad de aprovechamiento y desa-

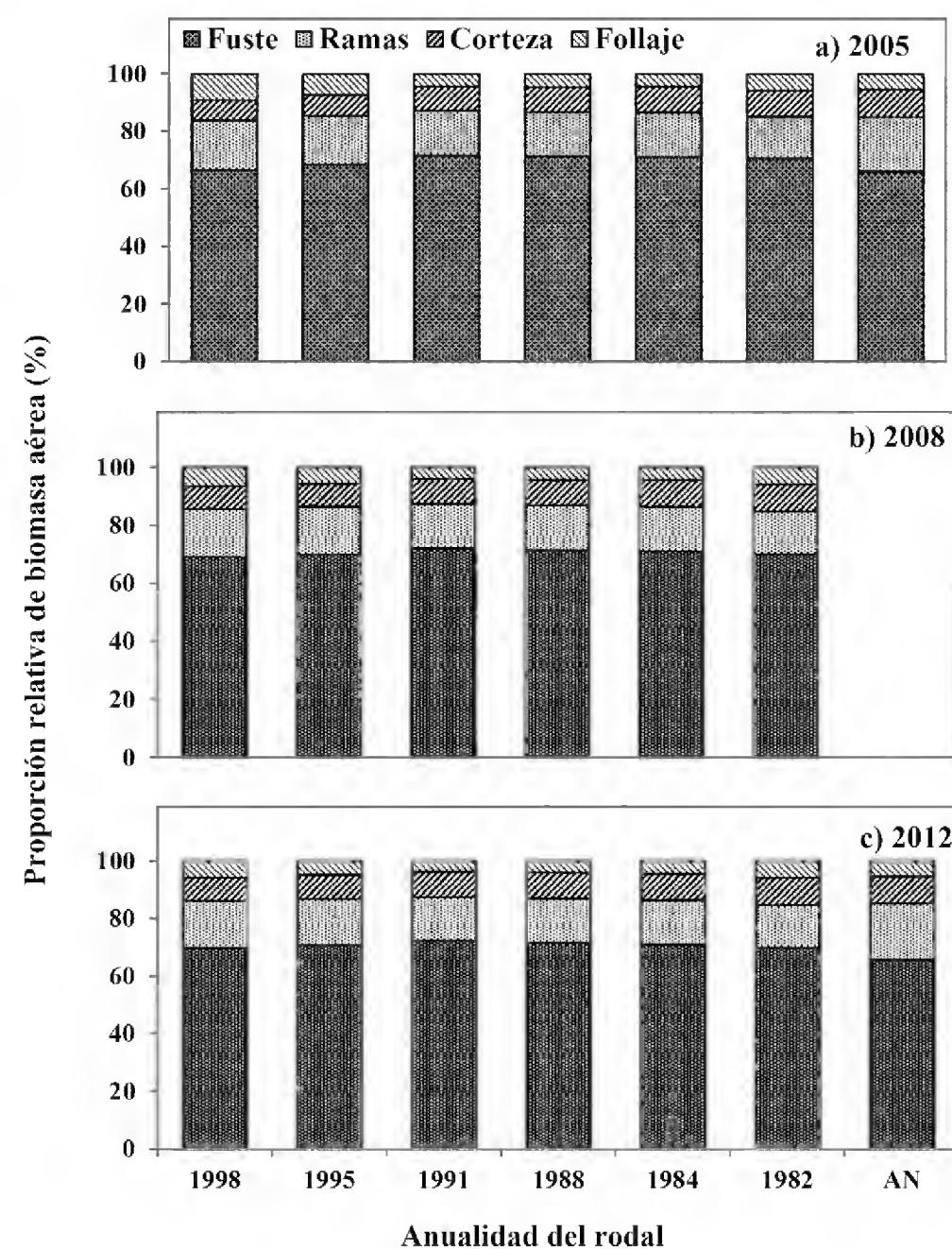


FIGURA 3. Distribución de biomasa aérea (%) por componente estructural en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtípán Hidalgo, en diferentes años de registro. AN es un área sin aprovechamiento forestal de aproximadamente 80 años de edad.

Tabla 4. Biomasa aérea (Mg ha⁻¹) por componente en rodales de diferente edad, durante un período de siete años (2005-2012), en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán Hidalgo.

Anualidad	Componente	2005	2008	2012
1998	Fuste	25.65	62.38	53.68
	Ramas	6.65	15.04	12.62
	Corteza	2.66	6.84	6.21
	Follaje	3.55	6.03	4.38
	Total*	38.50	90.30	76.88
1995	Fuste	23.71	53.88	76.79
	Ramas	5.88	12.61	17.37
	Corteza	2.54	6.06	8.90
	Follaje	2.50	4.34	5.30
	Total	34.63	76.89	108.37
1991	Fuste	42.49	61.82	.57
	Ramas	9.20	13.09	16.68
	Corteza	4.96	7.40	9.85
	Follaje	2.56	3.36	3.96
	Total	59.21	85.67	111.07
1988	Fuste	61.40	83.45	97.23
	Ramas	13.34	17.91	20.64
	Corteza	7.37	10.24	12.27
	Follaje	4.03	5.01	5.28
	Total	86.14	116.61	135.43
1984	Fuste	98.28	105.06	122.13
	Ramas	21.33	22.63	26.54
	Corteza	12.43	13.72	16.17
	Follaje	6.07	6.37	7.25
	Total	138.10	147.78	172.09
1982	Fuste	103.21	119.18	125.58
	Ramas	21.18	24.86	26.45
	Corteza	13.26	15.69	16.83
	Follaje	8.43	10.06	10.47
	Total	146.08	169.80	179.34
AN**	Fuste	127.55	***	146.96
	Ramas	36.78	.	43.39
	Corteza	18.35	.	20.98
	Follaje	10.39	.	11.65
	Total	193.06	.	222.98

* Biomasa aérea total estimada como la suma de la estimación por componente.

** AN = área sin aprovechamiento forestal de aproximadamente 80 años de edad.

*** Los puntos en las celdas indican que no se realizó medición en ese año.

rollo del rodal. En las últimas etapas de desarrollo evaluadas, representadas en los rodales de anualidad 1984 y 1982, el contenido de BA se mantuvo relativamente constante (21.33 Mg ha⁻¹ y 21.18 Mg ha⁻¹, respectivamente). Mientras que en el AN se observó mayor contenido de BA hacia este componente en comparación con el resto de los rodales (36.78 Mg ha⁻¹). En cuanto a la proporción relativa de BA asignada hacia ramas (Fig. 3) se observó que el mayor porcentaje fue obtenido en el rodal de anualidad 1998 con una asignación de 17% respecto a la BAT, disminuyendo hasta 14% en el rodal de anualidad 1982. De igual manera, el AN fue donde se encontró el mayor porcentaje de asignación de BA hacia ramas en comparación con el resto de los rodales, representando 19% de la BAT (Fig. 3).

Por su parte, el contenido de BA asignada hacia corteza aumentó con la edad y desarrollo del rodal. Sin embargo, las anualidades 1984 y 1982, se mantuvo relativamente constante (16.17 Mg ha⁻¹ y 16.83 Mg ha⁻¹, respectivamente; Tabla 4). Por su parte, el AN presentó mayor contenido de BA que el resto de los rodales. A pesar de ello, la proporción relativa en este componente fue similar en el AN y el rodal de anualidad 1984 y 1982, representando 9% respecto a la BAT (Fig. 3).

El follaje fue el componente estructural con menor contenido y asignación de BA en comparación con el resto de los componentes cuantificados en el presente estudio (Tabla 3). Este componente mostró una disminución con el desarrollo del rodal. Por ejemplo, en el rodal de anualidad 1998 se observó que el contenido de BA fue mayor que en el rodal de anualidad 1995 y 1991 (3.55 Mg ha⁻¹, 2.50 Mg ha⁻¹ y 2.56 Mg ha⁻¹, respectivamente; Tabla 3). El rodal de la anualidad 1998 representó 9% de la BAT asignada hacia hojas, mientras que el rodal de anualidad 1995 representó 7% (Fig. 3a). La proporción relativa de BA asignada hacia este componente, disminuyó en rodales de desarrollo intermedio, tal como ocurrió en el rodal de anualidad 1991 y 1988 que representaron 4% de la BAT (Fig. 3a). Respecto al AN la asignación de BA en hojas fue similar a la del rodal con mayor desarrollo (anualidad 1982), representando 5% de la BAT (Fig. 3).



DISCUSIÓN

La comparación entre rodales de diferente edad (obtenida a partir de la aplicación de la corta de repoblación) permitió observar tendencias coincidentes con los cambios esperados para el desarrollo estructural de los rodales. Pese a que no se dispuso de repeticiones para las edades, las diferencias entre rodales pueden interpretarse como consecuencia de la diferencia de edad en función de la similitud de las condiciones climáticas, edáficas y prácticas silviculturales. De esta forma, la BAT mostró una tendencia de aumento con la etapa de desarrollo del rodal, alcanzando 78% de biomasa contenida en el AN después de 30 años de aprovechamiento. Dicho porcentaje fue solo 22% menor que el observado en el AN (Fig. 2c) con aproximadamente 80 años de edad. Lo anterior sugiere que los tratamientos aplicados en los rodales intervenidos, como parte del plan de manejo establecido para el área de estudio, han cumplido con el objetivo de aumentar la producción de BAT. El aclareo, por ejemplo, es una corta intermedia que se aplica con mayor recurrencia a nivel regional y de acuerdo a la literatura es el segundo factor en importancia para controlar la estructura, la productividad, el tamaño de los árboles y la asignación de biomasa hacia los componentes estructurales de los árboles (Arias, 2004; Rodríguez-Ortíz *et al.*, 2012). De esta forma, el aclareo estimula el crecimiento en diámetro de los árboles y en menor medida en altura, a través del control de la densidad tanto como se requiera en cada rodal (Allen *et al.*, 2002; Velázquez *et al.*, 2004). Durante el período de estudio, se registró la aplicación de aclareos en dos años: 2009 y 2011 que, si bien es cierto que disminuyeron la densidad en los rodales de anualidad 1998 y 1988, los valores en el área basal (AB) sugieren que la productividad de los rodales y la asignación de BA hacia el fuste no se observó comprometida, ya que aumentó a través del desarrollo del rodal.

La mayor asignación de BA fue hacia fuste. Lo anterior es el reflejo del aumento de la producción maderable como resultado de la aplicación de aclareos, los cuales promovieron la redistribución del espacio de crecimiento entre los árboles remanentes (Rötzer, Dieler, Mette, Mos-

hammer y Pretzsch, 2010), tal y como era esperado bajo el contexto de la aplicación de esta práctica silvicultural. Al respecto, Rodríguez-Ortíz *et al.* (2011) encontraron que en un bosque de *P. patula* sometido a diferentes niveles de aclareos presentó aumentos significativos en la asignación de biomasa hacia el incremento en diámetro del fuste a cualquier nivel de aclareo, mientras que la eliminación de especies competidoras también estimularon el crecimiento de los árboles en altura. Por lo que además los aclareos permiten el alcance de las medidas comerciales adecuadas de los árboles en menor tiempo. De acuerdo con Velázquez *et al.* (2004), las medidas comerciales observadas para *P. patula* van de 10 m a 20 m de altura y de 25 cm a 50 cm de diámetro.

Así mismo, la asignación de BA hacia fuste varió a través del desarrollo de los rodales, lo cual está directamente relacionado con el crecimiento en altura y diámetro de los árboles y que de acuerdo con Oliver y Larson (1990) se presenta en etapas intermedias de desarrollo de un rodal y que da a lugar a un proceso de diferenciación de tamaño (diámetro y altura). Por ejemplo, en este estudio un rodal de 14 años después del aprovechamiento mostró 70% de asignación de BA en fuste, mientras que en el AN de aproximadamente 80 años fue de 66% (Fig. 3). Este comportamiento podría responder a que mayores requerimientos de carbohidratos son demandados en las primeras etapas de desarrollo de un bosque ya que el incremento de biomasa en el fuste da soporte y regula la conducción de nutrimentos y agua de las raíces hacia la parte aérea de los árboles (Ryan, Binkley y Fownes, 1997). Sin embargo, a medida que aumenta la etapa de desarrollo del rodal la productividad primaria neta y las tasas de acumulación de biomasa disminuyen debido al aumento en los procesos de respiración (Tateno *et al.*, 2009). De esta forma, desde un punto de vista funcional los aclareos podrían provocar un efecto similar al de fertilización (Smith *et al.*, 2000; Imbert, Blanco y Castillo, 2004) es decir, con la apertura del dosel disminuye la competencia entre especies y genera un aumento en la disponibilidad y recirculación de nutrimentos. El destino de estos nutrimentos podría ser hacia los diferentes componentes estructurales de los árboles

que dependerá de los sus requerimientos fisiológicos en cada etapa de desarrollo del rodal (Vitousek y Reiners, 1975; Imbert *et al.*, 2004).

Otro componente importante con relación a la producción maderable, es la formación de ramas. La asignación de biomasa hacia ramas disminuyó conforme aumentó la edad después del aprovechamiento del rodal (Fig. 3). Bajo el contexto de aprovechamiento forestal, esta condición resultó favorable para el desarrollo del bosque dado que menor cantidad de ramas será igual a menor presencia de nudos en fuste, lo que determinará una mejor calidad de la madera aprovechable. Aunque *P. patula* presenta buena poda natural (Velázquez *et al.*, 2004), en rodales con alta densidad la asignación de BA hacia ramas tendería a alterar su crecimiento, trayendo como consecuencia una disminución considerable en la altura comercial de los árboles. Por ello se recomienda que la producción de ramas sea controlada cuidadosamente durante el proceso de aprovechamiento. En este componente, la asignación de BA debe ser cuidadosamente comparable con la del AN, ya que en un área sin aprovechamiento dicha asignación podría estar influenciada por la composición y distribución de especies que difiere entre coníferas y latifoliadas (Villar *et al.*, 2004) y el crecimiento en uno y otro grupo de especies será distinto. Por ejemplo, especies latifoliadas presentan hábito de crecimiento simpódico, por lo tanto, la BA en ramas tiende a ser mayor que en coníferas. Este hecho justifica que en el AN la BA asignada hacia ramas fue mayor que la del resto de los rodales (Fig. 3a y c). Al respecto, Aquino-Ramírez *et al.* (2015) encontraron que en especies latifoliadas como *Cupania dentata*, *Alchornea latifolia* e *Inga punctata* en promedio la mayor cantidad de biomasa es obtenida en ramas (44% a 51%) y en segundo lugar la asignación fue hacia fuste, de 33% a 48% de la BAT.

Por su parte, el follaje que es un componente de gran importancia por ser la maquinaria fotosintética que controla directamente la productividad del ecosistema (Ryan *et al.*, 1997; Vose y Ryan, 1994; Van y Franklin, 2000; Pretzsch, 2014), representó 4% a 9% de la BAT. Estos porcentajes coincidieron con otras obser-

vaciones realizadas en la misma área de estudio (Figueroa *et al.*, 2010; Soriano-Luna *et al.*, 2015). De esta forma, la asignación de BA hacia este componente fue mayor en las primeras etapas de desarrollo de los rodales (anualidad 1998 y 1995) y se mantuvo constante en las etapas de mayor desarrollo (anualidad 1984 y 1982) incluyendo el AN. Estos resultados indicaron que, al igual que en ecosistemas sin aprovechamiento forestal, los rodales intervenidos en las primeras etapas de desarrollo la asignación de BA hacia follaje será mayor, dado que los árboles tienen mayor capacidad fisiológica para capturar y usar la energía solar, incrementando el área foliar, las tasas fotosintéticas (Ryan *et al.*, 1997) y la producción de biomasa. Lo anterior coincide con estudios realizados en diferentes especies forestales, donde se ha encontrado que la biomasa foliar, área foliar y la estructura de la copa son factores determinantes en el crecimiento y desarrollo de los árboles (Vose y Ryan, 1994; Van y Franklin, 2000; Yu, Chambers, Tang y Barnett, 2003; Pretzsch, 2014).

Durante el aprovechamiento forestal y la aplicación de tratamientos intermedios, generalmente se generan residuos forestales compuestos principalmente por follaje, ramas, ramillas, estructuras reproductivas, frutos, corteza, entre otros (Martínez, 2014). Mucho de este material es incorporado al suelo en su mayoría aún verde y se ha encontrado que puede ser de mayor calidad nutrimental que el senescente. Al respecto, Pérez-Suárez, Arredondo-Moreno, Huber-Sannwald y Vargas-Hernández, (2009) analizaron la calidad del mantillo en hojas senescentes y verdes en un bosque semiárido de Pino-Encino; encontraron que la contribución relativa de carbono, nitrógeno y fósforo por las hojas verdes a la entrada anual total fue de 10.8%, 12.6% y 9.4%, respectivamente. Además, la mayor calidad representa una reincorporación más rápida (Pérez-Suárez *et al.*, 2009) incrementando su participación en la dinámica de nutrientes del suelo de los rodales bajo aprovechamiento. Por ello, la biomasa que se incorpora al suelo a través del follaje verde, las ramas y la corteza puede representar un mecanismo importante en las entradas de nutrientes hacia el piso forestal.



El aporte del follaje al piso forestal puede constituir entre 60% y 75% del material senescente (Imbert *et al.*, 2004). En los bosques de *P. patula* el aporte es continuo, enriqueciendo significativamente el contenido de la materia orgánica, además de venir acompañado por otro tipo de especies, lo que definiría la cantidad de nutrientes transferidos al suelo y que estarán en función de la biomasa vegetal (Imbert *et al.*, 2004). Lo anterior sugiere la importancia de realizar futuras investigaciones sobre la estimación del aporte nutrimental del follaje senescente y verde en bosques bajo aprovechamiento forestal, lo que permitiría complementar el patrón de asignación de biomasa hacia este componente.

CONCLUSIONES

La producción de biomasa aérea total aumentó a lo largo de la cronosecuencia. Sin embargo, en las primeras etapas de desarrollo del rodal no se encontraron diferencias estadísticas entre las anualidades, sino a partir de 24 años después de la cosecha. Por su parte, el rodal de mayor desarrollo (anualidad 1982) después de 30 años de haber sido aplicada la corta de repoblación, presentó 78% de la BAT de la cuantificada en el área de referencia (AN). Por lo tanto, en términos de producción de biomasa, el aprovechamiento forestal de los bosques de *P. patula* bajo aprovechamiento podría alcanzar niveles de biomasa aérea similares a los de un área sin manejo en un menor tiempo.

El patrón de distribución de la biomasa aérea (BA) en los diferentes componentes estructurales de los árboles presentó un orden en donde la mayor asignación se registró en el fuste. La asignación de BA hacia este componente fue favorecido por la aplicación de cortas intermedias, como los aclareos. Mientras que la asignación de BA hacia ramas disminuyó a través del desarrollo de los rodales, lo cual aumentó la calidad de la madera como resultado del control de la densidad y eliminación de especies competidoras. Por su parte, la asignación de BA hacia follaje es determinante en las primeras etapas de desarrollo del rodal.

El conocimiento sobre el patrón de asignación de biomasa hacia los diversos componentes estructurales de los

árboles y su cuantificación es importante para entender la dinámica a lo largo del desarrollo estructural de los rodales bajo un régimen de aprovechamiento forestal. Esta información puede ser incorporada como base para el diseño de prácticas silviculturales en los programas de manejo forestal y contribuir sobre la evaluación de la sustentabilidad de los bosques. El manejo forestal se plantea como una alternativa para la mitigación del cambio climático a través de la fijación y almacenamiento de bióxido de carbono.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Programa de Paisajes Sustentables de la Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos de América, a través de la Oficina de Programas Internacionales del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura, y la Northern Research Station.

REFERENCIAS

- Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernández, J., Velázquez-Martínez, A. y Etchevers-Barra J.D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36, 725-736.
- Aguirre-Salado, C., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., De los Santos-Posadas, H., Haapanen, R. y Aguirre-Salado, A. I. (2009). Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43, 209-220.
- Allen, C. D., Savage, M., Falk, D. A., Suckling, K. F., Swetnam, T. W., Schulke, T., Stacey, P. B., Morgan, P., Hoffman, M. and Klingele, J. T. (2002). Ecological restoration of Southwestern ponderosa pine ecosystems: a broad perspective. *Ecological Applications*, 12 (5), 1418-1433.
- Ángeles-Pérez, G. (2009). El bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo. En A. I. Monterroso-Rivas (Ed.), *El bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo: perspectiva ecológica ante el cambio climático* (39-54). México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Castellanos-Bolaños, J. F., De los Santos-Posadas, H. y Etchevers-

- Barra, J. D. (2015). Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia*, 49, 299-314.
- Arias, A. D. (2004). Validación del índice de densidad del rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* L. f. en el trópico. *Kurú; Revista Forestal*, 1 (1), 1-7.
- Bazzaz, F. A. (1997). Allocation of resources in plants: state of the science and critical questions. En F. A. Bazzaz y J. Grace (Eds.), *Plant resource allocation* (1-37). Nueva York, EUA: Academic Press.
- Brandeis, T. J., Delaney, M., Parresol, B. R. y Royer, L. (2006). Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*, 233, 133-142.
- Castelán-Lorenzo, M. y Arteaga-Martínez, B. (2009). Establecimiento de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham. en cortas bajo el método de árboles padres. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15 (1), 49-57.
- Castillo, F. J., Imbert, J. B., Blanco, J. A., Traver, C. y Puertas, F. (2003). Gestión forestal sostenible de masas de pino silvestre en el Pirineo Navarro. *Ecosistemas* 3. Recuperado de: <http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion3.htm>
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernández, A., Lao, S. and Perez, R. (2004). Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359 (1443), 409-420.
- Díaz-Franco, R., Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Buendía-Rodríguez, E., Flores-Ayala, E. y Etchevers-Barra, J. D. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques*, 13 (1), 25-34.
- Durán, M. E., Mas, J. F. y Velázquez, A. (2007). Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. En: D. Bray, L. Merino y D. Barry (Eds.), *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales* (267-302). México D. F.: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat).
- Dvorak, W. S., Hodge, G. R., Kietzka, J. E., Malan, F., Osorio, L. F. and Stanger, T. K. (2000). *Pinus patula*. En CAMCORE Cooperative, Central America and Mexico Resources Cooperative. *Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative*. Raleigh, NC, EUA: Grow Graphics 2000.
- Escobar, E., Maass, M., Alcocer D., J., Azpra R., E., Falcón A., L. I., Gallegos G., A. García, F. J., García-Oliva, F., Jaramillo, V., Lecuanda C., R., Magaña, V., Martínez-Yrizar, A., Muhlia V., A., Rodríguez S., R. y Zavala-Hidalgo, J. (2008). *Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas*. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. México: Conabio.
- Figuerola N., C. M., Ángeles P., G., Velázquez M., A. y de los Santos P., H. M. (2010). Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltld. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1, 147-157.
- Galicia, L., Saynes, V. y Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 93 (3), 473-484.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen (5ª ed). Serie Libros. No. 6. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Gerez-Fernández, P. y Pineda-López, M. R. (2011). Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques*, 17 (3), 7-27.
- Gómez-Díaz, J. D., Etchevers-Barra, J. D., Monterrosos-Rivas, A. I., Campo-Alvez, J. y Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbonos en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17 (2), 261-272.
- Imbert, J. B., Blanco, J. A. y Castillo, F. J. (2004). Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. En F. Valladares (Ed). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (479-506). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid: EGRAF, S. A.
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D. W., Minkinen, K. y Byrne, K.



- A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137, 253-268.
- Law, B. E., Sun, O. J., Campell, J., Van Tuyl, S. y Thornton, P. E. (2003). Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. *Global Change Biology*, 9, 510-524.
- León, J. D., González, M. I. y Gallardo, J. F. (2011). Ciclos biogeoquímicos en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Revista de Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology and Conservation)*, 59 (4), 1883-1894.
- Martínez C., B. E. (2014). *Descomposición de la fracción foliar de Pinus patula Schltdl. & Cham. y dinámica de la producción de hojarasca en un bosque manejado en el estado de Hidalgo*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Postgrado Forestal. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R. y Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/235639682>
- Morales-González, E., López-Upton, J. Vargas-Hernández, J. J. Ramírez-Herrera, C. y Muñoz, A. G. (2013). Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (2), 155-162.
- Oliver, C. D. y Larson, B. C. (1990). *Forest and stand dynamics*. Nueva York, EUA: Mac Graw-Hill.
- Patiño, V. F. y Kageyama, P. Y. (1992). *Pinus patula* Schiede & Deppe. Seedleaflet. No. 8A. Humlebaek. Dinamarca: Danida Forest Seed Centre.
- Pérez-Suárez, M., Arredondo-Moreno, J. T., Huber-Sannwald, E. and Vargas-Hernández, J. J. (2009). Production and quality of senesced and green litterfall in a pine-oak forest in central-northwest Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258, 1307-1315.
- Pérez, C., Frangi, J., Goya, J., Luy, A. y Arturi, M. (2013). Contenido de nutrientes en las raíces finas y el mantillo de rodales de *Eucalyptus grandis* de diferente edad en la Mesopotamia Argentina. *Bosque*, 34 (3), 303-310.
- Pompa-García, M. y Yerena-Yamalliel, J. I. (2014). Concentración de carbono en *Pinus cembroides* Zucc: fuente potencial de mitigación del calentamiento global. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20 (3), 169-175.
- Ponce-Vargas, A., Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O. y Ruiz-Jiménez, C. A. (2006). Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77, 177-190.
- Porter-Bolland, L., Ellis, E. A., Guariguata, M. R., Ruiz-Mallén, I., Negrete-Yankelevich, S. and Reyes-García, V. (2012). Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. *Forest Ecology and Management*, 268, 6-17.
- Pretzsch, H. (2014). Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. *Forest Ecology and Management*, 327, 251-264.
- Rodríguez-Ortíz, G., Aldrete, A. González-Hernández, V. A., de los Santos-Posadas, H. M., Gómez-Guerrero, A. y Fierros-González, A. M. (2011). ¿Afecta los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*?. *Agrociencia*, 45, 719-732.
- Rodríguez-Ortíz, G., de los Santos-Posadas, H. M., González-Hernández, V. A., Aldrete, A., Gómez-Guerrero, A. y Fierros-González, A. M. (2012). Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques*, 18 (1), 25-41.
- Rötzer, T., Dieler, J., Mette, T., Moshhammer, R. y Pretzsch, H. (2010). Productivity and carbon dynamics in managed Central European forests depending on site conditions and thinning regimes. *Forestry*, 83 (5), 483-496.
- Ryan, M. G., Binkley, D. y Fownes, J. H. (1997). Age-related decline in Forest Productivity: Pattern and Process. *Advances in Ecological Research*, 27, 214-262.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la Flora Vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botanica Mexicana*, 35, 25-44.
- SAS Institute Inc. (2009). *SAS® Web Report Studio 4.2; User's Guide*, Cary, NC; SAS Institute Inc. 5136 p.
- Smith, C. T., Lowe, A. T., Skinner, M. F., Beets, P. N., Schoenholz, S. H. y Fang, S. (2000). Response of radiata pine forests to residue management and fertilization across a

- fertility gradient in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 138, 203-223.
- Servicio Meteorológico Nacional. (2014). Normas Climatológicas. Dirección General de Geografía y Meteorología. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. Consulta personal en abril 2014.
- Soriano-Luna, M. A., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O. y Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49, 423-438.
- Tateno, R., Fukushima, K., Fujimaki, R., Shimamura, T., Ohgi, M., Arai, H., Ohte, N., Tokuchi, N. and Yoshioka, T. (2009). Biomass allocation and nitrogen limitation in a *Cryptomeria japonica* plantation chronosequence. *Journal of Forest Research*, 14, 276-285.
- Torres-Rojo, J. M., Moreno-Sánchez, R. y Mendoza-Briseño, M. A. (2016). Sustainable forest management in Mexico. *Current Forestry Reports*, 2 (2), 93-105.
- Van, P. R., y Franklin, J. F. (2000). Influence of canopy structure on the understory environment in tall, old-growth, conifer forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 1231-1245.
- Vásquez, A. y Arellano, H. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdoba. *arXiv:1208.0248*. Recuperado de: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf>
- Velázquez, M. A., Ángeles P., G., Llanderal O., T., Román J., A. R. y Reyes, H. V. (2004). Monografía de *Pinus patula*. México: Comisión Nacional Forestal.
- Villar, R., Ruíz R., J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F. y Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente (191-227). Madrid: EGRAF, S. A.
- Vitousek, P. M. y Reiners, W. A. (1975). Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. *BioScience*, 25 (6), 376-381.
- Von Gadow, J. M., Sánchez O., S. y Aguirre C., O. A. (2004). Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques*, 10 (2), 3-16.
- Vose, J. M. y Ryan, M. G. (1994). Seasonal respiration of foliage, fine roots, and woody tissues in relation to growth, tissue N, and photosynthesis. *Global Change Biology*, 8, 182-193.
- Yu, S., Chambers, J. L., Tang, Z. y Barnett, J. P. (2003). Crown characteristics of juvenile loblolly pine 6 years after application of thinning and fertilization. *Forest Ecology and Management*, 180, 145-152.

Manuscrito recibido el 27 de octubre de 2014.
Aceptado el 8 de octubre de 2016.

Este documento se debe citar como:
Chávez-Aguilar, G., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Suárez, M., López-López, M. A., García-Moya, E. y Wayson, C. (2016). Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Madera y Bosques*, 22 (3), 23-36.



Diversidad, composición florística y estructura en el Chaco Serrano, Argentina

Diversity, floristic composition and structure in the Chaco Serrano, Argentina

Patricia Hernández¹* y Ana María Giménez²

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. C.e.: amig@unse.edu.ar.

*Autor de correspondencia. phernandez@unse.edu.ar

RESUMEN

Es esencial evaluar la biodiversidad forestal para conservar eficazmente y ordenar de forma sostenible los recursos forestales. Las políticas recientes en torno a la biodiversidad no responden solamente a la pérdida de especies biológicas sino también a su importante papel en el equilibrio ecológico del planeta. El objetivo del presente trabajo fue analizar la diversidad estructural y composición florística de un bosque del Chaco Serrano, en 16 parcelas con diseño de muestreo sistemático según dos niveles de altura y cuatro transectas principales. Se relevaron en los estratos arbóreo y arbustivo las variables especie, número de individuos y altura total. Se analizaron patrón de distribución horizontal y estructura vertical; se calcularon índices fitosociológicos, de diversidad y de importancia leñoso (IVIL) para determinar importancia ecológica de las especies por estrato. El bosque estudiado se encontró como una masa heterogénea en referencia a su composición florística. En el gradiente altitudinal no presentó diferencias significativas en cuanto a la diversidad florística, en el latitudinal sí. Al estrato arbustivo correspondieron 70% de las especies, el IVIL mostró mayores valores para tres arbustos: *Acacia praecox*, *Ruprechtia apetala*, *Ruprechtia triflora*, seguidos por una especie arbórea: *Caesalpinia paraguarensis*. Los datos se ajustaron al modelo serie normal logarítmica que caracteriza comunidades grandes, estables, en equilibrio y se encuentran en un estadio sucesional intermedio.

PALABRAS CLAVE: biodiversidad, dinámica de bosques, sucesión forestal.

ABSTRACT

To effectively conserve and sustainably manage forest resources, it is essential to assess forest biodiversity. Recent policies on biodiversity do not only respond to the loss of biological species but also to its role in the ecological balance of the planet. The objective of this study was to analyze the structural diversity and floristic composition of a forest in Chaco Serrano. Forest biodiversity was analyzed in 16 plots in systematic sampling design in two height levels and four main transects. In tree and shrub strata, number of individuals and total height were monitored. Horizontal distribution patterns and vertical structure were analyzed; indexes of importance, of diversity and phyto-sociological were calculated in order to determinate the ecological importance of each strata. The studied forest is a homogeneous mass in reference to its floristic composition. In the altitudinal gradient, the studied forest did not show significant differences, however in latitudinal one did. Seventy percent of species corresponded to the shrub strata; the index of importance woody (IVIL) showed the highest values for three shrubs: *Acacia praecox*, *Ruprechtia apetala* and *Ruprechtia triflora*; followed by an arboreal species: *Caesalpinia paraguarensis*. The data series were fitted to the lognormal model, which characterizes large, stable, and in equilibrium communities, in an intermediate successional stage.

KEYWORDS: biodiversity, forest dynamics, forest succession.

INTRODUCCIÓN

Es esencial evaluar la biodiversidad forestal para conservar eficazmente y ordenar de forma sostenible los recursos forestales (Newton y Kapos, 2003). Durante las últimas

décadas es notable el creciente interés por la conservación de la diversidad biológica como uno de los objetivos de la gestión forestal, puesto que los bosques son los ecosistemas de mayor diversidad. Las evaluaciones de biodiversi-

dad son necesarias para conseguir información en la que sustentar el proceso de adopción de decisiones relativas a su conservación en la política y la gestión forestal. Sin embargo, la evaluación de la biodiversidad forestal presenta una serie de problemas: en primer lugar, la complejidad de la biodiversidad obliga a recoger y expresar la información al respecto sobre la base de variables simplificadas, normalmente en la forma de indicadores; y en segundo término, habida cuenta que las decisiones relativas a los bosques se adoptan a diferentes niveles, los datos e indicadores sobre la biodiversidad deben ser agregados en los diferentes niveles a efectos de la tarea de supervisión y notificación (Noss, 1990).

La relevancia del análisis de estructura y composición florística es que su estudio permite comprender el estado ecológico y necesidades de manejo de un bosque para promover procesos y funciones naturales del ecosistema y mantener la diversidad, por tales motivos las características florísticas y estructurales revisten una importancia en la planificación del manejo y conservación de los recursos forestales (Méndez y Saenz, 1986).

En los bosques secos del Gran Chaco, el deterioro de los recursos naturales y de las condiciones de vida de la población, sugiere que la interacción bosque-ganadería y la economía ecológica del sistema son poco entendidas o no se las toma adecuadamente en cuenta (Prado, Biani y Vesprini, 2006). A este factor se le agrega que esta región es una de las pocas áreas del mundo en que la transición de los trópicos a las zonas templadas no consiste en un desierto sino en bosques semiáridos y sabanas (Morello, 1967; Morello y Adámoli, 1968), por lo que la evaluación de la biodiversidad y su conservación es un tema prioritario.

La composición florística de los bosques del Chaco Serrano, cambia con la latitud y la altitud a escala regional (Cabrera, 1976), así como con las características edáficas y la historia de disturbio a escala local. Esto determina que el sistema sea altamente heterogéneo y que haya variaciones importantes en la composición de especies en distancias muy cortas (Cabido, Carranza, Acosta y Páez, 1991; Suárez y Vischi, 1997; Cantero *et al.*, 2001; Gurvich, Enrico y Cingolani, 2005).

Estos estudios son la base para la elaboración de estrategias de conservación o restauración de los ecosistemas boscosos. Rykowski (2002) afirma que estas deben ser parte de un sistema general de protección de la naturaleza, que constituye un proceso continuo en la relación entre la población y la naturaleza.

Giménez, Hernández, Figueroa y Barrionuevo (2011) afirman que es imprescindible intensificar los estudios referidos a la diversidad de bosques en Argentina y en especial en los bosques de la ecorregión del Chaco, al mismo tiempo, mencionan a Adámoli *et al.* (1990) y Tálamo y Cazziani (2002), quienes afirman que el proceso acelerado de degradación es evidente en el reemplazo de la fisonomía boscosa original por arbustales con bajo potencial de uso.

OBJETIVOS

Analizar la diversidad estructural y composición florística de un bosque del Chaco Serrano, a través de tres objetivos específicos: a) definir la composición florística del bosque chaqueño serrano, b) interpretar su patrón de distribución espacial y estructura vertical y c) analizar la biodiversidad alfa con índices paramétricos y no paramétricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en un bosque del Chaco Serrano de la provincia de Santiago del Estero, en Argentina, donde existen serranías localizadas en el Oeste, pertenecientes a la bajada de las Sierras Subandinas y, en la zona Sur, las que corresponden al extremo Norte de las Sierras Pampeanas. El Chaco Serrano representa 10% del Gran Chaco, un gran ecosistema que se extiende por aproximadamente 620 000 km². En esta subregión las precipitaciones varían entre 450 mm y 900 mm anuales, con temperaturas máximas absolutas que alcanzan los 50 °C en verano y temperaturas medias anuales de 22 °C, según lo mencionan Giménez y Moglia (2003). Su altitud no supera los 1800 m snm y está conformada por serranías y valles donde el pie de monte es una zona de transición de las últimas estribaciones de las serranías hacia la llanura chaqueña y tienen una gran afinidad florística con los sec-



tores más áridos de las ecorregiones de las Yungas y el Monte. La provincia de Santiago del Estero, posee tres zonas serranas: Sierras de Guasayán, Sierras de Sumampa y Ambargasta y Cerro Remate; en esta última zona se llevó a cabo el presente estudio (Fig. 1).

Cerro Remate se localiza en la zona con bosques de protección, por lo tanto pertenece a la Categoría I del Ordenamiento Territorial según Ley Provincial 6841/ 06. Las coordenadas geográficas del punto central del área de estudio son: 26° 11.538' S y 64° 27.585' O.

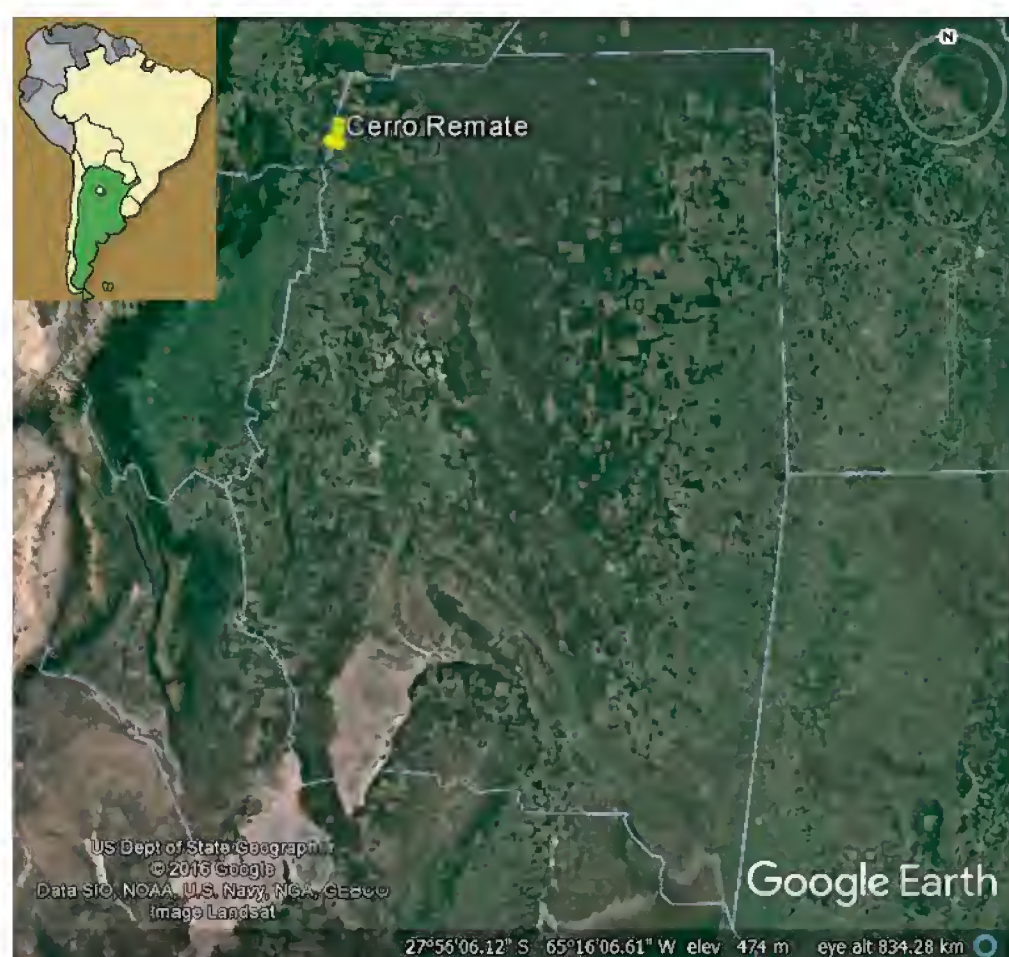


FIGURA 1. Mapa de ubicación de Cerro Remate, en la provincia de Santiago del Estero (Argentina).

La composición florística de las especies leñosas, árboles y arbustos, se determinó con base en recorridos por el área de estudio (2500 ha), los individuos se clasificaron a nivel de especie siguiendo la nomenclatura propuesta por Zuloaga y Morrone (2008). Para la caracterización del hábito se siguió la clasificación sugerida por Roic y Villaverde (2007).

El muestreo sistemático se realizó con 16 parcelas rectangulares de 10 m x 100 m distribuidas sobre 4 tran-

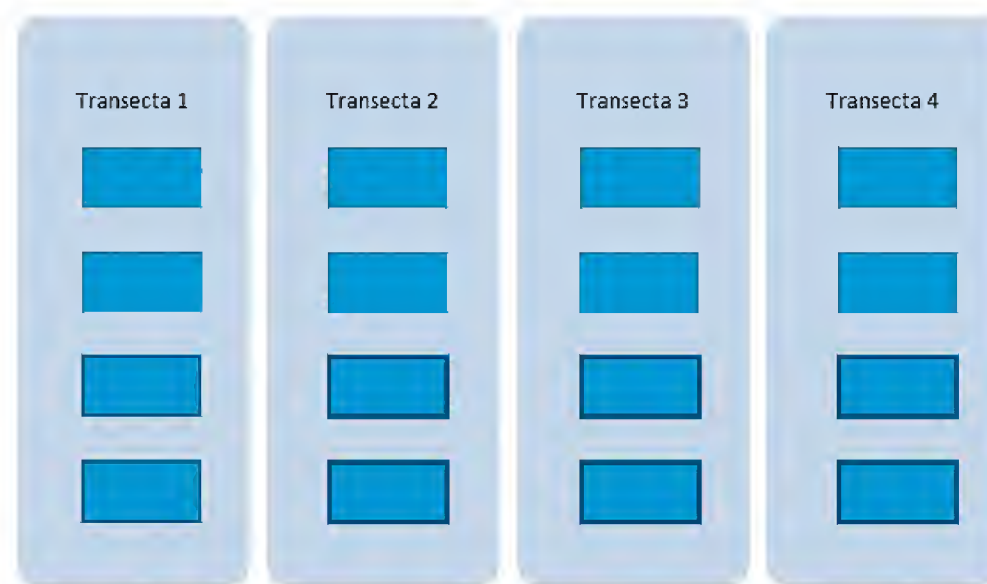


FIGURA 2. Distribución de las parcelas en transectas.

sectas distantes 1000 m entre sí (Fig. 2), la superficie total muestreada fue de 1.6 ha.

En cada parcela se registró el número de individuos por especie y se midió diámetro a 1.30 m con cinta diamétrica y altura total con Hipsómetro Blume Leiss. Con base en estas variables, se analizaron: estructura horizontal, estructura vertical y diversidad, mediante métodos paramétricos y no paramétricos.

Para la comprobación del tamaño de muestra se elaboraron curvas de acumulación de especies. Las curvas de especies por área han sido uno de los más antiguos y relevantes paradigmas en ecología y conservación (Mac Arthur y Wilson, 1967; Harte, Kingzig y Green, 1999; Harte, Smith y Storch, 2009, Borda-de-Água, Hubbell y McAllister, 2002), se asume que una vez que se alcanza una asíntota en el número de especies, el tamaño de muestra correspondiente es el área mínima de muestreo, que contiene una muestra representativa de la comunidad (Rosenzweig, 1995).

El patrón de distribución horizontal se analizó con base en la frecuencia y densidad de especies. La frecuencia mide la regularidad de la distribución horizontal de cada especie sobre el terreno, para determinarla se controla presencia o ausencia de las especies en cada parcela. La densidad es el número de individuos pertenecientes a una determinada especie referidos a una hectárea. La estructura del bosque se analiza mediante el Índice de Valor de Importancia Leñoso (IVIL) el cual se conformó para

ambos estratos: arbóreo y arbustivo, a fin de tener una visión más integrada del contexto ecológico de las especies. Este índice es una adaptación del Índice de Valor de Importancia (IVI) propuesto por Finol (1971) para analizar el estrato arbóreo, el cual se calcula con los valores de densidad, frecuencia y dominancia. El Índice de Valor de Importancia Leñoso (IVIL) se construye analizando el patrón de distribución horizontal mediante el Valor de Cobertura (VC). Este, a su vez, se obtiene con la sumatoria de frecuencia y densidad y los resultados de posición sociológica para ambos estratos de vegetación. Este índice se aplica para cada estrato (arbóreo y arbustivo) por separado y el resultado final se obtiene mediante la sumatoria de ambos valores.

La estructura vertical se analizó por niveles de altura en ambos estratos de vegetación. Se empleó para ello el índice de posición sociológica, el cual es una expresión de la expansión vertical de las especies (Ec. 1). Este índice informa sobre la composición florística de los distintos substratos dentro del estrato arbóreo y sobre el papel que juegan las diferentes especies en cada uno de ellos (Hosokawa, 1986). Para su cálculo, se necesita el Valor Fitosociológico del substrato (VF) que se obtiene con $VF = (n/N) * 100$; donde n = número de individuos del substrato y N = número total de individuos.

$$PSa = VF(i) * n(i) + VF(m) * n(m) + VF(s) * n(s) \quad (1)$$

Donde:

PSa : Posición sociológica absoluta;

VF : Valor fitosociológico del substrato;

n : número de individuos de cada especie;

i : substrato inferior;

m : substrato medio;

s : substrato superior

En la evaluación de la diversidad alfa se emplearon los índices de densidad de especies, Margalef y Menhnick; los índices basados en la abundancia relativa de especies Shannon Wiener, Simpson, Equitatividad y Berger-Parker; y los modelos de abundancia serie geométrica,

serie logarítmica, serie normal logarítmica y vara quebrada (Moreno, 2001; Magurran, 1989).

La importancia de aplicar estos índices reside en el hecho de que los índices de dominancia tienen en cuenta las especies que están mejor representadas o que dominan sin tener en cuenta las demás como el Índice de Simpson. Los índices de equidad tienen en cuenta la abundancia de cada especie y que tan uniformemente se encuentran distribuidas (Moreno, 2001).

En cuanto a los modelos de abundancia, estos son modelos matemáticos que describen de forma gráfica la relación entre la abundancia y las especies ordenadas de la más a la menos abundante, corresponden a las gráficas conocidas como de diversidad-dominancia (Magurran, 1989). Se emplea el PAST 3.05, el cual es un *software* libre para el análisis de datos científicos, con funciones de manipulación de datos, el trazado, estadísticas univariantes y multivariantes, análisis ecológico, series de tiempo y análisis espacial, morfometría y estratigrafía.

RESULTADOS

En el censo de especies leñosas realizado en toda el área de estudio fueron identificadas 63 especies leñosas agrupadas en 44 géneros y 23 familias taxonómicas. Las familias con mayor número de géneros presentes son Fabaceae (25.4%), Solanaceae (7.0%) y Anacardiaceae (6.4%) (Tabla 1).

Del total de las especies leñosas identificadas, 30% se definen como árboles; el restante 70% son arbustos o arbolitos, aproximadamente 19% se presentan en ambas formas. Es importante destacar el alto porcentaje de especies de bajo porte, es decir arbustos y arbolitos, que existe en el área de estudio.

La curva de acumulación de especies para el estrato arbóreo (Fig. 3a) se estabiliza a partir de la parcela número 12, lo cual indica que el tamaño de muestra es suficiente. En tanto que en el estrato arbustivo la curva de acumulación de especies (Fig. 3b) se estabiliza a partir de las 10 parcelas, por lo tanto se infiere que el número de parcelas de la muestra es suficiente.

TABLA 1. Listado de especies leñosas censadas en el área de estudio.

N°	Nombre científico	Familia	Hábito
1	<i>Acacia aroma</i>	Fabaceae	Arbolito
2	<i>Acacia furcatispina</i>	Fabaceae	Arbusto o Arbolito
3	<i>Acacia praecox</i>	Fabaceae	Arbusto o Arbolito
4	<i>Acanthosyris falcata</i>	Santalaceae	Árbol
5	<i>Achatocarpus praecox</i>	Achatocarpaceae	Arbusto
6	<i>Allenrolfea patagónica</i>	Chenopodiaceae	Arbusto
7	<i>Allenrolfea vaginata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto
8	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	Apocynaceae	Árbol
9	<i>Boungainvillea campanulata</i>	Nictaginaceae	Arbusto o Arbolito
10	<i>Bulnesia bonariensis</i>	Zygophyllaceae	Arbusto o arbolito
11	<i>Bulnesia foliosa</i>	Zygophyllaceae	Arbusto
12	<i>Caesalpinia paraguarensis</i>	Fabaceae	Árbol
13	<i>Capparis atamisquea</i>	Capparaceae	Arbusto
14	<i>Capparis retusa</i>	Capparaceae	Arbusto
15	<i>Capparis salicifolia</i>	Capparaceae	Arbusto
16	<i>Capparis speciosa</i>	Capparaceae	Arbusto
17	<i>Capparis tweediana</i>	Capparaceae	Arbusto
18	<i>Capsicum chacoense</i>	Solanaceae	Arbusto
19	<i>Castella coccinea</i>	Simarubaceae	Arbusto o Arbolito
20	<i>Ceiba insignis</i>	Bombaceae	Árbol
21	<i>Celtis pallida</i>	Celtidaceae	Arbusto
22	<i>Celtis tala</i>	Celtidaceae	Árbol
23	<i>Cercidium praecox</i>	Fabaceae	Árbol
24	<i>Cestrum parqui</i>	Solanaceae	Arbusto
25	<i>Cnidoscolus vitifolius</i> var. <i>cnicodendron</i>	Euphorbiaceae	Arbusto
26	<i>Coccoloba cordata</i>	Polygonaceae	Arbusto o Arbolito
27	<i>Condalia microphylla</i>	Rhamnaceae	Arbusto
28	<i>Cyclolepis genistoides</i>	Asteraceae	Arbusto
29	<i>Geoffroea decorticans</i>	Fabaceae	Árbol
30	<i>Gochnatia palosanto</i>	Asteraceae	Arbusto
31	<i>Grabowskia duplicata</i>	Solanaceae	Arbusto
32	<i>Jatropha hieronymi</i>	Euphorbiaceae	Arbusto o Arbolito
33	<i>Jatropha macrocarpa</i>	Euphorbiaceae	Arbusto o Arbolito
34	<i>Jodina rhombifolia</i>	Santalaceae	Árbol
35	<i>Lippia turbinata</i>	Verbenaceae	Arbusto

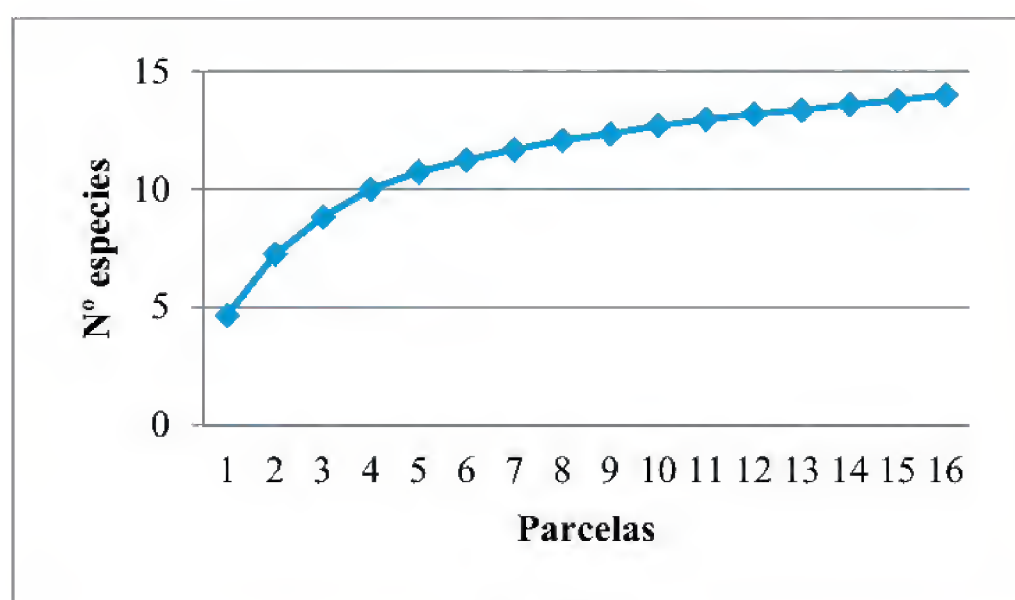
TABLA 1. Listado de especies leñosas censadas en el área de estudio. Continuación...

Nº	Nombre científico	Familia	Hábito
36	<i>Loxopterygium grisebachii</i>	Anacardiaceae	Árbol
37	<i>Lycium cestroides</i>	Solanaceae	Arbusto
38	<i>Maytenus vitis-idaea</i>	Celastraceae	Arbusto o Arbolito
39	<i>Mimosa detinens</i>	Fabaceae	Arbusto
40	<i>Mimozyganthus carinatus</i>	Fabaceae	Arbusto
41	<i>Nicotiana glauca</i>	Solanaceae	Arbusto o Arbolito
42	<i>Phyllostylon rhamnoides</i>	Ulmaceae	Árbol
43	<i>Porlieria microphylla</i>	Zygophyllaceae	Arbusto
44	<i>Prosopis alba</i>	Fabaceae	Árbol
45	<i>Prosopis elata</i>	Fabaceae	Arbolito
46	<i>Prosopis nigra</i>	Fabaceae	Árbol
47	<i>Prosopis ruscifolia</i>	Fabaceae	Árbol
48	<i>Prosopis sericantha</i>	Fabaceae	Arbusto
49	<i>Prosopis torquata</i>	Fabaceae	Arbolito
50	<i>Prosopis vinalillo</i>	Fabaceae	Arbusto o arbolito
51	<i>Ruprechtia apetala</i>	Polygonaceae	Arbusto o arbolito
52	<i>Ruprechtia laxiflora</i>	Polygonaceae	Árbol
53	<i>Ruprechtia triflora</i>	Polygonaceae	Arbusto o Arbolito
54	<i>Schinopsis lorentzii</i>	Anacardiaceae	Árbol
55	<i>Schinopsis marginata</i>	Anacardiaceae	Árbol
56	<i>Schinus bumeloides</i>	Anacardiaceae	Arbusto o Arbolito
57	<i>Sesbania virgata</i>	Fabaceae	Arbusto
58	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	Sapotaceae	Árbol
59	<i>Tabebuia nodosa</i>	Bignoniaceae	Árbol
60	<i>Tecoma stans</i>	Bignoniaceae	Arbusto
61	<i>Vallesia glabra</i>	Apocynaceae	Arbusto o Arbolito
62	<i>Ximenia americana</i>	Olcaceae	Arbolito
63	<i>Ziziphus mistol</i>	Rhamnaceae	Árbol

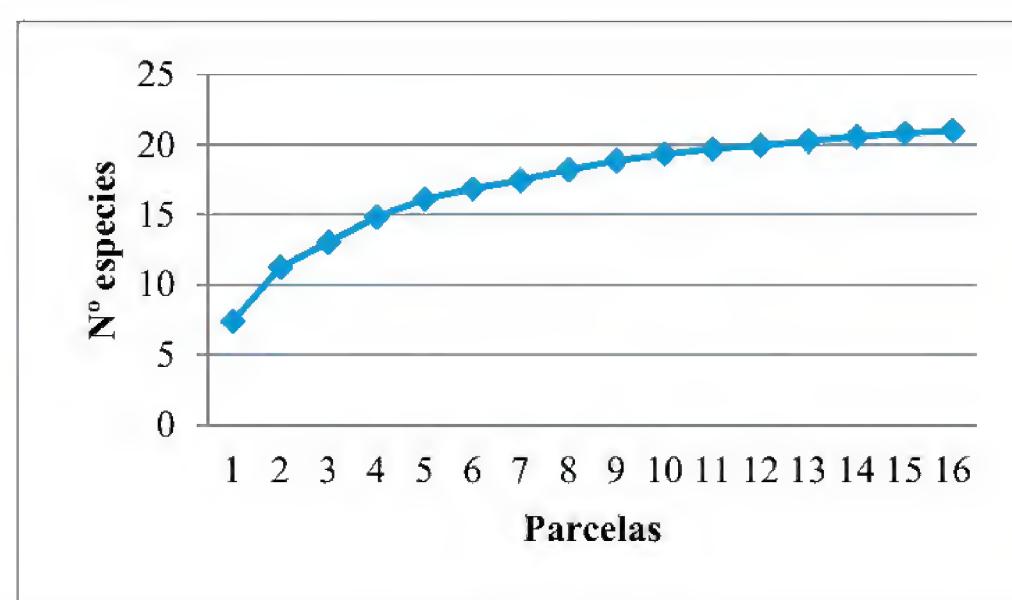
Los resultados del análisis de las especies localizadas en el muestreo, en cuanto a su estructura horizontal, como densidad y frecuencia, se muestran en la tabla 2. La especie más frecuente es *Caesalpinia paraguarensis* aunque no es abundante ($Dr = 0.81$), en segundo y tercer lugar se

posicionan *Ruprechtia apétala* y *Ruprechtia triflora*, que además tienen alta densidad ($Dr = 15.87$ y $Dr = 12.82$ respectivamente)

En el análisis de la estructura vertical se aplica el índice posición sociológica para el estrato arbóreo y



3a



3b

FIGURA 3. Curva de acumulación de especies para los estratos arbóreo (a) y arbustivo (b).

arbustivo (Tabla 2) y se define la relación de alturas totales para todos los individuos de ambos estratos, la cual ajusta a una regresión exponencial con $R^2 = 0.99$. En el estrato arbóreo el intervalo de alturas totales se encuentra entre un mínimo de 3.77 m y un máximo de 16 m; mientras que el límite superior del estrato arbustivo es de 9 m.

En la figura 4, los datos por debajo del límite inferior del estrato arbustivo pertenecen a los individuos de la regeneración de especies arbóreas.

El IVIL expresa la importancia ecológica de las especies, la mayor jerarquía es para tres arbustivas dominantes

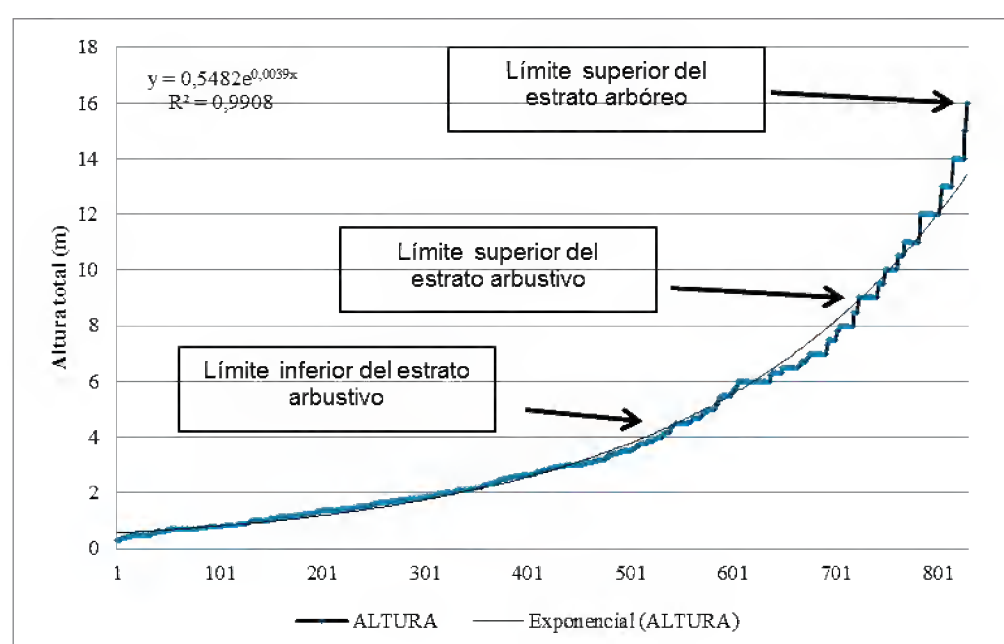


Figura 4. Alturas totales de las especies de los estratos arbóreo y arbustivo.

y colonizadoras: *Acacia praecox*, *Ruprechtia apétala* y *Ruprechtia triflora*; seguidas por las arbóreas propias del Chaco Serrano: *Caesalpinia paraguarensis* y *Schinopsis marginata*.

Los índices de abundancia proporcional se muestran en la tabla 3, calculados con datos de las especies arbóreas y arbustivas. Se observa que el índice de Shannon alcanza un valor de 2.65, como resultado del análisis de las 35 especies arbóreas y arbustivas incluidas en el muestreo. La riqueza de especies revelada por el índice de Margalef asciende a un valor de 4.2.

Los índices de equitatividad (J) y simpson (1-D) se mantienen cercanos a 1, lo cual indica que se conserva la diversidad y no hay dominancia de las especies, ya que ambos índices pueden tomar valores en un rango de 0 a 1. Este resultado se refuerza con el bajo valor obtenido para Berger-Parker, el cual también toma valores entre 0 y 1 (Tabla 3).

Luego se probaron los cuatro modelos de abundancia propuestos por Magurran (1989), obteniéndose las probabilidades de ajuste para cada uno de ellos. Estas probabilidades de ajuste se exponen en la tabla 4.

La probabilidad más alta se da para la serie normal logarítmica, por lo tanto se infiere que es la que tiene mayor ajuste a los datos analizados (Fig. 5)

Moreno (2001) explica que para el ajuste de este modelo (Fig. 5) las especies se agrupan en clases en fun-

TABLA 2. Frecuencia absoluta (Fa) y relativa (Fr); densidad absoluta (Da) y relativa (Dr), valor de cobertura (VC); posición sociológica relativa (PSr); índice de valor de importancia leñoso.

Especie	Hábito	Fa	Fr	Da	Dr	VC	PSr	IVIL	IVIL%
<i>Acacia praecox</i>	Arbusto	1.00	6.28	630.21	19.40	25.68	40.33	66.01	16.50
<i>Ruprechtia apetala</i>	Arbusto	1.08	6.81	515.63	15.87	22.68	26.04	48.72	12.18
<i>Ruprechtia triflora</i>	Arbusto	1.08	6.81	416.67	12.82	19.63	13.68	33.31	8.33
<i>Caesalpinia paraguarensis</i>	Árbol	1.17	7.33	26.25	0.81	8.14	20.52	28.66	7.16
<i>Schinopsis marginata</i>	Árbol	0.75	4.71	30.63	0.94	5.65	18.38	24.03	6.01
<i>Capparis retusa</i>	Arbusto	0.92	5.76	291.67	8.98	14.74	7.08	21.82	5.45
<i>Phyllostylon rhamnoides</i>	Árbol	0.42	2.62	16.88	0.52	3.14	12.74	15.88	3.97
<i>Ziziphus mistol</i>	Árbol	0.75	4.71	13.75	0.42	5.14	10.15	15.28	3.82
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	Árbol	0.67	4.19	16.88	0.52	4.71	10.15	14.85	3.71
<i>Capparis twediana</i>	Arbusto	0.83	5.24	197.92	6.09	11.33	2.73	14.05	3.51
<i>Achatocarpus praecox</i>	Arbusto	0.67	4.19	187.50	5.77	9.96	2.72	12.68	3.17
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	Árbol	0.50	3.14	9.38	0.29	3.43	7.55	10.98	2.75
<i>Bulnesia bonariensis</i>	Arbusto	0.67	4.19	140.63	4.33	8.52	1.45	9.96	2.49
<i>Schinopsis lorentzii</i>	Árbol	0.50	3.14	10.63	0.33	3.47	5.41	8.88	2.22
<i>Gochnatia palosanto</i>	Arbusto	0.33	2.09	151.04	4.65	6.74	2.07	8.82	2.20
<i>Porliera microphylla</i>	Arbusto	0.42	2.62	135.42	4.17	6.79	1.62	8.41	2.10
<i>Ceiba insignis</i>	Árbol	0.50	3.14	4.38	0.13	3.28	3.38	6.66	1.66
<i>Prosopis ruscifolia</i>	Árbol	0.25	1.57	5.63	0.17	1.74	4.06	5.80	1.45
<i>Prosopis alba</i>	Árbol	0.25	1.57	5.63	0.17	1.74	3.83	5.58	1.39
<i>Mimosa detinens</i>	Arbusto	0.42	2.62	72.92	2.24	4.86	0.49	5.36	1.34
<i>Celtis pallida</i>	Arbusto	0.33	2.09	67.71	2.08	4.18	0.45	4.63	1.16
<i>Capparis speciosa</i>	Arbusto	0.42	2.62	36.46	1.12	3.74	0.12	3.86	0.97
<i>Castella coccinea</i>	Arbusto	0.25	1.57	62.50	1.92	3.49	0.27	3.76	0.94
<i>Maytenus vitis idae</i>	Arbusto	0.25	1.57	41.67	1.28	2.85	0.24	3.10	0.77
<i>Jatropha hieronymi</i>	Arbusto	0.33	2.09	20.83	0.64	2.74	0.06	2.79	0.70
<i>Sesbania virgata</i>	Arbusto	0.17	1.05	41.67	1.28	2.33	0.31	2.64	0.66
<i>Schinus molle</i>	Arbusto	0.08	0.52	52.08	1.60	2.13	0.24	2.36	0.59
<i>Prosopis torcuata</i>	Árbol	0.08	0.52	1.88	0.06	0.58	1.69	2.27	0.57
<i>Tabebuia nodosa</i>	Árbol	0.17	1.05	1.25	0.04	1.09	1.13	2.21	0.55
<i>Cnidoscolus vitifolius</i> var. <i>cnicodendron</i>	Arbusto	0.25	1.57	15.63	0.48	2.05	0.02	2.07	0.52
<i>Prosopis elata</i>	Árbol	0.08	0.52	1.25	0.04	0.56	0.68	1.24	0.31
<i>Cercidium praecox</i>	Árbol	0.08	0.52	0.63	0.02	0.54	0.34	0.88	0.22
<i>Acacia aroma</i>	Arbusto	0.08	0.52	10.42	0.32	0.84	0.03	0.88	0.22
<i>Ximenia americana</i>	Arbusto	0.08	0.52	10.42	0.32	0.84	0.02	0.86	0.22
<i>Capparis salicifolia</i>	Arbusto	0.08	0.52	5.21	0.16	0.68	0.01	0.69	0.17

TABLA 3. Índices de diversidad alfa.

Índice	Total
Taxa_S	35
Individuos	3252
Dominancia_D	0.1024
Simpson_1-D	0.8976
Shannon_H	2.651
Margalef	4.204
Equitatividad_J	0.7457
Berger-Parker	0.1937

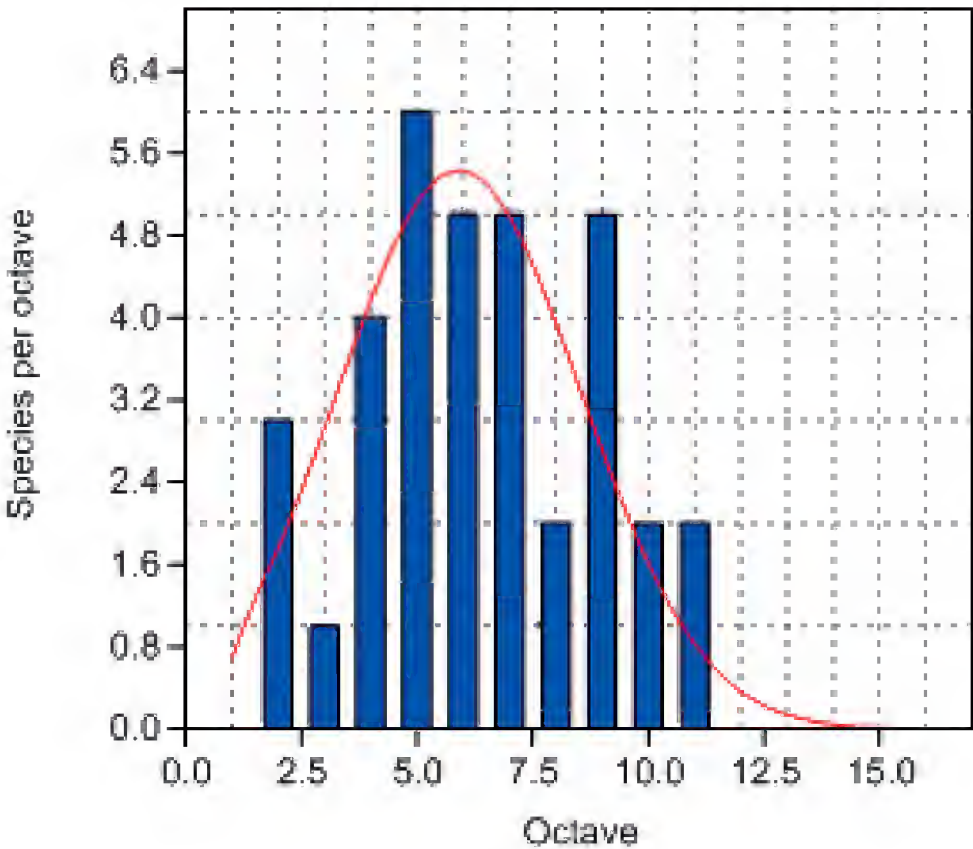


FIGURA 5. Modelo de abundancia serie normal logarítmica.

TABLA 4. Modelos de abundancia para el estrato leñoso.

Modelo de Abundancia	p (0.05)	chi²	h	alpha	x	Media	Varianza	Significancia
Serie geométrica	2.95E-19	202	0.0851					no ajustan
Serie logarítmica	4.68E-20	197.6		11.08	0.996			no ajustan
Vara quebrada (<i>Broken stick</i>)	1.95E-143	867						no ajustan
Serie normal logarítmica	0.585	3.75				1.714	0.6249	ajustan

ción de sus abundancias, en este caso se utiliza el Log2 (octavas u *octave* en idioma inglés).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que las tres especies más importantes en el área de estudio, desde el punto de vista ecológico son *Acacia praecox*, *Ruprechtia apétala*, *Ruprechtia triflora*, en cuarto orden de jerarquía se ubica *Caesalpinia paraguarensis*. Aunque esta especie arbórea no es mencionada por Cabrera (1976) en la comunidad clímax del Chaco Serrano, (la cual afirma que está dominada por *Schinopsis marginata*, acompañada por *Lithraea ternifolia*, *Fagara coco*, *Acacia visco*, *Acacia caven*, *Prosopis torcuata*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinus areira*, *Jodina rombifolia*, *Ruprechtia apétala* y *Ceiba insignis*), y asevera que en el estrato arbustivo reaparecen varias especies de los otros distritos y otro tanto ocurre con las hierbas. En el censo de especies leñosas realizado en Cerro El Remate, no se localizaron la totalidad de las especies mencionadas por este autor.

Giorgis *et al.* (2011) afirman que en el Chaco Serrano, en la provincia de Córdoba, la familia Fabaceae está entre las tres más representadas y también se ha mencionado a esta familia como la más representada en la región del Chaco o ecorregión del Chaco en general (Giménez y Hernández, 2008). Pineda-García, Arredondo-Amezcu e Ibarra Manríquez (2007) mencionan que la familia Fabaceae es la más rica en especies en localidades paleotropicales. El género *Prosopis* es mencionado como el género más representado en la Región del Chaco (Giménez *et al.*, 2011; Hernández y Giménez, 2009). Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con estos autores.

Los valores de equitatividad y la inversa de Simpson cercanos a 1, indican que se mantiene la diversidad y no hay dominancia de las especies. Lo cual coincide con los resultados obtenidos por Hernández y Giménez (2009) y Varela, Rossi de Ceballos, Sidán y Perera (2002), quienes proporcionan valiosa información sobre la composición florística del área de estudio del presente trabajo.

En cuanto a los modelos de abundancia, el mejor ajuste lo proporciona el modelo de serie normal logarítmica. Según Moreno (2001), este modelo caracteriza comunidades grandes, estables y en equilibrio, donde todas las especies crecen exponencialmente y responden independientemente a diferentes factores. Ruiz y Fandiño (2009) afirman que la serie normal logarítmica sugiere que el bosque se encuentra efectivamente en buen estado.

De igual manera, Hill y Hamer (1998) proponen que las comunidades que no presentan ningún nivel de disturbio, se ajustan a este modelo y se considera que se encuentran en un estadio sucesional intermedio entre las etapas pioneras y tardías.

Prado *et al.* (2006) afirman que aunque se incrementan los conocimientos florísticos, de diversidad y dinámica, estos son aún fragmentarios y demasiado concentrados regionalmente. Y continúa instando al desarrollo de conocimientos sobre otras comunidades boscosas chaqueñas.

CONCLUSIONES

- El bosque serrano estudiado es una masa heterogénea en referencia a su composición florística.
- La familia Fabaceae es la más rica en especies leñosas (árboles y arbustos).
- Del total de especies, 70% corresponde al estrato arbustivo.
- Las especies con mayor densidad son las arbustivas, sin embargo *Caesalpinia paraguarensis* es la más frecuente seguida por una arbustiva, *Ruprechtia triflora*.
- IVIL muestra que las especies de mayor importancia ecológica son: *Acacia praecox*, *Ruprechtia apétala*, *Ruprechtia triflora* y *Caesalpinia paraguarensis*.

- Las especies leñosas (árboles y arbustos) ajustan al modelo serie normal logarítmica que caracteriza comunidades grandes, estables y en equilibrio, sugiere que el bosque se encuentra en buen estado. Esto está reforzado por los resultados de los índices de abundancia de especies que indican que se conserva la diversidad en el sitio.
- El Chaco Serrano como unidad fitogeográfica es importante para la conservación de la flora y el aislamiento de Cerro Remate, hoy acentuado por causas antrópicas, amenaza la perpetuidad de su flora demandando esfuerzos en favor de su conservación.

REFERENCIAS

- Adámoli, J., Sennhauser, E., Acero, J. y Rescia, A. (1990). Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina". *Journal of Biogeography*, 17, 491-500.
- Borda-de-Agua, L., Hubbell, S. P. y McAllister, M. (2002). Species-area curves, diversity indices, and species abundance distributions: A multifractal analysis. *The American Naturalist*, 159, 138-155.
- Cabido, C., Carranza, M. L., Acosta, A. y Páez, S. (1991). Contribución al conocimiento fitosociológico del Bosque Chaqueño Serrano en la provincia de Córdoba, Argentina. *Phytocoenología*, 19, 547-566.
- Cabrera, A. L. (1976). *Regiones Fitogeográficas Argentinas* (2a ed.). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires, Argentina: ACME S.A.C.I.
- Cantero, J. J., Cabido, M., Núñez, C., Petryna, L., Zak, M. y Zobel, M. (2001). Clasificación de los pastizales de suelos sobre rocas metamórficas de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Kurtziana* 29, 27-77.
- Finol U., H. (1971). Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. *Revista Forestal Venezolana*, 14 (21), 29-42.
- Giménez, A. M. y Hernández, P. (2008). Biodiversidad en ambientes naturales del Chaco Argentino. Vegetación del Chaco semiárido, Provincia de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina: Agencia Nacional de Promoción Científica.



- Giménez, A. M. y Moglia, J. G. (2003). Árboles del Chaco Argentino. Guía Para El Reconocimiento Dendrológico. Santiago del Estero, Argentina: Editorial Secretaría de Recursos Naturales de La Nación.
- Giménez, A. M., Hernández, P., Figueroa, M. E. y Barrionuevo, I. (2011). Diversidad del estrato arbóreo en los bosques del Chaco Semiárido. *Quebracho*, 19 (1), 24-37.
- Giorgis, M., Cingolani, A., Chiarini, F., Chiapella, J., Barboza, G., Ariza-Espinar, L., Morero, R., Gurvich, D., Tecco, P., Subils, R. y Cabido, M. (2011). Composición florística del Bosque Chaqueño Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina. *Kurtziana*, 36 (1), 9-43.
- Gurvich, D. E., Enrico, L. y Cingolani, A. M. (2005). Linking plant functional traits with post-fire sprouting vigour in woody species in central Argentina. *Austral Ecology*, 30, 789-796.
- Harte, J., Kinzig, A. y Green, J. (1999). Self-Similarity in the distribution and abundance of species. *Science*, 284, 334-336.
- Harte, J., Smith, A. B. y Storch, D. (2009). Biodiversity scales from plots to biomes with a universal species-area curve. *Ecology Letters*, 12, 789-797.
- Hernández, P. y Giménez, A. M. (2009). Biodiversidad vegetal en un ecotono de Santiago del Estero: Cerro El Remate. *Yvyrareta*, 16, 42-52.
- Hill, J. K. y Hamer, K. C. (1998). Using species abundance models as indicators of habitat disturbance in tropical forests. *Journal Applied Ecology*, 35, 458-460.
- Hosokawa, R. T. (1986). Manejo e economía de florestas. Roma: FAO.
- Mac Arthur, R. y Wilson, E.O. (1967). The theory of island biogeography. Princeton, Nueva Jersey, EEUU: Princeton University Press.
- Magurran, A. E. (1989). Diversidad ecológica y su medición. Barcelona, España: Ediciones Vedral.
- Méndez, J. A. y Sáenz, L. (1986). *Estructura y composición de dos comunidades arbóreas de la parte noreste de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica
- Morello, J. (1967). Bases para el estudio fitoecológico de los grandes espacios (el Chaco argentino). *Ciencia e Investigación*, 23 (6), 252-267.
- Morello, J. y Adámoli, J. (1968). Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Primera parte: Objetivos y Metodología. Serie Fitogeográfica N° 10. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Moreno, C. (2001). Métodos para medir biodiversidad. Manuales y Tesis SEA, vol. 1. México: CYTED-OR.
- Newton, A. C. y Kapos, V. (2003). Indicadores de la biodiversidad en los inventarios forestales nacionales. *Unasylva*, 53, 56-64.
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4 (4), 355-364.
- Pineda-García, F., Arredondo-Amezcu, L. e Ibarra-Manríquez, G. (2007). Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio El Tarimo, Cuenca del Balsas, Guerrero. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78 (1), 129-139. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532007000100013&lng=es&tlng=es
- Prado, D., Biani, N., B. y Vesprini, J. L. (2006). Conocimiento sobre el gran Chaco Argentino en el siglo XX. Argentina: Universidad Nacional del Litoral. Recuperado de: http://www.researchgate.net/publication/228851115_Conocimiento_sobre_el_gran_Chaco_Argentino_en_el_siglo_xx/file/5046351ee8c1b470bf.pdf
- Roic, L. y Villaverde, A. (2007). *Flora Popular Santiagueña*. Santiago del Estero, Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Rosenzweig, M. L. (1995). Species diversity in space and time. Cambridge, Cambridgeshire, Reino Unido: Universidad de Cambridge.
- Ruiz, J. y Fandiño, M. C. (2009). Estado del bosque seco tropical e importancia relativa de su flora leñosa, islas de la Vieja Providencia y Santa Catalina, Colombia, Caribe suroccidental. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 33 (126), 5-15.
- Rykowski, K. (2002). La conservación de la diversidad biológica como elemento de la gestión forestal sostenible: normas y práctica en Polonia. *Unasylva*, 53 (2), 16-24.

- Suárez, S. y Vischi, N. (1997). Caracterización fisonómico-estructural de la vegetación serrana (Alpa Corral-Córdoba-Argentina). *Multequina*, 6: 21-32.
- Tálamo, A. y Cazziani, S. (2002). Variation in woody vegetation among sites with different disturbance histories in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, 184, 79-92.
- Varela, O., Rossi de Ceballos, E., Sidán, M. y Perera, T. (2002). Estructura, diversidad y relaciones florísticas de un bosque chaqueño serrano de Argentina. Contribución al estudio de la flora de la vegetación del Chaco. *Conservatore et jardín Botaniques de Geneve*, 57 (2), 239-249. Recuperado de: http://www.ville-ge.ch/cjb/publications/cando572/C572_239-249.pdf
- Zuloaga, F. O. y Morrone, O. (2008). Catálogo de las plantas vasculares de la Argentina II. Argentina: Instituto de Botánica Darwinion. Recuperado de: <http://www2.darwin.edu.ar/Publicaciones/CatalogoVascII/CatalogoVascII.asp>
- Manuscrito recibido el 17 de marzo de 2015.
Aceptado el 18 de octubre de 2016.
- Este documento se debe citar como:
Hernández, P., y Giménez, A. M. (2016). Diversidad, composición florística y estructura en el Chaco Serrano, Argentina. *Madera y Bosques* 22(3), 37-48.



Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades

Stored carbon in the aboveground biomass of rubber (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) plantations at different ages

Liliana Y. López-Reyes¹, Marivel Domínguez-Domínguez^{2*}, Pablo Martínez-Zurimendi^{3,4}, Joel Zavala-Cruz²,
Armando Gómez-Guerrero⁵ y Saúl Posada-Cruz⁶

1 Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. Programa docente de Postgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Cárdenas, Tabasco México.

2 Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. Área de Ciencia Ambiental. Cárdenas, Tabasco México.

* Autor de correspondencia, mdguez@colpos.mx

3 El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Villahermosa, Tabasco, México.

4 Universidad de Valladolid. Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible. Palencia, España

5 Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa Forestal. Texcoco, Estado de México, México.

6 Universidad de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Área de protección vegetal. Huehuetan, Chiapas, México.

RESUMEN

Las plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) contribuyen a la reducción de dióxido de carbono en la atmósfera al fijar carbono a través de la fotosíntesis y almacenarlo en cada uno de los componentes del árbol (hojas, ramas, fustes, cortezas y raíces) y por la transformación de residuos orgánicos en materia orgánica estabilizada en el suelo. El objetivo del presente estudio fue determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule en edades de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años, mediante el uso de inventario dasométrico y ecuaciones alométricas en Tabasco, México. El carbono almacenado se determinó a través de la regresión lineal y se analizó mediante comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) con el programa *Statistical Analysis System* (SAS). El contenido de carbono varía en cada una de las edades; en la plantación de 51 años el carbono almacenado en el fuste fue 192.32 Mg ha⁻¹, en las ramas fue 64.75 Mg ha⁻¹ y el total aéreo del árbol fue 257.07 Mg ha⁻¹, mientras que en la plantación de 5 años los valores fueron 16.65 Mg ha⁻¹, 9.63 Mg ha⁻¹ y 26.28 Mg ha⁻¹, respectivamente. Los resultados indican que *H. brasiliensis* puede considerarse como una fuente potencial de mitigación ante el cambio climático.

PALABRAS CLAVE: captura de carbono, ecuaciones alométricas, inventario forestal, plantaciones forestales, servicios ambientales.

ABSTRACT

Hevea brasiliensis Müell. Arg plantations contribute to the reduction of atmospheric carbon dioxide by fixing carbon through photosynthesis and storing it in the tree components (leaves, branches, stems, barks and roots) and by their transformation to stabilized forms of soil organic matter. The objective of this study was to determine the stored carbon in the whole aboveground biomass in 5, 9, 15, 25, 32 and 51-year-old plantations, through a forest inventory and the use of allometric equations in Tabasco, Mexico. The stored carbon was determined using linear regression and mean values were analyzed by the Tukey test ($p < 0.05$) with the Statistical Analysis System (SAS) program. Results indicated that the carbon concentration varies with age; in 51-year-old plantation the stored carbon in stem was 192.32 Mg ha⁻¹, in branches was 64.75 Mg ha⁻¹ and in the whole tree was 257.07 Mg ha⁻¹, while 5-year plantations had values of 16.65, 9.63 y 26.28 Mg ha⁻¹, respectively. The results indicated that *H. brasiliensis* plantations can be considered a potential source of mitigation of climate change.

KEYWORDS: carbon sequestration, allometric equations, forest inventory, forest plantations, environmental services.

INTRODUCCIÓN

El carbono es un componente básico y fundamental para la vida debido a su presencia en la atmósfera, en lo vegetal, animal, en la materia orgánica no viva, en los combustibles fósiles, en las rocas y también está disuelto en los océanos (McVay y Rice, 2002). El ciclo del carbono se caracteriza por tener reservas atmosféricas muy pequeñas, pero sumamente activas y vulnerables a las perturbaciones ocasionadas por el hombre, las cuales, a su vez, modifican los patrones climáticos, de manera que afectan directamente la vida sobre la tierra. Durante la última mitad del siglo XX la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera ha tenido un aumento significativo junto con la de otros gases de efecto invernadero que retienen un porcentaje de la radiación de onda larga reflejada por la superficie terrestre. Esto contribuye con casi 1/6 de las emisiones de CO_2 mundial cuando los bosques han sido talados o quemados en exceso, debido a que los árboles están compuestos de carbono en un 50%, y una vez talados y quemados o descompuesta la materia orgánica por microorganismos, ese carbono que almacenan regresa a la atmósfera. Por esta razón, los ecosistemas forestales son de gran importancia, ya que capturan el dióxido de carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y almacenan el carbono en cada uno de los componentes del árbol (Percy, Jandl, Hall y Lavigne, 2003; Álamo, 2007).

México se ubica dentro de las 20 naciones con mayor emisión de CO_2 , pero al mismo tiempo tiene un alto potencial de recursos naturales como bosques, selvas y plantaciones comerciales, que son de gran importancia como almacén de carbono (Pacheco-Escalona *et al.*, 2007). Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Ordoñez, de Jong y Masera, 2001). Una alternativa para mitigar el cambio climático se lograría mediante plantaciones de corta rotación y árboles de rápido crecimiento. Al mismo tiempo, la producción de árboles en plantación reduce la extracción de madera del bosque nativo y contribuye a la conservación del mismo.

Las plantaciones forestales y agroforestales capturan carbono y lo almacenan principalmente en la biomasa dura (madera), hojas, ramas, corteza y raíces; esto depende de la composición de las especies en un bosque o plantación, del efecto de factores climáticos locales como precipitación y temperatura, de las características del suelo que determinan el crecimiento del árbol (Somarriba *et al.*, 2013), de la edad y de la fauna acompañante. Además, la capacidad de capturar carbono atmosférico tiende a disminuir en relación al incremento de la edad del bosque o al grado de madurez del suelo, en edades tempranas o intermedias es más alta la captura de carbono (Fonseca, Rey-Benayas y Alice, 2011; Ajit *et al.*, 2013).

México cuenta con plantaciones de *Hevea brasiliensis* Müell. Arg. en Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Tabasco, con una superficie plantada a nivel nacional de 27 165.98 ha de las cuales 4243.13 ha pertenecen al estado de Tabasco en los municipios de Huimanguillo, Macuspana, Jalapa y Teapa (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2013).

Se han realizado estudios de estimación de carbono en *H. brasiliensis* en monocultivos y sistemas agroforestales en la Amazonia de Colombia a través de modelos alométricos (Moreno, Burgos, Nieves y Buitrago, 2005; Orjuela, Andrade y Vargas, 2014); ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *H. brasiliensis*, en Veracruz, México (Monroy y Návar, 2004); análisis del crecimiento y producción de látex en plantaciones forestales comerciales de *H. brasiliensis* en Oaxaca, México (Rojo, Martínez y Jasso, 2011); potencial de secuestro de carbono en plantaciones de árboles en África (Kongsager, Napier y Mertz, 2013) entre otros estudios.

OBJETIVO

Determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis*) a diversas edades, mediante el uso de inventario dasométrico y ecuaciones alométricas en Tabasco, México.



MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para realizar el estudio se utilizó el padrón de productores de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca (Sedafop) y Sistema Producto Hule. Los criterios que se aplicaron para la selección de las plantaciones de *H. brasiliensis*, fueron conforme a las etapas preproductiva (5 años) y productiva con tres edades: 9 años (juventud), 15 años y 25 años (adulto), 32 años y 51 años (vejez); las edades se determinaron con base en la fecha de plantación registrada en el padrón y se verificaron con los productores. Al mismo tiempo, se consideró que las plantaciones pertenecieran a un mismo grupo de suelo para evitar influencia de sus características en los resultados (Tabla 1). Posteriormente, se realizó el recorrido en campo para localizar a los productores y seleccionar las plantaciones de *H. brasiliensis* de las edades mencionadas.

El estudio se realizó en seis plantaciones de *H. brasiliensis*, ubicadas en tres ejidos del municipio de Huimanguillo, Tabasco, en la región tropical húmeda de México. Las plantaciones de 5 años, 9 años, 15 años y 25 años corresponden al ejido Pedregal Moctezuma 1a. Sección; ubicadas en la zona geográfica 15, en las coordenadas UTM: longitud y latitud; 433614-1953399, 433935-195299, 433551-1953473, y 433942-1953473 respectivamente. La plantación de 32 años se ubica en el ejido Chicoacán con coordenadas UTM: longitud 447299 y latitud 1965282; y la plantación de 51 años pertenece al ejido Guadalupe Victoria con coordenadas; longitud 426988 y latitud 1950044 (Fig. 1). Los climas que predominan en el municipio de Huimanguillo son: Af (m) cálido húmedo con lluvias todo el año y Am (f) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010). La temperatura mínima mensual es de 23.3 °C, la máxima de 32.3 °C y la precipitación anual es de 2360 mm (Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional, 2010).

Según Ortiz, Siebe y Cram (2005) la zona de estudio corresponde a la unidad ecogeográfica, llamada “terrazza o planicies estructurales” de edad miocénica, porque con-

forma un paisaje de lomeríos suaves. El suelo que predomina es del grupo Acrisol ácido, rico en materia orgánica y pobre en bases intercambiables (Palma-López, Cisneros-Domínguez, Moreno-Cáliz y Rincón-Ramírez, 2007; Zavala-Cruz *et al.*, 2014).

En la zona de estudio predomina vegetación secundaria de selva, así como plantaciones de *H. brasiliensis*, eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*), teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), plantaciones agrícolas de naranja, limón, piña, y gran extensión de pastizales (Larios-Romero y Hernández, 1987; Zavala-Cruz *et al.*, 2014). La fauna es escasa sin embargo, se pueden encontrar tepezcuintle (*Agouti paca*) y mono sarahuato (*Allouata palliata*), tortugas como el guao (*Staurotypus triporcatus*) y el pochitoque (*Kinosternon leucostomum*) y especies de aves como el jabirú (*Jabiru mycteria*), el chejé (*Melanerpes aurifrons*) y el pistoqué (*Pitangus sulphuratus*).

Muestreo de parcelas

En el estudio se realizó un inventario forestal en seis plantaciones, en cada una se establecieron tres parcelas cuadradas de 20 m × 20 m (400 m²), obteniendo un área inventariada total de las seis plantaciones de 7200 m². Cada parcela está conformada de 17 a 29 árboles, variando la densidad de los árboles en cada plantación, obteniendo un inventario de 400 árboles en el total de las plantaciones. A cada árbol se le midieron las variables: diámetro a la altura de pecho (d) con la forcípula y altura total del árbol (h) con la pistola Haga. De las seis plantaciones inventariadas, cuatro se encuentran en aprovechamiento de látex (9, 15, 25 y 32 años); la plantación de 5 años aún no está en aprovechamiento y la de 51 años ya terminó su etapa productiva. Con las variables obtenidas en el inventario se generó información de área basal, volumen total mediante la ecuación de cubicación de Gómez-González (2015), biomasa de fuste, biomasa de ramas, biomasa aérea total, carbono en fuste, carbono en ramas y carbono total del árbol, para determinar el carbono almacenado en la parte aérea de cada una de las plantaciones de las edades de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años.

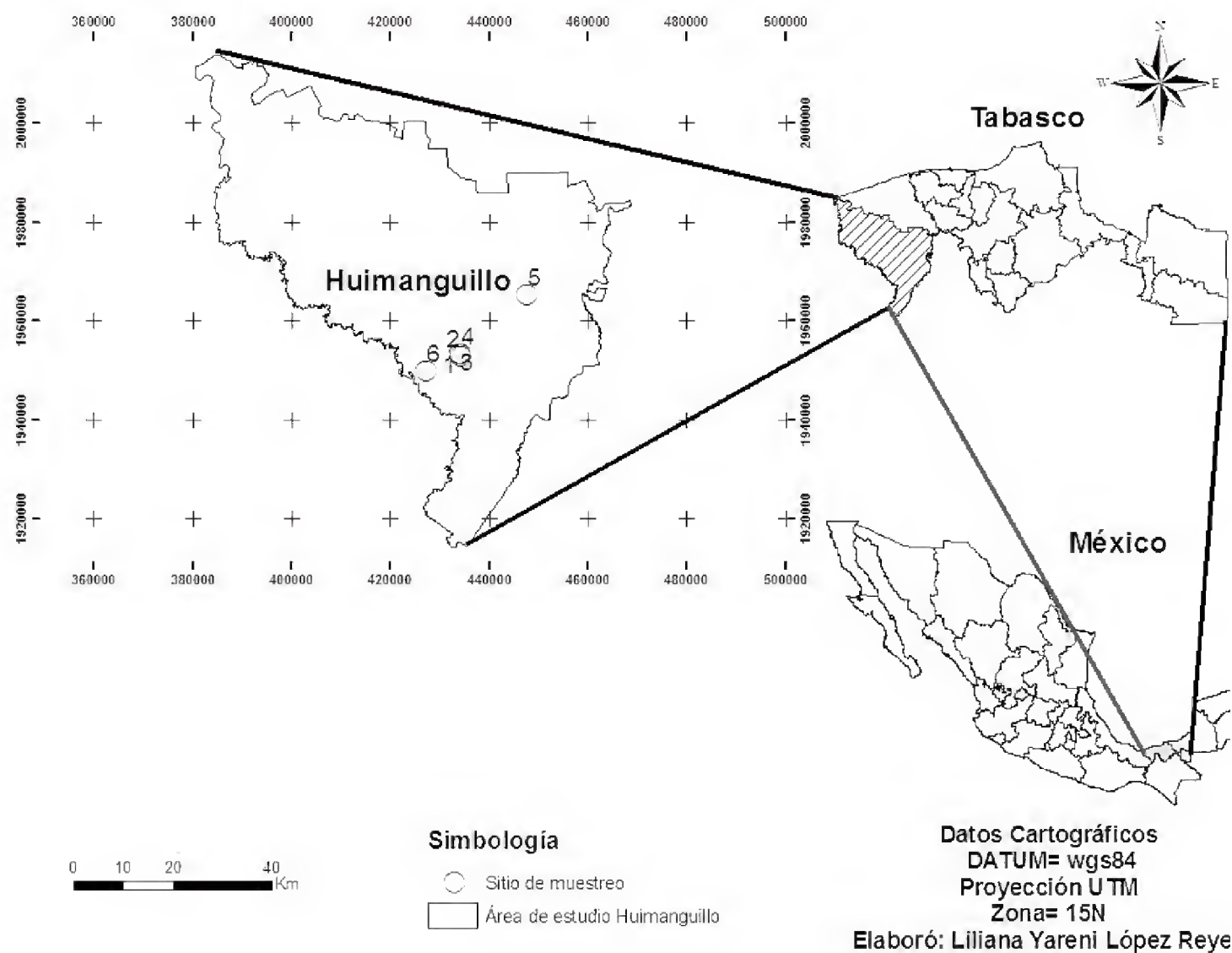


FIGURA 1. Ubicación geográfica de las plantaciones de *H. brasiliensis* en Huimanguillo, Tabasco, México.

TABLA 1. Edad de los árboles de *H. brasiliensis* de acuerdo con la etapa de preproductiva y productiva.

Edad de árboles (años)	Etapa preproductiva y productiva
5	Crecimiento
9	Juventud
15	Adulto 1
25	Adulto 2
32	Vejez 1
51	Vejez 2

Las mediciones que se realizaron en los árboles fueron a partir del diámetro mínimo a la altura de pecho de 8 cm, debido a que a partir de este diámetro se obtienen algunos de los productos de *Hevea brasiliensis* como: muebles, molduras, mosaicos de madera, entarimado de pisos, contrachapado, tableros enlistonados, aglomerados de

cemento, tablero de fibra de densidad media, estacas, polines y postes. También este diámetro se utiliza como materia prima para la industria del papel, para producir papeles gruesos y secantes o absorbentes (Zerpa, Mogollón, Gutiérrez y Aguilera, 2011).

Biomasa aérea (fuste y ramas) y carbono almacenado

Inicialmente se cuantificó la biomasa en los componentes de cada árbol que integra la plantación (hojas, ramas y fuste) (Ordoñez *et al.*, 2001). Para cuantificar la biomasa aérea en las plantaciones de *H. brasiliensis* se utilizaron las ecuaciones generadas por Monroy y Návar (2004) para plantaciones de la misma especie en Veracruz, México, a través de regresión lineal.

$$b_{\text{fuste}} = 37.35705 + 0.013422 \times d^2 \times h$$
$$b_{\text{ramas}} = 29.99596 + 0.004273 \times d^2 \times h$$
$$b_{\text{total}} = 67.35301 + 0.017695 \times d^2 \times h$$

Donde:

- d (diámetro en cm)
- h (altura en m)
- b_{fuste} (biomasa de fuste en kg)
- b_{ramas} (biomasa de ramas en kg)
- b_{total} (biomasa aérea total en kg)

Para estimar el carbono almacenado asociado a la biomasa aérea, se multiplicó el valor de la biomasa de cada componente (fuste, ramas y total aéreo) por el factor 0.487, valor correspondiente a las concentraciones de carbono obtenidas en la especie (Wauters, Coudert, Grallien, Jonard y Ponette, 2008; Kongsager *et al.*, 2013).

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (Anova) y comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) con el programa Statistical Analysis Sistem (SAS) para determinar la diferencia estadística en las plantaciones de diversas edades.

RESULTADOS

Historial de manejo

El historial de manejo de las plantaciones de *H. brasiliensis* puede influir en el crecimiento y desarrollo de

los árboles así como en la captura y almacenamiento de carbono.

Los productores establecieron el cultivo de *H. brasiliensis* con el apoyo económico federal del Fideicomiso para la Investigación, el Cultivo y la Comercialización del Hule Natural (Fidhule) para el establecimiento y manejo silvícola. Los productores asociaron cultivos agrícolas en la etapa pre-productiva (3 años), mientras las plantaciones alcanzaron perímetros de 45 cm a 1.30 m de altura para ser aprovechado el látex. Esta asociación de cultivos agrícolas contribuye a la reducción de erosión de suelo, aporta nutrimentos en el suelo y controla malezas. Simultáneamente se realizó el manejo silvícola de las plantaciones y poda de formación para obtener un fuste limpio para ser aprovechado. Esta actividad se realizó en los primeros años debido al cierre de dosel arbóreo que se presentó a partir de los 5 años (Tabla 2).

Inventario forestal

Con respecto a la medición de las variables realizada en el inventario forestal de las plantaciones de *H. brasiliensis* se presenta lo siguiente:

Diámetro (d) y altura de los árboles (h)

El análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) en el diámetro y altura en cada plan-

Tabla 2. Antecedentes, asociación de cultivos en callejones y densidad actual de las plantaciones de *H. brasiliensis* en Tabasco.

Año de establecimiento	Edad de la plantación (años)	Vegetación anterior a <i>H. brasiliensis</i>	Densidad actual de la plantación (árb.ha ⁻¹)	Cultivo intercalado en los tres primeros años	Apoyo económico
2009	5	Pastizal	491	Piña (<i>Anana sp.</i>)	
2005	9	Pastizal	550	Piña (<i>Anana sp.</i>)	
1999	15	Acahual	700	Piña (<i>Anana sp.</i>)	
1989	25	Acahual	633	Maíz (<i>Zea mays</i>), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y yuca (<i>Manihot sculenta</i>)	Planta y manejo silvícola
1982	32	Pastizal	558	Maíz (<i>Zea mays</i>), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Planta y manejo silvícola
1963	51	Acahual y Pastizal	400	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Planta y manejo silvícola

tación de las edades de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años, con una probabilidad ($p < 0.05$). La comparación de medias de Tukey mostró que el diámetro de la plantación de 15 y 25 años de edad, son similares estadísticamente entre ellas y diferentes con las otras plantaciones.

La plantación de 5 a 9 años de edad, presentó un incremento de 2 cm de diámetro (Tabla 3) sin diferencia estadística; sin embargo, entre la plantación de 9 y de 15 años de edad hubo un incremento de diámetro de 8.6 cm, con diferencia significativa estadísticamente. Asimismo, de la plantación de 15 a 25 años de edad se presentó un incremento de 2.08 cm, aun cuando hay una diferencia de 10 años entre las dos edades, el incremento fue relativamente pequeño y estadísticamente no presentó diferencias en el diámetro. De la misma manera, de la plantación de 25 a la de 32 años de edad se presentó un incremento de 5.58 cm, sin diferencias significativas. No obstante, la plantación de 32 a 51 años de edad presentó un incremento de 15.12 cm en un lapso de 19 años, presentando diferencia altamente significativa, probablemente favorecido por la densidad actual de 400 árboles ha^{-1} en la plantación de 51 años y 558 árboles ha^{-1} en la de 32 años (Tabla 3).

La altura total de los árboles mostró diferencia significativa en las edades de 9 y 15 años con un incremento en 8 m; la mayor altura promedio de los árboles se obtuvo en la plantación de 51 años de edad (Tabla 3).

TABLA 3. Comparación de medias, diámetro, altura, área basal *H. brasiliensis*, en Tabasco, México.

Edad (Años)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Área Basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)
5	14.05 d	11.33 b	7.88 c
9	16.05 d	13.39 b	11.81 c
15	24.65 c	21.41 a	35.12 b
25	26.73 cb	22.99 a	39.42 b
32	32.31 b	23.26 a	49.60 b
51	47.43 a	24.22 a	80.41 a

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

En la comparación de medias por Tukey en la plantación de 51 años se obtuvo la máxima área basal con valor de $80.41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, indicando diferencia altamente significativa con cada una de las plantaciones. El área basal presentó diferencias estadísticas similares al diámetro, ya que es una variable que depende directamente de él, siendo influenciada también por la edad y por el manejo silvícola. Al mismo tiempo, mostró incrementos de (3.91, 23.31, 4.3, 10.18 y $30.81 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, entre las edades de plantación de (5, 9, 15, 25, 32 y 51) años, respectivamente.

Volumen de madera en los árboles

El volumen de madera en los árboles en relación a la edad de las plantaciones presentó diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) con una probabilidad ($p < 0.05$) en el análisis de varianza. El coeficiente de determinación fue de $R^2 = 0.94$ (Tabla 4).

En la prueba de comparación de medias por Tukey, se obtuvo diferencia estadística significativa en la plantación de 51 años con valor promedio de $865 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de volumen maderable respecto a las demás (Fig. 2). Asimismo, se observó diferencia de $396 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ entre la plantación de 32 y 51 años de edad; y diferencia de $239 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ entre las plantaciones de 9 y 15 años de edad.

Biomasa de fuste, ramas y total en los árboles

La plantación de 51 años de edad presentó mayor biomasa de fuste, ramas y total aérea que las demás por el tamaño que adquirió durante su ciclo de crecimiento y desarrollo en diámetro y altura. El fuste aportó 63% y 66% de bio-

Tabla 4. Análisis de varianza de volumen de madera en plantaciones de diversas edades de *H. brasiliensis*.

FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Modelo	5	1395001.41	279000.28	40.33	<.0001
Error	12	83022.75	6918.56		
Total	17	1478024.16			

C.V. = 23.73

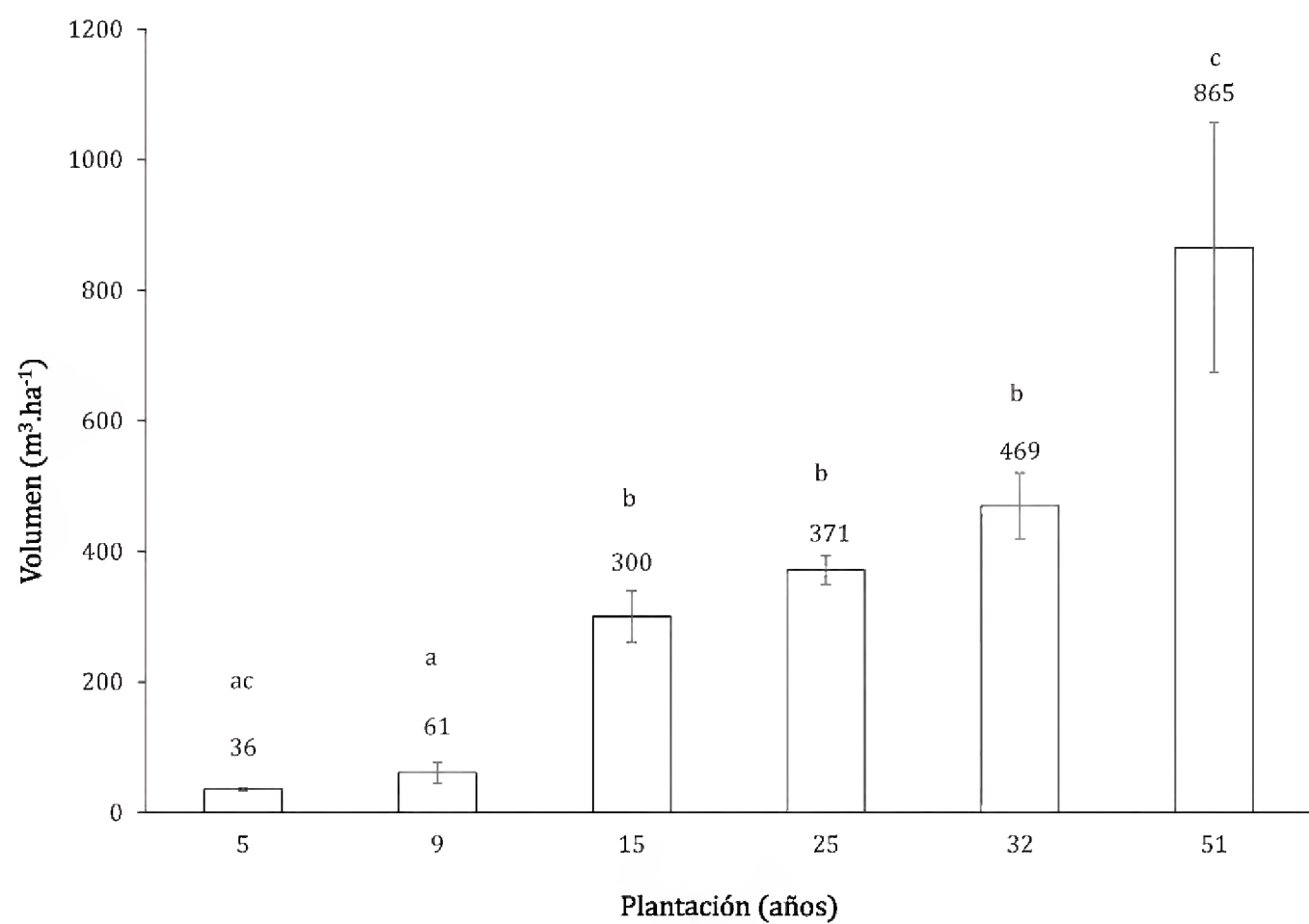


FIGURA 2. Comparación de medias de volumen de madera (m³ ha⁻¹) en plantaciones de diversas edades de *H. brasiliensis*, en Tabasco, México.

TABLA 5. Comparación de medias por Tukey, biomasa de fustes, ramas y total aéreo para *H. brasiliensis*, en Tabasco, México.

Edad (años)	Biomasa fuste (t.ha ⁻¹)	Biomasa ramas (t.ha ⁻¹)	Biomasa total aérea (t.ha ⁻¹)	Carbono fuste (Mg.ha ⁻¹)	Carbono ramas (Mg.ha ⁻¹)	Carbono total aéreo (Mg.ha ⁻¹)
5	34.18	19.78	53.96	16.65 c	9.63 c	26.28 c
9	48.50	25.39	73.50	23.62 c	12.37 c	35.79 c
15	159.48	63.44	222.93	77.67 b	30.89 b	108.57 b
25	180.51	68.93	249.44	87.91 b	33.57 b	121.48 b
32	228.01	82.70	310.71	111.04 b	40.27 b	151.32 b
51	394.91	132.96	527.87	192.32 a	64.75 a	257.07 a

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

masa en las edades de 5 y 9 años respectivamente y 73 y 75% en las edades de 32 y 51 años (Tabla 5).

Estimación de carbono almacenado en las plantaciones

En la prueba de Tukey de carbono almacenado de cada componente del árbol (fuste, ramas y total aéreo), la plan-

tación de la etapa vejez de 51 años de edad mostró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) respecto a las plantaciones de 5, 9, 15, 25 y 32 años de edad. El carbono almacenado de cada componente del árbol en la plantación de 51 años (etapa vejez) fue 192.32 Mg ha⁻¹ en el fuste, 64.75 Mg ha⁻¹ en las ramas y 257.07 Mg ha⁻¹ total aérea. Asimismo, las plantaciones de 32 y 51 años (etapa

vejez) mostraron diferencia estadística en el carbono almacenado de cada uno de los componentes del árbol de 81.28 Mg ha⁻¹ en el fuste, 24.48 Mg ha⁻¹ en las ramas y 105.75 Mg ha⁻¹ en total aéreo.

Por otra parte, el carbono almacenado en fuste, ramas y total aéreo no presentó diferencia estadística entre las plantaciones de 5 y 9 años. Entre las plantaciones de 15, 25 y 32 años de edad no se presentó diferencia estadística en cada uno de los componentes del árbol (fuste, ramas y total aéreo), debido a la cercanía de edades (Tabla 5).

El análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) en el carbono almacenado en cada uno de los componentes del árbol (fuste, ramas y total de la parte aérea) y entre las edades, con una probabilidad de ($p < 0.05$) (Tabla 6).

DISCUSIÓN

La densidad actual de las plantaciones está influida por la asociación de cultivos agrícolas que los productores intercalaron en la etapa preproductiva, lo cual favorece a las plantaciones con menor densidad en obtener mayor desarrollo en el diámetro, aunque la disminución de árboles a partir de la densidad inicial de establecimiento también depende de los daños mecánicos y del raleo natural de estas plantaciones (Naji, Sahri, Nobuchi y Bakar, 2012). Además se realizó el manejo silvícola de podas de ramas primarias a partir de 3 o 4 años de edad para obtener un fuste libre de nudos.

El incremento en diámetro de 32 a 51 años de edad fue de 15.12 cm, en un lapso de 19 años, presentando diferencia altamente significativa, favorecido por la densidad de 400 árboles ha⁻¹ a los 51 años y 558 árboles ha⁻¹ a los 32 años de edad, lo cual indica que los árboles de la plantación de 51 años se desarrollaron mejor debido al espaciamiento de la plantación. Por esta razón, los árboles acumulan mayor biomasa por la disponibilidad de agua y nutrientes que les permite tener un mejor desarrollo (Naji, Sahri, Nobuchi y Bakar, 2011).

La biomasa de fuste representó 70.20% y la de ramas 29.83% en árboles de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años, similar a

TABLA 6. Análisis de varianza de almacenamiento de carbono de fuste, ramas y total de la parte aérea de *H. brasiliensis*.

FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Modelo	5	65452.22	13090.44	37.05	<.0001
Error	12	4240.16	353.34		
Total	17	69692.38			
C.V. = 21.57					
FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Modelo	5	6420.27	1284.05	34.4	<.0001
Error	12	447.92	37.32		
Total	17	6868.19			
C.V.= 18.64					
FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Modelo	5	112932.06	22586.41	36.44	<.0001
Error	12	7437.87	619.82		
Total	17	120369.94			
C.V. = 20.76					

lo encontrado por Monroy y Návar (2004), donde obtuvieron un promedio de 72.83% y 21.4%, respectivamente en árboles de 8, 14, 16, 19, 23 y 31 años. A su vez presentó diferencia estadística significativa con respecto al fuste y ramas, en las diversas edades (Gayoso y Guerra, 2005; Aguilar, Ortiz, Vílchez y Chazdon, 2011).

El carbono almacenado de cada componente del árbol en la plantación de 51 años etapa vejez fue de 192.32 Mg ha⁻¹ en el fuste, 64.75 Mg ha⁻¹ en las ramas y 257.07 Mg ha⁻¹ total aéreo, este último valor se asemeja al documentado por Kongsager *et al.* (2013) en árboles de 44 años de 213.6 Mg ha⁻¹, sin embargo, al comparar los datos con los de un bosque tropical subcaducifolio (árboles, arbustos, renuevos, necromasa, hojarasca y raíces), selva mediana de *Quercus oleoides*, y plantaciones de *E. urophylla* y *G. arborea* son inferiores, ya que el almacenamiento de carbono está en función de la composición de especies, la edad, densidad, diámetro y altura (Rodríguez-Laguna, Jiménez, Meza, Aguirre y Razo, 2008; Cámara-Cabrales, Arias-Montero, Martínez-Sánchez y Castillo-Acosta, 2013).



El valor de carbono total de la plantación de 5 años es mayor a lo que informan Durán, Duque y Suárez (2011), quienes obtuvieron un promedio de 6.6 Mg ha⁻¹ de carbono almacenado en la parte aérea en plantaciones de hule de 1 a 7 años, con diámetro de 8.2 cm y altura de 6.2 m en Colombia; y en un sistema agroforestal con árboles del mismo intervalo de edad 6.9 Mg ha⁻¹. En plantaciones de *H. brasiliensis* de 1 a 7 años de edad Orjuela, Andrade y Vargas (2014) midieron 4.3 Mg ha⁻¹ de carbono almacenado total aéreo en monocultivo con densidad de 622 árboles ha⁻¹ y 4.2 Mg ha⁻¹ en un sistema agroforestal con densidad de 673 árboles ha⁻¹; mientras que en este estudio se midieron 26.28 Mg ha⁻¹ con diámetro de 14.05 cm y altura de 11.3 m. Los mismos autores trabajaron con plantaciones de *H. brasiliensis* de 8-20 años de edad encontrando 57.2 Mg ha⁻¹ de carbono almacenado total de la parte aérea en monocultivo y 44.8 Mg ha⁻¹ en sistemas agroforestales, sin embargo, al compararlo con las plantaciones de este estudio en ese intervalo de edades se determinó un valor más alto, 108.57 Mg ha⁻¹ a los 15 años, debido a la mayor densidad de arbolado encontrado en Tabasco. Cabe señalar que la fijación de carbono depende de las características de cada especie, tamaño de copa, densidad en árboles por hectárea, edad e índice de sitio, que influyen fuertemente en el almacenamiento de carbono (Nájera y Hernández, 2008).

Orjuela *et al.* (2014) mencionan que las plantaciones mayores de 20 años de edad obtuvieron promedio de 121.5 Mg ha⁻¹ en plantación monoespecífica y 97.2 Mg ha⁻¹ en sistemas agroforestales, y comparando las plantaciones en el grupo mayor de 25 años de edad se obtuvo un valor muy similar con promedio de 121.48 Mg ha⁻¹. El carbono almacenado en los árboles está proporcionalmente relacionado con la biomasa.

De acuerdo con los resultados de Sun *et al.* (2015) los árboles en etapa juvenil (9 años de edad) fijan más carbono. Por esta razón, los árboles en la etapa joven contribuyen a la reducción del dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera y lo transforman en biomasa (Casanova-Lugo, Petit-Aldana y Solorio-Sánchez, 2011). Contrariamente a lo esperado, las plantaciones de edad

avanzada presentaron incremento en el carbono almacenado de más de 100 Mg ha⁻¹. El cultivo de *H. brasiliensis* contribuye a la reducción de dióxido de carbono a través de la fotosíntesis y fija o almacena el carbono en cada uno de los componentes del árbol (fuste y ramas), obteniendo un mayor almacenamiento en el fuste (Wauters *et al.*, 2008; Fonseca *et al.*, 2011; Casanova-Lugo *et al.*, 2011).

Los árboles en la etapa de vejez (32 y 51 años de edad) continúan proporcionando una serie de beneficios tanto para el ser humano como para el medio ambiente, favorecen la conservación de flora y fauna, disminución de erosión de suelo y fertilización del mismo, a través de la hojarasca. En esta etapa los productores toman la decisión de aprovechar la madera de los árboles mayores de 35 años de edad, debido a la disminución de producción de látex, ya que no es rentable seguir aprovechándolo para esa actividad y por los servicios ambientales no perciben ningún apoyo económico (Matan y Matan, 2008; Prabhakaran-Nair, 2010).

CONCLUSIONES

La plantación de 51 años de edad de *H. brasiliensis* almacena mayor carbono que las plantaciones de menor edad, esto está relacionado con la mayor biomasa. La comparación de medias manifestó que el fuste contiene más carbono que las ramas. El porcentaje de carbono almacenado en el fuste va incrementándose con la edad desde 63% a los 5 años, hasta 75% a los 51 años. Las plantaciones mantienen su capacidad de captura de carbono hasta edades superiores a las productivas del cultivo del hule. Mediante la captura y el almacenamiento de carbono estas plantaciones brindan un servicio ambiental, ya que cuentan con potencial para mitigar el CO₂ de la atmósfera y conservar la flora y fauna asociadas.

REFERENCIAS

- Aguilar, H., Ortiz, E., Vélchez, B. y Chazdon, R. L. (2011). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9 (22), 22-3. Recuperado de <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/360>.

- Ajit, Dhyani, S. K., Ramnewaj, Handa, A. K., Prasad, R., Alam, B., Rizvi, R. H., Gupta, G., Pandey, K. K., Jain, A. y Uma. (2013). Modeling analysis of potential carbon sequestration under existing agroforestry systems in three districts of Indo-gangetic plains in India. *Agroforestry Systems*, 87(5), 1129-1146. doi: 10.1007/s10457-013-9625-x.
- Álamo, J. C. (2007). *Bosques y cambio climático: la función de los bosques como sumideros de carbono y su contribución al cumplimiento del Protocolo de Kioto por parte de España*. Zaragoza, España: Escuela Agraria de Cogullada
- Cámara-Cabral, L. C., Arias-Montero, C., Martínez-Sánchez, J. L. y Castillo-Acosta, O. (2013). Carbono almacenado en selva mediana de *Quercus oleoides* y plantaciones de *Eucalyptus urophylla* y *Gmelina arborea* en Huimanguillo, Tabasco. En F. Paz-Pellat, J. Wong-González, M. Bazan y V. Saynes (Ed.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México* (249-256). Texcoco, Mx: Programa Mexicano del Carbono.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J. y Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 133-143. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047
- Comisión Nacional del agua- Servicio Meteorológico Nacional. (2010). Información Climatológica. Recuperado de http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=168&tmpl=component
- Durán, E. H., Duque, L. y Suárez, J. C. (2011). Estimación de carbono en sistemas agroforestales de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. *Revista Ingeniería & Amazonia*, 4(1), 19-28.
- Fonseca, W., Rey-Benayas, J. M. y Alice F. E. (2011). Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262 (8), 1400-1408. doi:10.1016/j.foreco.2011.06.036.
- Gayoso, J. y Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosques*, 26 (2), 33-38.
- Gómez-González, J. P. (2015). *Producción de madera en plantaciones de hule (Hevea brasiliensis) en Huimanguillo, Tabasco*. Tesis de Maestría en Ciencias; Programa Producción Agroalimentaria en el Trópico, Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, H. Cárdenas, Tabasco. Recuperado de: ([http://www.ecosur.mx/ecoconsulta/indicadores/detalles.php?id=565d16c0a5ea9de37ca09f0b&bd i=30&name=Producci%C3%B3n%20de%20madera%20en%20plantaciones%20de%20hule%20\(Hevea%20brasiliensis\)%20en%20Huimanguillo,%20Tabasco](http://www.ecosur.mx/ecoconsulta/indicadores/detalles.php?id=565d16c0a5ea9de37ca09f0b&bd i=30&name=Producci%C3%B3n%20de%20madera%20en%20plantaciones%20de%20hule%20(Hevea%20brasiliensis)%20en%20Huimanguillo,%20Tabasco))
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Huimanguillo, Tabasco. Recuperado en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/27/27008.pdf>
- Kongsager, R., Napier, J. y Mertz, O. (2013). The carbon sequestration potential of tree crop plantations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18 (8), 1197-1213. doi: 10.1007/s11027-012-9417-z.
- Larios-Romero, J. y Hernández, J. (1987). Zonificación fisiográfica del estado de Tabasco. *Revista de Geografía Agrícola*, 13 y 14, 20-32.
- Matan, M. y Matan, N. (2008). Antifungal activities of anise oil, lime oil, and tangerine oil against molds on rubberwood (*Hevea brasiliensis*). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62 (1), 75-78.
- McVay, K. A. y Rice, C. W. (2002). El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono. Recuperado de <http://www.bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF2548S.pdf>.
- Monroy, C. y Návar, J. J. (2004). Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., Veracruz, México. *Madera y bosques*, 10 (2), 29-43.
- Moreno, J. A., Burgos, J. D., Nieves, H. E. y Buitrago, C. E. (2005). Modelo alométrico general para la estimación del secuestro de carbono por plantaciones de caucho *Hevea brasiliensis* Müell Arg. en Colombia. *Colombia Forestal*, 91(8), 5-21. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3043/4397>.
- Nájera, J. A. y Hernández, E. (2008). Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai*, 4 (1), 69-81.



- Naji, H. R., Sahri, M. H., Nobuchi, T. y Bakar, E. S. (2011). The effect of growth rate on wood density and anatomical characteristics of rubber wood (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) in two different clonal trails. *Journal of Natural Products and Plant Resources*, 1 (2), 71-80.
- Naji, H. R., Sahri, M. H., Nobuchi, T. y Bakar, E. S. (2012). Clonal and planting density effects on some properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.). *BioResources*, 7 (1), 189-202.
- Ordoñez, J. A., de Jong, B. H. J. y Masera, O. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7 (2), 27-47.
- Orjuela, J. A., Andrade, H. J. y Vargas, Y. (2014). Potential of carbon storage of rubber (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) plantations in monoculture and agroforestry systems in the Colombian Amazon. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17 (2), 231-240.
- Ortiz, M. A., Siebe, C. y Cram S. (2005). Diferenciación eco-geográfica de Tabasco. Cap. 14:305-322. En J. Bueno, F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco, 305- 316 p. México: Instituto de Biología, Unam-Conabio.
- Pacheco-Escalona, F. C., Aldrete, A., Gómez, A., Fierros, A. M., Cetina, V. M. y Vaquera, H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm, *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30 (3). 251-254.
- Palma-López D. J., Cisneros-Domínguez, J., Moreno-Cáliz, E. y Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Villahermosa, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados-Isprotab-Fundación Produce Tabasco.
- Percy, K. E., Jandl, R., Hall, J. P. y Lavigne, M. (2003). El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. Recuperado de http://iufro-archive.boku.ac.at/iufro/taskforce/tfcs/issue1_march31_Spanisch.pdf
- Prabhakaran-Nair, K. P. (2010). Rubber (*Hevea brasiliensis*). En K. P. Prabhakaran-Nair (Ed.), *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World*. (p. 237-273). Londres: Elsevier.
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez, J., Meza, J., Aguirre, O. y Razo, R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2), 215 -222.
- Rojo, G. E., Martínez, R. y Jasso, J. (2011). El cultivo del hule en México. México: Universidad Autónoma Indígena de México- Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo Programa de Forestal. Recuperado de <http://www.uaim.mx/Documentos/CultivoDelHule.pdf>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2013). Sector presupuestal: agricultura ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Recuperado de <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultado el 18 de abril 2015.
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoya, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. y Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 46-57. doi:10.1016/j.agee.2013.04.013.
- Sun, J., Guan, D., Wu, J., Jing, Y., Yuan, F., Wang, A. y Jin, C. (2015). Day and night respiration of three tree species in a temperate forest of northeastern China. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 8, 25-32. doi: 10.3832/ifor0982-007.
- Wauters, J. B., Coudert, S., Grallien, E., Jonard, M. y Ponette, Q. (2008). Carbon stock in rubber tree plantations in western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management*, 255, 2347-2361. doi:10.1016/j.foreco.2007.12.038.
- Zavala-Cruz, J., Salgado-García, S., Marín-Aguilar, A., Palma-López, D. J., Castelán-Estrada, M. y Ramos-Reyes, R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1 (2), 213-137.
- Zerpa, J., Mogollón, G., Gutiérrez, I. y Aguilera, A. (2007). Potencial papelero de clones de *Hevea brasiliensis* procedentes del Estado Amazonas, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 51 (1), 69-76.

Manuscrito recibido el 25 de mayo de 2015.

Aceptado el 19 de octubre de 2016.

Este documento se debe citar como:

López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A. y Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques*, 22 (3), 49-60.



Abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca

Abundance and distribution of the genus *Pinus* in Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca

Arianne Ríos-Altamirano¹, Cecilia Alfonso-Corrado¹, Víctor Aguirre-Hidalgo¹, Gregorio Ángeles-Pérez²,
Magdalena M. Mendoza-Díaz¹, Viviana Rodríguez-Rivera¹, Eusebio Roldán-Félix³ y Ricardo Clark-Tapia^{1*}

¹ Universidad de la Sierra Juárez. Instituto de Estudios Ambientales. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

² Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

³ Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra Juárez. Capulálpam de Méndez, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia. rclark@unsij.edu.mx

RESUMEN

Se analizan los factores ambientales que determinan la abundancia y distribución de las diferentes especies comerciales y aprovechadas del género *Pinus* en el municipio de Capulálpam de Méndez, Oaxaca. Se utilizó la información de 636 sitios en áreas de aprovechamiento del inventario forestal del municipio llevado a cabo en 2013 para el Plan de Manejo 2015-2022, y 354 puntos adicionales de áreas con uso diferente al forestal. Se obtuvo información sobre la distribución espacial y análisis del nicho ecológico de los pinos, para lo cual se emplearon nueve variables climáticas y cuatro geográficas. Se encontraron 10 especies, de las cuales *P. patula* presentó mayor abundancia y *P. chiapensis* fue la menor. El análisis de correspondencia canónica indicó que la mayoría de los pinos analizados se asocian en mayor medida con las variables climáticas que con las geográficas a excepción de la latitud. El análisis de nicho mostró que las especies del género *Pinus* muestran alta marginalidad y baja tolerancia a procesos de cambio ambiental, donde una modificación al hábitat podría restringir o disminuir su abundancia y distribución, siendo *P. chiapensis* la especie de menor tolerancia y *P. patula* la de mayor amplitud de nicho.

PALABRAS CLAVE: amplitud, hábitat, índice de marginalidad, nicho ecológico, tolerancia.

ABSTRACT

In this study, environmental factors that determine the abundance and distribution of commercial pine species in the municipality of Capulálpam de Méndez, Oaxaca, were analyzed. We used information pertaining to tree species abundance in 636 sites established in harvesting areas from the municipal forest inventory conducted in 2013 for the Management Plan 2015-2022, as well as 354 additional sites located in areas with different land use. Data of the spatial distribution and ecological niche analysis of the species were obtained, for which nine climatic and four geographic variables were used. Ten species of pine were recorded, of which *Pinus patula* showed the highest abundance and *P. chiapensis* the lowest. Canonical Correspondence Analysis indicated that most of the pine species are more highly associated with the climatic variables than with geographic variables, except for that of latitude. Niche analysis showed that species of the genus *Pinus* are highly marginal and of low tolerance to processes of environmental change. Minimal alterations to their habitat could restrict or reduce their abundance and distribution, with *P. chiapensis* being the least tolerant species and *P. patula* the species that presented the broadest niche.

KEYWORDS: amplitude, habitat, outlying mean index, ecological niche, tolerance.

INTRODUCCIÓN

La abundancia y distribución espacial de los seres vivos en la tierra generalmente no es aleatoria ni estable sino que se rige por la amplitud ecológica o capacidad de tolerancia que presenta cada especie a factores ambientales (Chapman, 1976; Tsiftsis, Tsiripidisa, Karagiannakidou y Alifragis, 2008; Thuiller, Gassó, Pino y Vilá, 2012). En el caso de las plantas

se ha encontrado que su abundancia y distribución se asocia principalmente a factores climáticos, edáficos y geográficos (Kimmins, 2003), así como bióticos, entre los que destaca la interacción competitiva con otras especies y la transformación y pérdida del hábitat que realiza el ser humano debido al cambio de uso de suelo y a las actividades productivas (Meier, Lischke, Schmatz y Zimmermann, 2011) que también generan cambios significativos en las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema (Murcia, 1995; Lavergne, Molina y Debussche, 2005).

En ecosistemas templados de México, la abundancia y distribución del género *Pinus* está influenciada por el clima, el tipo de suelo y la historia biogeográfica de la región (Perry, 1991; Challenger, 1998; Sánchez-González, 2008). Este género es el grupo más importante en el área forestal debido a su historia de aprovechamiento y manejo, sus poblaciones y comunidades ecológicas han variado en una escala espacial y temporal (Richardson *et al.*, 2007). En este contexto, un ecosistema forestal puede ver modificada la cantidad y distribución de especies con potencial productivo debido a la práctica silvícola de seleccionar especies con buenas características morfológicas y de alto valor comercial, por ejemplo, de *P. patula* a nivel nacional (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Ramírez-Santiago, 2015) y de *P. halepensis*, a nivel internacional (Richardson *et al.*, 2007).

Recientemente, se ha señalado que la abundancia y distribución de los organismos puede cambiar drásticamente en el futuro (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007; van Zonneveld, Koskela, Vinveti y Jarvis, 2009). En México, Gómez-Mendoza y Arriaga (2007) analizaron la sensibilidad de diversas especies de pino al cambio climático bajo dos escenarios, uno severo (22.7 °C y 660 mm) y otro conservador (21.8 °C y 721 mm) para el año 2050, concluyen con drásticas reducciones en el área de distribución actual de este taxa. A una escala regional, Cruz-Cárdenas *et al.* (2016) mencionan que el cambio climático afecta a especies sensibles como *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. hartwegii* y su área de distribución puede disminuir en más de 70%.

En este contexto, comprender la amplitud ecológica y tolerancia de un organismo a diversos factores ambienta-

les a lo largo de un gradiente, es un aspecto esencial en ecología aplicada, ya que no solo permite describir su nicho ecológico (Dolédec, Chessel y Gimaret-Carpentier, 2000), sino conocer su grado de especificidad, es decir si son generalistas o especialistas, de acuerdo con los intervalos de tolerancia y distribución de los organismos (Hulbert y White, 2007; Thuiller *et al.*, 2012). El uso del análisis multivariado de marginalidad o *outlying mean index* (OMI) (Dolédec *et al.*, 2000), permite determinar la amplitud, marginalidad y tolerancia del nicho ecológico de las especies (Tsiftsis *et al.*, 2008; Thuiller *et al.*, 2012), lo cual constituye una herramienta importante para predecir potenciales efectos del cambio climático sobre una especie y planificar labores de reforestación en áreas de distribución potencial de estas.

Este estudio se realizó a una escala de paisaje utilizando el análisis de marginalidad y diversas variables ambientales que afectan la abundancia y distribución de pinos en el municipio de Capulálpam de Méndez, Oaxaca, México, comunidad certificada en el manejo forestal de su bosque. Se conocen las especies presentes en su territorio pero se desconocen los factores ambientales que inciden en su abundancia y distribución.

OBJETIVOS

El objetivo del trabajo fue determinar la abundancia y distribución de las especies de pinos y evaluar la sensibilidad de su nicho ecológico con la finalidad de realizar recomendaciones para la conservación y manejo forestal en el municipio de Capulálpam de Méndez.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio se limitó al municipio de Capulálpam de Méndez, ubicado en la Sierra Juárez al Norte del estado de Oaxaca. Se localiza entre las coordenadas 96° 27' de longitud oeste y 17° 18' latitud Norte. Cuenta con una superficie de 3849 ha (Fig. 1), de las cuales 2557.51 ha se encuentran bajo aprovechamiento forestal (Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinan-

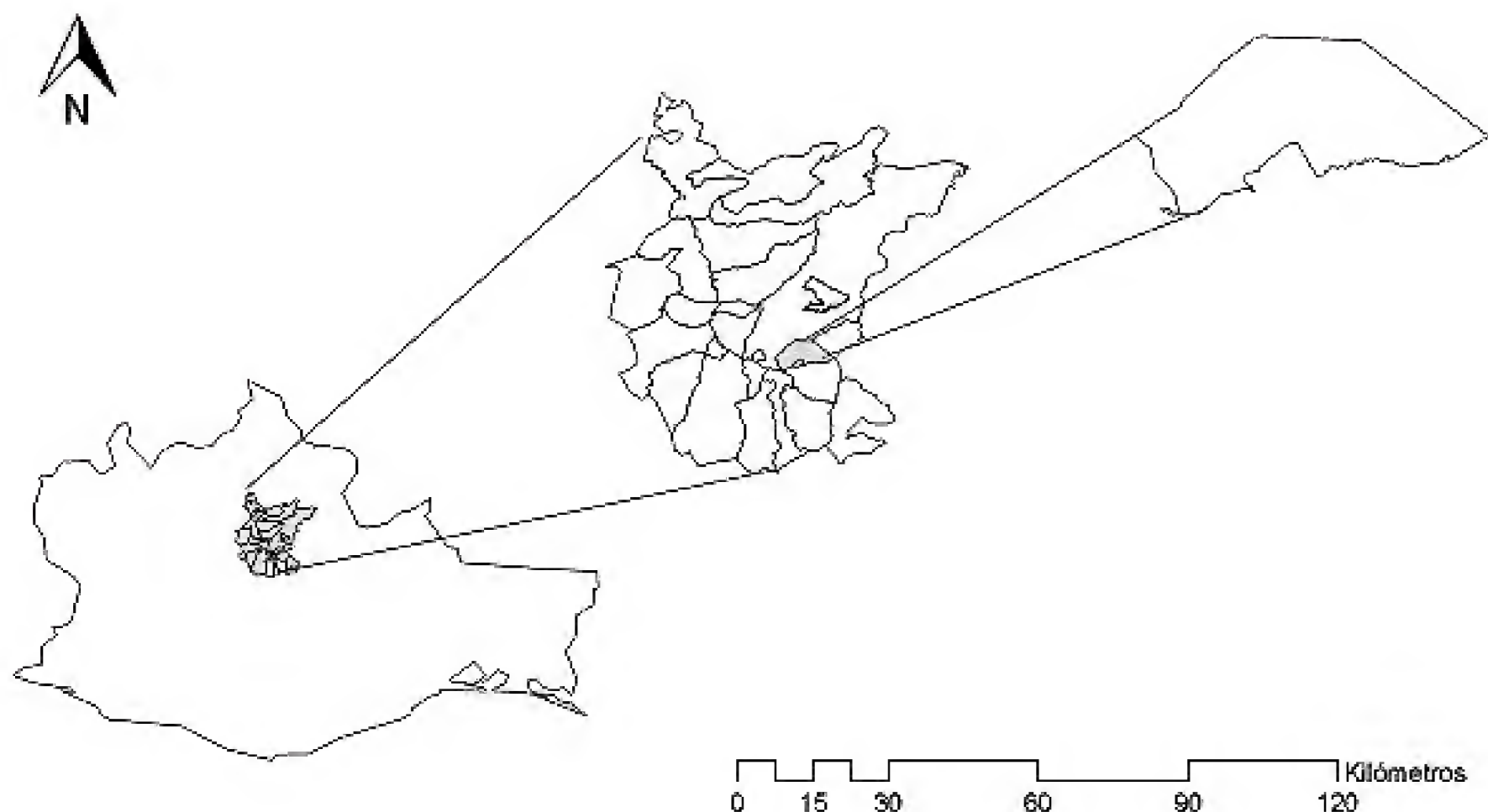


FIGURA 1. Ubicación del municipio de Capulálpam de Méndez, en el Distrito de Ixtlán, Oaxaca, México.

tecós de la Sierra Juárez [Uzachi, 2003]. Limita al norte con los terrenos comunales de Ixtlán de Juárez y San Juan Tepanzacoalcos, al sur con terrenos comunales de San Juan Juquila Vijanos, Santiago Xiacui y pueblos mancomunados (Lachatao, Amatlán y Yavesía); al este con la comunidad de San Miguel Yotao y al oeste con terrenos comunales de Santa María Yahuiche (Uzachi, 2003).

Los tipos de suelo que predominan son Cambisol, Litosol y Redzina (Plan de Desarrollo Municipal [PDM], 2009). El clima, según la clasificación de Köppen modificada por E. García, es $C(w_2)$ (w) big, definido como un clima templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos con lluvias abundantes en verano. La precipitación total es de 1115 mm anuales y los meses con mayor intensidad van de junio hasta octubre, mientras que la temperatura promedio anual es de 15.2 °C (PDM, 2009). La altitud varía de los 2000 m a los 3000 m snm, con una altitud promedio de 2120 m snm (PDM, 2009). Los tipos de vegetación que se encuentran son bosque de pino (*P. leiophylla*-*P. lawsonii*), pino-encino (*Pinus lawsonii*-*Quercus urbanii*-*Quercus crassifolia*), latifoliadas, asociaciones de bosques de encino con matorrales secundarios

(*Quercus-Acacia*), y en algunas partes se encuentran pinos con elementos de bosque mesófilo de montaña donde ocurren los géneros *Quercus*, *Oreopanax*, *Pinus* y *Dendropanax* (Uzachi, 2003; PDM, 2009).

Manejo forestal de la comunidad

En la década de 1950 el bosque de Capulálpam de Méndez fue concesionado 25 años, por decreto presidencial, a la empresa Fábricas de Papel Tuxtepec (Fapatux) para el aprovechamiento de madera del género *Pinus*, quien utilizó el Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM) (Uzachi, 2003) también conocido por Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) (Hernández-Díaz, Corral-Rivas, Quiñones-Chávez, Bacon-Sobbe y Vargas-Larreta, 2008). A principios de la década de 1980 la concesión llegó a su fin y las comunidades indígenas recuperaron el control de sus bosques, y a partir de entonces desarrollaron un manejo forestal comunitario (Bray y Merino, 2004). Este tipo de manejo forestal consistió en el Método Desarrollo Silvícola (MDS) con la aplicación de cortas de regeneración de árboles padre, en combinación con

el MMOBI, utilizando como método de regeneración el de selección grupal. A partir del año 2003 el método de regeneración de árboles padre fue sustituido por el sistema de corta de regeneración de matarrasa en franjas (Uzachi, 2003).

Obtención de datos de abundancia

Se utilizó información de abundancia proporcionada por la Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la Sierra Juárez (Uzachi). Esta consistió en una base de datos con información de abundancia de especies de 636 sitios de muestreo ubicados en áreas de aprovechamiento forestal, obtenidos de censos en parcelas circulares de 1000 m², que forman parte del inventario forestal del Plan de Manejo Forestal 2015-2022. Adicionalmente, se incorporaron 354 sitios de muestreo de áreas con uso diferente al forestal (agrícola, urbano, turístico), con la finalidad de tener representado todo el municipio. En total se trabajó con una base de datos con 990 sitios con datos de abundancia total y promedio por especie; así como cuatro variables del sitio: coordenadas geográficas (latitud, X y longitud, Y), altitud (ALT) y pendiente (%P). Para analizar las diferencias en la abundancia entre parcelas se realizó un análisis Anova Kruskal-Wallis en rangos y prueba múltiple de contraste de Tukey usando el programa XLSTATTM (Addinsoft, 2014).

Distribución espacial

El análisis espacial fue realizado usando los datos de coordenadas geográficas de cada parcela en el programa PASTTM 2.17 (Hammer, Harper y Ryan, 2001), para analizar la distribución espacial de Ripley's K de cada especie. Cuando la función empírica alcanza valores superiores al modelo nulo a una determinada distancia, implica la existencia de un patrón espacial en agregados significativos a esa distancia; por el contrario, cuando aparece por abajo, implica la existencia de un patrón espacial regular. Adicionalmente, se realizó una prueba de uniformidad de Rayleigh con la que se estimó la orientación cardinal preferente de cada especie, usando el programa PASTTM 2.17 (Hammer *et al.*, 2001).

Obtención del modelo digital de elevación

La ubicación específica de cada especie en Capulálpam de Méndez se situó en un modelo digital de elevación (MDE) del municipio, generado a partir de las curvas de nivel (equidistancia 40 m) del conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas E14D38, escala 1:50 000 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi], 2001). Este procedimiento se desarrolló mediante el sistema de información geográfica ArcGis 9.3TM (Esri, 2000) en la extensión 3D Analyst Tools. El MDE se realizó con el sistema de coordenadas UTM, zona 14N, con datum de referencia WGS84 y resolución de 15 m.

Análisis de datos del nicho ecológico

Para realizar el análisis de marginalidad (Outlying Mean Index, OMI) se empleó el software ADE-4TM (Thioulouse, Chessel, Dolédec y Olivier, 1997), donde se utilizaron datos de las variables del sitio y nueve variables climáticas obtenidas de la base de datos WorldClim de la página electrónica <http://www.worldclim.org> (Hijmans *et al.*, 2005), debido a que el municipio carece de datos climáticos: precipitación máxima (Pmax), precipitación máxima del cuartil más caluroso (Pmts), precipitación mínima (Pmin), precipitación máxima del cuartil más lluvioso (Pmlv), temperatura promedio anual (Tpm), temperatura máxima del cuartil más frío (Tmf), temperatura máxima promedio (Tmaxp), temperatura mínima promedio (Tminp) y desviación estándar de la temperatura (Tdv) y c) los datos de la abundancia de cada especie.

El análisis utiliza dos matrices: una botánica que contiene la abundancia de la especie (en renglones) y los sitios (en columnas); y otra matriz ambiental (climática más geográfica) con valores de las variables ambientales (en renglones) y mismos *n* sitios (en columnas). Como primer paso, la matriz ambiental fue analizada en sus componentes principales (ACP) con la finalidad de ordenar los sitios en función de las variables ambientales. El OMI organiza la inercia asociada con la distribución de una especie en tres términos: 1) el OMI, que estima la marginalidad de una determinada especie, es decir, la distancia entre las condiciones encontradas en la zona donde se



encuentra y las condiciones medias del hábitat en toda el área de estudio. Valores altos de OMI indican que las especies tienen nichos marginales, lo que corresponde a especies que ocurren en hábitats atípicos; 2) la amplitud del nicho o tolerancia de la especie corresponde a la dispersión de los sitios de muestreo que contienen una especie a lo largo de un gradiente ambiental. Valores bajos de tolerancia significa que la especie cuenta con un intervalo limitado de condiciones (*e.g.* especies especialistas), mientras que los valores altos implican que una especie se distribuye a través de condiciones ambientales muy variables (*e.g.* especies generalistas); finalmente, 3 la tolerancia residual, que representa la variación en el hábitat no explicada por las variables explicativas del estudio. Valores bajos de este parámetro, indican que las variables analizadas explican la distribución de una especie, mientras que valores altos indican una débil relación (Dolédec *et al.*, 2000; Tsiftsis *et al.*, 2008).

Se utilizó una prueba de Monte Carlo para comparar la marginalidad observada de la especie versus su distribución a través de 10 000 permutaciones al azar y una significancia de $P = 0.05$, bajo la hipótesis nula de que el ambiente no afecta la abundancia de la especie.

RESULTADOS

Abundancia de las especies

Se encontró un total de 10 especies de pinos, de las cuales una tiene dos variedades, *P. pseudostrobus* (Tabla 1). *Pinus patula* presentó la mayor abundancia (4814 individuos) y presencia en los puntos de muestreo (58%), seguida en abundancia de *P. pseudostrobus var. pseudostrobus* (1253 individuos) y *P. douglasiana* (1385 individuos), mientras que *P. chiapensis* y *P. leiophylla* fueron las especies con menor abundancia y ocurrencia (Tabla 1; Fig. 2).

En general, las parcelas presentaron una baja diversidad de coníferas. El número promedio de especies presentes por sitio fue de 1.38 ± 0.85 . El mayor porcentaje de las parcelas registró, de manera predominante, la presencia de una, dos o tres especies (48%, 30% y 20.94%, respectivamente); lo que representó 98.9% del total analizado.

De manera poco frecuente, se ubicaron parcelas con presencia de cuatro a cinco especies (0.91% y 0.15% respectivamente). Este resultado se relaciona con la baja abundancia total y promedio de pinos presentes en las parcelas (Tabla 1) en donde predominaron sitios de muestreo con ausencia de pinos (49% de los sitios analizados) y sitios con menos de 10 individuos en 1000 m² (27%), siendo escasas las parcelas con más de 50 individuos (< 3% de los sitios analizados).

Distribución de las especies de pino en Capulálpam de Méndez

De manera general, la mayoría de las especies mostró una distribución espacial significativa ($R = 1.45$; $P < 0.016$) dispersa a cortas distancias (< de 300 m) y agregada a grandes distancias (de 300 m en adelante), con excepción de *P. leiophylla* y *P. rudis* que mostraron una distribución espacial al azar ($R = 1.01$; $P < 0.007$).

Utilizando como base el modelo de elevación digital, se definieron tres estratos altitudinales para Capulálpam de Méndez: a) la zona baja que comprende de los 1680 m a 2205 m snm; b) la zona media de 2205 m a 2730 m snm y c) la zona alta con altitudes de 2730 m a 3080 m snm, dentro de los cuales se ubicó la distribución y presencia de cada especie. Para brindar una mejor interpretación de los resultados se describe el patrón de distribución a nivel de cada una de ellas (Fig. 3a-j).

P. ayacahuite tuvo una mayor presencia en la zona media del municipio (Fig. 3a), con mayor preferencia por la orientación NE (81.4°, $R = 0.78$, $P < 0.005$). La especie se registró en zonas húmedas localizadas a una altitud que va de los 2205 m a los 2730 m snm. No se encontró en la zona baja, mientras que su presencia en la zona alta es mínima. Las especies que mostraron una asociación con *P. ayacahuite* fueron *P. patula* y *P. pseudostrobus var. pseudostrobus* presentes en 65% y 23% de los sitios respectivamente y en menor asociación con *P. douglasiana* (9%), *P. leiophylla* (0.7%) y *P. rudis* (0.5%), mientras que en 11% de los sitios se presentó de manera exclusiva.

P. douglasiana mostró un patrón similar a *P. ayacahuite*, al presentarse con mayor frecuencia en la zona

TABLA 1. Abundancia total (At) y promedio (Ap) de las especies de *Pinus* en Capulálpam de Méndez.

Especie	At en el municipio	Ap en 1000 m ²	Abreviaturas
<i>P. ayacahuite</i> C.Ehrenb. ex Schltdl.	152	0.18±0.02 ^a	Pah
<i>P. douglasiana</i> Martínez	1385	1.42±0.14 ^b	Pdg
<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	57	0.05±0.02 ^c	Plp
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl. var. <i>oaxacana</i> *	464	0.08±0.01 ^c	Ppso
<i>P. patula</i> Schltdl. & Cham. var. <i>Patula</i>	4986	5.06±0.32 ^d	Ppl
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl. var. <i>pseudostrobus</i>	1717	1.85±0.21 ^b	Pps
<i>P. rudis</i> Lindl.	285	0.29±0.10 ^c	Phd
<i>P. teocote</i> Schltdl. & Cham .	811	0.83±0.08 ^e	Ptc
<i>Pinus lawsonii</i> Roezl ex Gordon et Glend	54	0.04±0.008 ^c	Plw
<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	46	0.03±0.007 ^c	Pd
<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen	10	0.01±0.009 ^c	Pch

At-suma de todos los individuos de la especie en los sitios muestreados y Ap-número estimado con base en el promedio por 1000 m².
*Existe controversia de si *P. pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* (≈*P. oaxacana* Mirov) es o no una especie. El nombre aceptado en trópicos (www.tropicos.org) una base de datos taxonómica internacional, es *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw, no obstante, Conafor (2007a) la reconoce con el nombre brindado por Uzachi.
** A *P. rudis* autores como Farjon y Styles (1997) y la base de datos trópicos consideran a *P. rudis* y *P. hartwegii* como sinónimos. Sin embargo, de la misma forma que en el caso anterior, Conafor (2007b) y la Uzachi la reconocen como *P. rudis*, por lo que en este estudio se usará el nombre proporcionado por Uzachi, dejando la discusión a futuros trabajos taxonómicos o moleculares, lo cual no es objetivo de este estudio.

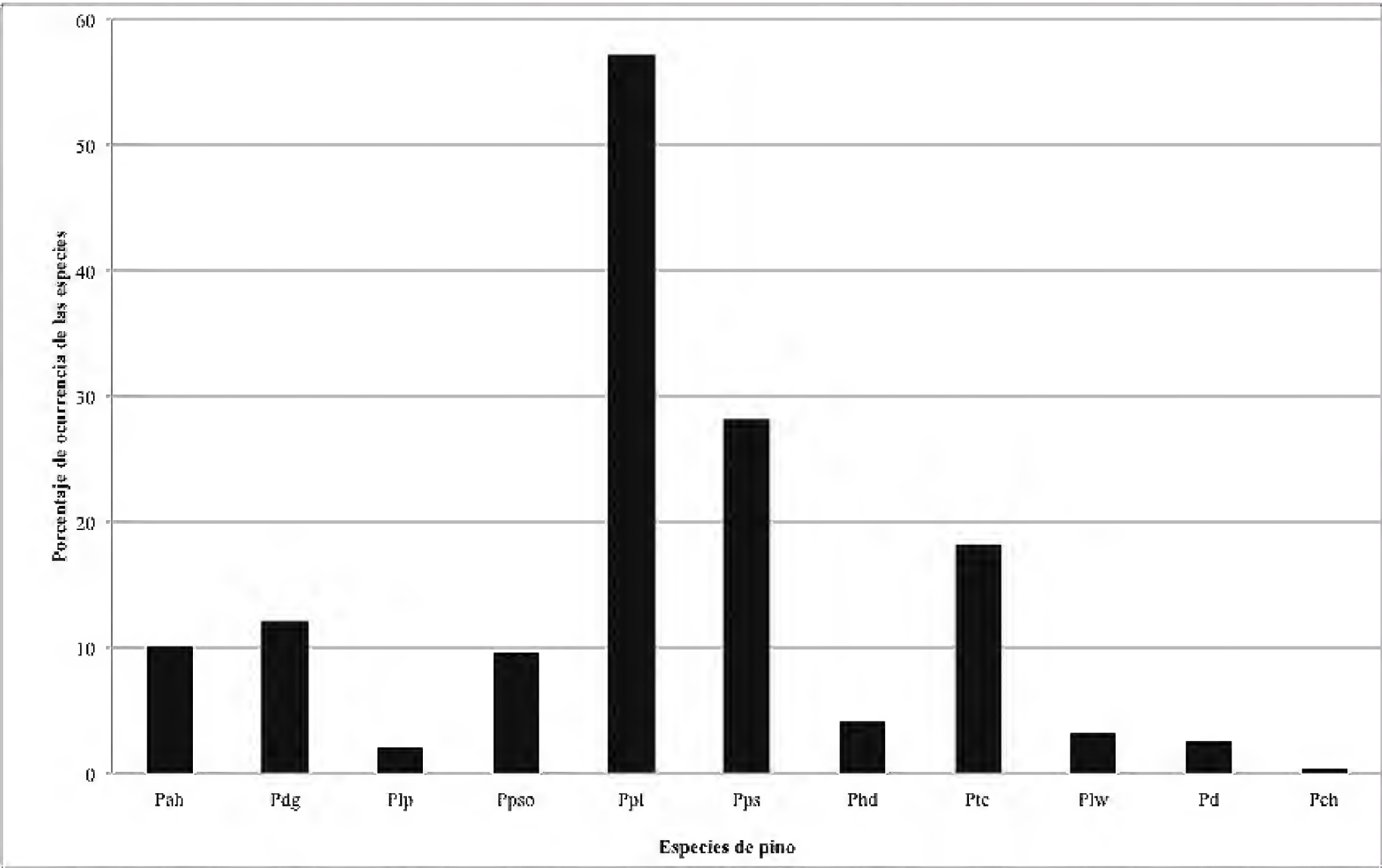


FIGURA 2. Porcentaje de sitios con ocurrencia de especies de *Pinus* en Capulálpam de Méndez.

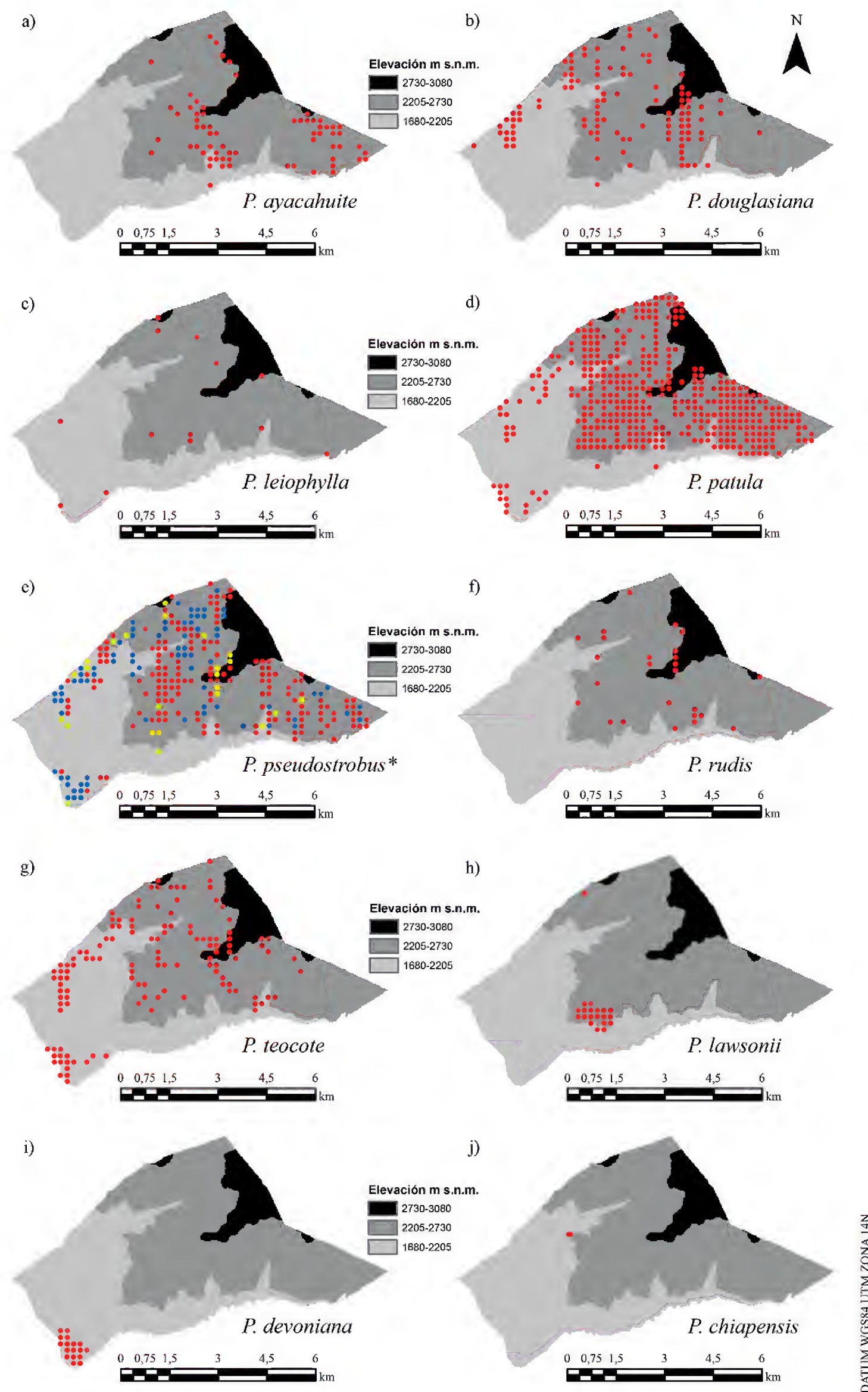


FIGURA 3. Distribución de las especies de *Pinus* en Capulálpam de Méndez.

*Se indica a *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* con el símbolo de color rojo, a *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* de color azul y la presencia de ambas en el mismo sitio se indica de color amarillo.

media (2205 m - 2730 m snm) (Fig. 3b). La especie mostró preferencia por laderas y la orientación NE (82.3° , $R = 0.77$, $p < 0.002$). Este pino se encontró solo en 69% de las parcelas y cuando se encuentra en asociación es con *P. patula*.

P. leiophylla se registró solo en 12 sitios que corresponden a laderas de la zona media del municipio (Fig. 3c). Su distribución espacial fue significativa aleatoria y mostró una orientación preferente por el E (93° , $R = 0.61$, $p < 0.009$). Su asociación con otros pinos fue baja, menor a 0.5% de las parcelas con *P. patula*, *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* y *P. douglasiana*.

P. pseudostrobus var. *oaxacana* (*Pinus oxacana* Mirov) mostró alta presencia y abundancia en la zona baja y media (Fig. 3d) y una orientación NE (78.9° , $R = 0.72$, $p < 0.005$). Este pino se asoció principalmente con *P. teocote* con quien estuvo presente en 45% de los sitios, con *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* en 37% de los sitios y con *P. patula* en 30% de las parcelas. En menor porcentaje se asoció con *P. douglasiana* y *P. ayacahuite* en 3% y 1.7% de los sitios, respectivamente. En 33% de las parcelas muestreadas la especie se presentó de manera exclusiva.

P. patula fue la especie más abundante de todas y su distribución se concentró principalmente en la parte media, en la parte baja se presentó en pequeñas porciones y en la parte alta se le encontró alrededor de los 2900 m (Fig. 3e), ubicándose en las laderas y sitios con una orientación preferente NE (38° , $R = 0.53$, $p < 0.003$). *P. patula* se encontró asociada preferentemente con *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (42%) y *P. ayacahuite* (13%).

P. pseudostrobus var. *pseudostrobus* se registró en las tres zonas (Fig. 3d), con excepción de las altitudes máxima (3080 m snm) y mínima (1680 m snm). Esta especie mostró preferencia por sitios con buena exposición, orientados preferentemente al NE (73° , $R = 0.77$, $p < 0.003$). Se encontró asociada en mayor medida con *P. patula* (64%), *P. teocote* (25%), *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* (22%) y *P. ayacahuite* (10%).

P. rudis, al igual que *P. leiophylla*, presentó baja abundancia (Fig. 3f). Esta especie se encontró con mayor

frecuencia en altitudes elevadas ya que a pesar de encontrarse desde los 2200 m snm con unos pocos individuos, su abundancia se incrementó a partir de los 2500 m - 2800 m snm donde mostró una orientación preferente NE (82° , $R = 0.71$, $p < 0.001$). *P. rudis* se encontró asociada con *P. teocote* (37.5%), *P. patula* (29%), *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (17%), así como con *P. ayacahuite* y *P. douglasiana* en 12.5% de los sitios.

P. teocote se registró en solo 18% de los sitios analizados (Fig. 3g); no obstante, es de las especies más abundantes en el municipio, particularmente en la parte baja y media, con presencia menos abundante en la parte alta donde mostró una orientación preferente NE (66° , $R = 0.43$, $p < 0.05$). Se le encontró asociada con *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (45%), *P. patula* (33%), y en menor medida con *P. rudis* (8%). Esta especie estuvo sola en 41% de los sitios analizados.

P. lawsonii presentó baja abundancia (Fig. 2) y ocurrencia (Fig. 3h) en el municipio. Esta especie se encontró con mayor frecuencia a altitudes medias, ya que a pesar de encontrarse desde los 2100 m snm con unos pocos individuos, su abundancia máxima se encontró entre los 2250 m y 2400 m snm, donde mostró una orientación preferente NE (85.5° , $R = 0.83$, $p < 0.001$). *P. lawsonii* se encontró asociada con *P. patula* (60%), *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (35%), *P. teocote* (30%) y en menor ocurrencia con *P. douglasiana* (10%).

P. devoniana solo se registró en 16 parcelas al SE del municipio (Fig. 3i), donde predomina en laderas de la parte baja a una altitud promedio de 1989 m snm, con una distribución espacial significativa aleatoria a cortas y grandes distancias y uniforme a distancias intermedias y una orientación promedio NE (73° , $R = 0.88$, $p < 0.001$). Se asoció principalmente con *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (75%) y en menor medida con *P. patula* (19%) y *P. teocote*, (35%).

P. chiapensis mostró presencia solamente en dos sitios del municipio con abundancia muy baja de individuos (Fig. 3j), a una altitud promedio de 2210 m snm, en un patrón agregado y con orientación SO. *P. patula* fue la única especie asociada en ambos sitios.



Análisis de nicho ecológico

El análisis del índice de marginalidad indicó un efecto directo de las variables ambientales sobre la abundancia y la distribución de las especies de pinos en Capulálpam de Méndez. Ochenta por ciento de las especies son influenciadas significativamente por las variables ambientales analizadas. Las coníferas con mayores valores del OMI fueron *P. ayacahuite*, *P. chiapensis*, *P. devoniana*, *P. lawsonii* y *P. rudis* mientras que las cinco especies restantes mostraron un valor menor a la unidad (Tabla 2). Los valores del índice de tolerancia mostraron que los pinos con mayor tolerancia o amplitud de nicho en el municipio fueron *P. teocote*, *P. patula* y *P. rudis*, mientras que las menos tolerantes fueron *P. chiapensis*, *P. lawsonii* y *P. devoniana* (Tabla 2). Sesenta y cuatro por ciento de las coníferas presentaron una tolerancia baja (valores menores a la media), lo que indicó un nicho muy sensible a cambios, es decir, un nicho con baja amplitud o muy especializado. Se encontró que las coníferas mostraron un bajo porcentaje de tolerancia residual, lo

cual indica que los parámetros de hábitat analizados explicaron satisfactoriamente su distribución (Tabla 2).

Los primeros dos ejes del análisis OMI explicaron 90% de la varianza obtenida (Fig. 4), en el inciso a de la figura 4 se muestra que los pinos responden de manera diferente a las variables geográficas y climáticas de la figura 4 inciso b, mostrando una correlación positiva o negativa significativa. La posición de las especies a lo largo de los dos primeros ejes del OMI permitió separar claramente dos grupos de coníferas; el primero (parte izquierda de la figura 4a) que consistió en pinos asociados a variables geográficas (latitud, longitud y altitud) y las variables climáticas de precipitación, mientras que el segundo grupo (parte derecha de la figura 4a) mostró a especies asociadas con las variables climáticas de temperatura.

DISCUSIÓN

Las diez especies estudiadas en Capulálpam de Méndez, representan 83% de los pinos documentados para la Sie-

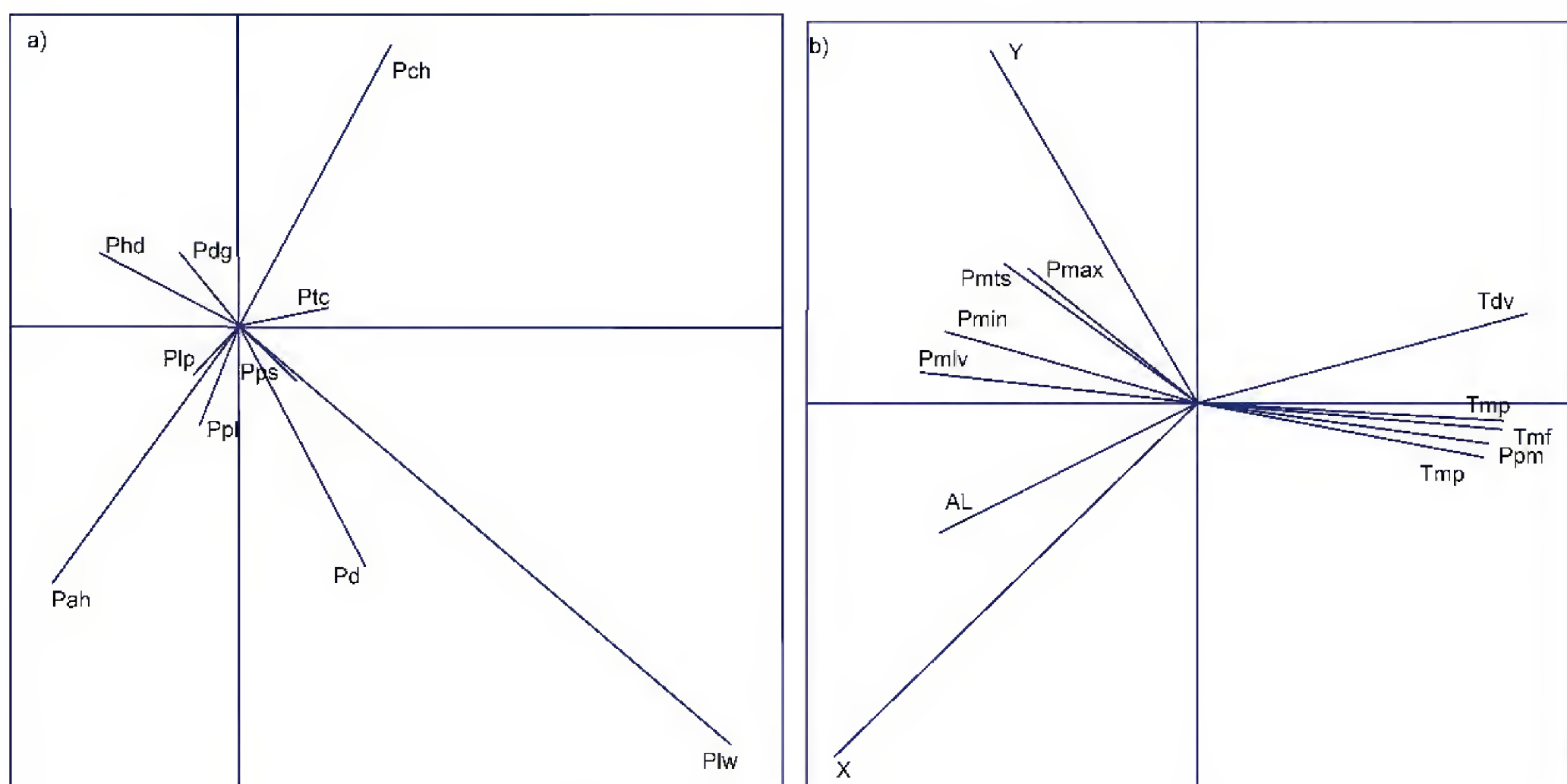


FIGURA 4. Valores canónicos de las variables y su efecto sobre la distribución de las especies de *Pinus* en Capulálpam de Méndez.

a) Distribución de las especies en los primeros dos ejes del análisis de marginalidad y b) peso canónico de las variables ambientales. La longitud de las flechas describe la importancia relativa de cada variable analizada y la dirección de la flecha indica la correlación entre variables. Ver tabla 1 para abreviatura de las especies y sección datos de nicho ecológico en métodos para la abreviatura de las variables.

TABLA 2. Parámetros de nicho para las especies de *Pinus* en Capulálpam de Méndez.

Especie	Inercia	OMI	T1	T2	P
Pah	7.788	3.394	2.277	2.281	*
Pdg	8.778	0.374	2.475	5.931	*
Plp	6.576	0.222	3.545	2.813	NS
Ppso	16.484	2.071	2.566	3.931	*
Ppl	8.354	0.202	4.232	8.026	*
Pps	10.414	0.313	2.079	2.085	*
Phd	6.394	1.899	1.970	8.06	NS
Ptc	11.410	0.707	2.657	8.057	*
Plw	2.414	2.111	0.265	0.270	NS
Pd	2.283	2.710	0.657	0.224	*
Pch	2.808	2.808	0.000	0.000	NS

Nombres de especies y abreviaturas se encuentran en Tabla 1. OMI = Índice promedio de marginalidad; T1 = Índice de tolerancia; T2 = Porcentaje de tolerancia residual; P = representa el número de simulaciones (1000) que representan un mayor valor del observado en el OMI (NS = no significativo a un valor de $P > 0.05$).

rra Norte de Oaxaca y 71% a nivel estatal (14 especies de acuerdo con Del Castillo, Pérez de la Rosa, Vargas-Amado y Rivera-García, 2004). Este es un porcentaje de especies alto si se compara con regiones de bosques templados de mayor extensión tanto en el estado de Oaxaca (Del Castillo *et al.*, 2004), como a nivel nacional (*e.g.* Márquez-Linares, González-Elizondo y Álvarez-Zagoya, 1999; Enríquez-Enríquez, Koch y González-Elizondo, 2003; Díaz, Sosa-Ramírez y Pérez-Salicrup, 2012). De las especies presentes, *P. patula* mostró la mayor abundancia y distribución en el municipio, tres veces más que *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*, que es la segunda especie en abundancia. Este resultado es congruente con su uso al ser *P. patula* y *P. pseudostrobus* las especies más aprovechadas forestalmente en México (Perry, 1991; Bermejo y Pontones, 1999; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008).

En Oaxaca, estas dos especies son sumamente apreciadas en el sector forestal, particularmente desde el punto de vista económico, producto de las buenas características morfológicas de sus fustes (Del Castillo *et al.*, 2004;

Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2007a). En Ixtlán de Juárez, predio comunal colindante con Capulálpam de Méndez, se ha encontrado que *P. patula* y *P. pseudostrobus* presentan una mayor abundancia y distribución con respecto a otras especies (Hipólito Vázquez datos no publicados). De igual manera, estas dos especies son registradas por Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) como las de mayor distribución en la Sierra Juárez. Esto puede ser debido a que se impulsa un proceso de selección o reemplazo de especies no comerciales por aquellas con potencial económico en las comunidades forestales de la sierra.

La modificación de la estructura forestal es una consecuencia directa del manejo forestal (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Ramírez-Santiago, 2015), lo cual no solo puede favorecer la abundancia y distribución de las coníferas de interés comercial, sino afectar a otras especies (Solís-Moreno *et al.*, 2006; Richardson *et al.*, 2007; Jardel, 2012). La alta presencia de *P. patula* en el municipio con fines de manejo forestal es ejemplo de una práctica común en el ámbito forestal que conduce a la modificación de la estructura del bosque (Perry, Graham y Richardson, 1998; Richardson *et al.*, 2007). Por consiguiente, una posible respuesta a la baja abundancia y distribución de las especies de menor valor comercial (*e.g.* *P. teocote*, *P. leiophylla* y *P. rudis*) en la región, sea producto de prácticas inadecuadas de manejo forestal en el pasado cuando Fábricas de Papel Tuxtepec (Fapatux) utilizaba el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), cuya corta selectiva propició un cambio en la composición de los bosques al reducir la dominancia de pinos y su reemplazo por encinos de acuerdo con Uzachi (2003). No obstante, un análisis histórico de los últimos 50 años realizado por Gorgonio (2015), señala un incremento en las poblaciones de encino en la Sierra Norte a partir de la década de 1980, período en el que termina la concesión a Fapatux e inicia el manejo forestal comunitario. Esta evidencia, en conjunto con la encontrada por Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) y Ramírez-Santiago (2015) exponen el efecto del manejo forestal en la estructura del dosel, sin embargo, se requiere una mayor investigación para concluir qué tipo de manejo forestal (Fapatux o Comunitario) causó la reducción de



pinos no comerciales. No obstante, en el futuro se puede causar una reducción de especies de pinos no comerciales, debido a que actualmente los programas de manejo del municipio y la región utilizan como tratamiento silvícola la matarrasa en franja en donde se extraen todas las especies presentes y posteriormente se realizan plantaciones con especies comerciales como *P. patula* o *P. pseudostrobus*. Con dichas coníferas se realizan también los programas de reforestación de áreas plagadas o afectadas por incendios, lo que incrementa la abundancia y distribución de estas especies.

Adicionalmente, los procesos históricos de cambio de uso de suelo en el municipio (zonas agrícolas y asentamientos humanos) (Marcial-Juárez, 2011) son la causa de ausencia de pinos en 42% de las parcelas estudiadas, y puede ser otra razón de la baja abundancia de pinos en zonas agrícolas abandonadas, donde se reforestó con especies comerciales. Esta práctica, en conjunto con un manejo forestal inadecuado constituyen factores que restan superficie a los bosques (Challenger, 1998; Sáenz-Romero, Snively y Lindig-Cisneros, 2003; Richardson *et al.*, 2007), que en sinergia con factores ambientales modifican la composición y estructura forestal (Perry, 1991; Sánchez-González, 2008).

Por otra parte, la compleja topografía del territorio nacional, unida a las grandes diferencias a nivel regional en latitud y altitud han dado forma a un mosaico climático y ecológico favorable para la gran diversidad de pinos y distribución de las especies que existe en México (Perry, 1991; Bermejo y Pontones, 1999). Capulálpam de Méndez, cuenta con una accidentada topografía y altitudes que varían desde los 1600 m hasta los 3000 m snm, intervalo altitudinal en el que se sitúa la distribución de los pinos en el país (Bermejo y Pontones, 1999; del Castillo *et al.*, 2004; Sánchez-González, 2008).

Diversos estudios demuestran que tanto las variables geográficas (altitud y latitud) como climáticas (precipitación y temperatura) influyen en la abundancia y distribución de las especies forestales (e.g. Álvarez-Moctezuma, Ochoa-Gaona, de Jong y Soto-Pinto, 1999; Poulos y Camp, 2005; Naranjo-Luna, 2014). Los valores de especi-

ficidad del hábitat y amplitud ecológica de las especies de pinos indican de manera general un efecto de las variables ambientales en la abundancia y distribución de las especies de pinos en Capulálpam de Méndez. En algunas especies como el caso de *P. patula*, los valores pueden estar sobreestimados debido a que su distribución ha sido incrementada debido a las plantaciones en áreas de bajo aprovechamiento, y su marginalidad y amplitud ecológica puede ser más reducida, similar a las demás especies.

La afinidad ecológica e intervalo de tolerancia de los pinos a variables ambientales puede ser relevante al momento de seleccionar a las especies para plantaciones o restauración con especies forestales para establecerlas en su nicho adecuado, particularmente si a futuro se elige un sistema de manejo forestal cercano a lo natural, en donde se predomina la diversidad de especies, y no monocultivos forestales (Bannister y Pyttel, 2010). Adicionalmente, es importante saber cuáles especies son sensibles a factores climáticos para tomar decisiones sobre estrategias de mitigación contra el cambio climático. Un estudio realizado por Gómez-Mendoza y Arriaga (2007) concluye que la distribución a nivel nacional *P. rudis*, especie presente en Capulálpam de Méndez, es uno de los pinos más vulnerables en México, del que se pronostica una disminución de su distribución de entre 43% y hasta 64%, que coincide con la alta marginalidad y baja amplitud obtenida en este estudio.

La reducción de la distribución de especies forestales descrita a nivel nacional por Gómez-Mendoza y Arriaga (2007); revela un escenario menos radical en la disminución en superficie de otras especies (< 36%), por ejemplo, *P. douglasiana*, cuya reducción sería de 1% a 2% de su área actual. Sin embargo, este escenario nacional debe tomarse de manera precautoria en el municipio de Capulálpam de Méndez, dada la sensibilidad de las especies a factores climáticos y donde variaciones en temperatura y precipitación a una escala pequeña, puede tener efectos más severos que a nivel nacional. En este contexto Cruz-Cárdenas *et al.* (2016) encontraron, a nivel regional, decrementos drásticos mayores a 60% en el área de distribución de coníferas sensibles como *P. douglasiana*, *P. rudis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana*.

Las especies anteriores se encuentran también presentes en el área de estudio, donde muestran una vulnerabilidad mediana a alta a procesos de cambio ambiental. En Sierra Juárez, región donde se localiza Capulálpam de Méndez se registran cambios en el régimen pluviométrico e incremento en la temperatura promedio ($\approx 0.3^\circ\text{C}$) en las últimas tres décadas (Clark-Tapia, Suárez-Mota, Matías-Nolasco y Velasco-Hipólito, 2016). Este cambio ambiental asociado con la alta marginalidad de coníferas incrementa la vulnerabilidad de las especies forestales sensibles, un aspecto que debe considerarse en los planes de manejo forestal del municipio y de la región, de donde se extraen todas las especies del área de aprovechamiento, pero solo se promueve la reforestación con especies comerciales. Lo anterior puede incidir de manera directa en la reducción de las poblaciones y su área de distribución, por lo que se sugiere retener especies de bajo valor comercial, para conservar el nicho de especies asociadas y evitar la pérdida a nivel local de una especie forestal.

CONCLUSIONES

El municipio de Capulálpam de Méndez presenta una alta riqueza de especies de pinos, dentro las cuales *Pinus patula* presenta la mayor abundancia y distribución, en contraste con *P. chiapensis* y *P. leiophylla* que es menor. El manejo forestal, ha generado cambios en la estructura de la vegetación, reflejándose en la dinámica poblacional de las especies forestales en el municipio, lo cual favorece a las especies de alto valor comercial como *P. patula* y *P. pseudostrobus*. De manera general, las especies presentaron requerimientos ambientales específicos y alta sensibilidad a procesos de cambio ambiental, por lo que se recomienda la retención de especies de bajo valor comercial en áreas de aprovechamiento forestal, y la utilización de un sistema silvícola cercano a lo natural, donde se promueva la reforestación mixta de especies.

RECONOCIMIENTOS

De manera especial se agradece a las Autoridades de Bienes Comunes de Capulálpam y Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Si-

erra Juárez por todo el apoyo proporcionado en la realización de la investigación. Este trabajo fue desarrollado gracias al financiamiento otorgado a través del fondo sectorial de investigación SEP-Conacyt, proyecto 180790, clave institucional 2-EA-0807.

REFERENCIAS

- AddinSoft. (2014). *XLSTAT* (versión 2014.3.02). BroNY, USA: Addinsoft, Inc.
- Álvarez-Moctezuma, J. G., Ochoa-Gaona, S., De Jong, B. H. J. y Soto-Pinto, M. L. (1999). Hábitat y distribución de cinco especies de *Quercus* (Fagaceae) en la Meseta Central de Chiapas. *Biología Tropical*, 47, 351-358.
- Bannister, J. R. y Pyttel, P. (2010). Silvicultura cercana a lo natural (SCN): "Una nueva visión para el sector forestal chileno?". *Bosque Nativo*, 46, 26-34.
- Bermejo, V. B. y Pontones, B. J. (1999). *Los pinos mexicanos y su utilización como especies introducidas de alto potencial en varios países del mundo*. (2^{do} simposio sobre avances en la producción de semillas forestales en América Latina, memorias 1999). Santo Domingo, Republica Dominicana.
- Bray, D. B. y Merino, P. L. (2004). *La experiencia de las comunidades forestales en México*. Recuperado de: www2.fiu.edu/~brayd/Bray%20and%20Merino-La%20Experiencia.pdf
- Castellanos Bolaños, J. F., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, O. A., Jiménez Pérez, J., Musalem Santiago, M. y López Aguillón, R. (2008). Estructura de bosque de pino pátula bajo manejo forestal en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 14 (2), 51-63.
- Clark-Tapia, R., Suárez-Mota, M. E., Matías-Nolasco, M. y Velasco-Hipólito, F. (2016). Clima: pasado, presente y futuro. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz y M. Fuente-Carrasco (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: caracterización, diagnóstico y gestión* (38-47). México: Universidad de la Sierra Juárez.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México; pasado, presente y futuro*. México: CONABIO, Instituto de Biología UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C.



- Chapman, S.B. (1976). *Methods in plant ecology*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2007a). *Ficha técnica para Pinus oaxacana*. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/973Pinus%20oaxacana.pdf>.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2007b). *Ficha técnica para Pinus rudis*. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/982Pinus%20rudis.pdf>.
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J. T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F. y López-Sandoval, J. A. (2016). Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22 (2), 135-148.
- Del Castillo, R. F., Pérez de la Rosa, J. A., Vargas-Amado, G. y Rivera-García, R. (2004). Coníferas. En A. J. García Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (141-158). México.
- Díaz, V., Sosa-Ramírez, J. y Pérez-Salicrup, D. R. (2012). Distribución y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Polibotánica*, 34, 99-126.
- Dolédec, S., Chessel, D. y Gimaret-Carpentier, C. (2000). Niche separation in community analysis: a new method. *Ecology*, 81, 2914-2927.
- Enríquez-Enríquez, E. D., Koch, S. D. y González-Elizondo, M. (2003). Flora y vegetación de la Sierra de órganos, municipio de Sombrerete, Zacatecas, México. *Acta Botánica Mexicana*, 64, 45-89.
- Environmental Scientific Research Institute (ESRI). (2000). *ArcView* (3.x). Redlands, California: ESRI.
- Farjon, A. K. y Styles, B. T. (1997). *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monograph*, 75, 1-291.
- Gómez-Mendoza, L. y Arriaga, L. (2007). Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology*, 21, 1545-1555.
- Gorgonio, R. M. (2015). *Ecología y genética de Quercus crassifolia (Fagaceae) en sitios de manejo forestal y de uso local en Sierra Juárez*. Tesis de maestría no publicada. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.
- Hammer, Q., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*, 4 (1), 1-9.
- Hernández-Díaz, J. C., Corral-Rivas, J. J., Quiñones-Chávez, A., Bacon-Sobbe, J. R. y Vargas-Larreta, B. (2008). Evaluación del manejo forestal regular e irregular en bosques de la Sierra Madre Occidental. *Madera y Bosques*, 14 (3), 25-41.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- Hurlbert, A. H. y White, E. P. (2007). Ecological correlates of geographical range occupancy in North American birds. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 764-773.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2001). Conjunto de Datos Vectoriales. Santa Catarina Ixttepeji E14D38. Escala 1: 50,000, Oaxaca, México.
- Jardel, E. J. (2012). El manejo forestal en México: estado actual y perspectivas. En F. Chapela (Ed.), *Estado de los Bosques en México* (69-115). México: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.
- Kimmins, J. P. (2003). *Forest ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry*. Minnesota, USA: Benjamin Cummings, Pearson.
- Lavergne, S., Molina, W. J. y Debussche, M. (2005). Environmental and human factors influencing rare plant local occurrence, extinction and persistence: a 115-year study in the Mediterranean region. *Journal of Biogeography*, 32, 799-811.
- Marcial-Juárez, R. (2011). *Cambio de uso de suelo en Capulálpam de Méndez*. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.
- Márquez-Linares, M. A., González-Elizondo, S. y Álvarez-Zagoya, R. (1999). Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, México. *Madera y Bosques*, 5 (2), 67-78.
- Meier, E.S., Lischke, H. Schmatz, D. R. y Zimmermann, N. E. (2011). Climate, competition and connectivity affect

- future migration and ranges of European trees. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 164-178.
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Tree*, 10, 58-62.
- Naranjo-Luna, F. J. (2014). *Ecología y genética de Oreomunnea mexicana (Standl.) J.F. Leroy (Junglandaceae), especie relicto del bosque de niebla de la Sierra Juárez, Oaxaca*. Tesis de maestría no publicada. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.
- Plan de Desarrollo Municipal (PDM). (2009). *Plan de Desarrollo Municipal Capulálpam de Méndez*. Oaxaca, México.
- Perry, J. P. (1991). *The pines of México and Central America*. Portland, Oregon, EUA: Timber Press.
- Perry, J. P., Graham, A. y Richardson M. D. (1998). The history of pines in México and Central America. En M.D. Richardson (Ed.). *Ecology and Biogeography of Pinus* (137-149). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Poulos, H. M. y Camp, A. E. (2005). Vegetation - Environment relations of the Chisos Mountains, Big Bend National Park, Texas. Fort Collins: USDA Forest Service Proceedings RMRS.
- Ramírez Santiago, R. (2015). *Estructura y dinámica de un bosque de pino-encino bajo manejo forestal en la Sierra Norte de Oaxaca*. Disertación doctoral. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México.
- Richardson, D. M., Rundel, P. W., Jackson, S. T., Teskey, R. O., Aronson, J., Bytnerowicz, A., Wingfield, M. J. y Proches, S. (2007). Human impacts in pine forests: past, present and future. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38, 275-297.
- Sáenz-Romero, C., Snively, A. E. y Lindig-Cisneros, R. (2003). Conservation and restoration of pine forest genetic resources in Mexico. *Silvae Genetica*, 52, 5-6.
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14 (1), 107-120.
- Solís-Moreno, R., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E. y Corral-Rivas, J. (2006). Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 12 (2), 49-64.
- Thioulouse, J., Chessel, D., Dóledec, S. y Olivier, J. M. (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7, 75-83.
- Thuiller, W., Gassó, N., Pino, J. y Vilá, M. (2012). Ecological niche and species traits: key drivers of regional plant invader assemblages. *Biological Invasions*, 14, 1963-1980.
- Tsiftsis, S., Tsiripidis, I., Karagiannakidou, V. y Alifragis, D. (2008). Niche analysis and conservation of the orchids of East Macedonia (NE Greece). *Acta Oecologica*, 33, 27-35.
- Unión de comunidades productoras forestales Zapotecas y Chinantecas (Uzachi). (2003). Programa de manejo forestal persistente para el aprovechamiento maderable de la comunidad de Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca.
- Van Zonneveld, M., Koskela, J., Vinceti, B. y Jarvis, A. (2009). Repercusiones del cambio climático en la distribución de los pinos tropicales en Asia sudoriental. *Unasylva*, 60, 24-28.

Manuscrito recibido el 15 de julio de 2015.

Aceptado el 13 de septiembre de 2016.

Este documento se debe citar como:

Ríos-Altamirano, A., Alfonso-Corrado, C., Aguirre-Hidalgo, V., Ángeles-Pérez, G., Mendoza-Díaz, M. M., Rodríguez-Rivera, V., Roldán-Felix E. y Clark-Tapia, R. (2016). Abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 22 (3), 61-74.



Estructura y composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la Empresa Agroforestal Minas, Cuba

Structure and composition of the pine forest vegetation in Alturas de Pizarra in the Minas Agroforestry Enterprise, Cuba

Yatsunaris Alonso-Torrens^{1*}, Fernando Ramón-Hernández Martínez¹, Héctor Barrero-Medel¹, Germán López-Ibarra²,
Nora Madanes³ y Judith Prieto-Méndez⁴

¹ Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Departamento Forestal, Facultad Forestal y Agronomía, Pinar del Río, Cuba. fhernandez@upr.edu.cu, hbarrero@upr.edu.cu

* Autor de correspondencia. yatsunaris@upr.edu.cu

² Universidad de Alicante Alicante. Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio "IMEM Ramón Margalef". Departamento de Ecología. España. german.lopeziborra4@gmail.com

³ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Laboratorio de Ecología Funcional, Laboratorio de Ecología Ambiental y Regional. Buenos Aires, Argentina. noramadan@ gmail.com

⁴ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agrícolas. Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales. jud_292003@yahoo.com.mx.

RESUMEN

Esta investigación fue realizada en pinares en Alturas de Pizarra de la Empresa Agroforestal Minas, con el objetivo de determinar la estructura y composición de estos pinares, para el manejo de los mismos. Se seleccionaron dos áreas; en cada área fueron establecidas 30 parcelas circulares de 15 metros de radio; se consideraron tres estratos en la vegetación para cuantificar las especies presentes y hacer los análisis correspondientes. Se calculó la diversidad alfa y beta, se evaluó la estructura horizontal mediante el índice de importancia ecológica y la distribución por clases diamétricas, se describió la estructura vertical a través de la riqueza de especies en cada estrato, así como su posición sociológica. En ambos pinares se identificaron en total 36 familias, 47 géneros y 61 especies de plantas, 42 especies en el área de *Pinus caribaea* y 36 especies en el área de *Pinus tropicalis*, observándose diferencias en cuanto a la composición de la vegetación acompañante en sus estratos. Las especies que mayor valor de importancia ecológica alcanzaron en las áreas estudiadas fueron *Pinus caribaea* con 205.96 y *Pinus tropicalis* con 175.59, siendo la abundancia y la frecuencia relativas los parámetros que más influyeron. Las parcelas, según la composición de especies, se agruparon en cuatro grupos diferenciándose por la altitud, altura de los árboles, el área basal y la abundancia de árboles muertos presentes en las mismas. Los resultados obtenidos en este estudio, al precisar en algunos de los parámetros de esta formación vegetal en Cuba, constituyen un referente el manejo de estos pinares.

PALABRAS CLAVE: diversidad alfa y beta, estrato, pino, riqueza, silvicultura.

ABSTRACT

This study was conducted in Alturas de Pizarra in the Minas Agroforestry Enterprise, in Cuba, in order to determine its composition and structure of the pine forest vegetation for future management. Two areas were selected: one corresponding to *Pinus caribaea* and the other to *Pinus tropicalis*. In each area, 30 circular plots of 15 m radius were established. Three strata were considered in the vegetation in order to quantify the species present and conduct the corresponding analyses. Alpha and beta diversity values were determined, the horizontal structure was evaluated by calculating the index of ecological importance and distribution by diametric classes. The vertical structure was described through the richness of species in each stratum as well as its sociological position. The two pine forests contained 36 families, 47 genera and 61 species of plants, with 42 species in *Pinus caribaea* area and 36 in the *Pinus tropicalis* area. Differences were observed in the composition of the accompanying vegetation in their strata. *Pinus caribaea* attained an importance value of 205.96 and *Pinus tropicalis* attained 175.59, relative abundance and relative frequency were the parameters that most influenced the index of ecological importance. Plots, according to the composition of species, were divided into groups of four, differing in altitude, tree height, basal area and number of dead trees found in each. By specifying some of the parameters of this vegetation type in Cuba, the results obtained in this study constitute a reference for the management of these pine groves.

KEYWORDS: alpha and beta diversity, stratum, pine, richness, silviculture.

INTRODUCCIÓN

En Cuba, las especies del género *Pinus* tienen gran importancia en el plan de fomento forestal hasta el 2020; su preferencia está determinada por el rápido crecimiento que presentan y los múltiples usos que tienen sus maderas (Ministerio de Agricultura, 2013).

La existencia de pinares casi siempre está relacionada con lugares extremos donde las especies de latifolias no representan una competencia para su presencia y cuya necesidad de luz los hace excluyente de otras especies, sea por un periodo largo o solo por un tiempo limitado. Esto hace posible la prevalencia de los pinos que en general son menos exigentes con respecto a los nutrientes del suelo o algunos otros factores ecológicos (Del Risco, Toscano y Del Risco, 2000).

Según García (2006), en algunas ocasiones se han plantado especies fuera de su área de distribución natural, tal es el caso de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, valiosa especie de rápido crecimiento, endémica del occidente del país, con gran plasticidad ecológica y considerada la especie de excelencia en los planes de reforestación a lo largo de Cuba, sobre todo en áreas naturales de *Pinus tropicalis*.

En las Alturas de Pizarras de la Provincia de Pinar del Río se desarrolla la formación forestal de mayor extensión: el pinar-encinar. Los primeros precursores con carácter oficial de los estudios de vegetación fueron Samek y Del Risco (1989).

Según González y Sotolongo (2007), los pinares sobre alturas de pizarra específicamente ocupan una gran parte de la provincia de Pinar del Río, crecen en pizarras (cuarcitas, areniscas y esquistos) de la formación San Cayetano, los suelos en donde se desarrollan son en general pobres, con un nivel bajo en elementos nutritivos, la profundidad de los mismos varía según la cantidad de erosión, es decir, hay suelos profundos mayormente al pie de las laderas (diluvium), por otro lado, hay lugares donde aflora la roca madre.

Según Figueroa (2002), la vegetación en alturas de pizarra está catalogada como pobre en especies, lo cual, unido a las condiciones edafoclimáticas, la ocurrencia de

incendios forestales, el paso de los huracanes cada vez más frecuentes en el país, la fragmentación de los bosques y la introducción de especies exóticas, provocan variaciones en la estructura y composición de las especies que la conforman.

Varios investigadores han realizado estudios de la vegetación en las Alturas de Pizarras entre los que se pueden mencionar: León y Alain (1951, 1953 y 1957), Roig (1988), Samek y Del Risco (1989), Figueroa (2002), Benítez (2002), Valdés (2003) y González (2006).

El análisis de la estructura horizontal es insuficiente en un estudio fitosociológico, por ello, Finol (1971) propuso incluir el estudio de la estructura vertical, como una forma de describir el estado sucesional en que se encuentra cada especie.

Teniendo en cuenta que la Empresa Agroforestal Minas de Pinar del Río cuenta con un patrimonio forestal de 59 173,5 ha, del total de esta superficie cubierta de bosques los pinares en alturas de pizarras ocupan 65,5% (Benítez y Torres, 2009). Por todo lo anteriormente mencionado para este estudio se trazaron los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

Caracterizar la composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la Empresa Agroforestal Minas. Determinar la estructura horizontal y vertical de la vegetación asociada a estos pinares de alturas de pizarras en la Empresa Agroforestal Minas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área de estudio

Se seleccionaron para este estudio dos áreas de pinares, un bosque natural de *Pinus tropicalis*, con una edad media de 55 años, con una pendiente promedio de 15% y una exposición SW y una plantación de *Pinus caribaea* de 36 años, con igual pendiente y exposición que el área anterior, según Benítez y Torres (2009). Los mismos se desarrollan en suelos ferralíticos, cuarcíticos, amarillos, con una temperatura media anual de 23,6 °C con precipitaciones promedio de 332,2 mm y se encuentran ubicadas en



las siguientes coordenadas UTM: X 182 846.284-Y 299 698.8573 (Pinar de *Pinus caribaea*) y X 184 810.4247-Y 298 423.394 (Pinar de *Pinus tropicalis*).

En cada área se establecieron 30 parcelas circulares de 15 m de radio (aproximadamente 0,07 ha), para un área total abarcada de aproximadamente 2,1 ha en cada pinar.

Variables de la vegetación medidas

Para el estudio de la vegetación se siguieron las técnicas aplicadas por James y Shugart (1970) con adecuaciones para las áreas seleccionadas. Las variables de la vegetación se tomaron en cada pinar y parcela, dividiéndose cada una en cuadrantes determinados por los puntos cardinales.

Se determinaron las especies vegetales presentes en cada área y su abundancia, la densidad de árboles/ha (Da), la densidad del sotobosque (Ds); contándose las ramas de diámetro menor o igual a 3 cm, a la altura de 1,30 m, en cuatro transectos desde el centro de la parcela hacia cada uno de los puntos cardinales. Posteriormente se determinó el valor por hectárea; el diámetro de los árboles a la altura de 1,30 m ($D_{1.30}$); el área basal (G) a partir de la ecuación: $G = \frac{\pi}{4} * d_{1.30}^2$; la cobertura del dosel (Cd) y del suelo (Cs), observando a través de un tubo plástico de 4 cm de diámetro y 15 cm de largo, dividido en su extremo distal en cuatro cuadrantes. Las observaciones se realizaron en 10 puntos equidistantes, desde el centro de la parcela hacia cada uno de los puntos cardinales, cuyos valores posteriormente se promedian; la altura del dosel (H) como el promedio de las alturas (m) de los diez árboles más altos de la parcela.

Para la nomenclatura de las especies presentes en las áreas se siguieron los criterios de Acevedo y Strong (2012).

Diversidad alfa (α)

La diversidad (alfa) de especies forestales en cada pinar, fue estimada mediante la riqueza de especies (Magurran, 1989). Se determinaron las curvas de rarefacción para cada pinar basadas en el número de muestras mediante el software EstimateS versión 9.0.0 (Colwell, 2011). Se utili-

zaron los estimadores no paramétricos basados en abundancia (CHAO 1, ACE y Cole) ya que asumen homogeneidad entre los hábitats según Magurran (2004) y la curva del número de especies representadas por un solo individuo (*singletons*).

Diversidad beta (β)

Para evaluar la similitud florística entre las parcelas y las poblaciones se realizó un análisis de conglomerados usando el software PC-ORD, Versión 4.17 (McCune y Mefford, 1999), mediante la medida de distancia de Sorensen cuantitativo (Bray-Curtis) y el método de asociación de los grupos fue el de Ward's, excluyéndose los pinos por ser las especies características de cada área.

Estructura horizontal

Para señalar la importancia de cada especie en el conjunto, se determinó el índice de valor de importancia ecológica (IVIE), cuyo resultado es la suma de los valores relativos de abundancia o densidad, dominancia y frecuencia de cada especie (Acosta *et al.*, 2006; Lozada, 2010).

Los diámetros obtenidos fueron agrupados en clases diamétricas a partir de las cuales se construyó un histograma de frecuencias.

Estructura vertical

La estructura vertical se describió tomando en consideración los estratos del bosque y las especies dominantes observadas y/o registradas en cada uno de ellos. Para la estratificación vertical se consideró como estrato bajo o herbáceo a las especies que se encontraban desde el nivel del suelo hasta los 2 m de altura; en el estrato medio o arbustivo las que se encontraban a partir de los 2 m y hasta 6 m y en el estrato alto o arbóreo las que se encontraban a una altura superior a los 6 m.

Para describir y analizar la distribución de las especies en sentido vertical se determinó la riqueza de especies, así como el índice de posición sociológica (PS) como expresión de la expansión vertical de las mismas (Hosokawa, 1986) para cada estrato en cada pinar.

La PS es un índice que informa la composición florística de los distintos substratos de la vegetación, y del papel que juegan las diferentes especies en cada uno de ellos (Hosokawa, 1986, citado por Acosta *et al.*, 2006).

Para el cálculo del mismo se siguió la metodología de Finol (1976), se le asignó un valor fitosociológico a cada estrato, el cual se obtuvo dividiendo el número de individuos en el estrato por el número total de individuos de todas las especies ($VF=n/N$). Siendo: VF = Valor Fitosociológico del substrato; n = número de individuos del substrato; N = número total de individuos de todas las especies.

RESULTADOS

Diversidad alfa (α)

Se registraron 62 especies de plantas, 42 en el área de *Pinus caribaea* y 36 en el área de *Pinus tropicalis*, pertenecientes a 36 familias y 47 géneros. La familia Rubiaceae fue la de mayor riqueza de especies en ambos pinares, destacándose también las familias: Clusiaceae, Fabaceae y

Melastomataceae. Cuando se analiza la riqueza de especies mediante las curvas de rarefacción basadas en el número de muestras (Fig. 1) como el número máximo de muestras es el mismo para cada pinar, las comparaciones se realizan en la asíntota. Como los intervalos de confianza 95% para la riqueza promedio de especies se solapan entre ambas áreas, entonces no existen diferencias significativas en la riqueza de las mismas.

Para el caso de los estimadores no paramétricos (Fig. 2); todos estuvieron entre los intervalos de confianza 95% junto a los valores observados (Mao Tau) y la representatividad supera 90% (Tabla 1).

Diversidad beta (β)

El análisis de conglomerados en la figura 3 muestra que, aun cuando los pinares estudiados se encuentran distantes uno del otro, presentan características florísticas similares que determinan su ubicación en el dendrograma. Las parcelas según la composición de especies se agruparon fundamentalmente en cuatro grupos, dominados por: *Faramea occidentalis*, *Sorghastrum stipoides*, *Lyonia myrtilloides*, *Cyrilla racemiflora*, *Byrsonima crassifolia*,

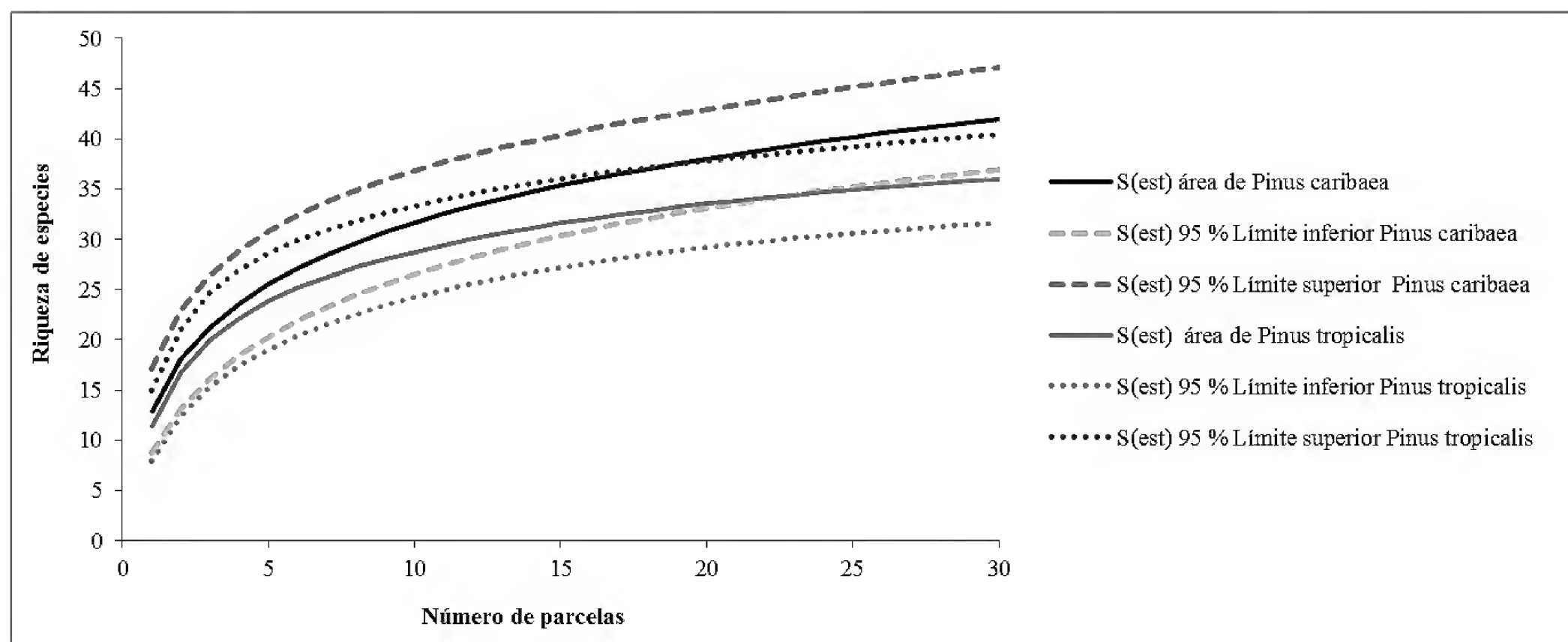


FIGURA 1. Curvas suavizadas de acumulación de la riqueza observada (curvas de rarefacción basadas en muestras) para cada pinar estudiado.

TABLA 1. Estimadores de riqueza y representatividad del muestreo para los pinares estudiados.

Estimadores	Pinar de <i>Pinus caribaea</i>		Pinar de <i>Pinus tropicalis</i>	
	Riqueza	% Representatividad	Riqueza	% Representatividad
S estimada	42		36	
ACE	44,46	94,47	37,83	95,16
Chao 1	43,50	96,55	37,50	96
Cole	42,36	99,15	36,25	99,31

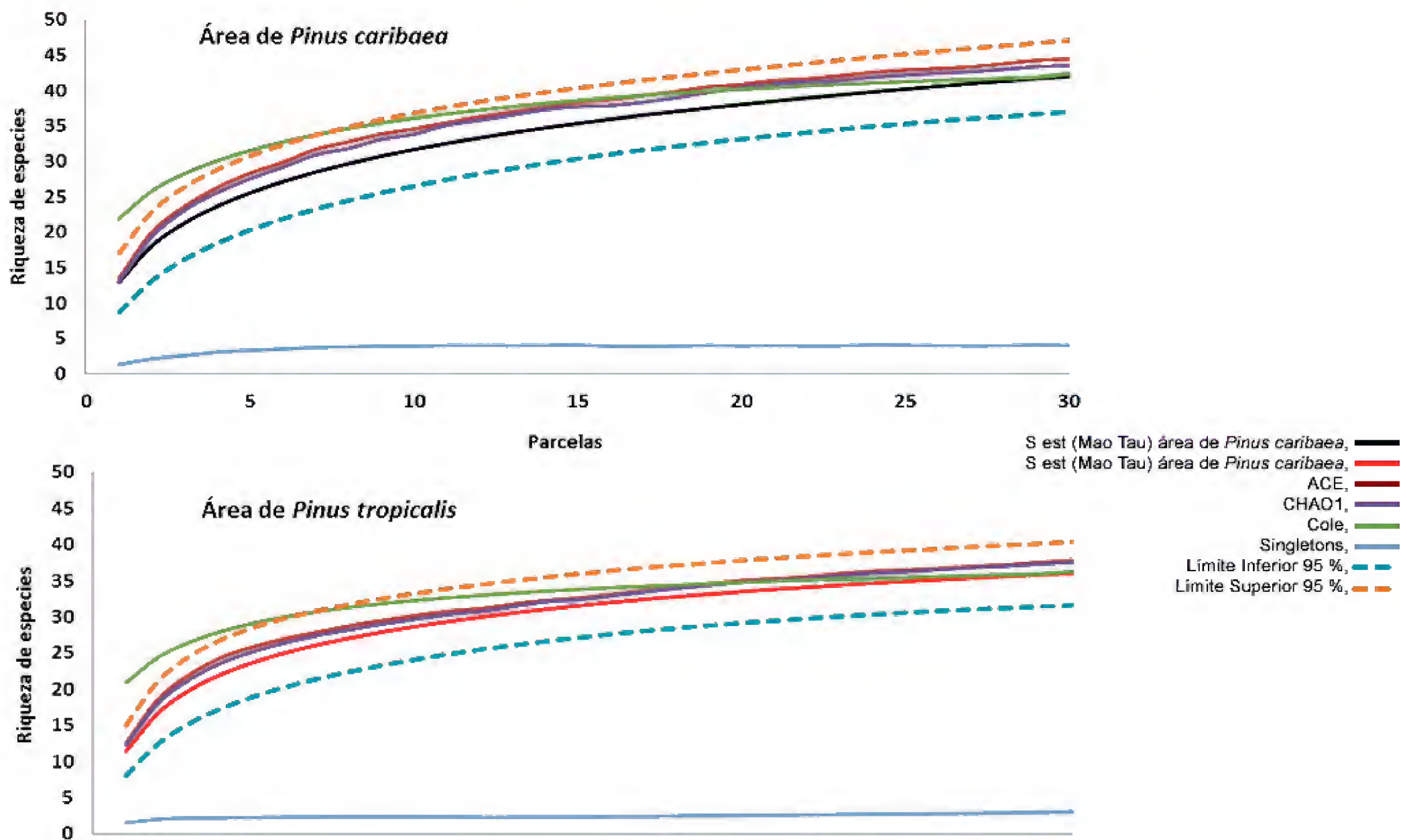


FIGURA 2. Curvas de acumulación de la riqueza según los estimadores no paramétricos ACE, CHAO 1 y Cole, para los pinares estudiados.

Clidemia strigillosa, *Conostegia xalapensis*, *Davilla rugosa*, *Matayba apetala*, *Alibertia edulis*, *Roigella correifolia*, *Cyathea arborea*, *Brya microphylla*, *Paratthesis cubana*, *Xilopia aromatica*, *Chrysobalanus icaco* y *Befaria cubensis*. Se diferenciaron en cuanto a la altitud, altura de los árboles, área basal y a la cantidad de árboles muertos presentes en las mismas.

Estructura horizontal de la vegetación

El área basal del área de *Pinus caribaea* fue de 1,01 m²/ha. En la figura 4 se muestra el histograma con la distribución de todos los árboles por cada clase diamétrica, la cual se aproxima a una distribución de frecuencia normal. El área basal en el área de *Pinus tropicalis* fue de 1,39 m²/ha, el tipo de distribución diamétrica se representa en

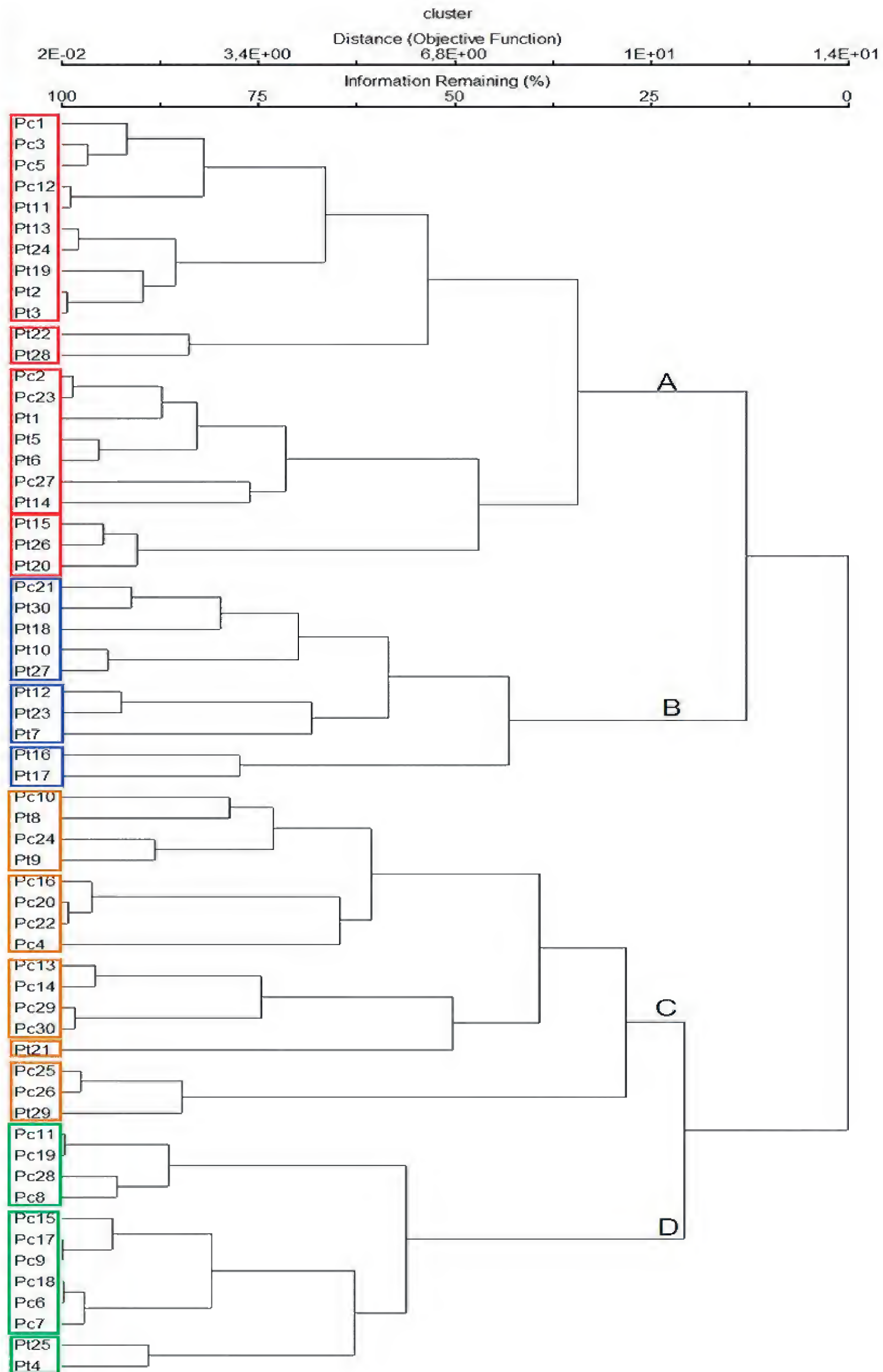


FIGURA 3. Dendrograma de clasificación de las parcelas para ambos pinares.

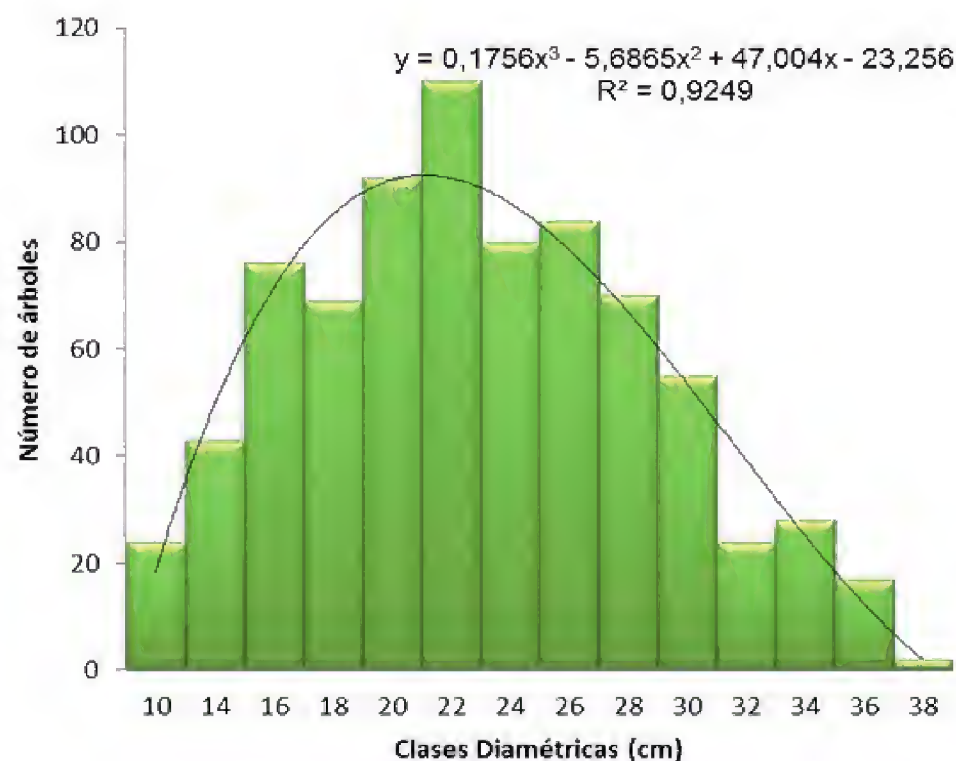


FIGURA 4. Distribución por clases diamétricas para el área de *Pinus caribaea*.

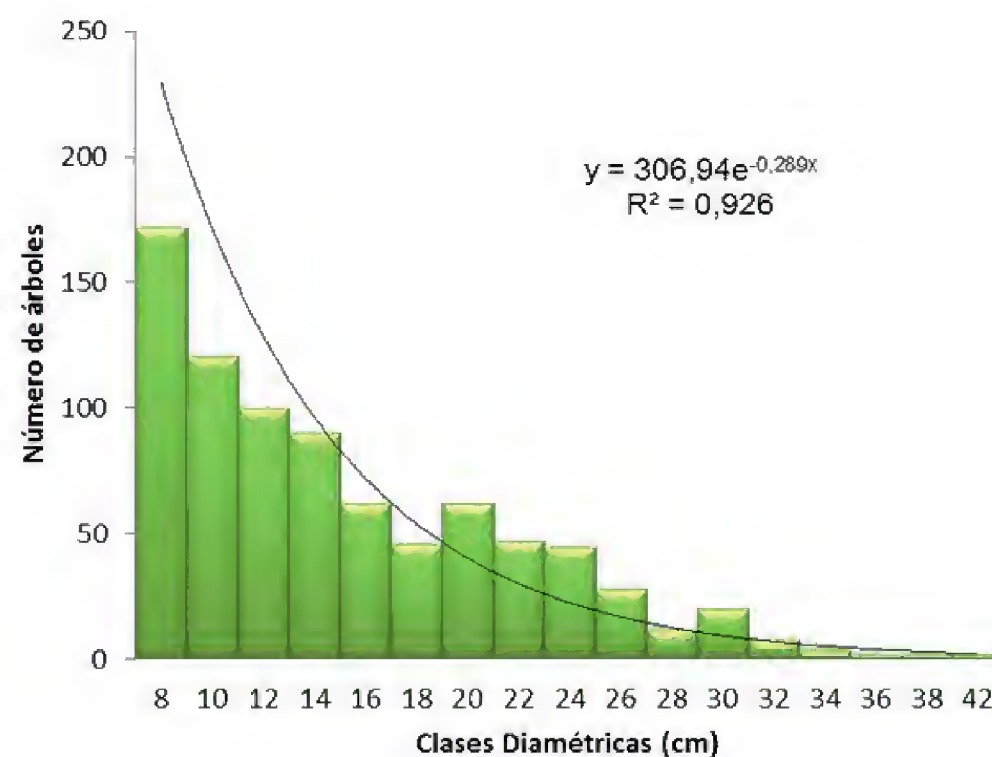


FIGURA 5. Distribución por clases diamétricas para el área de *Pinus tropicalis*.

la figura 5, siendo decreciente, irregular, en forma de una J invertida, típica de un bosque natural multietáneo donde la cantidad de individuos disminuye con el diámetro creciente.

Índice de valor de importancia ecológica

Para tener una visión más amplia de la importancia de cada especie en el conjunto en ambos pinares, en la tabla 2 se ordenan de acuerdo con los valores del IVIE, las 20 primeras especies en forma decreciente y el conjunto restante lo constituye una sola categoría denominada especies raras u otras especies según Melo y Vargas (2003).

Pinus caribaea (Pincar), *Pinus tropicalis* (Pintro), *Faramea occidentalis* (Farocc), *Alibertia edulis* (Aliedu), *Byrsocnima coriacea* (Byrcor), *Cyrilla racemiflora* (Cyrrac), *Xylopia aromatica* (Xylaro), *Matayba apetala* (Matape), *Brya microphylla* (Brymic), *Clidemia hirta* (Clihir), *Roigella correifolia* (Roicor), *Conostegia xalapensis* (Conxal), *Sorghastrum stipoides* (Sorsti), *Cyathea arborea* (Cyaarb), *Jenipa americana* (Jename), *Parathesis cubana* (Parcub), *Davila rugosa* (Davrug), *Tabernaemontana citrifolia* (Tabcit), *Callophyllum pinetorum* (Calpin), *Abarema obovalis* (Abaobo), *Acoelorrhapha wrightii* (Acowri), *Costaea cubensis* (Coscul), *Befaria cubensis* (Befcub) y *Curatela americana* (Curame)

Por otro lado, cuando se expresa por medio de un histograma la proporción del IVIE respecto a las 20 primeras especies de mayor peso ecológico, con el resto de ellas ubicada dentro de la categoría de especies raras (Fig. 6), se obtiene una primera aproximación del valor de la diversidad y de la heterogeneidad del bosque.

Estructura vertical de la vegetación

En relación con la estructura vertical de ambos pinares, se observan diferencias en cuanto a la riqueza de especies de la vegetación acompañante en sus estratos. El estrato herbáceo es el mejor representado en cuanto a la riqueza de especies, sobre todo en el área de *Pinus caribaea*, seguido del estrato arbustivo.

Posición sociológica (PS)

Como se puede observar en la tabla 3, el estrato herbáceo en ambos pinares es donde existe el mayor número de pies (densidad) seguido del estrato arbóreo.

DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos en este estudio, el número total de especies inventariadas representa 11,33% de lo planteado por Samek (1973) para las Alturas de Pizarras;

TABLA 2. Índice de valor de importancia ecológica de las especies en los pinares estudiados.

Pinar de <i>Pinus caribaea</i>					Pinar de <i>Pinus tropicalis</i>				
Especie	Ar	Dr	Fr	IVIE	Especie	Ar	Dr	Fr	IVIE
Pincar	105,3	0,30	77,3	182,87	Pintro	135,5	0,40	103,9	239,79
Farocc	54,4	0,02	17,9	72,35	Farocc	22,3	0,02	22,4	44,81
Aliedu	17,3	0,00	17,5	34,80	Vaccub	23,2	0,00	14,0	37,14
Byrcor	11,5	0,00	12,4	23,84	Cyaarb	14,5	0,00	10,2	24,71
Cyrrac	2,3	0,00	20,6	22,87	Parcub	7,6	0,00	14,5	22,07
Xylaro	7,4	0,08	15,1	22,59	Matape	7,5	0,00	13,7	21,21
Matape	13,8	0,04	8,6	22,49	Byrcor	6,4	0,00	14,8	21,18
Brymic	13,3	0,00	5,9	19,25	Cyrrac	9,4	0,00	8,4	17,72
Clihir	9,3	0,00	9,9	19,16	Conxal	11,1	0,00	5,2	16,32
Roicor	8,3	0,00	8,1	16,36	Sorsti	10,4	0,00	5,2	15,64
Conxal	8,0	0,00	7,0	15,04	Roicor	8,9	0,00	5,2	14,07
Sorsti	8,7	0,00	6,2	14,89	Davrug	5,8	0,00	7,8	13,60
Cyaarb	9,1	0,00	4,8	13,89	Xylaro	2,3	0,00	8,4	10,62
Jename	1,5	0,06	11,8	13,44	Clihir	5,9	0,00	4,5	10,34
Parcub	4,4	0,00	8,8	13,19	Aliedu	3,6	0,00	6,1	9,71
Davrug	5,0	0,00	7,3	12,37	Brymic	5,5	0,00	4,2	9,68
Tabcit	3,0	0,00	5,7	8,68	Geoine	1,4	0,00	6,6	7,95
Calpin	1,6	0,32	5,1	7,00	Coscub	4,6	0,00	3,1	7,64
Abaobo	0,6	0,05	6,1	6,77	Befcub	2,8	0,00	4,5	7,30
Acowri	3,3	0,00	3,1	6,33	Curame	1,4	0,00	5,7	7,11

Ar = Abundancia relativa, Dr = densidad relativa, Fr = Frecuencia relativa; IVIE = Índice de Valor de Importancia Ecológica

en el área de *Pinus caribaea* es superior al obtenido por Benítez (2002) en plantaciones de dicha especie y en áreas de la Empresa Forestal Integral (EFI) Minas (26 especies), en las cuales se efectuaron diferentes tratamientos de preparación del terreno para favorecer la regeneración natural; mientras que el área de estudio es una plantación en estado de latizal alto en la que hace varios años no se efectúa ningún tratamiento, razones que pudieron haber incidido en esa diferencia.

Por otra parte, el número total de especies inventariadas en el área de *Pinus tropicalis* se asemeja al obtenido por Figueroa (2002), quien obtuvo un valor medio de 15

especies y un máximo de 33 para esta formación en condiciones naturales en las alturas de pizarras en áreas de la EFI La Palma y en áreas de la localidad conocida por Bajas de la EFI Minas.

El muestreo fue representativo ya que los valores del conjunto de estimadores se comportan de forma similar y presentan valores cercanos a los observados. Además, la curva de los *singletons* es asintótica, por lo que se considera que se ha obtenido un buen muestreo según Villareal *et al.* (2006). Por esta razón, el incremento en el esfuerzo de muestreo no causa aumentos sustanciales en la riqueza de especies. El estimador más acertado para

TABLA 3. Valor fitosociológico de cada estrato en ambos pinares.

Pinar	Estrato	N/ha	VF (%)	VF simplificado
Pc	Herbáceo	1341	66,45	6,65
Pc	Arbustivo	314	15,57	1,56
Pc	Arbóreo	363	17,98	1,8
Pt	Herbáceo	1272	67,1	6,71
Pt	Arbustivo	229	12,08	1,21
Pt	Arbóreo	395	20,82	2,08

N/ha = Número de pies por hectárea, VF = Valor fitosociológico.

cada pinar fue CHAO 1, el cual predice valores muy similares a los encontrados y el porcentaje de representatividad supera 96%.

Las diferencias entre parcelas en cuanto a la composición de las especies presentes en las mismas pudieran

estar dadas por la altitud a las que se encuentran, variando desde los 46 m snm en el área de *Pinus caribaea* hasta los 133 m snm en el área de *Pinus tropicalis*, ya que según Körner (2000), las dimensiones verticales de las montañas producen gradientes climáticos con variaciones abruptas o graduales en temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación, lo cual provoca un efecto en la distribución y abundancia de la flora. Esto coincide con lo planteado por Bermeo (2010), quien argumenta que la distribución y composición de especies varía en las zonas montañosas en función de la altitud y la cercanía a las partes de agua donde pueden encontrarse otras especies acidófilas, según Álvarez y Varona (2006), favoreciendo o disminuyendo la aparición de especies.

El estrato herbáceo es el más rico sobre todo en el área de *Pinus caribaea*, coincidiendo con Valdés (2003), quien plantea que cuando se tratara de plantaciones de esta espe-

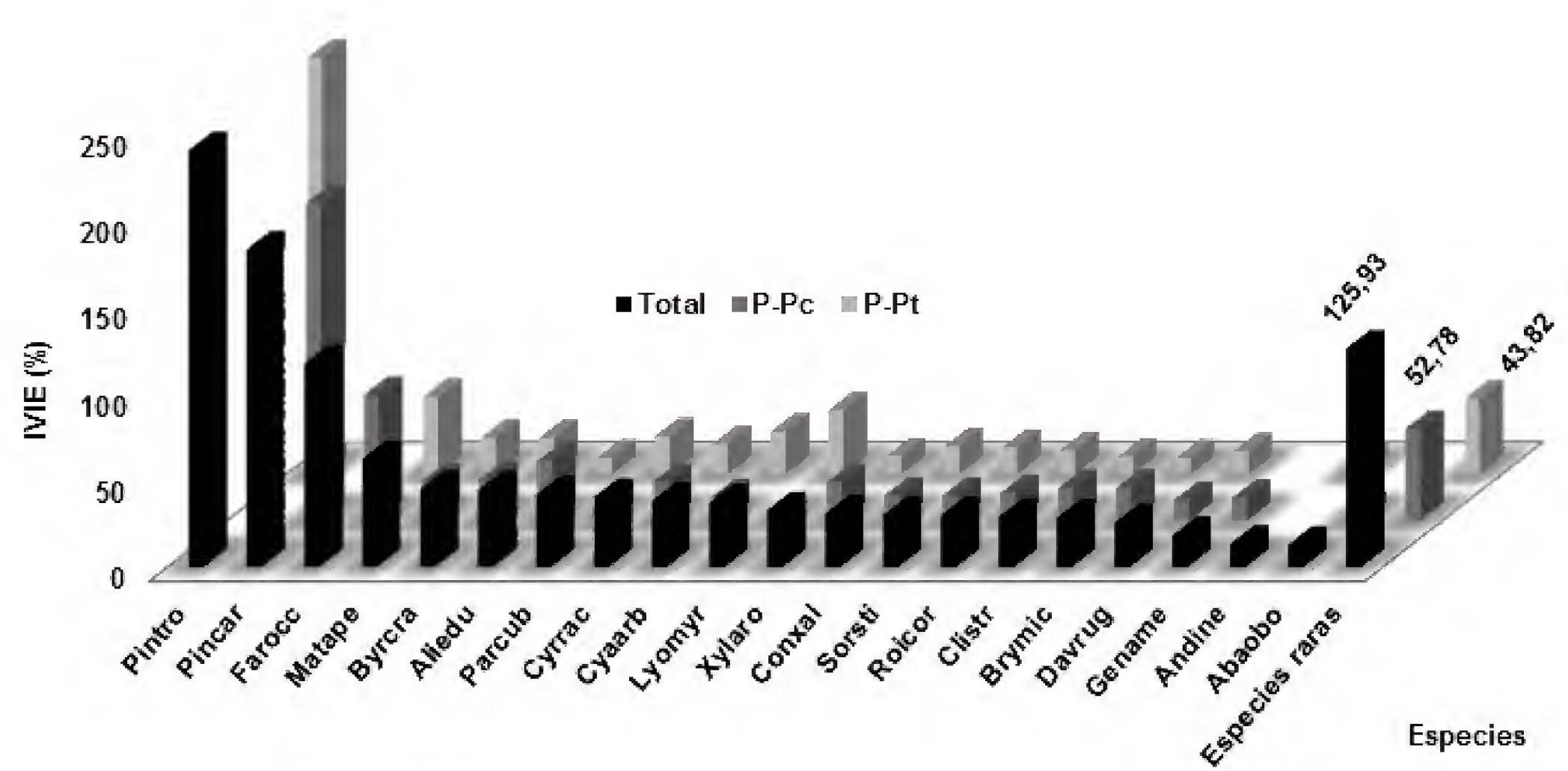


FIGURA 6. Comportamiento del índice de valor de importancia ecológica (IVIE) en los pinares estudiados, para las 20 primeras especies y las especies raras.

Área de *Pinus caribaea* (P-Pc), área de *Pinus tropicalis* (P-PT). *Pinus tropicalis* (Pintro), *Pinus caribaea* (Pincar), *Faramea occidentalis* (Farocc), *Matayba apetala* (Matape), *Byrsonima crassifolia* (Byrcra), *Alibertia edulis* (Alledu), *Parathesis cubana* (Parcub), *Cyrilla racemiflora* (Cyrrac), *Cyathea arborea* (Cyaarb), *Lyonia myrtilloides* (Lyomyr), *Xylopia aromatica* (Xylaro), *Conostegia xalapensis* (Conxal), *Sorghastrum stipoides* (Sorsti), *Roigella correifolia* (Roicor), *Clidemia strigillosa* (Clistr), *Brya microphylla* (Brymic), *Davilla rugosa* (Davrug), *Genipa americana* (Gename), *Andira inermis* (Andine) y *Abarema obovalis* (Abaobo).

cie y la misma fuera muy joven, este estrato se encontraría desarrollado, comenzando a desaparecer en la medida en que el pino crece. Cuando comienzan a realizarse las actividades silviculturales, como los raleos y las cortas selectivas, este estrato vuelve a estabilizarse y a pesar de las afectaciones, estaría más desarrollado y sería más homogéneo que cuando se presentara en pinares naturales.

En el área de *Pinus tropicalis* el estrato herbáceo es también el más rico, en esta área existen varias zonas donde la cobertura del dosel es baja y favorecería la entrada de luz a los estratos inferiores del bosque, la formación de este estrato y del arbustivo, a pesar de que se pueden encontrar algunas zonas donde la densidad de copa es alta y este estrato está empobrecido, reduciéndose el número de especies y de individuos.

En estos pinares el estrato arbustivo está bien desarrollado sobre todo en el área de *Pinus caribaea*, aunque no se encuentra de forma homogénea, desarrollándose mejor en zonas cercanas a las galerías o arroyos. Estos resultados coinciden con lo planteado por Berazaín, Areces, Lazcano y González (2005) en que en los bosques de pino los estratos arbustivo y herbáceo están bien desarrollados con pocas epífitas y trepadoras, a pesar de que en ambos pinares abunda *Davilla rugosa*.

De los tres estratos analizados el que más incidencia ha tenido en la posición sociológica es el herbáceo seguido del arbustivo, debido a que se han detectado mayor cantidad de individuos en los mismos, sobre todo por la regeneración natural de algunas de las especies.

Entre las especies que se encuentran en los 3 estratos están: *Pinus caribaea*, *Calophyllum pinetorum*, *Genipa americana*, *Abarema obovalis*, *Faramea occidentalis*, *Matayba apetala* y *Xilopia aromatica*; garantizando así según Acosta *et al.* (2006) su lugar en la estructura y composición del bosque. Las últimas tres poseen una posición sociológica regular, ya que presentan en el estrato inferior un número de individuos mayor o igual al de los estratos subsiguientes, según lo planteado por Acosta *et al.* (2006) y, de estas, *Faramea occidentalis* es la que alcanzó el máximo valor en cuanto a la posición sociológica, destacándose su presencia en esta área.

Se observó en estos pinares que la regeneración natural, aunque no fue una de las variables de la vegetación medidas, también manifiesta variaciones locales; lo cual pudiera estar dado por la acumulación de acículas en el suelo, siendo abundante en algunos lugares; la cobertura del suelo por las especies herbáceas y la presencia o no de cerdos en la zona.

Como se puede apreciar, el mayor peso ecológico lo tienen las especies dominantes y predominantes en este tipo de formación, por lo que se está caracterizando un ecosistema boscoso con tendencia a la homogeneidad según Kageyama (1994).

CONCLUSIONES

Este estudio permitió conocer la composición de especies de pinares sobre Alturas de Pizarra donde los pinos son las especies dominantes, pero debido a los manejos silvícolas a los que han estado sometidos, conviven con varias especies en todos los estratos, llegando a tal magnitud en algunas áreas que pudiera dar idea de una sucesión, con la disminución de ambas especies de pinos y observándose poca regeneración natural de las mismas. En los pinares estudiados no existieron diferencias significativas en las especies vegetales asociadas según la tendencia de las curvas de rarefacción y los estimadores no paramétricos, prediciendo los mismos valores muy similares a los observados con más de 99% de representatividad. En ambas áreas los dos pinos mostraron el mayor índice de valor de importancia ecológica (IVIE); el estrato herbáceo fue el mejor representado seguido del estrato arbustivo en cuanto a la riqueza de especies, siendo los de mayor incidencia en la posición sociológica. El estrato herbáceo en ambos pinares es donde existió el mayor número de pies seguido del arbóreo.

RECONOCIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a los siguientes especialistas por su apoyo en el desarrollo de este proyecto: a Orlando y Juan del cuerpo de guardabosques del Tibis; H. Benítez y JM. Torres de la EFI Minas, Ibrahín del cuerpo de guardabosques del municipio Minas de Matahambre; A. Plasencia, Elvis y Geldys del Museo de Ciencias Naturales



de Pinar del Río, R. Sotolongo de la Universidad de Pinar del Río; J.L. Rodríguez de la Universidad de Granma y G. Golstein de la Universidad de Buenos Aires.

REFERENCIAS

- Acevedo, P. y Strong, M. (2012). *Catalogue of seed plants of the West Indies*. Smithsonian Institution Scholarly Press.
- Acosta, V., Araujo, P e Iturre, M. (2006). *Caracteres estructurales de las masas*. Serie Didáctica No 22. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 35 p. Recuperado de http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010014/Contenidos/Capitulo6/Pages/6.2/62Definicion_estructura_organizacional.htm
- Álvarez, P. A. y Varona, J. C. (2006). *Silvicultura*. La Habana: Ciencia y Técnica.
- Benítez, H. y Torres, J. M. (2009). Proyecto de ordenación de la Empresa Forestal Integral Minas. 82 p.
- Benítez, H. (2002). *Regeneración natural de Pinus caribaea var. caribaea mediante talas rasas en fajas alternas*. Disertación doctoral. Programa doctoral conjunto “Desarrollo Sostenible de Bosques Tropicales”.
- Berazaín, R., Areces, F., Lazcano, J. C. y González, L. R. (2005). Lista roja de la flora vascular cubana. *Documentos del Jardín Botánico Atlántico (Gijón)*, 4, 1- 86.
- Bermeo, D. F. (2010). *Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas*. Tesis de maestría no publicada. Catie. Costa Rica.
- Colwell, R. K. (2011). Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples (Version 9). [Software de cómputo]. <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Del Risco, E.; Toscano, B y Del Risco, E. (2000). Los Pinos cubanos y su diversidad florística. *Revista Flora y Fauna*, 1, 23-26.
- Figueroa, C. (2002). *Ecología y conservación de Pinus tropicalis en bosques naturales de las alturas de pizarras*. Disertación doctoral. Programa doctoral conjunto “Desarrollo Sostenible de Bosques Tropicales”.
- Finol, H. (1971). Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. *Revista Forestal Venezolana*, 14 (21), 29-42.
- Finol, H. (1976). Métodos de regeneración natural en algunos tipos de bosques venezolanos. *Revista Forestal Venezolana*, 19 (26), 17-44.
- García, Y. (2006). Estrategia de conservación intraespecífica para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Disertación doctoral. Programa doctoral conjunto “Desarrollo Sostenible de Bosques Tropicales”.
- González, E y Sotolongo, R. (2007). Ecología forestal. La Habana: Editorial Félix Varela.
- González, M. (2006). *Influencia de la densidad de plantación en la economía y la ecología de Pinus caribaea Morelet var. caribaea en las Alturas de Pizarras de Pinar del Río, Cuba*. Disertación doctoral. Programa doctoral conjunto “Desarrollo Sostenible de Bosques Tropicales”.
- Hosokawa, R. T. (1986). *Manejo e economia de florestas*. Roma: FAO.
- James, F. C. y Shugart, H. (1970). A quantitative method of habitat description. *Audubon Field Notes*, 24, 727-736 p.
- Kageyama, P. (1994). Revegetacao de areas degradadas: Modelos de consociacao con alta diversidad. En II Simposio internacional sobre recuperacao de áreas de gradadas. Foz de Iguacu. 559 – 576 p.
- Körner, C. (2000). Why are there global gradients in species richness? Mountains might hold the answer. *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 513–514.
- León, H. y Alain, H. (1951). Flora de Cuba. *Contribuciones Ocasionales del Museo de Historia Natural del Colegio “De La Salle”*, 2, 1- 456.
- León, H. y Alain, H. (1953). Flora de Cuba. *Contribuciones Ocasionales del Museo de Historia Natural del Colegio “De La Salle”*, 3, 1- 502.
- León, H. y Alain, H. (1957). Flora de Cuba. *Contribuciones Ocasionales del Museo de Historia Natural del Colegio “De La Salle”*, 4, 1-556.
- Lozada, J. (2010). Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. *Revista Forestal Venezolana*, 54 (1), 77-88.
- Magurran, A. (1989). *Diversidad ecológica y su medición*. España: Vedral.
- Magurran, A. E. (2004). Comparative studies of diversity. En A. E. Magurran. *Ecological diversity and its measurement*

- (Cap. 5 144-161). Malden, MA, EUA; Oxford, R.U.; Victoria, Australia: Blackwell Science Ltd.
- McCune, B. y Mefford, M. J. (1999). Multivariate analysis of ecological data. PC-Ord for Windows (Version 4.0). [Software de cómputo]. Glenenden Beach, Oregon, EEUU: MjM Software.
- Melo, O y Vargas, R. (2003). *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. Colombia: Universidad del Tolima.
- Ministerio de Agricultura. (2013). Plan de fomento forestal para la etapa 2013-2020.
- Roig, J. T. (1988). *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos*. La Habana: Editorial Ciencia y Técnica.
- Samek, V. (1973). Regiones fitogeográficas de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba. Serie Forestal*, 15, 1-60
- Samek, V y Del Risco, E. (1989). *Los Pinares de la Provincia de Pinar del Río, Cuba. Estudio sinecológico*. Cuba: Editorial Academia.
- Valdés, N. (2003). Efecto de la tala rasa sobre la vegetación leñosa en los ecosistemas de pinares en la unidad silvícola San Andrés perteneciente a la EFI La Palma. Disertación doctoral. Programa doctoral conjunto “Desarrollo Sostenible de Bosques Tropicales”.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Fagua, F. G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A. M. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (2ª ed.). Programa de Inventarios de Biodiversidad. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Manuscrito recibido el 11 de enero 2016.

Aceptado el 16 de agosto de 2016.

Este documento se debe citar como:

Alonso-Torrens, Y., Hernández-Martínez, F. R., Barrero-Medel, H., López-Ibarra, G., Madanes, N. y Prieto-Méndez, J. (2016). Estructura y composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la Empresa Agroforestal minas, Cuba. *Madera y Bosques*, 22 (3), 75-86.



Efecto de la **fertilización** sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba

The effect of fertilization on growth, in diameter and height, of *Pinus caribaea* in plantations of western Cuba

María Amparo León-Sánchez^{1*}, Jorge Luís Reyes-Pozo², Grisel Herrero-Echevarría³ y Víctor Ernesto Pérez-León¹

¹ Universidad de Pinar del Río, Hermanos Saíz Montes de Oca. Departamento de Matemática. Cuba.

² Instituto de Investigaciones del Tabaco (IIT). Pinar del Río, Cuba.

³ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (INAF). La Habana, Cuba.

* Autor de correspondencia. maleon@upr.edu.cu.

RESUMEN

Existen estudios encaminados a analizar el efecto de la fertilización mineral sobre variables dasométricas en plantaciones productivas. En su mayoría, estos analizan la respuesta de la fertilización a corto plazo. Por ello, la presente investigación estudia la respuesta de la fertilización mineral a largo plazo aplicada de forma fraccionada durante los primeros cinco años de establecida una plantación de *Pinus caribaea*, en el municipio Viñales, Pinar del Río, Cuba. Se investigó la respuesta al crecimiento, en diámetro y altura, a partir de un diseño de bloques al azar. Se establecieron siete tratamientos diferenciados por las dosis de NPK y regímenes de aplicación, más un tratamiento testigo sin fertilización. Se hicieron mediciones en diferentes edades a 288 árboles con seguimiento durante 41 años y se estimaron las funciones de crecimiento mediante regresión multinivel para todo el período, y en dos etapas por separado. Como promedio, en el período de 2 a 41 años, el diámetro en árboles individuales, para las aplicaciones de 600 g árbol⁻¹ en régimen alterno, 800 g árbol⁻¹ y 1000 g árbol⁻¹ de (NPK) fueron superiores con respecto al testigo y la altura para las aplicaciones de 800 g árbol⁻¹ y 1000 g árbol⁻¹ de (NPK); el tratamiento de la aplicación de una dosis única de 300 g árbol⁻¹ de (NPK) provocó valores inferiores en diámetro y altura con respecto al testigo. El estudio en dos etapas demostró que de 33 a 41 años se logra homogeneidad en altura entre tratamientos, excepto en el de 300 g árbol⁻¹ de (NPK) que mantiene resultados inferiores al testigo.

PALABRAS CLAVE: curvas de crecimiento, fertilización mineral, regresión multinivel.

ABSTRACT

Some studies focus on the analysis of the effect of mineral fertilization on variables associated with tree growth in productive plantations. They mainly analyze the short-term response to fertilization. The aim of this research is therefore to analyze the long-term response to mineral fertilization, applied fractionally over the first five years of the establishment of a *Pinus caribaea* plantation in Viñales, Pinar del Río, Cuba. The effect on growth, in diameter and height, was examined using a randomized block design. Seven treatments were established, according to the doses and application regime of NPK, as well as a control, with no fertilizer. These variables were measured at different ages, in 288 trees over 41 years and the growth functions were estimated using a multilevel regression for the entire period and in two separate stages. The analysis of the coefficients for the obtained growing curves showed that, in the period from 2 to 41 years, the diameter and height for individual trees were, on average, superior to those of the control, in treatments of 600 g, 800 g and 1000 g of Nitrogen, Phosphorus and Potassium (NPK) per tree. Treatment with application of a single dose of 300 g of Nitrogen, Phosphorus and Potassium (NPK) tree⁻¹ produced lower values of diameter and height than those of the control. The two-stage study demonstrated that, from 33 to 41 years, homogeneity in height was achieved among treatments, except for the treatment with 300 g of (NPK) tree⁻¹, which presented lower heights relative to those of the control.

KEYWORDS: growing curves, mineral fertilizer, multilevel regression.

INTRODUCCIÓN

La fertilización busca mejorar la supervivencia y progreso apropiado de la planta, debido a que estimula el desarrollo de sus raíces, optimiza el uso eficiente del agua con la captación de nutrientes de manera eficaz y suficiente para asegurar su supervivencia y crecimiento inicial, lo que garantiza una ocupación óptima del suelo (Albaugh, Rubilar, Alvarez y Allen, 2004; Corporación Nacional Forestal, 2013). Los beneficios que una adecuada fertilización puede generar son diversos, pues además de los ya mencionados, posibilita un rápido crecimiento inicial y cierre de las copas, lo cual disminuye o elimina la competencia al obtenerse un rodal más uniforme y un mayor rendimiento al momento de la cosecha (García, Sotomayor, Sila y Valdebenito, 2000). El empleo de fertilizantes minerales de acción lenta aumenta el crecimiento longitudinal de la planta al menos durante los dos años siguientes a la plantación, por lo que puede ser interesante su uso en terrenos muy pobres o con abundante competencia con la vegetación herbácea (Cañellas, Finat, Vachiller y Montero, 1999).

La sostenibilidad de las plantaciones forestales requiere la consideración de factores económicos y ambientales. Muller, Poggiani, Libardi y Natal, (2013) aseguran que muchos experimentos de campo han demostrado que con el empleo de grandes cantidades de fertilizantes se aumenta el crecimiento de los árboles. La fertilización con nitrógeno tiene la capacidad de alterar significativamente el ambiente del suelo forestal y puede incrementar el almacenamiento de carbono (Smaill, Clinton y Greenfield, 2008).

En experimentos desarrollados por Shryock, Littke, Ciol, Briggs y Harrison, (2014), la fertilización con nitrógeno incrementó significativamente el carbono secuestrado por árbol con respecto a las parcelas que no fueron fertilizadas. Otros autores han estudiado la respuesta a la fertilización a partir del análisis de las propiedades del suelo (Mainwaring, Maguire y Perakis, 2014; Smail *et al.*, 2008) o del contenido de nutrientes en la biomasa (Moreno, López, Estañol y Velázquez, 2002; Will *et al.*, 2006). Kumaraswamy *et al.* (2014) argumentan que los

residuos de cosecha minimizan las pérdidas de nutrientes; los mismos autores refieren que el uso de fertilizantes se considera aun importante para el manejo de plantaciones. La fertilización con fósforo en plantaciones de *Pinus elliottii* Engelm y *Pinus taeda* L. ha sido una práctica operativa en plantaciones productivas sobre la llanura costera de Estados Unidos desde 1960 (Everett y Palm-Leis, 2009). Al menos 81 000 ha/año fueron fertilizadas durante el establecimiento de plantaciones productivas en el sudeste de los Estados Unidos entre 1996 y 2004 (Albaugh, Allen y Fox, 2007; Fox, Jokela y Allen, 2007; Fox, Allen, Albaugh, Rubilar y Carlson, 2007).

Reyes, Herrero, León, Miñoso y Curvelo, (2014) estudiaron la respuesta a la fertilización en altura, diámetro y volumen a los 35 y 41 años de edad de la plantación, con datos obtenidos de este experimento, donde los tratamientos son comparados mediante análisis multivariante de la varianza, partiendo de un diseño de bloques al azar en las edades citadas y se aplicaron las pruebas de comparaciones múltiples para detectar los tratamientos homogéneos en esos dos momentos. Herrero, González, Fuentes, Herrera, García y Coto (2004) estudiaron el comportamiento de estas y otras variables de la plantación a la edad de 33 años con la aplicación del análisis univariado de la varianza. En ambos estudios se hicieron análisis fraccionados con datos de cada año. Otros trabajos en que se mide el efecto de la fertilización han utilizado estas técnicas estadísticas, entre ellos Bonomeli y Suárez (1999); Cañellas *et al.* (1999); Solla-Guyón, Rodríguez y Merino (2004); Will *et al.* (2006); Rubilar, Blevins, Toro, Vita y Muñoz (2008), De Urzedo, Pires, Machado y Braga (2013); Swanston y Preston (2014).

En el presente trabajo se modela el crecimiento en altura y diámetro de todos los tratamientos con la inclusión de la serie completa de datos, se hace un estudio integrado desde 1973 hasta 2012, además de que se investiga la existencia o no de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se estima la diferencia promedio a lo largo de todo el período en relación con el tratamiento testigo, se estudia cómo influye la edad en el crecimiento de ambas variables y se comparan los mode-



los en dos etapas. Este trabajo es el único o uno de los muy pocos estudios que existen en el mundo que da seguimiento a la respuesta del crecimiento en altura y diámetro a la fertilización aplicada en los primeros cinco años de una plantación en un período relativamente largo (41 años).

La necesidad del manejo de la interdependencia de las observaciones repetidas sobre cada individuo y la limitación de los métodos clásicos que requieren disponer del mismo número de observaciones (datos completos) para cada individuo, justifican el empleo de modelos jerárquicos en el presente estudio. Una característica particular del análisis estadístico en este trabajo es que se hace un estudio longitudinal retrospectivo, se aprovechan las mediciones realizadas durante la vida del árbol para estimar sus funciones de crecimiento se conforma un modelo jerárquico con dos niveles (Goldstein, 2010) que permite comparar el comportamiento continuo de las variables de respuesta y analizar el efecto de cada tratamiento sobre las mismas a lo largo de todo el período de seguimiento.

Pinus caribaea Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari es una conífera autóctona de Cuba. Es un árbol alto que crece rápidamente, alcanza hasta 30 m de altura y 60 cm de diámetro y produce madera de diversos usos incluyendo productos de papel de fibra larga, resina y aceites esenciales. Por su alta plasticidad ecológica, adaptabilidad a condiciones adversas, fácil manejo y rápido crecimiento ha sido utilizado ampliamente en los planes de reforestación en todo el archipiélago cubano (Herrero, Renda y González-Abreu, 1983).

El área donde se estableció el experimento estuvo originalmente cubierta por bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* Morelet, que fueron sustituidos por cultivos agrícolas, lo que determinó la erosión de los suelos y la pérdida de sus características forestales; por consiguiente, al establecerse la plantación, los árboles debían superar ese estrés para sobrevivir y desarrollarse (Herrero, 2001).

El balance a favor de la fertilización mineral es positivo y la necesidad de conservar los nutrientes del suelo forestal, así como lograr mayores incrementos en creci-

miento, mantienen el interés de los gestores por continuar estas prácticas acertadas en plantaciones productivas para un desarrollo forestal sostenible.

OBJETIVOS

Con este trabajo se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Estudiar la influencia de la fertilización mineral aplicada de forma fraccionada en los primeros cinco años de establecida una plantación de *Pinus caribaea*, sobre el crecimiento, a largo plazo, en diámetro y altura.
- Comparar el comportamiento de las funciones de crecimiento en dos etapas, de 2 a 15 años y de 33 a 41 años.
- Determinar los tratamientos de mejores resultados para diámetro y altura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El experimento se estableció en el año 1971 en la Estación Experimental Forestal de Viñales, ubicada entre los 22°37' longitud norte y los 83°41' longitud Oeste, (Fig. 1), a una elevación de 150 m sobre el nivel del mar. El suelo fue clasificado como Alítico de baja actividad arcillosa, con relieve ondulado, derivados de esquistos cuarcíticos y pizarras (Instituto de Suelos, 1999). Es un suelo muy ácido con concentraciones medias de magnesio y bajas de fósforo, potasio, calcio y materia orgánica. Su textura es franco arenosa y el contenido de agua aprovechable para las plantas es bajo (Jiménez y Herrero, 1984). Previo al establecimiento del experimento se hizo un estudio del suelo, (González, 2006) donde se tomaron 36 muestras a las profundidades de 0-20 y de 20-40 de las que se obtuvieron valores medios de 3484,6 kg ha⁻¹ y 4802,0 kg ha⁻¹ de N total; 54,8 kg ha⁻¹ y 102,9 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 4,8 kg ha⁻¹ y 6,9 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. El comportamiento en toda el área fue homogéneo, lo que se verificó para controlar la heterogeneidad del suelo como posible fuente de variación.

Al inicio de la plantación los valores de temperatura media anual era de 24,7 °C, la máxima diaria de 28,7 °C,

la mínima diaria de 20,4 °C y la mínima absoluta de 16,2 °C (Awan y Frías, 1970).

González (2006) refiere que en la década 1996-2006, la precipitación promedio anual fue de 1765 mm, temperatura promedio anual 25 °C, temperatura máxima promedio anual 28,8 °C, temperatura mínima promedio anual 19,5 °C, temperatura máxima absoluta 34,1 °C, temperatura mínima absoluta 2,9 °C.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (2005), registra valores de la temperatura media en el territorio, de 25,5 °C; el mes más frío enero con 17,1 °C y el más cálido es agosto con 32,8 °C, el promedio anual de precipitaciones es 1857,8 mm y el mes más lluvioso junio con 273,9 mm promedio.

Muestreo de datos

Se partió inicialmente de una muestra de 288 árboles, de los cuales, al final del estudio, quedaban en pie 201 (70%). En cuanto al número de observaciones, de acuerdo con las mediciones realizadas, se pudieron captar 1438 de 1728 posibles para el diámetro; mientras que para la altura, de 2016 se registraron 1719, para 83% y 85%, respectivamente. Se calcularon las princi-

pales medidas descriptivas, media y desviación estándar de las variables diámetro y altura para cada tratamiento en cada edad de la plantación en que se realizaron las mediciones.

Diseño experimental

El experimento fue diseñado y establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 1970, y se explica con detalle en Herrero *et al.* (2004). En él, se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas y ocho tratamientos que contemplan la aplicación fraccionada de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) según tabla 1.

Se conoce que el gradiente de fertilidad del suelo puede influir sobre las variables de respuesta, por tal motivo, las unidades experimentales dentro de cada bloque son relativamente homogéneas; el número de unidades coincide con el número de tratamientos y los tratamientos fueron asignados al azar en las unidades experimentales dentro de cada bloque. Cada tratamiento, definido por la combinación dosis de fertilización y régimen de aplicación, se aplicó a 100 árboles. El tamaño de las parcelas fue de 225 m² con 25 árboles por parcela y nueve árboles en la parcela útil.

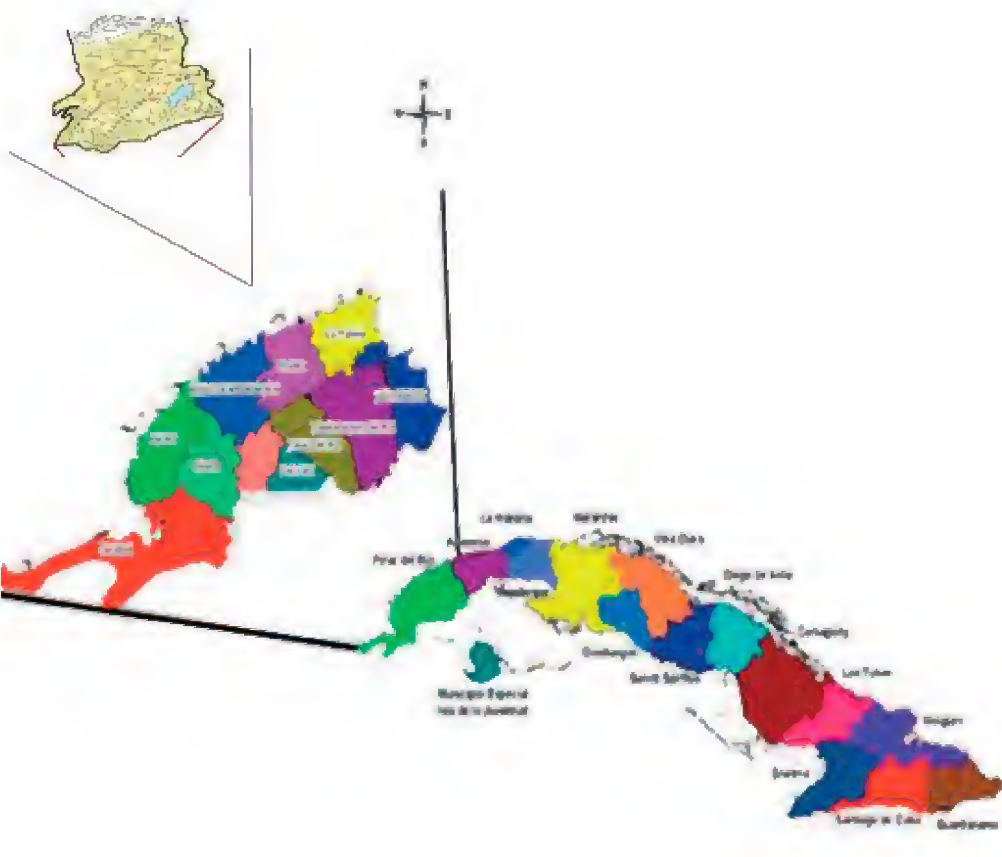


FIGURA 1. Ubicación geográfica de la Estación Experimental Forestal de Viñales.

TABLA 1. Aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK).

Tratamiento	Dosis Total-NPK		Aplicaciones según edad				
	NPK		(g árbol ⁻¹)				
	g árbol ⁻¹	kg ha ⁻¹	Edad (años)				
			1	2	3	4	5
T1(testigo)	0	0	0	0	0	0	0
T2	300	333	300	0	0	0	0
T3	600	667	200	400	0	0	0
T4	600	667	200	0	400	0	0
T5	800	889	200	200	400	0	0
T6	800	889	200	0	200	0	400
T7	1000	1111	200	200	400	200	0
T8	1000	1111	200	0	400	0	400



En este experimento se etiquetaron nueve árboles, parcela útil por cada uno de los cuatro bloques definidos, para un total de 36 árboles por tratamiento y 288 árboles en total (Fig. 2). Estos árboles se midieron desde 1973 hasta 2012.

La plantación se hizo según el método de hoyo de plantación. La procedencia de las semillas fue de la masa semillera Marbajitas, el marco de plantación empleado fue de 3 m × 3 m. Se utilizó la fórmula de fertilizante (NPK: 8-10-10) y se aplicó en surcos en forma de media luna alrededor de las plantas. Durante todo el período estudiado la plantación no fue sometida a ningún tratamiento silvícola.

Para evaluar la respuesta de la especie a la fertilización se midió la altura con hipsómetro marca Blume-Leiss, 1969, y el diámetro de cada uno de los árboles seleccionados para el estudio, a 1,30 m del suelo con forcípula Varsi, 1970. Las mediciones de altura se realizaron en siete ocasiones, a los 2, 6, 8, 15, 33, 35 y 41 años de edad de la plantación. El diámetro se midió en seis ocasiones a partir de los seis años de edad, coincidiendo con los momentos de medición de la altura en el período comprendido entre 1973 y 2012.

Tratamiento estadístico

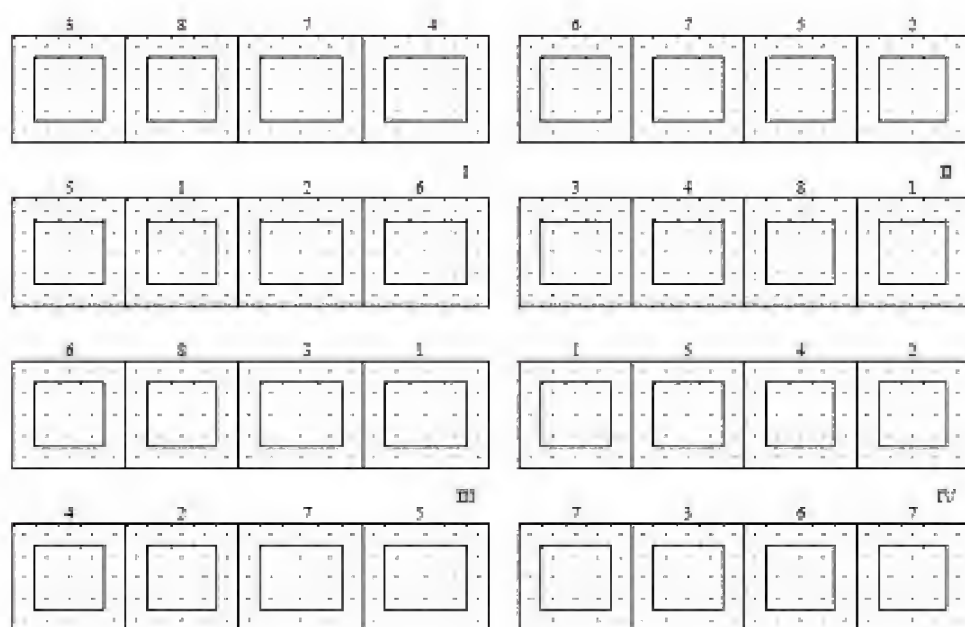


FIGURA 2: Diagrama del diseño experimental empleado.

Fuente: Expediente del ensayo. Estación experimental Viñales. Leyenda: . Árbol,



Los modelos multinivel (Goldstein, 2010), jerárquicos (Raudenbush y Bryk, 2002), o de coeficientes aleatorios (Langford, 1993) se utilizaron en este trabajo para describir las trayectorias que siguen el diámetro y la altura de los árboles en sus primeros 41 años de vida y la incidencia que tienen sobre estas variables el tratamiento y la edad. Se trabajaron dos niveles: el nivel 1, las medidas repetidas y el nivel 2, el árbol.

Para ajustar los modelos multinivel se centró la variable edad en el mínimo: dos años para la altura y seis años para el diámetro con el objetivo de facilitar la interpretación de la constante. Se ajustaron modelos de crecimiento jerárquico donde la variable dependiente fue el diámetro o la altura y las variables independientes, la edad y los tratamientos. Los tratamientos se introducen en el modelo como variables *dummies*, siendo el testigo (T1) la categoría de referencia. Para llegar al modelo de mayor poder explicativo se ajustaron desde el más sencillo, sin variables independientes, hasta el más complejo, y se analizó la significación de la diferencia en $-2 \cdot \log$ verosimilitud para evaluar la calidad del ajuste mediante una prueba Chi cuadrado. Finalmente, se repitió el procedimiento descrito y se ajustaron modelos para cada variable en dos etapas, una primera hasta la edad de 15 años, y la segunda de 33 a 41 años de edad.

Tanto para el diámetro como para la altura se ajustaron tres modelos: el modelo 1, no condicional o vacío que no contiene ningún predictor, solo la constante o intersección en el origen, y que es considerado como referencia para comparar con los modelos más complejos. En el modelo 2 se incluyó, además de la constante, el tratamiento de fertilización como variable independiente (variable del nivel 2). Por último, en el modelo 3 también se incluyó la edad que explica la variación en el tiempo del crecimiento en la variable dependiente y constituye una variable del nivel 1.

Para comparar la homogeneidad de la calidad de sitios de los diferentes tratamientos se seleccionaron los árboles que sobrepasaban en altura el percentil 75 y se comparó la altura media dominante mediante el uso de análisis de varianza en los años 2004, 2006 y 2012.

Para el procesamiento de la información se utilizaron los sistemas estadísticos SPSS v 21.0 y Ml Win v 2.0.

RESULTADOS

Del estudio descriptivo del diámetro (Tabla 2) se obtuvo que en 50% de las edades en que se realizaron mediciones, los valores medios en el tratamiento 2 fueron inferiores al testigo. Los diámetros medios en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 resultaron mayores que el testigo en 100% de los casos. En 67% de los casos (28 de 42), la desviación estándar superó los valores correspondientes a los del tratamiento 1.

A la edad de 33 años, la más próxima al turno técnico de la especie definido en la clase de edad de 30 a 35 años, los mejores resultados en cuanto a diámetro medio se lograron en los tratamientos 6 y 7 con un incremento de 6% con relación a la media general para esa edad. El intervalo de los valores medios máximo-mínimo a los 33 años resultó 15,17% del valor medio para esa edad; a los 41 años este valor descendió a 10,70%.

En cuanto a la altura (Tabla 3), 70% de los valores medios resultaron mayores que el testigo en una cuantía que no supera 20% de la media general para cada edad. En 49% de las veces (24 de 49), la desviación

TABLA 2. Medidas descriptivas para la variable diámetro.

Edad (años)		Tratamientos								Totales
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
6	N	33	36	33	35	35	34	35	35	276
	Media(cm)	7,09	6,84	8,61	8,42	8,91	8,04	8,99	8,46	8,17
	S (cm)	1,67	2,38	1,04	1,47	1,25	2,33	1,93	2,17	1,85
8	N	33	36	33	35	33	34	35	35	274
	Media (cm)	8,69	8,87	10,10	10,30	10,80	9,85	11,20	10,10	9,98
	S (cm)	1,87	2,28	1,33	1,96	1,87	3,01	2,01	2,65	2,18
15	N	29	32	33	34	31	30	33	32	254
	Media (cm)	13,8	13,90	15,80	16,30	16,70	17,20	17,30	16,70	16,00
	S (cm)	3,13	3,00	3,02	2,71	2,97	3,26	2,43	2,80	2,92
33	N	26	27	30	31	27	27	28	29	225
	Media (cm)	21,5	20,40	22,00	22,40	22,30	23,80	23,70	23,30	22,40
	S (cm)	4,02	5,44	4,07	3,96	4,81	4,42	4,46	3,75	4,38
35	N	23	25	28	27	26	26	27	26	208
	Media (cm)	23,6	22,40	23,80	25,30	24,30	25,90	25,70	26,50	24,70
	S (cm)	3,12	5,39	4,11	3,10	5,10	4,22	4,49	2,75	4,14
41	N	22	21	28	27	25	25	27	26	201
	Media (cm)	25,6	26,10	25,80	27,80	26,50	28,40	27,50	28,50	27,10
	S (cm)	3,00	3,38	4,02	3,61	5,05	4,35	4,74	3,15	4,00
	Totales	166	177	185	189	177	176	182	183	1.438
	Media (cm)	15,6	15,10	17,20	17,70	17,40	17,90	18,10	18,00	17,15
	S (cm)	2,83	3,71	3,13	2,87	3,66	3,59	3,41	2,88	3,28

S: Desviación estándar. N: Número de árboles en pie

estándar superó los valores correspondientes a los del tratamiento 1.

A los 33 años, los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos 7 y 1, el tratamiento 7 superó en altura media al testigo en tan solo 1,7%. El intervalo de los valores medios máximo-mínimo a los 33 años resultó 28,7% del valor medio para esa edad; a los 41 años este valor descendió a 7%.

Al final del período de estudio la supervivencia más baja la mostró el tratamiento 2 con 21 árboles en pie, seguidos del tratamiento 1 con 22 árboles.

El valor de la constante en el modelo 0 (Tabla 4) representa el diámetro medio de todos los árboles a la edad de 6 años, este es 8,17 cm con un error estándar de 0,119 cm. En el modelo 1 la constante representa el valor medio de todas las observaciones en los diferentes momen-

TABLA 3. Medidas descriptivas para la variable altura.

Edad (años)		Tratamientos								Totales
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
2	N	34	36	33	36	36	35	36	35	281
	Media(m)	0,84	0,94	0,94	0,93	1,01	0,86	1,03	0,83	0,92
	S(m)	0,30	0,33	0,20	0,27	0,30	0,31	0,36	0,33	0,30
6	N	33	36	33	35	35	34	35	35	276
	Media(m)	4,75	4,84	5,54	5,41	5,48	5,28	5,64	5,25	5,27
	S (m)	0,87	1,05	0,58	0,69	0,72	1,31	0,97	1,16	0,95
8	N	33	36	33	35	33	34	35	35	274
	Media(m)	5,65	6,49	6,89	6,62	7,00	6,73	6,95	6,66	6,63
	S (m)	1,28	1,48	0,89	0,96	1,08	1,61	0,93	1,73	1,29
15	N	29	32	33	34	31	30	33	32	254
	Media(m)	10,70	10,50	12,30	12,70	12,70	12,90	13,00	12,80	12,20
	S (m)	2,76	2,23	1,40	1,73	1,15	1,53	0,68	1,65	1,73
33	N	26	27	30	31	27	27	28	29	225
	Media(m)	17,50	13,10	16,10	16,30	16,10	17,10	17,80	16,40	16,30
	S (m)	2,44	3,22	2,56	2,33	2,56	2,45	2,22	1,84	2,47
35	N	23	25	28	27	26	26	27	26	208
	Media(m)	19,60	17,40	18,70	19,00	19,30	19,20	19,80	19,80	19,10
	S (m)	1,81	3,18	1,99	1,73	2,07	2,23	1,57	1,17	2,04
41	N	22	21	28	27	25	25	27	26	201
	Media(m)	21,30	20,40	20,90	21,30	21,90	21,30	21,50	21,60	21,30
	S (m)	1,86	1,75	1,99	1,81	2,17	1,96	1,64	1,40	1,84
	Total	200	213	218	225	213	211	221	218	1.719
	Media(m)	10,30	9,37	11,20	11,00	11,00	11,00	11,40	11,10	10,80
	S (m)	1,74	2,03	1,55	1,48	1,54	1,69	1,27	1,40	1,60

S: Desviación estándar. N: Número de árboles en pie

tos, cuyo valor es de 17,15 cm (Tabla 2), por lo que no tiene un gran significado para el estudio; el aporte más importante de este modelo es el valor de $-2 \cdot \log$ verosimilitud que constituye la referencia para evaluar la calidad de los modelos restantes.

En el modelo 2 todos los coeficientes, excepto el del tratamiento 2, resultaron significativos, lo que demuestra que existen diferencias importantes en el diámetro promedio de los tratamientos del 3 al 8 con respecto al testigo. La diferencia en $-2 \cdot \log$ verosimilitud del modelo 2 con respecto al modelo 1 fue de 25,87, que resultó altamente significativa para siete grados de libertad en una prueba Chi Cuadrado con $P < 0,001$.

Las variables edad y edad² resultaron significativas con $P < 0,001$ estando en el modelo los tratamientos. La incorporación de la edad para mostrar la evolución en el

tiempo tiene un efecto sustancial en los componentes de la varianza; se observa una disminución del componente de la varianza para la intersección en el origen que ha pasado de 62,43 a 6,19: una reducción de 90%. Esta disminución indica que la edad explica parte importante de la variabilidad en el crecimiento en diámetro.

Por cada año de edad, la velocidad del crecimiento en diámetro es como media 0,77 cm. Este crecimiento es desacelerado pues el coeficiente de la edad al cuadrado es negativo. Los valores de los coeficientes de los tratamientos ya no tienen los mismos valores porque se han incluido otras variables; sin embargo, los signos mantienen la misma dirección con respecto al tratamiento testigo. Resultaron significativos los coeficientes de T4 con $P = 0,005$, T5 con $P = 0,003$; T6 y T7 con $P < 0,001$ y finalmente T8 con $P = 0,001$. La diferencia en

TABLA 4. Coeficientes (error estándar) resultantes de los modelos multinivel para el diámetro.

	Coeficientes (error estándar)			
	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Constante	8,17(0,119)	17,15(0,210)	15,58 (0,613)	7,28 (0,454)
T2			-0,50 (0,853) <i>ns</i>	-0,390 (0,616) <i>ns</i>
T3			1,64 (0,844)**	0,960 (0,623) <i>ns</i>
T4			2,07 (0,840)**	1,600 (0,616)*
T5			1,83 (0,853)*	1,730 (0,621)*
T6			2,33 (0,854)**	1,940 (0,623)**
T7			2,56 (0,848)**	2,440 (0,618)**
T8			2,39 (0,846)**	1,870 (0,618)**
Edad				0,770 (0,024)**
Edad^2				-0,008(0,001)**
Efectos aleatorios				
	3,88 (0,331)	0,00 (0,000)	0,00 (0,000)	5,152 (0,550)
		63,43(2,37)	62,29 (2,326)	6,195 (0,257)
-2LL		10020,43	9994,56	7 137,18
Con modelo 1			25,87**	2883,25**
Con modelo 2				2857,38**

Período considerado 41 años. -2LL: $-2 \cdot \log$ verosimilitud * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *ns* = no significativo; = variabilidad entre árboles; = variabilidad entre las medidas.

-2*log verosimilitud, con los modelos 1 y 2, resultaron significativas para 9 y 7 grados de libertad respectivamente con $P < 0,001$. La inclusión de la edad provocó una disminución en la variabilidad entre medidas de 90%, lo que demuestra la importancia de incluir estos términos.

Para la variable altura (Tabla 5), el valor de la constante en el modelo 0 representa la altura media de todos los árboles a la edad de 2 años, este valor es 0,92 m con un error estándar de 0,018 m. En el modelo 1, el valor de la constante representa el valor medio de la altura de todas las observaciones en los diferentes momentos, equivalente a 10,79 m (Tabla 3).

En el modelo 2 ninguno de los coeficientes asociados a los tratamientos resultó significativo, ni la diferencia en -2*log verosimilitud con respecto al modelo 1, lo que evidencia que no existen diferencias significativas entre las alturas medias para los diferentes tratamientos.

Respecto a los modelos para explicar la altura (Tabla 5) se observa que el tratamiento 2 tiene como promedio un crecimiento que está 0,77 m por debajo del testigo. Con el tratamiento 2 se obtuvieron los menores valores con respecto a este indicador, semejante a lo ocurrido con el diámetro.

En cada tratamiento se seleccionaron los árboles que sobrepasan en altura el percentil 75; con edades de 33, 35 y 41 años, y se comparó la altura media dominante mediante un análisis de varianza en los tres momentos. No hay evidencias para rechazar igualdad en altura media dominante entre tratamientos con $P = 0,696$; $P = 0,353$ y $P = 0,163$ respectivamente.

El modelo 3 evidenció la ganancia en calidad al incluir la variable edad en la modelización. La incorporación de la edad para mostrar la evolución en el tiempo tiene un efecto significativo en los componentes de la varianza. Se observa una disminución del componente de

TABLA 5. Coeficientes (error estándar) resultantes de los modelos multinivel para la altura.

	Coeficientes (error estándar)			
	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Constante	0,92 (0,018)	10,79 (0,174)	10,29 (0,508)	1,44 (0,1990)
T2			-0,92 (0,708) <i>ns</i>	-0,77 (0,2570)*
T3			0,89 (0,704) <i>ns</i>	0,25 (0,2580) <i>ns</i>
T4			0,63 (0,699) <i>ns</i>	0,35 (0,2550) <i>ns</i>
T5			0,69 (0,708) <i>ns</i>	0,54 (0,2580)*
T6			0,70 (0,709) <i>ns</i>	0,48 (0,2590)*
T7			1,12 (0,701) <i>ns</i>	0,88 (0,2560)**
T8			0,77 (0,700) <i>ns</i>	0,47 (0,2570)*
Edad				0,85 (0,0150)**
Edad^2				-0,01 (0,0001)**
Efectos aleatorios				
	0,094 (0,008)	0,00 (0,000)	0,00 (0,000)	0,55 (0,096)
		52,04 (1,775)	51,66 (1,762)	3,44 (0,128)
-2LL		11671,70	11659,34	7188,51
Con modelo 1			12,36	4483,19**
Con modelo 2				4470,83**

la varianza para la intersección en el origen, pues esta pasó de 52,04 a 3,44, lo que implica una reducción de 93%. Las diferencias en $-2 \cdot \log$ verosimilitud de este modelo en relación con los modelos 1 y 2 resultaron altamente significativas ($P < 0,001$) para 9 y 2 grados de libertad respectivamente. Fueron significativas las diferencias con respecto al testigo de los tratamientos, T5 con $P = 0,018$, T6 con $P = 0,032$, T7 con $P < 0,001$. La edad y la edad² también resultaron significativas con $P < 0,001$.

Las figuras 3 y 4 muestran la diferencia entre los valores de los coeficientes asociados a los tratamientos en relación con el testigo para las variables diámetro y altura respectivamente. En ambos casos, el tratamiento 2 tiene un comportamiento desfavorable con respecto al testigo.

En las figuras 5 y 6 se representan las curvas estimadas para diámetro y altura de los modelos 3 correspondientes a los tratamientos testigo, T1; el de mínimo crecimiento, T2 y el de máximo crecimiento T7.

Los modelos resultantes de la estimación en dos etapas (Tabla 6) detectaron que para la variable altura, en la etapa comprendida de 2 a 15 años de edad, existen diferencias significativas ($P < 0,001$) entre los efectos de los tratamientos del 3 al 8 con relación al testigo. El tratamiento 2 no presentó diferencias con el testigo, situación

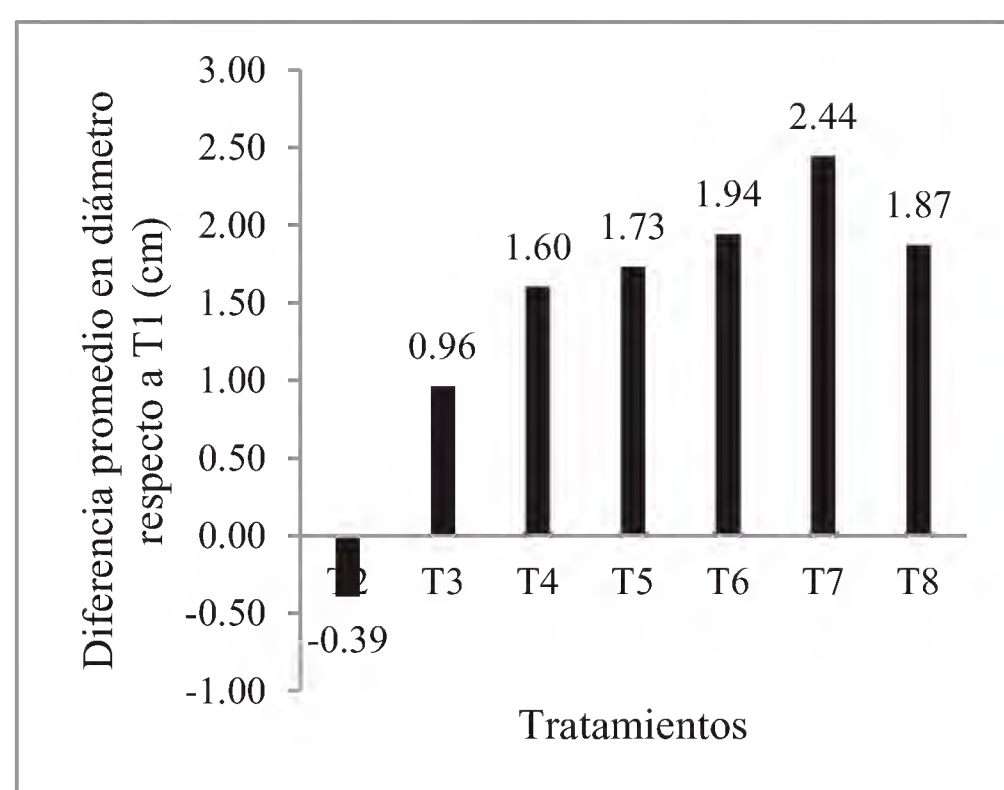


FIGURA 3. Coeficientes de las variables asociadas a los tratamientos, para el diámetro, en el modelo 3.

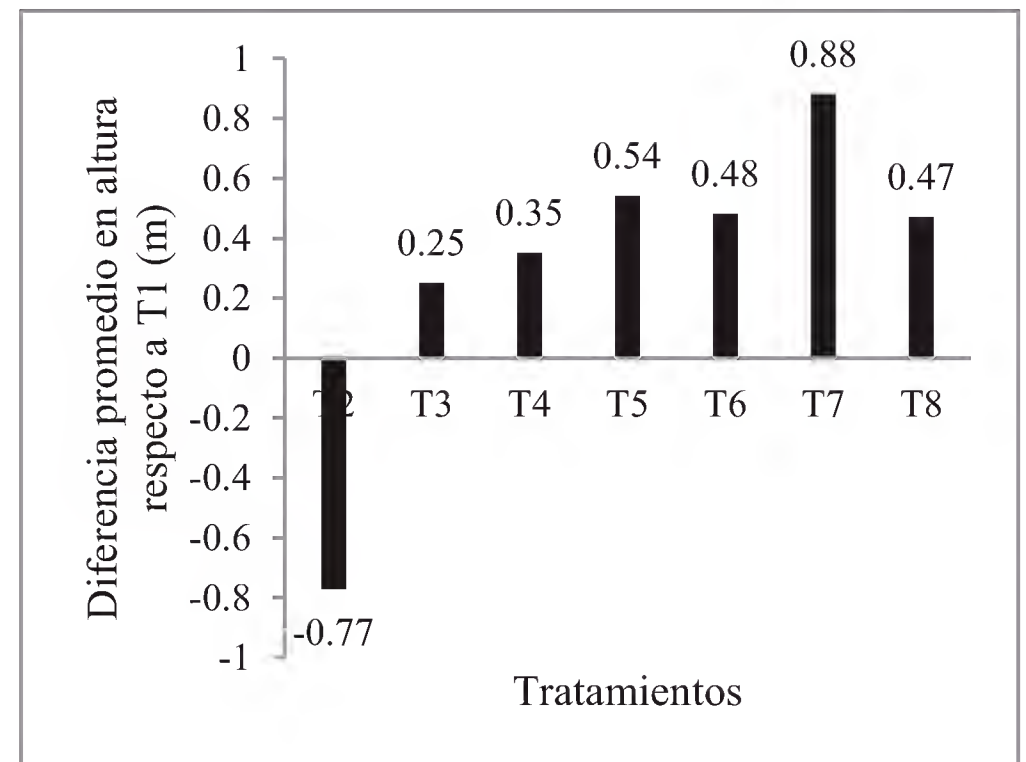


FIGURA 4. Coeficientes de las variables asociadas a los tratamientos, para la altura, en el modelo 3.

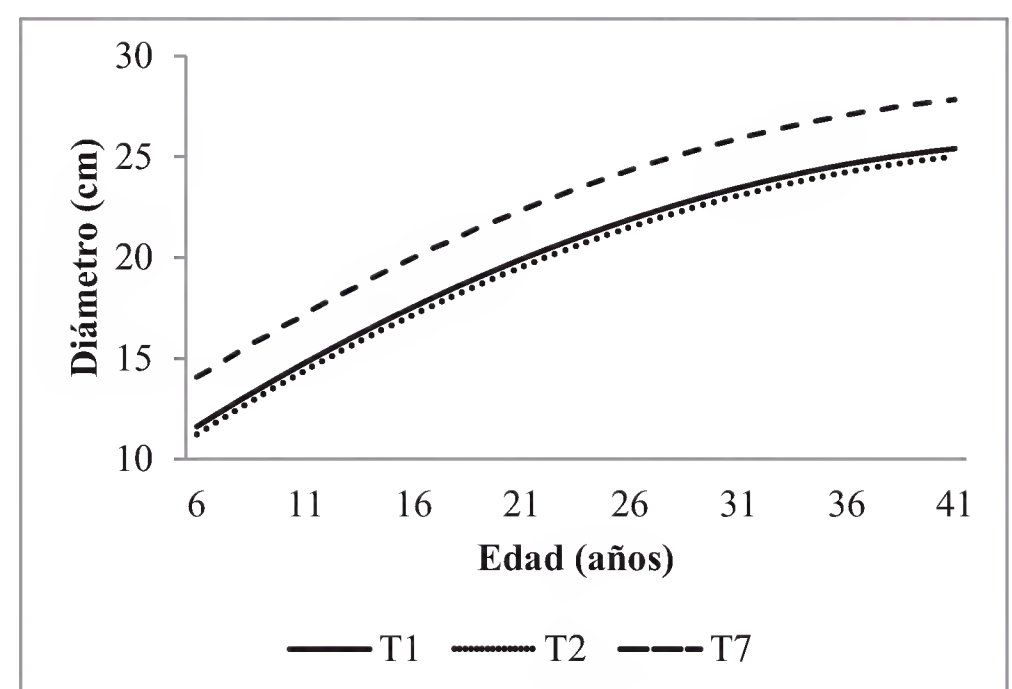


FIGURA 5. Curvas de crecimiento estimadas para el diámetro en los tratamientos 1, 2, 7.

que se revierte en el modelo estimado para las edades de 33 a 41 años, donde solo el tratamiento 2 provocó un crecimiento significativamente menor con respecto al testigo ($P < 0,001$). En ambos escenarios, los coeficientes que estiman la velocidad de crecimiento (edad) y la aceleración (edad²) resultaron altamente significativos ($P < 0,001$).

En cuanto al diámetro en la primera etapa, de 6 a 15 años, se detectaron diferencias significativas ($P < 0,001$)

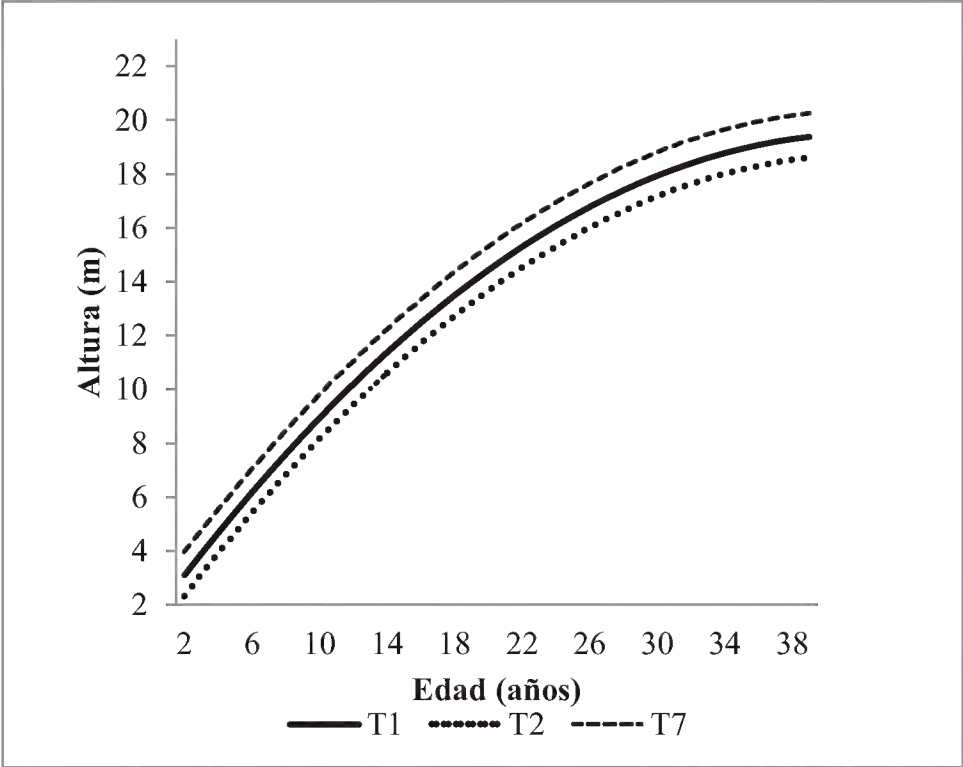


FIGURA 6. Curvas de crecimiento estimadas para la altura en los tratamientos 1, 2, 7.

en los tratamientos 3 al 8 en relación con el testigo; el tratamiento 2 no presentó diferencias. En este modelo, el término edad^2 no resultó significativo; el incremento en diámetro en los árboles más jóvenes tuvo un comportamiento lineal. En la etapa de 33 a 41 años de edad se detectaron diferencias significativas con relación al testigo en los tratamientos 6, correspondiente a 800 kg ha^{-1} en régimen alterno, con $P = 0,014$; el tratamiento 7 con $P = 0,014$ y el 8, con $P = 0,02$; correspondientes y 1000 kg ha^{-1} en régimen continuo y alterno respectivamente.

DISCUSIÓN

A largo plazo, la respuesta de la fertilización mineral aplicada de forma fraccionada en los primeros cinco años de establecida una plantación de *Pinus caribaea* es positiva siempre que se aplican las dosis adecuadas. En cuanto a valores descriptivos, a la edad de 35 y 41 años se muestran los mayores diámetros medios de árboles individuales en

TABLA 6. Modelos multinivel para el diámetro y la altura en dos etapas de crecimiento.

	Coeficientes (error estándar)			
	Diámetro		Altura	
	6 a 15 años	de 33 a 41 años	2 a 15 años	de 33 a 41 años
Constante	6,749 (0,346) ***	-57,11 (6,34) ***	0,250(0,151)*	-144,476(9,741)***
T2	0,019 (0,473)ns	-1,178 (1,192) ns	0,197(0,196)ns	-2,862(0,582)***
T3	1,595 (0,482)***	0,417 (1,162) ns	0,893(0,200)***	-0,934(0,580)ns
T4	1,744 (0,476)***	1,308 (1,154) ns	0,873(0,197) ***	-0,706(0,563) ns
T5	2,256 (0,478)***	1,256 (1,192) ns	1,016(0,198) ***	-0,316(0,580) ns
T6	1,742 (0,480)***	2,599 (1,192)*	0,883(0,199) ***	-0,181(0,580) ns
T7	2,597 (0,476)***	2,610 (1,192)*	1,127(0,197) ***	0,382(0,575) ns
T8	1,748 (0,476)***	2,291 (1,172)*	0,826(0,196) ***	-0,165(0,572) ns
Edad	0,858 (0,015)***	4,769 (0,407)***	1,078(0,023) ***	8,887(0,558)***
Edad^2		-0,069(0,007)***	-0,017(0,002) ***	-0,119(0,008)***
Efectos aleatorios				
	2,977 (0,332)	18,510 (1,78)	0,384(0,058)	4,018(0,420)
	2,510 (0,155)	0,780(0,05)	1,102(0,055)	1,156(0,081)
-2LL	3428,550	2570,890	3422,770	2420,870

-2LL: -2*log verosimilitud * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; ns = no significativo; = variabilidad entre árboles; = variabilidad entre las medidas.

los tratamientos 6 y 8 a los que les corresponden dosis de 800 kg ha⁻¹ y 1000 kg ha⁻¹ aplicadas en régimen alterno respectivamente, mientras que los resultados más pobres se obtienen en el tratamiento testigo y el tratamiento 2, en el que (por única ocasión) se aplica la dosis de 300 g árbol⁻¹.

Mediante este análisis se reitera el efecto adicional de la fertilización, pues se obtienen más árboles de mayor diámetro en un espacio determinado (Herrero, 2001; Reyes *et al.*, 2014). Una mayor cantidad de nutrientes provocará un aumento en la producción de biomasa y mayor será su acumulación cuando el suelo presenta un suministro suficiente. En el caso de árboles no fertilizados el potencial de producción de biomasa se reduce al ser insuficiente el suministro de nutrientes en el suelo (Bonomelli y Suárez, 1999).

En cuanto a la altura, a los 41 años de edad los tratamientos 5, 7 y 8 superan en valor medio al testigo, pero la diferencia máxima respecto a la media del testigo es solo 2,8% que a la vista de los resultados no es relevante; y los coeficientes de los tratamientos en el modelo jerárquico no resultaron estadísticamente significativos; este resultado también lo presenta Herrero *et al.* (2004) cuando hace el estudio a los 33 años de edad en que solo detecta diferencias en el tratamiento 2, lo que demuestra que en edades avanzadas se estabiliza la altura media para *Pinus caribaea* independientemente de la dosis de fertilizante empleada, siempre que no esté por debajo de los valores que satisfacen los requerimientos para la especie de acuerdo con las condiciones del suelo.

Por otro lado, la comparación de altura media dominante a los 33, 35 y 41 años de edad mostró igualdad estadística, por lo que se concluye que todos los tratamientos tienen la misma capacidad productiva para la especie y por consiguiente se consideran con igual calidad de sitio, (González, Barrero y Carrasco, 2013; Kimmins, 2004; Herrera y Alvarado, 1998). Este resultado coincide con el obtenido a partir del modelo 3 para la altura en la segunda etapa, 33 a 41 años, lo que indica que la altura media está más asociada al sitio y a las potencialidades de la especie, resultado que coincide con Herrero *et al.* (2004) y Grá (1990) que elaboró las curvas de calidad de sitio

para *Pinus caribaea* en función de la altura media dominante y también en función de la altura media del rodal.

En experimentos a largo plazo, como el que se presenta en este trabajo, generalmente se pierde información y en el caso de la comparación de curvas de crecimiento las observaciones están autocorrelacionadas violando uno de los supuestos de la regresión clásica. En este caso particular se trabaja con 83% de las observaciones posibles para el diámetro y 85% para la altura, lo cual ha podido realizarse gracias a la aplicación de la regresión multinivel, que es prácticamente insensible a estas omisiones.

Además de ser de los más estables, el tratamiento 7 es el que mayor diferencia presenta con respecto al testigo lo que coincide con los resultados obtenidos por Reyes *et al.* (2014) y por Herrero *et al.* (2004) para 33 años de edad.

Es importante resaltar que las diferencias significativas se han detectado a partir de la comparación de las curvas de crecimiento; por ejemplo, en cuanto a la altura media, las diferencias entre tratamientos se detectan en los primeros años, después se estabiliza y al final del período solamente el tratamiento en el que se aplicaron 300 g árbol⁻¹ de NPK resulta estadísticamente diferente del resto quedando por debajo de su estimación.

La dosis única de 300 g árbol⁻¹ resulta subóptima, pues no mejora los resultados de la omisión de fertilización. Esto se debe a que cuando se aplican dosis por debajo de las adecuadas se crean desequilibrios nutrimentales y como consecuencia hay un menor crecimiento (Reyes *et al.*, 2014); en coincidencia con Vasquez (2001), quien asegura que las coníferas necesitan nutrientes para crecer y cuando no los consiguen en niveles adecuados presentan problemas con su desarrollo y crecimiento debido a los desequilibrios nutrimentales que provoca la aplicación de dosis por debajo de los niveles requeridos.

Los mejores resultados a partir de las curvas de crecimiento en diámetro y altura para todo el período (Fig. 3 y 4) se obtienen con los tratamientos 7 (1000 g árbol⁻¹), 6 (800 g árbol⁻¹ A) y 8 (1000 g árbol⁻¹ A) (Tabla 1), con los que se obtuvieron diferencias altamente significativas respecto al tratamiento control o testigo (Tablas 4 y 5), resultados que coinciden con la comparación a los 33 años de



edad, realizadas por Herrero *et al.* (2004), pero son distintos para edades inferiores.

El efecto de la fertilización con las dosis adecuadas ha sido positivo durante el horizonte temporal estudiado en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* sobre suelo Alítico de Baja Actividad Arcillosa. Los tratamientos 4 al 8 han incrementado en altura y diámetro promedio con relación al testigo, coincidiendo con los resultados mostrados por Will *et al.* (2006) y Alvarado y Raigosa (2012). De igual modo, Herrero *et al.* (2004) presentaron respuesta a la fertilización expresada en altura al evaluar a los doce años una plantación de *Pinus caribaea* fertilizada con roca fosfórica al primer año de establecida. Solla-Guyón *et al.* (2004) comunican resultados positivos en altura y diámetro ante la fertilización con cenizas de biomasa en plantaciones forestales jóvenes.

De la interpretación de los modelos en dos etapas se desprende que los ritmos de crecimiento de ambas variables (altura y diámetro) son diferentes: la altura siempre estará determinada por la edad, y su aumento o disminución dependerá de la calidad del sitio que puede manejarse hasta una etapa donde comienza a desacelerarse. De acuerdo con los resultados de la comparación de la altura media dominante entre tratamientos se corrobora lo planteado por Herrera y Alvarado (1998); Kimmins (2004); González *et al.*, (2013); Serrada (2008), quienes aseguran que la altura dominante se utiliza como indicador de la capacidad productiva de un sitio porque los árboles dominantes representan el mayor crecimiento posible dadas las condiciones ambientales particulares en el sitio de evaluación.

El diámetro tiene un aumento lineal y comienza a disminuir su ritmo de crecimiento en una etapa superior (mayor edad). Estos resultados adquieren connotación para determinar el momento adecuado de las intervenciones silvícolas pertinentes en dependencia del uso que se le desee dar a la plantación. En ese sentido, la fertilización juega un papel importante, aspecto que se demuestra con el análisis de los modelos resultantes de esta investigación.

La extensión en el tiempo del ensayo dificulta la comparación con otros resultados que se han obtenido.

Los resultados presentados pueden estar afectados parcialmente porque las plantaciones no han sido manejadas de manera adecuada; esta es su principal limitación y resulta difícil de mitigar pues ha sido un experimento al que se le ha dado seguimiento durante 41 años. Muchos autores, entre ellos Carlyle (1998); Carter, McWilliams y Klinka (1998); Swanston y Preston (2009 y 2014); Aarnio, Rätty y Martikainen (2003); Mainwaring *et al.* (2014); Will *et al.* (2006), Muller *et al.* (2013) han desarrollado ensayos con menor tiempo de seguimiento; la duración del ensayo presentado en este artículo dificulta la comparación de los resultados obtenidos por estos autores que han desarrollado experimentos de fertilización en plazos más cortos.

CONCLUSIONES

En los modelos multinivel para diámetro y altura, la inclusión de los tratamientos y la edad mejoran significativamente la calidad de los ajustes. Esto se aprecia en la disminución de los componentes de la varianza.

En el caso del diámetro, en relación con el tratamiento testigo la aplicación de 600 g árbol⁻¹ en régimen alterno o dosis superiores arroja resultados superiores en crecimiento. En altura, se detectan diferencias significativas con el tratamiento testigo con dosis de 800 o 1000 g árbol⁻¹ cuando se ajustan los modelos para los 41 años de estudio; sin embargo, cuando se separan por etapas, en el segundo período solo aporta diferencias en el tratamiento 2, con un crecimiento inferior al tratamiento testigo.

El estudio fraccionado por edades solo detecta diferencias, por defecto, del tratamiento 2 con el testigo en el segundo escenario y se mantiene homogeneidad entre el testigo y los demás tratamientos. Se corrobora que cuando la dosis aplicada es insuficiente, en este caso 300 g árbol⁻¹, es perjudicial para el crecimiento y desarrollo de la plantación.

REFERENCIAS

- Aarnio, T., Rätty, M. y Martikainen, P. (2003). Long-term availability of nutrients in forest soil derived from fast- and slow-release fertilizers T. *Plant and Soil*, 252, 227-239.

- Albaugh, T., Allen, H. y Fox, T. (2007). Historical patterns of forest fertilization in the Southeast United States from 1969 to 2004. *South. J. Appl. For.* 31 (3), 129-137.
- Albaugh, T., Rubilar, F., Alvarez, J. y Allen, H. (2004). Radiata pine response to tillage, fertilization and weed control in Chile. *Bosque*, 25(2), 5-15.
- Alvarado, A. y Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. San José, Costa Rica: MA S.A.
- Awan, A. y Frias, G. (1970). Los suelos de la Estación Experimental Forestal de Viñales, Pinar del Río. *Baracoa*, 2 (1), 19-30.
- Bonomeli, C. y Suárez, F. (1999). Fertilización del eucalipto. Acumulación de fósforo nitrógeno y potasio. *Ciencia e Investigación Agraria* 26, 11-19.
- Cañellas, I., Finat, L., Bachiller, A. y Montero, G. (1999). Comportamiento de plantas de *Pinus pinea* en vivero y campo: Ensayos de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. *Investigación agraria. Producción y Protección Vegetal*, 8 (2), 335-359.
- Carlyle, J. (1998). Relationships between nitrogen uptake, leaf area, water status and growth in an 11-year-old *Pinus radiata* plantation in response to thinning, thinning residue, and nitrogen fertilizer. *Forest Ecology and Management*, 108, 41-55.
- Carter, R., McWilliams, E. y Klinka, K. (1998). Predicting response of coastal Douglas-fir to fertilizer treatments. *Forest Ecology and Management*, 107, 275-289.
- Corporación Nacional Forestal, CL. (2013). *Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios*. Chile.
- De Urzedo, D., Pires, M., Machado, L. y Braga, J. (2013). Effects of organic and inorganic fertilizers on greenhouse gas (GHG) emissions in tropical forestry. *Forest Ecology and Management*, 310, 37-44. doi:10.1016/j.foreco.2013.08.018
- Everett, C. y Palm-Leis, H. (2009). Availability of residual phosphorus fertilizer for loblolly pine. *Forest Ecology and Management*, 258, 2207-2213.
- Fox, T., Allen, H., Albaugh, T., Rubilar, R. y Carlson, C. (2007). Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the southern United States South. *Journal of Applied Forestry*, 31 (1), 5-11.
- Fox, T., Jokela, E. y Allen, H. (2007). The development of pine plantation silviculture in the southern United States. *Journal of Forestry*, 105 (7), 337-347.
- García, E., Sotomayor, A., Sila, S. y Valdebenito, G. (2000). Establecimiento de plantaciones. Santiago de Chile: *Instituto Forestal-Fondo de Desarrollo e Innovación*.
- Goldstein, H. (2010). *Multilevel statistical models* (4a ed.). Nueva York: Wiley Series in Probability and Statistics.
- González, E., Barrero, H. y Carrasco, Y. (2013). Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). *Ecosistemas*, 22 (3), 46-51.
- González, M. (2006). *Influencia de la densidad de plantación en la economía y la ecología de Pinus caribaea* var. *caribaea* en las Alturas de Pizarra de Pinar del Río Cuba. Disertación doctoral en Ciencias Forestales no publicada, Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba.
- Grá, H. (1990). *Confeción de tablas de volumen, surtido y densidad de Pinus caribaea Morelet Barret y Golfari en plantaciones puras para Cuba*. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones Forestales.
- Herrera, B. y Alvarado, A. (1998). Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. *Agronomía Costarricense*, 22 (1), 99-117.
- Herrero, G. (2001). *Nutrición de plantaciones de Pinus caribaea* var. *caribaea*: Respuesta a la fertilización y método de diagnóstico. Disertación doctoral en Ciencias Agrícolas, Instituto Nacional de Ciencia Agrícola, La Habana, Cuba.
- Herrero, G., González, M., Fuentes, I., Herrera, P., García, A. y Coto, O. (2004). Fertilización a *Pinus caribaea* en su hábitat natural y diversidad vegetal asociada. *Primer Congreso de Suelos Forestales* (pág. 18). Heredia. Costa Rica: Inisefor.
- Herrero, J., Renda, A. y González-Abreu, A. (1983). Manejo de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en las zonas de Alturas de Pizarra, P. del Río. *Boletín de Reseñas Forestales - Ministerio de la Agricultura (Cuba)*, 1-26.
- Instituto de Suelos. (1999). *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. La Habana: Agrinfor.



- Jiménez, M. y Herrero, G. (1984). Valoración preliminar de la influencia de los fertilizantes minerales en el desarrollo y crecimiento de una plantación de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. *Revista Forestal Baracoa*, 14 (2), 7-24.
- Kimmins, J. (2004). *Forest Ecology. A foundation for sustainable management*. Nueva Jersey, EUA: Prentice Hall.
- Kumaraswamy, S., Mendham, D., Grove, T., O'Connell, A., Sankaran, K. y Rance, S. (2014). Harvest residue effects on soil organic matter, nutrients and microbial biomass in eucalypt plantations in Kerala, India. *Forest Ecology and Management*, 328, 140-149.
- Langford, N. (1993). *Random coefficient models*. Nueva York, EUA: Oxford University Press.
- Mainwaring, D., Maguire, D. y Perakis, S. (2014). Three-year growth response of young Douglas-fir to nitrogen, calcium phosphorus, and blended fertilizers in Oregon and Washington. *Forest Ecology and Management*, 327 (1), 178-188.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2005). *Estrategia ambiental y Determinación de ecosistemas en paisajes de primer orden del Parque Nacional Viñales*. Pinar del Río, Cuba: Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales. Ecovida.
- Moreno, L., López, M., Estañol, E. y Velázquez, A. (2002). Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques*, 8 (1), 49-58.
- Muller, P., Poggiani, F., Libardi, P. y Natal, A. (2013). Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management*, 301, 67-78.
- Raudenbush, S. y Bryk, A. (2002). *Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods* (2ª ed.). Thousand Oaks, CA, EUA: Sage Publications.
- Reyes, J., Herrero, G., León, M., Miñoso, Y. y Curvelo, S. (2014). Respuesta a la fertilización de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en su hábitat natural en diferentes edades. *Revista Forestal Baracoa*, 33, 587-598.
- Rubilar, R., Blevins, L., Toro, J., Vita, A. y Muñoz, F. (2008). Respuesta temprana de *Pinus radiata* al control de malezas y fertilización en suelos metamórficos de la cordillera de la Costa de la Región del Maule. *Bosque*, 29 (1), 74-84.
- Serrada, R. (2008). *Apuntes de Selvicultura*. Madrid: EUIT Forestal.
- Shryock, B., Littke, K., Ciol, M., Briggs, D. y Harrison, R. (2014). The effects of urea fertilization on carbon sequestration in Douglas-fir plantations of the coastal Pacific Northwest. *Forest Ecology and Management*, 318, 341-348.
- Smaill, S., Clinton, P. y Greenfield, L. (2008). Nitrogen fertiliser effects on litter fall, FH layer and mineral soil characteristics in New Zealand *Pinus radiata* plantations. *Forest Ecology and Management*, 256, 564-569.
- Solla-Guyón, F., Rodríguez, R. y Merino, A. (2004). Respuesta de plantaciones forestales jóvenes sobre suelos ácidos a la fertilización con cenizas de biomasa. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 20, 227-232.
- Swanston, C., & Preston, C. (2009). Availability of residual phosphorus fertilizer for loblolly pine. *Forest Ecology and Management*, 258, 2207-2213.
- Swanston, C. y Preston, C. (2014). Availability of residual fertilizer 15N from forest floor and mineral soil to Douglas-fir seedlings ten years after fertilization. *Plant Soil*, 381, 381-394.
- Vasquez, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Tolima*. Tolima, Colombia: Universidad del Tolima.
- Will, R., Markewitz, D., Hendrick, R., Meason, D., Crocker, T. y Borders, B. (2006). Nitrogen and phosphorus dynamics for 13-year-old loblolly pine stands receiving complete competition control and annual N fertilizer. *Forest Ecology and Management*, 227, 155-168.

Manuscrito recibido el 21 de enero de 2016.
Aceptado el 24 de agosto de 2016.

Este documento se debe citar como:
León-Sánchez, M. A., Reyes-Pozo, J. L., Herrero-Echevarría, G., Pérez-León, V. E. (2016). Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba. *Madera y Bosques*, 22 (3), 87-101.



Evaluación de dos barnices mediante intemperismo acelerado, aplicados en madera de plantaciones

Evaluation of two varnishes by accelerated weathering applied to plantation timber

Juana Laura Rivera-Nava¹, Amparo Borja de la Rosa^{2*}, Alejandro Corona-Ambriz², Rogelio Flores-Velázquez³
y Roberto Machuca Velasco²

¹ Universidad del Mar. Campus Puerto Escondido. Puerto Escondido, Oaxaca, México. laurarivera@zicatela.umar.mx

* Autor de correspondencia. aborja@correo.chapingo.mx

² Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Estado de México, México. ambrizcor@yahoo.com.mx; robertov@correo.chapingo.mx

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Martinito. San Martinito, Tlahuapan, Puebla, México. flores.rogelio@inifap.gob.mx

RESUMEN

En este estudio se determinó la vida útil de dos sistemas de acabado, uno base agua y otra base solvente, mediante intemperismo acelerado. Los barnices empleados son de la marca comercial Polyform® (Hydroform® y 11000®). Se aplicaron en madera de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) provenientes de plantaciones comerciales de siete años del estado de Veracruz, México. La vida útil de los acabados se estimó con la función de distribución acumulativa del modelo Weibull. La vida útil para el barniz Hydroform® fue de 1.02 años en cedro rojo y 2.18 años en primavera, mientras que para el Barniz 11000® fue de 3.70 años en cedro rojo y 8.99 años en primavera. De acuerdo con el tiempo estimado de la vida útil de los acabados empleados en esta investigación, se recomienda utilizar el Barniz 11000® más que el Hydroform® en exteriores.

PALABRAS CLAVE: acabados para exteriores, Barniz Polyform® (Hydroform® y 11000®), *Cedrela odorata*, *Roseodendron donnell-smithii*.

ABSTRACT

In this study, we determined the lifespans of two wood finishing systems, one water-based and another solvent-based, using an accelerated process of weathering. The varnishes used were both of the brand Polyform® (Hydroform® and 11000®). We applied these to wood of *Cedrela odorata* L. (red cedar) and *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) from commercial plantations of seven years in the state of Veracruz, Mexico. The lifespans of the varnishes were estimated with the Weibull cumulative distribution function. The varnish Hydroform® lasted 1.02 years on red cedar and 2.18 years on primavera, while the varnish 11000® lasted 3.70 years on red cedar and 8.99 years on primavera. According to the lifespans estimated for the two varnishes used in this study, we recommend using the varnish 11000® rather than Hydroform® for outdoor uses.

KEY WORDS: finishing for exterior, Polyform® Varnish (Hydroform® and 11000®), *Cedrela odorata*, *Roseodendron donnell-smithii*.

INTRODUCCIÓN

La madera, por su abundancia y características propias, se ha utilizado como material para la elaboración de casas, muebles, herramientas, vehículos, instrumentos musicales, objetos decorativos, entre otros. En estado seco funciona como aislante contra el calor, el sonido y la electricidad, por lo que absorbe y disipa vibraciones

bajo algunas condiciones de uso. Este material se moldea de manera fácil si se utilizan herramientas y técnicas adecuadas; puede fijarse con adhesivos, clavos, tornillos, pernos y clavijas. Estructuralmente tiene alta resistencia en relación con su peso y posee una durabilidad natural considerable; no obstante que puede ser dañada por la oxidación, el ácido, el agua salada u

otros agentes corrosivos, se puede reparar, reconstruir o transformar.

Para que la madera tenga una vida en uso más larga es necesario protegerla; para ello existen acabados transparentes como los barnices que resaltan y acentúan el veteado y el color natural de la madera. Las tintas dan un aspecto rústico además de bloquear de forma parcial el color y el veteado; las pinturas cubren completamente la madera (Cassens y Feist, 1991; Alegri, 1994; Williams, Knaebe y Feist, 1996). La labor principal de un acabado es la de proteger la superficie de la madera evitando que los rayos ultravioleta (UV) incidan directamente en esta; así mismo, ayuda a mantener cierta apariencia y facilidad en la limpieza. Su elección penderá del aspecto y grado de protección deseado. La óptima función de los sistemas de acabado se logra cuando se consideran los múltiples factores que los afectan. Estos factores incluyen las características y propiedades del substrato madera, entre ellos los nudos y extractivos, las propiedades del material de acabado, detalles de aplicación y severidad de la exposición (Forest Products Laboratory [FPL], 1999).

Las superficies de madera más adecuadas para la aplicación de un acabado son las que tienen la menor tendencia a la contracción e hinchamiento; por lo tanto, las tablas de corte radial son mucho mejores que las de corte tangencial. Esta situación se observa con mayor claridad cuando la madera es usada al exterior y se pueden producir condiciones en donde la humedad relativa y la lluvia periódica provoquen hinchamiento y contracción que afecten la estabilidad del acabado. De la misma forma, debido a que el hinchamiento de la madera es directamente proporcional a la densidad básica, estas especies son preferidas a las de alta densidad básica (FPL, 1999).

La madera usada en exteriores se ve afectada de manera notable por el proceso de intemperismo, término usado para describir la degradación de los materiales expuestos (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996; Williams, 2010). Esto ocurre en la superficie de todo material orgánico, incluyendo la madera y los acabados usados en la misma. La fotooxidación de la superficie catalizada por la radiación ultravioleta del sol aumenta por

procesos como la lixiviación, la lluvia, cambios en la temperatura, contenido de humedad y abrasión por partículas arrastradas por el viento. El proceso de intemperismo puede tomar muchas formas de acuerdo al material expuesto; en general, el proceso comienza con un cambio de color, seguido por una lenta erosión (pérdida de material) de la superficie (Feist, Rowell y Ellis, 1991; Miklečić y Jirouš-Rajković, 2011). Al inicio se crean escasas grietas superficiales y en algunos materiales se pueden abrir grietas profundas (FPL, 1999; Custódio, Broughton y Cruz, 2012).

Cuando un objeto de madera usado en el exterior tiene algún tipo de acabado de los que forman película (como son barnices y pinturas), se producen fallas de cohesión entre la madera y la película; esto se da por el efecto del intemperismo, el que puede terminar con un blanqueo y posterior desprendimiento de esta por la acción de lixiviación que ejerce la lluvia (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996; Williams y Feist, 2007). Por esta razón no se recomienda, en general, usar barnices cuando la madera es colocada en exteriores.

A partir de estudios de intemperismo artificial, se ha obtenido considerable información sobre el índice de degradación de la madera (Williams, Knaebe, Sotos y Feist, 2001; Forsthuber, Schaller y Grüll, 2013; Custódio *et al.*, 2012). Las pruebas de intemperismo acelerado se pueden efectuar en varios aparatos creados con bases empíricas; éstos tratan de imitar las condiciones climáticas a las que un sistema de acabado para madera es expuesto. También se han creado métodos de evaluación que permiten estimar la vida útil de los acabados en un periodo corto (Arnold, Sell y Feist, 1991; Podgorski, Merlin y Deglise, 1996; Williams y Feist, 2007; Goktas, Duro, Yeniocak y Ozen, 2008; Clausen, Green y Kartal, 2010; Miklečić y Jirouš-Rajković, 2011).

En México son escasos los estudios sobre pruebas aceleradas de intemperismo artificial, entre ellos están los de Flores-Velázquez, Borja-de la Rosa, Zamudio-Sánchez, Fuentes-Salinas y González-Estrada (2001) y Tamarit-Urías, Borja-de la Rosa, Flores-Velázquez y Corona-Ambriz (2002), quienes usaron como sustrato la madera



proveniente de bosques naturales. En este trabajo se empleó la madera de especies de plantaciones comerciales de siete años de edad como sustrato. El objetivo fue estimar la resistencia al intemperismo acelerado del Barniz® y del Barniz 11000® utilizando como soporte la madera de *Cedrela dorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera). Por lo tanto, esta experiencia aportará datos e información para enriquecer la toma de decisiones de los propietarios de los bosques, de fabricantes de casas y muebles, de los carpinteros, de los tecnólogos de la madera como usuarios y de los fabricantes de los barnices empleados, así como para establecer una base de estudios futuros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron cuatro árboles de *R. donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) y de *C. odorata* L. (cedro rojo) de plantaciones forestales comerciales de siete años de edad del predio Cerro del Águila, comunidad de Zapoapan de Cabañas del municipio de Catemaco, Veracruz, México. La zona se encuentra entre los 18°15' y 18°22' de latitud norte y 95°01' y 95°07' de longitud oeste (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1985). Las trozas de cedro rojo midieron entre 15.5 cm y 19.5 cm de diámetro, con alturas entre 9.5 m y 10.50 m. Las muestras de primavera medían de 18 cm a 25 cm de diámetro y de 10.80 m a 17.50 m de altura.

Los árboles fueron seccionados desde la base del fuste a cada 1.80 m. Las trozas obtenidas se trasladaron a la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Texcoco, Estado de México. Las tablas que se obtuvieron de las trozas fueron secadas en un secador solar a un contenido de humedad de 11% en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito (CESM) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Por último, se elaboraron probetas de 1 cm × 10 cm × 30 cm de cortes mixtos de las dos especies. Las caras de las probetas fueron lijadas con una máquina lijadora de banda, usando una lija del número 100. Los cantos y los cabezales se lijaron de forma manual utilizando lijas de los números 80 y 100.

Posteriormente, se seleccionaron 120 probetas por especie tratando que no tuvieran defectos en la superficie o que estos fueran mínimos. Una vez preparadas las superficies de las probetas se aplicaron cuatro manos en los cantos y en las caras, y cinco en los cabezales en cada una de las probetas de los barnices Hydroform® (base agua) y 11000® (base solvente), este número de manos de barniz fue sugerida por el fabricante; las características de los barnices se muestran en la tabla 1.

Para la prueba acelerada de simulación de las condiciones de intemperismo se utilizó un equipo fabricado de acuerdo a lo establecido por el Centro Técnico de la Madera y del Mueble de Francia; este es nombrado rueda de intemperismo acelerado (RIA). El ensayo se realizó en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito.

La figura 1 muestra el equipo usado para el ensayo de envejecimiento artificial. En la parte inferior se encuentra una tina trapezoidal de lámina galvanizada cuyas medidas son: 0.4 m de ancho, 1.5 m de longitud en la parte alta y 1.2 m en la parte baja; con capacidad de 200 litros de agua (destilada) que fue empleada para la simulación del efecto de la humedad de lluvia o rocío en la madera usada en exteriores (expansión, lixiviación de extractivos y materiales producidos por degradación fotoquímica). En la parte media se encuentra una rueda cuyo diámetro es de 1.5 m, con velocidad de giro de 1.5 h en cada vuelta, la cual es accionada por un motor industrial marca General Electric de dos fases, de 186.4 W ($\frac{1}{4}$ de caballo de fuerza). Para reducir la velocidad de giro se le adaptó un motor reductor de 186.4 W ($\frac{1}{4}$ de caballo de fuerza), de 115 V, a una frecuencia de 50 s^{-1} – 60 s^{-1} (50 a 60 ciclos por segundo) y 4.8 A; también se le adaptó un ventilador para evitar el sobrecalentamiento del motor (se accionó cada 3 h de 10 min a 15 min).

En la parte superior del equipo se localizan seis focos que emiten luz ultravioleta de 300 W, marca OSRAM, tipo ultra-vitalux, casquillo E 27, accionados con 220 V. Cada foco se compone de un quemador de cuarzo y de un filamento incandescente de wolframio; ambos están regulados de tal forma que junto con una ampolla especial con

TABLA 1. Características físicas de los acabados utilizados.

Características	Barniz Hydroform®	Barniz intemperie N° 11000®
Tipo de resina	Emulsión de poliuretano alifático base agua estable	Poliuretano alifático
Presentación del producto	1 componente	2 componentes (Reactor: Catalizador 250) (Relación de la mezcla: 3 partes de resinas × 1 de catalizador 250 en volumen)
Solvente	Agua desmineralizada	Thinner 250 o thinner 17000
Aspecto en el envase	Lechoso	Transparente
Acabado	Brillante 100%	Brillante, semimate y mate
Tiempo de secado al tacto	20 min	1 hora
Tiempo de gelado	2 horas	2 horas a 4 horas
Fraguado total	3 días	5 días
Contenido de sólidos	30% ± 1%	69% ± 1%
Viscosidad	0.060 W – 0.100 W (60 centipoises - 100 centipoises)	0.100 W – 0.300 W (100 centipoises – 300 centipoises)
Densidad	1.04 g/cm ³ - 1.06 g/cm ³	0.98 g/cm ³ - 1.0 g/cm ³
Ph	7 ± 0.5	7 ± 0.5
Dureza	40.8 en el <i>Sward Rocker Hardness</i> , usando una placa de vidrio estándar de 100	68 en el <i>Sward Rocker Hardness</i> , usando una placa de vidrio estándar de 100
Brillo	Su reflexión a la luz es de 88 comparada a 94 de placa patrón de vidrio	Su reflexión a la luz es de 100 comparada a 94 de placa patrón de vidrio
Rendimiento teórico	12 m ² /l a 0.0254 mm (1 milésima de pulgada), espesor de película seca en superficie sellada	30 m ² /l a 0.0254 mm (1 milésima de pulgada), espesor de película seca en superficie sellada

reflector interior, proporcionan una radiación muy parecida en sus efectos a la luz del sol. Los focos se encuentran a una distancia de 45 cm entre ellos; se ubican en posición perpendicular con respecto a las probetas y a una distancia de 32 cm. Todo el equipo, con excepción del ventilador, es accionado mediante un interruptor manual.

Para el ensayo se colocaron 44 probetas en la rueda (Fig. 1), 22 por especie; se intercalaron de la siguiente manera: una probeta de cedro rojo y una de primavera acabadas con el barniz base agua; después, una probeta de cedro rojo y una de primavera acabadas con el barniz base

solvente, y así sucesivamente. Se fijaron a la rueda con perfiles de aluminio (baguetas) y tornillos de acero inoxidable. Un ciclo completo del proceso de intemperismo acelerado dura 90 min; comienza por inmersión de las probetas en la tina con agua destilada a temperatura ambiente por 12 min, seguido de 27 min a las condiciones ambientales del laboratorio donde se encuentra la rueda, 24 min de exposición a la luz ultravioleta emitida por los seis focos puestos en la parte superior del equipo, y 27 min a las condiciones ambientales del lugar donde se encuentra la rueda.

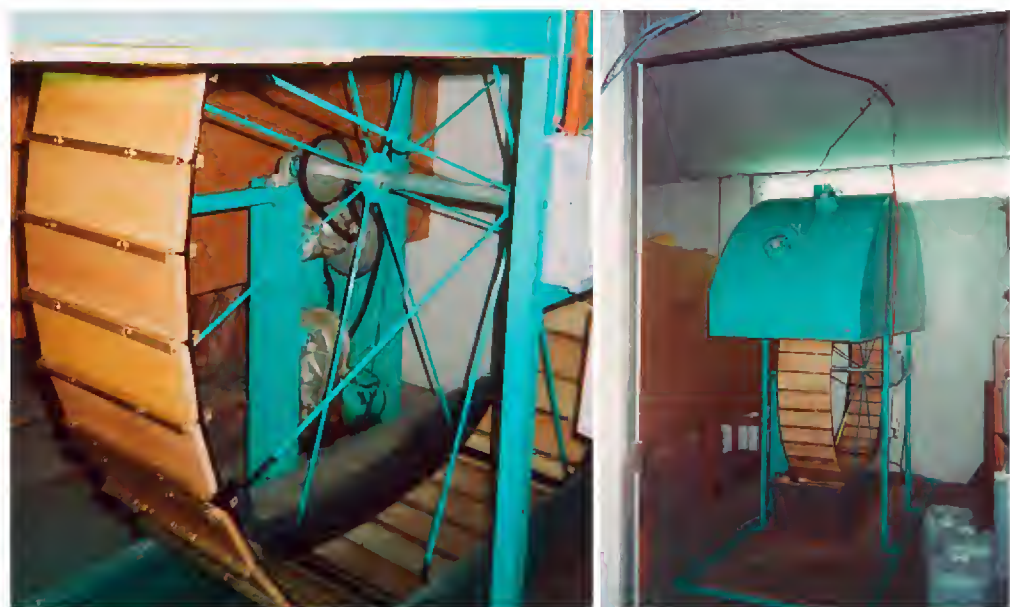


FIGURA 1. Probetas colocadas en el equipo de intemperismo acelerado. Rueda de degradación utilizada por el Centro Técnico de la Madera y del Mueble de Francia (adaptada de Podgorski *et al.*, 1996). Readaptada para esta investigación.

Las evaluaciones se realizaron cada 100 h hasta que la falla por degradación alcanzó 10% (en promedio) con respecto al total de la superficie de la probeta, ya que el fabricante de los barnices recomienda dar un mantenimiento o reacabado cuando se presente 10% de degradación del acabado. El parámetro final del ensayo fue a las 2500 h. La evaluación de cada probeta consistió en medir el porcentaje de la superficie del barniz degradado. La degradación de la superficie de las probetas a cada 100 h fue marcada en acetatos que luego se escanearon, obteniendo dos imágenes por cada probeta. El programa Adobe Photoshop LE se empleó para delimitar las partes degradadas y con Image Tool se cuantificó la superficie degradada de las imágenes procesadas de manera previa. Por último, los resultados se ingresaron a una hoja de cálculo del programa Excel para obtener la proporción de la superficie dañada de cada probeta y el porcentaje promedio de degradación. Los datos se ajustaron a un modelo no lineal, específicamente al modelo definido por la función de distribución acumulativa del modelo Weibull con dos parámetros (α y β). Considerando que es un modelo no lineal, el sistema de ecuaciones que se genera al aplicar el método de máxima verosimilitud para determinar los estimadores de los parámetros (α y β) no tiene una solución cerrada; por lo que fue necesario recurrir a métodos

iterativos para resolver dicho sistema. Por lo tanto, la estimación de los parámetros se realizó con el software Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 1999), utilizando el PROC NLIN y el método de Marquardt. La razón de usar el modelo de Weibull es porque provee una excelente aproximación a la ley de probabilidades de muchas variables aleatorias y su principal área de aplicación ha sido en el análisis de los tiempos de falla de componentes y sistemas (Hines y Montgomery, 1997). La función de distribución acumulativa del modelo Weibull está definida por:

$$F_T(t) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

donde:

- $F_T(t)$: Proporción de falla en el tiempo de exposición t
- t : Tiempo de exposición en horas
- α : Parámetro de escala
- β : Parámetro de forma

Estimando los parámetros de escala y forma, esta función de densidad se aproxima al fenómeno observado en este trabajo. Con el modelo ajustado, se estimó el tiempo en horas en las cuales alcanzaría 10% de degradación del acabado. Para los barnices que no lo alcanzaron en el tiempo establecido de la prueba, se estimó el tiempo despejándolo de la expresión (1); es decir, el tiempo está dado por:

$$t = \alpha \left\{ \ln \left(\frac{1}{1 - F_X(t)} \right) \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (2)$$

Debido a que el fabricante sugiere dar mantenimiento cuando se observa una degradación de la superficie de 10%; esto representa el límite de falla para el tiempo de exposición t , quedando la ecuación (2) de la siguiente manera:

$$t = \alpha [\ln(1.11)]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3)$$

La vida útil de los productos de acabado se estimó en horas con su correspondiente equivalencia en años de acuerdo con lo sugerido por Podgorski *et al.* (1996), quie-

nes indican que una hora de exposición bajo condiciones de intemperismo artificial en la rueda de degradación equivale a 10 h bajo ambiente de intemperismo natural.

Así como el equipo fue importante para este trabajo, también lo es el soporte usado para la aplicación de los barnices, que fueron maderas de especies tropicales de plantaciones. De estas se determinaron las características tecnológicas que tenían influencia en el comportamiento de los barnices al envejecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer término, en la tabla 2 se muestran las características tecnológicas de las maderas utilizadas como sustrato; la proporción de elementos es un parámetro que tiene influencia en el comportamiento de los barnices, pero para este caso las dos especies tuvieron la misma clasificación según Kollman (1959).

Sin embargo, todas las probetas cambiaron de color a las 100 h de iniciado el ensayo; esto se observó en las caras más amplias de las probetas como resultado de la fotoxidación en la madera por efecto de la luz UV, lo que concuerda con Williams y Feist (1993). Ellos indican que la superficie de la madera cambia de color al poco tiempo de exposición al intemperismo para después permanecer casi sin alteraciones. En las probetas acabadas con el barniz Hydroform®, este cambio de color fue más marcado que en las probetas de Barniz 11000®.

Tal como se observa en la figura 2, se aprecia la degradación en porcentaje del barniz Hydroform®, de la madera de Cedro rojo, después de 1200 h, la probeta 8 presenta la proporción más baja (4.15%) y la probeta 6 la

más alta (34.48%). Así mismo, en la figura 3 se observa la degradación del barniz Hydroform®; en la madera de primavera después de 2000 h de exposición, donde la probeta 1 presenta la proporción más baja (0.41%) y la probeta 10, la más alta (39.75%).

Por consiguiente, la causa de esta heterogeneidad está relacionada con la variabilidad que presenta la madera; en contraste, las probetas acabadas con barniz 11000® no se muestran porque la degradación fue leve debido a la mayor cantidad de sólidos presentes en este tipo de barniz, implicando así mayor protección contra la luz ultravioleta.

Por otra parte, en la tabla 3 se presentan los estimadores de los parámetros de forma y escala, para cada especie y tipo de barniz; estos resultados se obtuvieron con el PROC NLIN de SAS, el método de Marquardt y los valores observados considerando un modelo no lineal acumulativo Weibull.

Con los estimadores de los parámetros de escala y forma se obtuvieron los valores ajustados o predichos del porcentaje de degradación, los cuales se muestran en las figuras 4 y 5, en ellas se muestra el comportamiento de la degradación por especie y por barniz; además, se puede observar la capacidad del modelo para predecir el tiempo de falla para aquellos casos donde el tiempo de prueba no fue suficiente para observarla.

La figura 4 muestra el tiempo necesario para alcanzar 10% de degradación, en el caso del barniz Hydroform® el comportamiento de la degradación muestra la misma tendencia, en las primeras 200 h es muy lenta; posteriormente aumenta de manera notable en ambas especies.

TABLA 2. Características tecnológicas de las maderas utilizadas como sustrato.

Especie	Tipo de porosidad	Db.g/cm ³	Característica						
			Proporción de elementos %				Contracciones %		
			Radio	Poros	Pa.	fibras	β Tt	β Rt	β Lt
<i>C. odorata</i>	Circular	0.26	4.72	68.85	6.33	20.09	5.26	3.42	0.47
<i>R. donnell-smithii</i>	Difusa	0.35	5.27	62.89	4.60	27.24	4.28	2.85	0.33

Db.= densidad básica, Pa.= parénquima, β Tt = tangencial total, β Rt = radial total, β Lt = longitudinal total

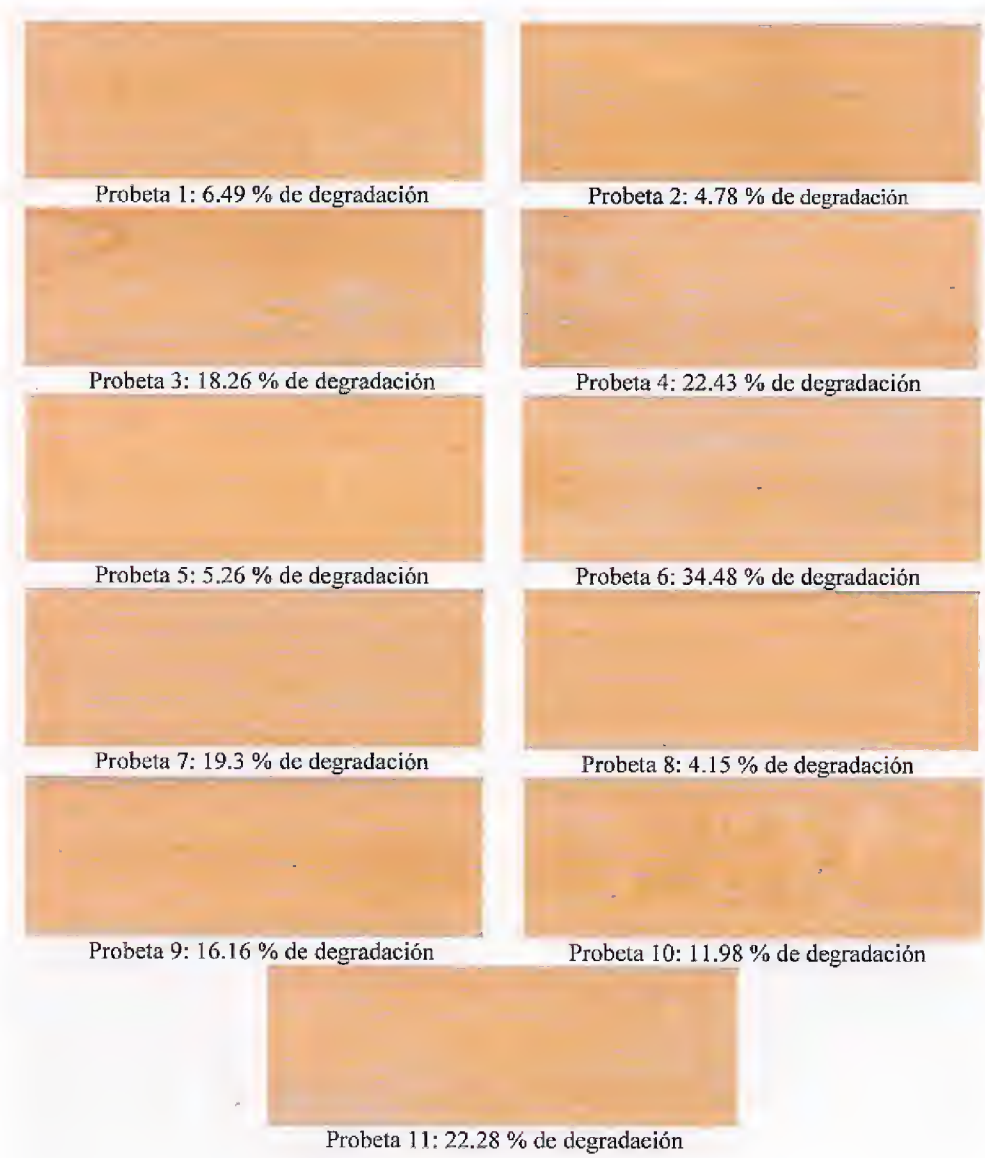


FIGURA 2. Degradación del barniz Hydroform® a las 1200 h en las probetas de *Cedrela odorata* L (cedro rojo).

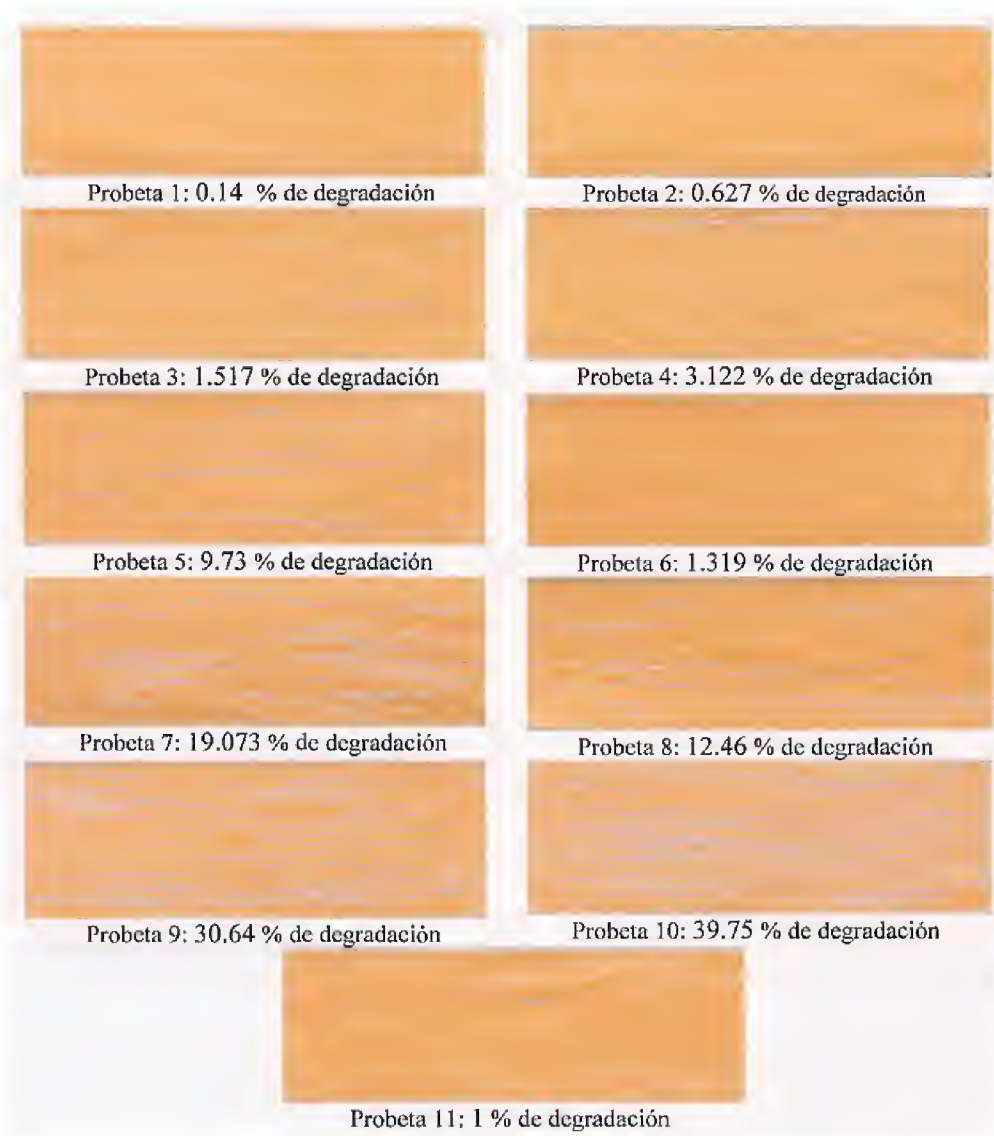


FIGURA 3. Degradación del barniz Hydroform® a las 2000 horas en las probetas de *Roseodendrum donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera).

TABLA 3. Estimadores de escala y forma para los barnices Hydroform® y 11000® en madera de *Cedrela. odorata* L. y *Roseodendrum donnell-smithii* (Rose) Miranda.

Barniz	C. odorata L. (cedro rojo)		R. donnell-smithii (Rose) Miranda (primavera)	
	Escala (α)	Forma (β)	Escala (α)	Forma (β)
Hydroform®	3051.4	1.8404	4589.5	2.5705
11000®	3652.1	18.8757	11559.9	6.1029

Para el caso del cedro rojo se presentó hacia las 900 h de exposición; en primavera a las 1900 h. El barniz se degradó más rápido en las probetas de cedro rojo que en las de primavera. Este resultado es contradictorio a lo señalado por Knaebe (1995); el autor menciona que maderas con densidad básica alta se degradan con mayor rapidez. En este estudio la madera con mayor densidad básica fue la de primavera (0.35 g/cm³), la madera de cedro rojo presentó una densidad básica de 0.26 g/cm³; esto puede deberse a

que el soporte no es un material homogéneo sino más bien heterogéneo, ya que las probetas presentaban nudos muy pequeños; el barniz no penetró adecuadamente de igual forma que en el resto de la madera, lo cual pudo permitir la entrada de agua en la probeta y la formación de esfuerzos que rompen la película del acabado por las tensiones de hinchamiento (al pasar por el agua en la tina) y contracción (al pasar por los focos de luz UV); tal situación coincide con lo mencionado por Cassens y Feist (1991) y Williams *et al.*

(1996), quienes mencionan que la humedad en combinación con la luz solar ocasiona grietas y rajaduras.

El comportamiento de la falla del acabado es distinto a lo comentado por Flores-Velázquez *et al.* (2001) y Tamarit-Uriás *et al.* (2002). Esto puede deberse a la influencia del soporte madera y al número de capas aplicadas a las probetas. En el caso de Flores-Velázquez *et al.* (2001), el número de capas aplicadas es el mismo que en el presente estudio; lo que difiere es el tiempo de degradación del acabado, ya que a las 250 h la degradación del barniz fue de 14.36% para el encino que presenta una densidad básica de 0.62 g/cm³, la cual es mayor a la densidad básica de la madera de cedro y primavera.

Se puede observar que la degradación del Barniz 11000® en el cedro rojo es lenta hasta 2000 h; en cambio para primavera es lenta hasta las 4500 h, y después aumenta de forma paulatina en ambas especies. La degradación se presentó en las probetas de cedro rojo antes que en las de primavera, a las 2500 h; (Fig. 5) la proporción de degradación fue mínima en las probetas de ambas especies (cedro rojo de 0.0789% y primavera 0.0085%). Esto difiere de forma notable con la proporción de degradación en el barniz base agua (Hydroform®). El tiempo de degradación del Barniz 11000® es superior al que informan Flores-Velázquez *et al.* (2001), quienes encontraron que la

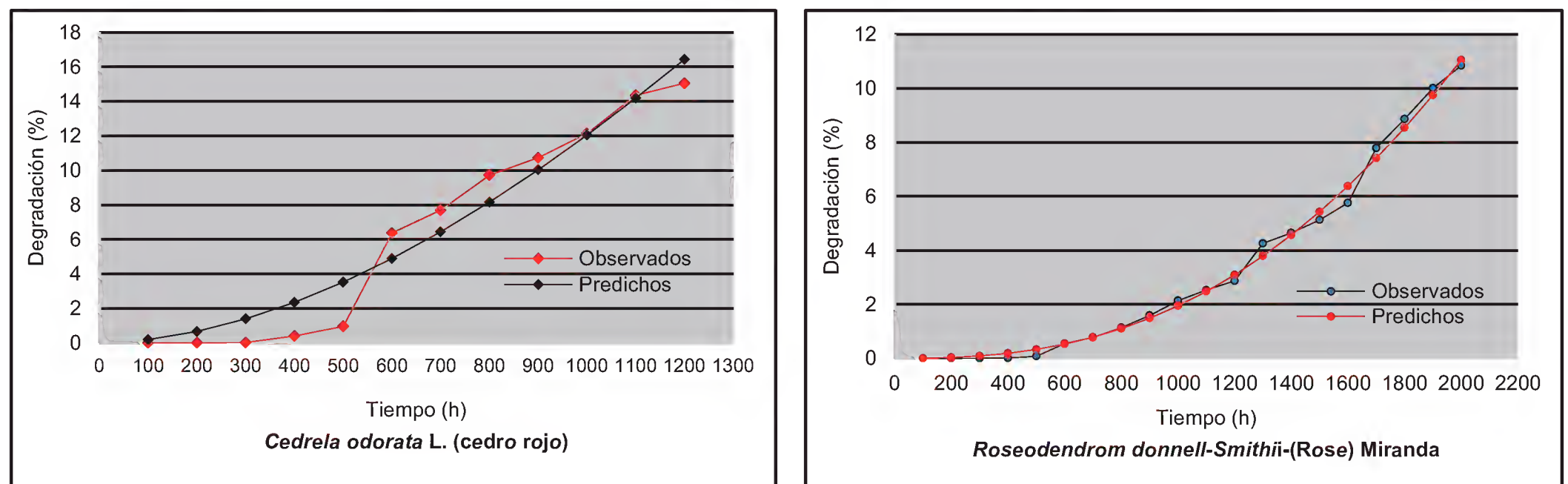


FIGURA 4. Comportamiento de la degradación del barniz Hydroform® en ambas especies.

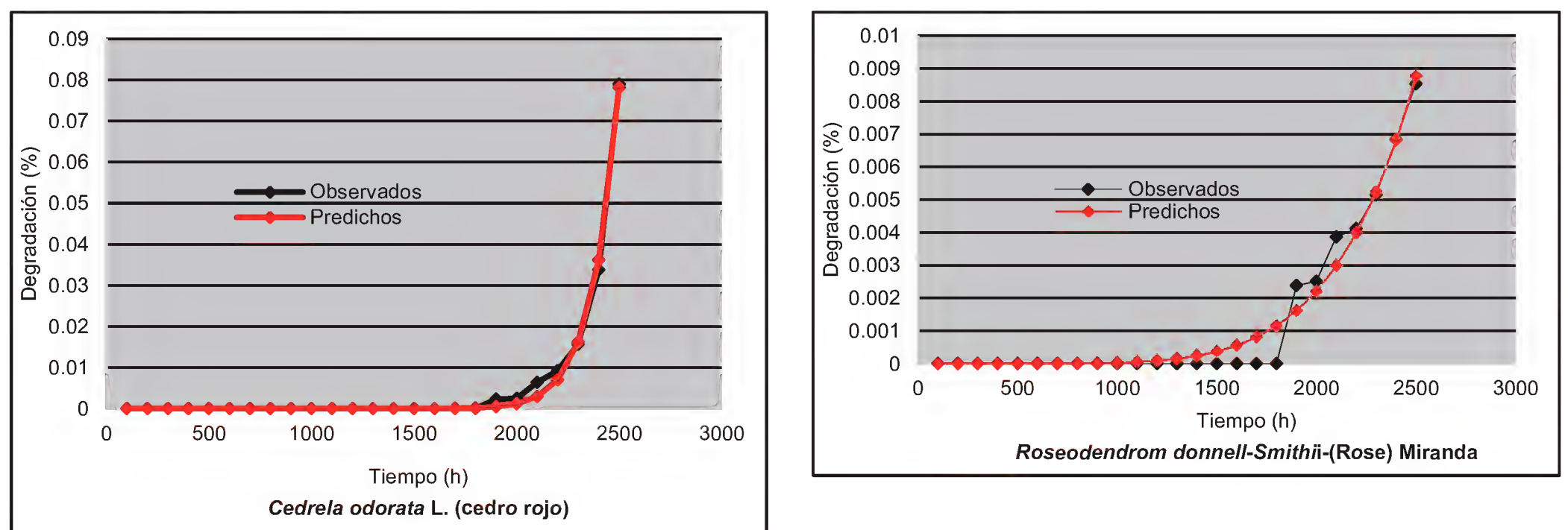


FIGURA 5. Comportamiento de la degradación del Barniz 11000® en ambas especies

madera de encino presentó 0.45% de degradación a las 250 h; y al señalado por Tamarit-Urías *et al.* (2002) quien, hacia las 600 h, detectó 0.57% de degradación en las probetas de madera de aile y 0.86% en las de encino.

De acuerdo con lo indicado por Podgorski *et al.* (1996), el intemperismo artificial simulado en la rueda de degradación permite una aceleración de 10 veces al observado en el intemperismo natural. En la tabla 4 se presenta el tiempo de vida útil estimado para el acabado con los barnices Hydroform® y 11000® aplicados en madera de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda.

Tabla 4. Tiempo de vida útil del acabado con los barnices Hydroform® y 11000® en madera de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda.

Barniz	<i>C. odorata</i> L. (cedro rojo)		<i>R. donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)	
	Horas	Años	Horas	Años
Hydroform®	893.27	1.02	1908.67	2.18
11000®	3240.83	3.70	7879.72	8.99

Los tiempos de vida útil para los barnices usados en el presente estudio son altos y diferentes a los estudiados por Flores-Velázquez *et al.* (2001), quienes señalan para el Barniz® un tiempo de 76.21 días en la madera de encino, y para el Barniz 11000®, 381.15 días. Tamarit-Urías *et al.* (2002) comentan en el caso del Barniz 11000® que el tiempo estimado fue de cinco años para madera de aile y de encino.

CONCLUSIONES

La resistencia a la degradación del barniz Hydroform® fue más baja que el Barniz 11000® en las probetas utilizadas como soporte. El tiempo estimado para la vida útil de los acabados usados en este trabajo es Hydroform®: *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) = 1.02 años; *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) = 2.18 años; y

para 11000®, *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) = 3.70 años; *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda(primavera) = 8.99 años.

Aunque los tiempos para dar un reacabado a las superficies son mayores a lo que sugiere el fabricante; es importante una revisión cuando menos una vez por año para observar el avance de la degradación, considerando como parámetro la vida útil estimada en la presente investigación.

REFERENCIAS

Alegri, F. E. (1994). *Seminario sobre acabado y tapizado del mueble*. AIDIMA. Instituto Tecnológico del Mueble y Afines. Valencia, España.

Arnold, M., Sell, J. y Feist, W. C. (1991). Wood weathering in fluorescent ultraviolet and xenon arc chambers. *Forest Products Journal*, 41 (2), 40-44.

Cassens, D. L. y Feist, W. C. (1991). *Exterior wood in the south. Selection, applications, and finishes*. GTR-69. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.

Clausen, C. A., Green III, F. y Kartal, S. N. (2010). Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nanozin oxide. *Nanoscale Res Lett*, 5, 1464-1467.

Custódio, J., Broughton, J. y Cruz, H. (2012). Rehabilitation of timber structures: novel test method to assess the durability of bonded-in rod connections. *Materials and Structures*, 45, 199-221.

Feist, W. C., Rowell, R. M. y Ellis, W. D. (1991). Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and metacrylated aspen. *Wood and Fiber Science*, 23 (1), 128-136.

Flores-Velázquez, R., Borja-de la Rosa, A., Zamudio-Sánchez, F. J., Fuentes-Salinas, M. y González-Estrada, E. (2001). Determinación a través de pruebas aceleradas, de la vida útil del acabado para exteriores en madera de encino y pino. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7 (1), 99-105.

Forest Products Laboratory. (1999). *Wood handwood-Wood as an engineering material*. Gen. Tech. FPL-GTR-113. Madison, WI. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

- Forsthuber, B., Schaller, C. y Gröll, G. (2013). Evaluation of the photo stabilising efficiency of clear coatings comprising organic UV absorbers and mineral UV screeners on wood surfaces. *Wood Science and Technology*, 47, 281-297.
- Goktas, O., Duru, M. E., Yeniocak, M. y Ozen, E. (2008). Determination of the color stability of an environmentally friendly wood stain derived from laurel (*Laurus nobilis* L.) leaf extracts under UV exposure. *Forest Products Journal*, 58 (1-2), 77-80.
- Hines, W. W. y Montgomery, D. C. (1997). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración* (3ª ed.). México: CECSA.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (1985). *Carta Edafológica*. Escala 1:50000. México, D. F.
- Knaebe, M. (1995). *The finish line*. Forest Service. United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory.
- Kollman, F. (1959). *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Tomo Iº Madrid, España: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera.
- Miklečić, J. y Jirouš-Rajković, V. (2011). Accelerated weathering of coated and uncoated beech wood modified with citric acid. *Drvna Industrija*, 62 (4), 277-282.
- Podgorski, L., Merlin, A. y Deglise, X. (1996). Analysis of the natural and artificial weathering of a wood coating by measurement of the glass transition temperature. *Holzforschung*, 50 (3), 282-287.
- SAS, Institute Inc. (1999). *SAS Online Doc.* (Version 8). Cary, N.C.: SAS Institute, Inc.
- Tamarit-Urías, J. C., Borja-de la Rosa, A., Flores-Velázquez, R. y Corona-Ambríz, A. (2002). Vida útil de dos barnices para exteriores mediante intemperismo artificial en madera de aile, pino y encino. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8 (1), 83-90.
- Williams, R. S. (2010). *Wood Handbook- Wood as an engineering material* (Gen. Tech. FPL-GTR-190). Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Williams, R. S. y Feist, W. C. (1993). Durability of paint or solid-color stain applied to preweathered wood. *Forest Products Journal*, 43 (1), 8-14.
- Williams, R. S. y Feist, W. C. (2007). Service life of finishes on smooth-planed and saw-textured western red cedar bevel siding. *Journal of Coatings Technology*, 4 (8), 58-70.
- Williams, R. S., Knaebe, M. T. y Feist, W. C. (1996). *Finishes for exterior wood. Selection, applications, and maintenance*. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
- Williams, R. S., Knaebe, M. T., Sotos, P. G., y Feist, W. C. (2001). Erosion rates of wood during natural weathering. Part I. Effects of grain angle and surface texture. *Wood and Fiber Science*, 33 (1), 31-42.

Manuscrito recibido el 6 de enero de 2014.

Aceptado el 4 de octubre de 2016.

Este documento se debe citar como:

Rivera-Nava, J. L., Borja de la Rosa, A., Corona-Ambriz, A., Flores V., R. y Machuca V., R. (2016). Evaluación de dos barnices mediante intemperismo acelerado, aplicados en madera de plantaciones. *Madera y Bosques*, 22 (3), 103-112.



Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México

Anatomical characteristics of the wood of six *Pinus* (Pinaceae) species of the state of Durango, México

Carmen de la Paz-Pérez Olvera¹* y Raymundo Dávalos-Sotelo²

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Biología. Anatomía y Tecnología de la Madera. Ciudad de México, México.

² Instituto de Ecología, A. C. Red de Ambiente y Sustentabilidad. Xalapa, Veracruz, México.

raymundo.davalos@inecol.mx

*Autor de correspondencia. cppo@xanum.uam.mx

RESUMEN

Se presentan las características anatómicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelman, *P. cooperi* C. E. Blanco, *P. durangensis* Martínez, *P. herrerae* Martínez, *P. leiophylla* Schlecht. & Cham. y *P. teocote* Schlecht. & Cham. El material de estudio para cada especie se obtuvo de dos a cuatro árboles por especie recolectados en bosques de pino-encino en los municipios de Santiago Papasquiaro, San Dimas y Durango, del estado de Durango, México. Para las características microscópicas se hicieron cortes de 20 µm de grosor que se tiñeron con safranina-verde rápido o con fucsina básica-azul de astra y material disociado teñido con pardo de Bismark. Para las características macroscópicas se elaboraron tablillas de 7 cm x 5 cm x 1 cm. La proporción de madera temprana es tres veces mayor que la madera tardía en todos los ejemplares. Los valores del grosor de la pared y el diámetro del lumen entre madera temprana y tardía son diferentes. Los radios y los canales resiníferos axiales y radiales presentaron diferencias en su tamaño y su abundancia; *P. herrerae* presenta los anillos más anchos *P. leiophylla* y *P. teocote* los más angostos. Las características macroscópicas de las seis especies son similares entre individuos de la misma especie independientemente del sitio de recolección, en términos generales. El color y el veteado están influenciados por la proporción de madera temprana y tardía presente en cada anillo y la anchura de los mismos. *P. arizonica* y *P. cooperi* presentaron diferencia de color entre albura y duramen. Las especies estudiadas tienen características que las hacen muy útiles y representan un valioso recurso para la entidad.

PALABRAS CLAVE: características anatómicas, *Pinus arizonica*, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. herrerae*, *P. leiophylla*, *P. teocote*.

ABSTRACT

The anatomical characteristics of the wood of *Pinus arizonica* Engelman, *P. cooperi* C. E. Blanco, *P. durangensis* Martínez, *P. herrerae* Martínez, *P. leiophylla* Schlecht. & Cham. and *P. teocote* Schlecht. & Cham are presented. The study material was obtained from two to four trees per species collected in pine-oak forests in the municipalities of Santiago Papasquiaro, San Dimas and Durango, in the state of Durango, Mexico. To observe the microscopic characteristics, slices of 20 µm in thickness were cut and stained with rapid green-safranin or with astra blue-basic fuchsine and dissociated material stained with Bismarck brown. For the macroscopic characteristics, specimens of 7 cm x 5 cm x 1 cm were produced. The proportion of early-wood is three times greater than that of late-wood in all of the specimens; the values of wall thickness and lumen diameter differed between early and late wood. Radii and axial resin canals presented differences in size and abundance. *Pinus herrerae* presents the widest rings and *P. leiophylla* and *P. teocote* the narrowest. The macroscopic characteristics of the six species studied are generally similar among individuals of the same species, regardless of collection site. Wood color and grain are influenced by the proportions of early and late woods present in each ring and the width of those characteristics. *Pinus arizonica* and *P. cooperi* presented differences in color between the sapwood and heartwood. The results are presented in tables and illustrated with photographs.

KEYWORDS: anatomical characteristics, *Pinus arizonica*, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. herrerae*, *P. leiophylla*, *P. teocote*.

INTRODUCCIÓN

Por su variedad, abundancia y distribución, el género *Pinus* es uno de los más importantes componentes de la vegetación de clima templado en México, ocupa un lugar primordial desde el punto de vista ecológico, forestal e industrial, tanto en la producción maderable como en la no maderable. Tal importancia radica en su rapidez de crecimiento, características anatómicas, facilidad de maquinado, su química y costos de su madera (Vidal, 1962; Rzedowski, 1978; De la Paz-Pérez y Carmona, 1979; Robles, 1980; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2014). Su madera ha tenido un papel importante en las necesidades del hombre, le ha proporcionado casa, utensilios, productos domésticos y de trabajo, muebles, decoración, leña, etc. Esta importancia ha ido creciendo al parejo de la tecnología. En la actualidad tiene mayor diversidad de usos: como pulpa para papel, madera aserrada, chapa, triplay, para la construcción, además de la extracción de resinas, brea, aguarrás, alcohol, repercutiendo de manera importante en la economía de varias regiones del país (Martínez, 1948; Ziegler, 1964; Ruiz, 1968; Eguiluz, 1978; Romero, De la Paz-Pérez y Corral, 1978; Inegi, 2014).

Existen varios trabajos sobre este género en diversos aspectos. En relación con la anatomía de la madera se conoce el trabajo pionero de 17 especies que estudió Mancera (1956), donde incluyó a *P. arizonica* recolectada en Arteaga, Coahuila, *P. durangensis* de Pueblo Nuevo, Durango, *P. leiophylla* de Temascaltepec, México y *P. teocote* de Tejupilco, México. Posteriormente, Huerta (1963) realizó el estudio de 12 especies de coníferas e incluyó ocho *Pinus*, entre ellos a *P. leiophylla* recolectada en Tlalmanalco, México. De la Paz-Pérez y Olvera (1981) estudiaron 16 especies de coníferas incluyendo 14 pinos entre ellos a *P. arizonica*, recolectado en Tepehuanes, Durango, *P. cooperi* y *P. durangensis* de Pueblo Nuevo, Durango. Olvera (1981) publicó siete especies donde incluye a *P. herrerae* recolectado en Tecalitlán, Jalisco y la misma autora en 1985 (Olvera, 1985), describió otras siete especies de pinos, incluyendo a *P. teocote* de Zaragoza, Puebla, algunos datos se resumen en la tabla 1.

El estado de Durango cuenta con una superficie forestal de 4.98 millones de hectáreas, con una existencia de madera de 422 millones de metros cúbicos de bosques de coníferas y latifoliadas, de bosque de pino y de pino-encino. En 2013 su producción maderable fue de 1 929 740 m³ en rollo, en donde el pino ocupó 1 733 997 m³ con una participación porcentual de 90% (Inegi, 2014). Las especies comerciales más importantes de *Pinus* son *P. ayacahuite*, *P. arizonica*, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmanni*, *P. teocote* (García y González, 2003). Los árboles recolectados se seleccionaron en los sitios donde actualmente existe aprovechamiento, debido a que son los que más interesan a los productores, al ser los más abundantes en la región. En los municipios donde se recolectaron los árboles no se habían hecho estudios con estas especies.

El conocimiento de las propiedades de cada especie ayuda a definir mejores alternativas de usos, es necesario conocer las características y propiedades de la madera de las distintas especies recolectadas en diferentes sitios, para entender y predecir su comportamiento (Desch, 1973; Dinwoodie, 1985; De la Paz-Pérez y Quintanar, 1997; Richardson, 1998). Para tener un mejor conocimiento de las características de la madera es importante estudiar muestras de diferentes sitios para tomar en cuenta la variabilidad geográfica de los elementos constitutivos, además, para conocer cómo influye el medio en las características anatómicas.

OBJETIVO

Describir las características anatómicas de la madera de seis especies de *Pinus* recolectadas en los municipios de Santiago Papasquiaro, San Dimas y Durango del estado de Durango, México: *P. arizonica*, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. herrerae*, *P. leiophylla* y *P. teocote*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de estudio para cada especie se obtuvo de 2 a 4 árboles recolectados en bosques de pino-encino o de pino, en los tres municipios del estado de Durango a una altitud de 2604 m a 2733 m snm (Fig. 1). El diseño estadístico se basó en la información necesaria para estudios

Tabla 1. Datos anatómicos de *Pinus* de las mismas especies estudiadas por otros autores.

Autor	Especie/localidad	Canales axiales		Diámetro traqueidas µm	Tipo y número de puntuaciones en campos de cruce	Radios		Traqueidas de radio
		n/mm²	diámetro µm			altura µm	no de células	
Mancera (1956)	<i>P. arizonica</i> Arteaga, Coah.	4	143	36	pinoides 2 a 4	194	1-22 X=8	1-3
	<i>P. durangensis</i> Pueblo Nuevo, Dgo.	3	137	35	pinoides 2-4	192	1-18 X=6	2-4
	<i>P. leiophylla</i> Temaxcaltepec, Méx.	6	138	38	pinoides 2-3	219	1-18 X=7	2-6
	<i>P. teocote</i> Tejupilco, Méx.	4	125	32	pinoides 2-4	207	1-27 X=7	2-4
	<i>P. leiophylla</i> Tlalmanalco, Méx.	1	147	59 MT 37 mt	pinoides 1-4	250	1-25	2-3
	<i>P. arizonica</i> Tepehuanes, Dgo.	2	150	31 MT 19 mt	pinoides 2-3	177	3-26	2-5
De la Paz- Pérez y Olvera (1981)	<i>P. cooperi</i> Pueblo Nuevo, Dgo.	1	125	32 MT 20 mt	pinoides 1-3	182	3-18	2-6
	<i>P. durangensis</i> Pueblo Nuevo, Dgo.	1	140	27 MT 16 mt	pinoides 2-5	165	2-15	3-8
	<i>P. herrerae</i> Tecalitlán, Jal.	1	120	40 MT 23 mt	pinoides 1-5	239	2-24	2-6
Olvera (1981)	<i>P. teocote</i> Zaragoza, Pue.	1	160	41 MT 23 mt	pinoides 1-3	241	3-18	2-5

MT= madera temprana mt= madera tardía

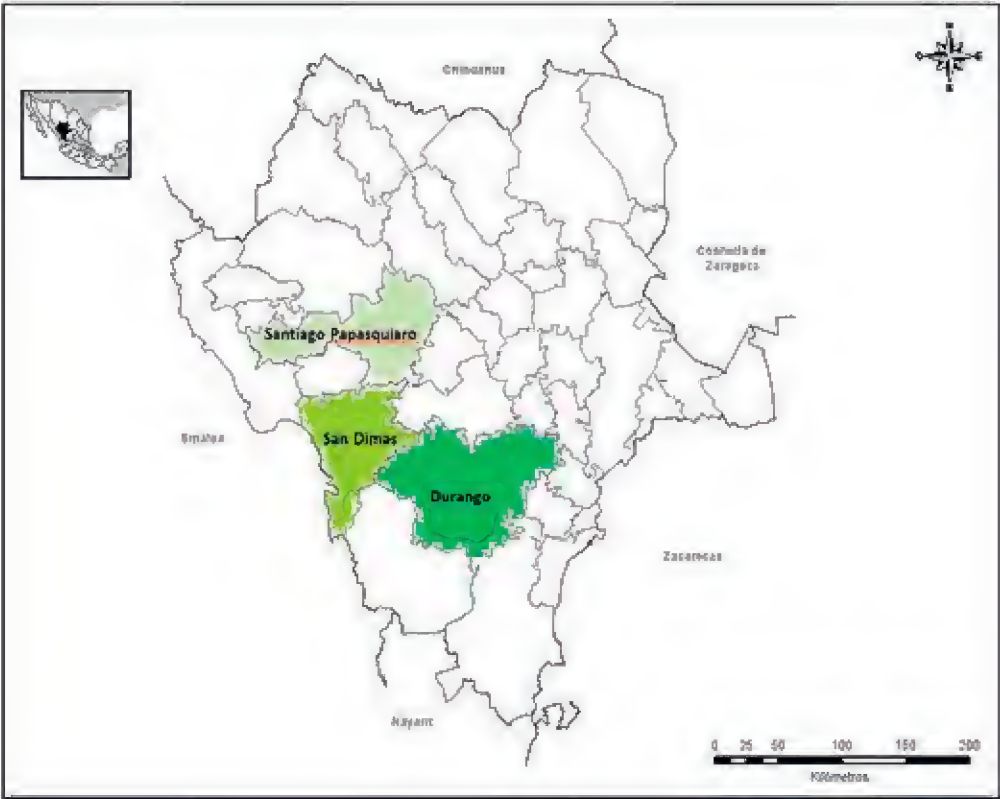


FIGURA 1. Municipios de recolección, Estado de Durango.

de tipo tecnológico en un estudio paralelo, el cual requiere un mínimo de tres árboles en promedio por especie para tener la suficiente confianza estadística. Los datos climáticos de los sitios de muestreo se encuentran en De la Paz-Pérez, Dávalos-Sotelo, Limón-Godina y Quintanar-Isaías, 2015. Las regiones se localizan en el sistema orográfico de la provincia de la Sierra Madre Occidental (Tabla 2). Para el estudio microscópico, de cada árbol se cortaron dos rodajas de 1 cm de grosor a la altura de 1.30 m de la base del árbol. De cada rodaja se obtuvieron cuatro cubos de albura y cuatro de duramen de 1 cm x 1 cm. Los cubos se ablandaron a ebullición en agua destilada por dos horas. De ellos se obtuvieron cinco cortes por cubo de 20 µm a 25 µm de grosor, de los planos transversal, tangencial y

TABLA 2. Datos de recolección y registros de las especies estudiadas.

Árbol	Especie	Municipio	Xiloteca	Herbario	Altitud
24	<i>Pinus arizonica</i>	Santiago	M-244	XAL008	2605
3		San Dimas	M-224	XAL009	2718
5		San Dimas	M-225	XAL010	2716
13	<i>P. cooperi</i>	Durango	M-233	79509	2727
14		Durango	M-234	79510	2733
17	<i>P. durangensis</i>	Santiago	M-237	79506	2608
21		Santiago	M-241	79505	2606
6		San Dimas	M-226	79507	2714
7		Durango	M-227	79508	2730
15	<i>P. herrerae</i>	Santiago	M-235	79504	2604
18		Santiago	M-238	79503	2608
16	<i>P. leiophylla</i>	Santiago	M-236	79502	2604
23		Santiago	M-243	79501	2604
8	<i>P. teocote</i>	Durango	M-228	79500	2723
9		Durango	M-229	79499	2720

radial en los que se hicieron 100 mediciones o conteos de cada carácter. Este muestreo es el que se hace en que genera un error de muestreo menor a 5%, según se ha determinado en estudios de este tipo a escala internacional para especímenes recolectados en bosques naturales.

Los cortes se tiñeron con safranina-verde rápido y con fucsina básica-azul de astra de acuerdo con Johansen, (1940); Kraus, de Sousa, Rezende, Vecchi y Luque, (1998); Ruzin, (1999) y Sandoval (2005). Los cortes de safranina verde-rápido, se dejaron en safranina durante 15 minutos, se retiró el colorante y se deshidrataron con alcoholes graduales a 30%, 50%, 70%, 85%, 96% y 100%, permaneciendo 5 minutos en cada uno, posteriormente se adicionó el verde rápido durante veinte segundos, después se hicieron dos cambios de alcohol absoluto durante cinco minutos cada uno, se pusieron en aceite de clavo durante 3 minutos, finalmente se pasaron a xilol durante 1 minuto y se montaron con entellán.

Los cortes teñidos con fucsina básica-azul de astra, primero se aclararon con hipoclorito de sodio a 10%

durante una hora, se lavaron con agua destilada y se colocaron en ácido acético a 1% durante 3 minutos, se lavaron con alcohol a 50 %, se pasaron a la fucsina básica a 0.05% durante 20 segundos y después se pasaron al azul de astra a 0.5% durante cinco minutos, se lavaron con alcohol a 50% y se deshidrataron con alcoholes graduales de 50%, 70%, 96% y 100%, dos veces en cada alcohol durante cinco minutos en cada uno, se pasaron a xilol durante un minuto y se montaron con entellán.

De los mismos cubos, en el plano radial se obtuvieron por separado pequeñas astillas de madera temprana y de madera tardía, las cuales se colocaron en tubos de ensayo y se les adicionó una mezcla de 23 ml de agua destilada, 33 ml de ácido acético glacial y 44 ml de peróxido de hidrógeno se metieron a una estufa a 60 °C durante 5 días, posteriormente se lavaron con agua destilada, se tiñeron con pardo de Bismark y se montaron con gelatina glicerizada de acuerdo con Peterson, Peterson y Melville (2008).

En los cortes se midió el ancho de los anillos, se contó el número de canales axiales por milímetro cuadrado y en



1.5 cm, el diámetro tangencial de los canales axiales y radiales, el número de radios por milímetro, la altura de los radios con y sin canal, el número de células de los radios uniseriados, se contó el número de puntuaciones y el número de traqueidas de radio en los campo de cruce. En el material disociado se midió la longitud, el diámetro y el grosor de la pared de las traqueidas axiales. En los mismos cortes se observó la transición de madera temprana a tardía, el tipo de puntuaciones y traqueidas de radio en los campos de cruce y presencia o ausencia de crásulas. Los resultados se incluyen en la tabla 3 y en las figuras 2 a 8.

Para el estudio anatómico macroscópico de la misma troza, a la altura de 1.28 m, se cortaron dos rodajas de 1 cm de grosor de las que se obtuvieron tablillas transversales de 15 cm x 5 cm x 1 cm; del resto de la troza se obtuvieron tablillas tangenciales y radiales de las mismas dimensiones. En ellas se determinó el color, el olor, el sabor, el brillo, el veteado, la textura y el hilo, el número de anillos de crecimiento en 1.0 cm y la visibilidad de los canales resiníferos axiales.

A los elementos mesurables se les hizo un análisis estadístico univariado y se clasificaron con base en la media, conforme a Chattaway (1932) e International Association of Wood Anatomists [IAWA] (2004). Se efectuó un análisis de variancia (Anova) para determinar diferencias estadísticas entre especies. Las descripciones microscópicas se hicieron de acuerdo con IAWA Committee (1964), Jane (1970), Panshin y de Zeeuw (1970) y IAWA (2004). Para la descripción macroscópica, se consideró a Tortorelli (1956), para el color se usaron las cartas Munsell Color (1990). Se incluye para cada especie, la sección, la subsección, los nombres comunes, la distribución geográfica y altitudinal, las características botánicas de acuerdo con Martínez (1948); Shaw (1978) y García y González (2003) y las características anatómicas de la madera. Las tablillas se registraron en las Xilotecas UAMIZ y Faustino Miranda del Instituto de Ecología, A.C. y los ejemplares de respaldo se depositaron en el Herbario Metropolitano UAMIZ Dr. Ramón Riba y Nava (Tabla 2) y en el Herbario XAL del Instituto de Ecología, A.C.

RESULTADOS

Cada especie se ilustra con una fotografía del árbol, la muestra de herbario, un plano de la madera y los tres cortes de la madera (Fig. 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Las fotografías se tomaron en un microscopio digital multifuncional marca Velab VE S4D.

En las fichas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos en el estudio. La información obtenida del estudio microscópico se presentan en la tabla 3 y en las figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Los resultados del análisis estadístico univariado de las diversas características anatómicas se resumen en la tabla 3. Algunas características de cada especie se ilustran en la figura 8. Los cortes que se presentan en las figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7, se tomaron a 10x. Los cortes que se presentan en la figura 8, de las letras a, c, e y f, se tomaron a 40x, el corte de la letra b, se tomó a 100x, el corte de la letra d, a 5x y el corte de la letra g, a 10x. Los resultados del análisis Anova se muestran en la Tabla 5.

DISCUSIÓN

De las seis especies estudiadas en el presente trabajo, únicamente *P. herrerae* y *P. leiophylla* no se encuentran entre las más comerciales de Durango, según García y González (2003), quienes mencionan a *P. ayacahuite*, *P. arizonica*, *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmanni* y *P. teocote*, como las más importantes del estado. Las seis especies incluidas en esta investigación fueron recolectadas en tres municipios del estado (Fig. 1 y Tabla 2) en donde hay aprovechamiento en la actualidad y todas son utilizadas comercialmente. Los productores forestales de las regiones de recolecta requieren de esta clase de información, para un mejor aprovechamiento desde el punto de vista industrial e incluso para fines de promoción de las especies entre los potenciales compradores. Las seis han sido estudiadas previamente por otros autores, en diferentes regiones del país (Tabla 1). El estudio de la misma especie, en individuos recolectados en sitios diferentes, proporciona información sobre la variación que puede tener una especie según las condiciones de los sitios de muestreo, lo que ayuda al conocimiento de las características anatómicas comparativas y las que son constantes para la especie, así

TABLA 3. Características anatómicas microscópicas de las seis especies estudiadas.

			<i>P. arizonica</i>	<i>P. cooperi</i>	<i>P. durangensis</i>	<i>P. herrerae</i>	<i>P. leiophylla</i>	<i>P. teocote</i>
Canales	Axiales	Clasif.	pocos	pocos	pocos	pocos	pocos	pocos
		Mín.	1	1	1	1	1	1
		Máx.	2	4	2	2	2	3
		Medio	1	1	1	1	1	1
		C. V.	35	57	33	34	33	52
		Clasif.	mediano	mediano	mediano	mediano	mediano	mediano
		Mín.	48	67	38	76	48	86
		Máx.	133	105	143	133	105	171
		Medio	87	84	72	97	76	127
		C. V.	17	15	32	14	26	21
	Radiales	Clasif.	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño
		Mín.	29	38	19	50	19	38
		Máx.	48	57	57	60	38	57
		Medio	40	43	36	52	26	46
		C. V.	13	13	28	19	27	15
Radios	n/mm	Clasif.	pocos	pocos	pocos	pocos	pocos	pocos
		Mín.	1	2	1	1	2	1
		Máx.	5	5	6	5	5	5
		Medio	4	4	3	3	3	3
		C. V.	25	24	32	29	24	31
	Altura (µm)	Clasif.	bajos	bajos	bajos	bajos	bajos	bajos
		Mín.	96	120	80	120	120	80
		Máx.	280	320	280	296	280	280
		Medio	175	213	183	218	200	186
		C. V.	21	21	23	23	17	30
	Número de células	Mín.	4	3	3	3	3	3
		Máx.	12	12	11	12	11	12
		Medio	6	8	6	7	7	8
		C.V.	23	17	44	28	11	28
Campos de cruce	Tipo		pinoides areoladas	pinoides areoladas	pinoides areoladas	pinoides areoladas	pinoides areoladas	pinoides areoladas
		Mín.	1	2	1	1	1	1
	Número	Máx.	5	4	7	3	4	3
		Medio	3	2	2	3	2	2
		C.V.	39	27	53	22	38	33

TABLA 3. Características anatómicas microscópicas de las seis especies estudiadas. Continuación...

		<i>P. arizonica</i>	<i>P. cooperi</i>	<i>P. durangensis</i>	<i>P. herrerae</i>	<i>P. leiophylla</i>	<i>P. teocote</i>
	Clasif.	largas	largas	largas	largas	largas	largas
	Mín.	2400	3200	2960	3744	3200	2400
	Máx.	4800	5200	4480	5456	6400	5928
	Medio	3274	4135	3702	4372	4486	3859
	C.V.	17	14	15	10	22	23
Traqueidas	Madera temprana (µm)	Clasif.	mediano	mediano	mediano	mediano	mediano
		Mín.	16	16	18	20	16
		Máx.	48	48	60	74	52
		Medio	33	32	40	47	33
		C.V.	23	16	23	22	24
	Grosor de pared	Clasif.	delgado	delgado	delgado	delgado	delgado
		Mín.	2	2	2	4	2
		Máx.	8	4	12	10	8
		Medio	4	3	5	6	3
		C.V.	43	34	56	30	34
Madera tardía (µm)	Diámetro del lumen	Clasif.	fino	fino	fino	fino	fino
		Mín.	2	4	4	2	4
		Máx.	26	32	54	30	14
		Medio	12	12	21	11	8
		C.V.	45	55	46	56	32
	Grosor de pared	Clasif.	mediano	mediano	mediano	mediano	mediano
		Mín.	4	2	6	8	4
		Máx.	26	18	24	20	18
		Medio	11	7	10	13	11
		C.V.	32	66	40	22	23

como la influencia que tienen en sus propiedades tecnológicas (Panshin y de Zeeuw, 1970; De la Paz-Pérez, 1985).

En el caso de la madera de pino, el carácter que tiene más influencia en su comportamiento, es la anchura de los anillos de crecimiento y de estos, la proporción de madera temprana y tardía en cada uno de ellos, Sin embargo, la abundancia y tamaño de los canales resiníferos, principalmente los axiales, influyen en las características macroscópicas que determinan el uso estético que se le quiera dar

a la madera. (De la Paz-Pérez y Olvera, 1981). Los resultados de este estudio confirman los hallazgos de estas autoras. El conocimiento de las propiedades de cada especie ayuda a definir mejores alternativas de usos, por lo que es importante estudiarlas para predecir su comportamiento (Jane, 1970; Desch, 1973; Dinwoodie, 1985).

De acuerdo con las características anatómicas encontradas, las especies estudiadas comparten los siguientes caracteres como género: anillos de crecimiento, traqueidas axiales con

puntuaciones areoladas, canales resiníferos axiales y radiales, traqueidas de radio e hilo recto (Jane, 1970; Panshin y de Zeeuw, 1970; De la Paz-Pérez y Carmona, 1979). Sin embargo, existen diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) de estos caracteres entre especies, que ayudan a identificarlas e indican que, de acuerdo con sus características anatómicas, tienen diferentes respuestas en sus propiedades físicas y mecánicas y en sus procesos de transformación (Tabla 5). En los únicos casos en los que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$) fue en el número de canales resiníferos axiales por milímetro cuadrado y en el número de puntuaciones en los campos de cruce. Esto se debe ligar con estudios de tipo tecnológico para definir los mejores usos de las maderas (Wangaard, 1981; De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo, 2008).

En el caso de los quince individuos de las seis especies estudiadas, los anillos de crecimiento presentan diferencias entre especies. La anchura es variable de 1 mm a 5 mm, siendo los más anchos los de *P. herrerae* y los más angostos los de *P. leiophylla*, que pertenecen a subsecciones diferentes a Ponderosae. En los quince árboles la madera temprana es más abundante que la tardía, pero la transición entre una y otra sí cambia entre especies, en tres especies es gradual y en *P. cooperi*, *P. durangensis* y *P. leiophylla* es abrupta. Esta característica tiene relevante importancia en silvicultura, ya que influye en el peso y la dureza de la madera (Kollmann y Coté, Jr., 1968; Hoadley, 2000).

En cuanto a las traqueidas axiales, un carácter distintivo entre especies, es el número de hileras de puntuaciones areoladas que presentan, *P. cooperi*, *P. durangensis* y *P. herrerae*, los cuales presentan una o dos hileras de puntuaciones en cada traqueida (Fig. 8e), además, *P. cooperi* y *P. Leiophylla* fueron las únicas especies que no presentaron crásulas en las traqueidas axiales. Las crásulas son engrosamientos de la pared primaria que proporcionan resistencia alrededor de los campos de poros primarios y se observan como líneas curvas oscuras (como paréntesis), en los cortes radiales arriba y abajo de las puntuaciones areoladas de las traqueidas axiales (Panshin y de Zeeuw, 1970).

Los canales resiníferos axiales y radiales son estructuras presentes en todas las especies de pinos, sin embargo,

también presentan variación de una especie a otra en su tamaño, abundancia, distribución, número de células epiteliales que lo forman y tamaño de estas células. En relación con estas estructuras, el número de canales axiales por milímetro cuadrado varió entre especies de 1 a 4, siendo pocos en todas las especies. El tamaño y abundancia de canales influye en las características estéticas como el color, el olor, el sabor, el veteado y definitivamente en usos que no interfieran con el sentido del gusto y por otro lado, favorecen el sentido del olfato, aparte que son importantes en la industria de la resina (Martínez, 1948; Mancera, 1956; Tsoumis, 1969; De la Paz-Pérez y Olvera, 1981). *Pinus leiophylla* presenta mayor número de canales en la madera tardía y *Pinus teocote* no presenta canales en la madera tardía. Los resultados obtenidos en este estudio son semejantes a los trabajos presentados en la tabla 1 que se estudiaron con metodología semejante. Las diferencias registradas con especies analizadas con otros criterios metodológicos no siempre coinciden con los resultados aquí presentados. Esto es más notorio con los estudios más antiguos, particularmente los de Mancera (1956) quien no analizó las traqueidas distinguiendo entre diámetros de madera temprana y tardía. Esta autora solamente registró un diámetro común para los dos tipos de madera en las especies que estudió.

Sobre la presencia de traqueidas de radio con denticiones en su pared celular y puntuaciones pinoides con areola o sin ella en los campos de cruce, son caracteres que se ligan con el grupo de pinos duros, por lo que se puede afirmar con certeza que las seis especies estudiadas corresponden a este grupo (Fig. 8). En relación con el hilo, todas las especies del género lo presentan recto, esto favorece su transformación y facilita su aserrío (De la Paz-Pérez y Carmona, 1979). Otro carácter importante en identificación, es la altura de los radios, los más pequeños los presenta *Pinus arizonica* y los más altos *Pinus herrerae*.

CONCLUSIONES

Pinus arizonica y *P. cooperi* presentaron diferencia de color entre albura y duramen. La anchura y proporción de

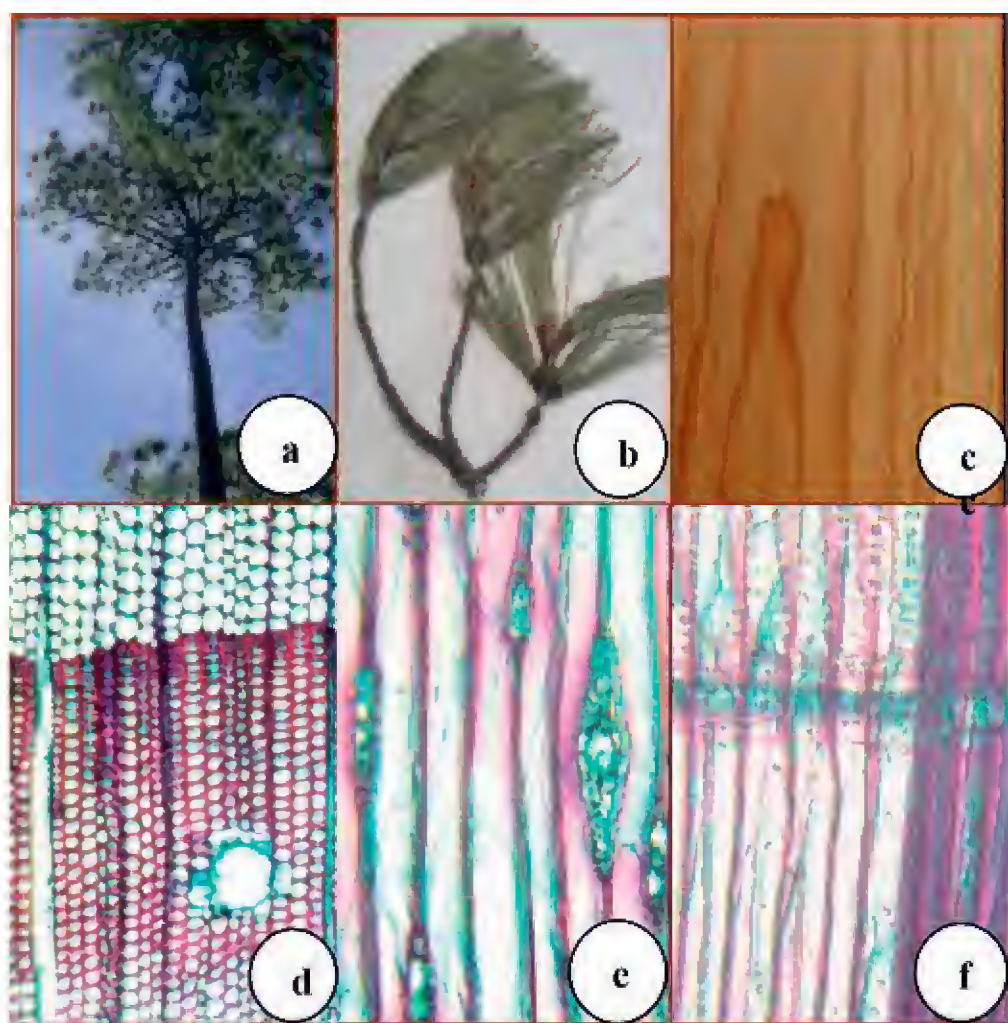


FIGURA 2. *Pinus arizonica*. a. Árbol 24. b. Herbario. c. Tablilla tangencial. Cortes: d. Transversal. e. Tangencial. f. Radial.

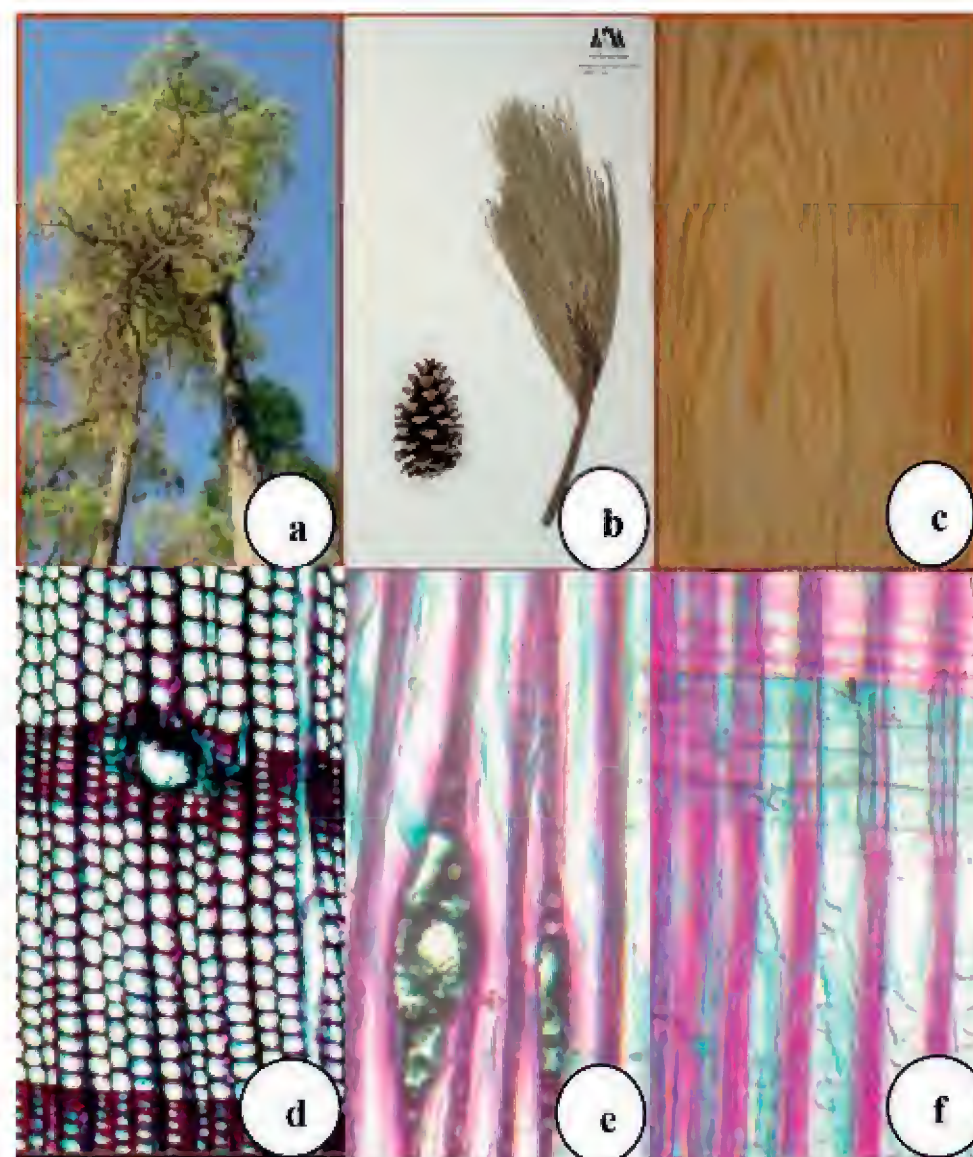


FIGURA 4. *Pinus durangensis*. a. Árbol 17. b. Herbario. c. Tablilla tangencial. Cortes: d. Transversal. e. Tangencial. f. Radial.

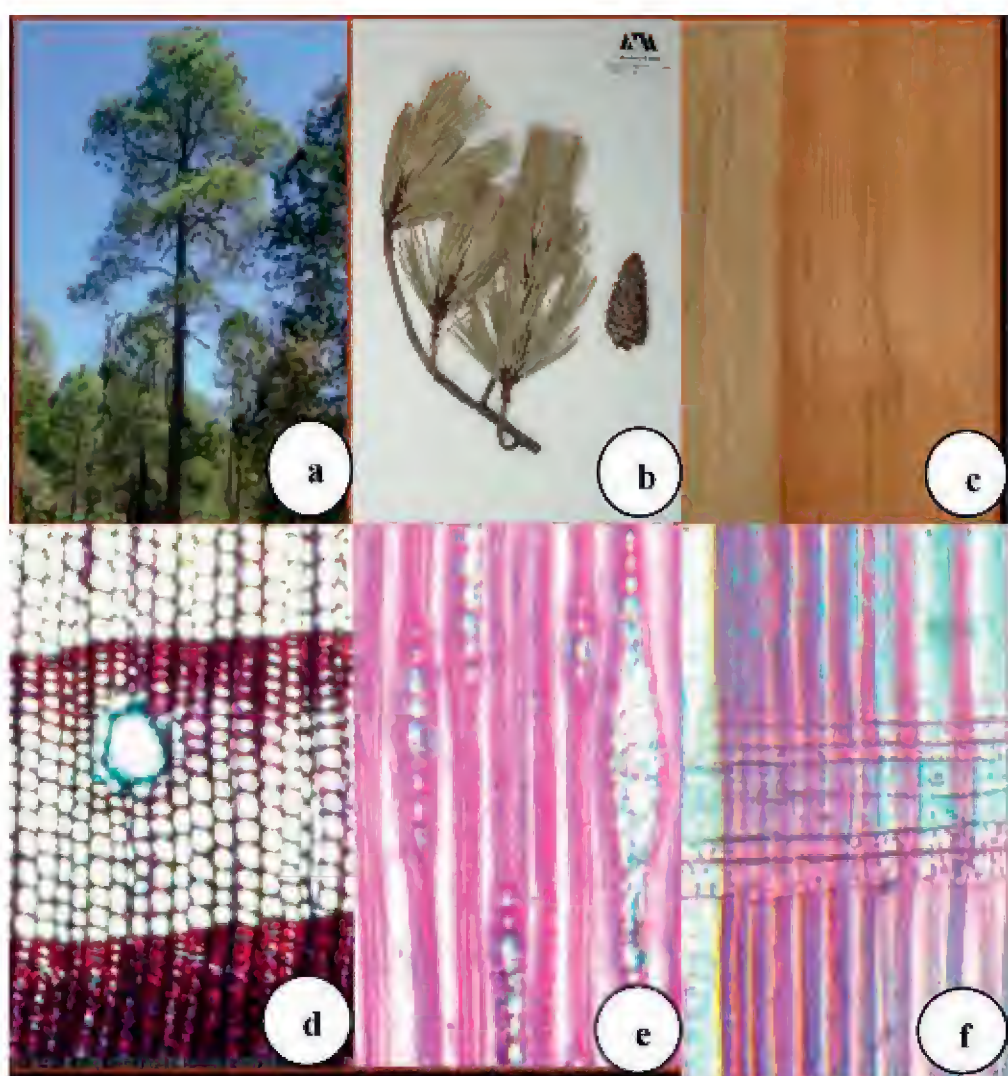


FIGURA 3. *Pinus cooperi*. a. Árbol 13. b. Herbario. c. Tablilla radial. Cortes: d. Transversal. e. Tangencial. f. Radial.



Figura 5. *Pinus herrerae*. a. Árbol 18. b. Herbario. c. Tablilla radial. Cortes: d. Transversal. e. Tangencial. f. Radial.

FICHA 1. Descripción de *Pinus arizonica*.1. *Pinus arizonica* (Fig. 2)

Sección: Diploxylon (Pinos duros)

Subsección: Ponderosae

Nombres comunes: pino, pino alimonado, pino blanco

Distribución geográfica: Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí

Distribución altitudinal: 2500 m a 2750 m snm

Características botánicas (Fig. 2 a-b)

Árbol de 12 m a 25 m de altura y 20 cm a 80 cm de diámetro. Corteza gris oscuro a negra cuando joven y con placas rojizas de 4 cm a 5 cm de grosor, formando surcos profundos cuando maduro. Hojas en fascículos de 3 a 5, verde limón, delgadas y flexibles de 11 cm a 19 cm de largo, con márgenes finamente aserrados, con 2 a 4 canales resiníferos y 2 haces vasculares. Conos ovulados de 6 cm a 8 cm de largo y de 3 cm a 6 cm de ancho.

Características de la madera**Macroscópicas** (Fig. 2c)

La madera presenta diferencia de color entre albura y duramen, más marcada en el ejemplar de Santiago Papasquiaro que en los de San Dimas. La albura presenta un tono blanco rosado (7.5YR 8/2) en la madera temprana y rosa (7.5YR 7/4) en la madera tardía. El duramen es de color amarillo rojizo (7.5YR 7/6) en la madera temprana y amarillo rojizo (7.5YR 8/6) en la madera tardía. El olor y el sabor poco resinosos, el brillo es bajo en el plano transversal y mediano en los planos tangencial y radial, el veteado es pronunciado por la diferencia de color de la madera temprana y tardía y por los canales resiníferos, la textura es fina y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento de 1 a 4 en 1.0 cm. Canales resiníferos axiales conspicuos. En algunas muestras de Santiago de ven tonalidades rojizas tanto en la albura como en el duramen, más fuertes en la madera tardía y en los planos transversales. En los dos ejemplares de San Dimas (árboles 3 y 5), el tono es similar.

Microscópicas (Fig. 2d-f y 8a-b y Tablas 3 y 4)

La madera temprana es tres veces más que la madera tardía en cada anillo de crecimiento, la transición de una a otra es gradual. Los canales axiales por milímetro cuadrado son pocos y de 7 a 10 en 1.5 cm, su diámetro tangencial es mediano, presentes en la madera temprana y ocasionales en la madera tardía, principalmente en la parte media de la madera temprana. El diámetro tangencial de los canales radiales es pequeño y son en menor número que los axiales. Los radios son poco numerosos y bajos, los radios sin canal más bajos que los radios con canal, presentan de 2 a 7 hileras de traqueidas de radio en los márgenes y una hilera entre ellos, las traqueidas de radio tienen paredes dentadas. Las puntuaciones de los campos de cruce son pinoides areoladas, generalmente 4 por campo. Las traqueidas son largas, de diámetro mediano y pared delgada en la madera temprana y de diámetro fino y pared mediana en la tardía, ambas con una hilera de puntuaciones areoladas y ocasionalmente entremezcladas dos puntuaciones. Presentan crásulas.

FICHA 2. Descripción de *Pinus cooperi*.**2. *Pinus cooperi* (Fig. 3)**

Sección: Diploxylon (Pinos duros)

Subsección: Ponderosae

Nombre comunes: albacarrote, balcarrote, ocote, pino amarillo, pino chino

Distribución geográfica: Chihuahua, Durango, Nayarit

Distribución altitud: 2400 m a 2700 m snm

Características botánicas (Fig. 3a-b)

Árbol de 15 m a 35 m de altura y 30 cm a 80 cm de diámetro. Corteza rugosa gris oscuro a negra con placas irregulares castaño rojizo no desprendibles cuando maduro. Hojas en fascículo de 3 a 5, verde oscuro o verde cenizo, gruesas y rígidas, de 4 cm a 13 cm de largo, con márgenes finamente aserrados, con 3 a 5 canales resiníferos y 2 haces vasculares. Conos ovulados de 4 cm a 9 cm de largo y de 4 cm a 6 cm de ancho.

Características de la madera**Macroscópicas (Fig. 3c)**

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen. Es de color castaño muy pálido (IOYR 8/4) en la madera temprana y amarillo (IOYR 7/6) en la madera tardía. El olor y el sabor es resinoso, el brillo es bajo en los planos transversales y mediano en los tangenciales principalmente en la madera tardía y en los radiales, el veteado es pronunciado por la diferencia de madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento, la textura es fina y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento de 1 a 3 en 1.0 cm. Canales resiníferos conspicuos.

Microscópicas (Fig. 3d-f y 8c y Tablas 3 y 4)

La madera temprana es cuatro veces más que la madera tardía en cada anillo de crecimiento, la transición de una a otra es abrupta. Los canales axiales son pocos por milímetro cuadrado y varían de 3 a 9 en 1.5 cm lineales, su diámetro tangencial es mediano, son más abundantes en la madera temprana que en la tardía, principalmente en la parte media de la madera temprana. El diámetro tangencial de los canales radiales es pequeño y son en menor número que los axiales. Los radios son poco numerosos y bajos, los radios sin canal más bajos que los radios con canal, presentan de 2 a 5 hileras de traqueidas de radio tanto en los márgenes como intercalados, las traqueidas de radio tienen paredes dentadas. Las puntuaciones de los campos de cruce son pinoideas areoladas, generalmente 3 por campo. Las traqueidas son largas, de diámetro mediano y pared delgada en la madera temprana y de diámetro fino y pared mediana en la tardía, ambas con 1 o 2 hileras de puntuaciones areoladas o mezcladas. No presentan crásulas.

FICHA 3. Descripción de *Pinus durangensis*.

3. *Pinus durangensis* (Fig. 4)

Sección: Diploxylon (Pinos duros)

Subsección: Ponderosae

Nombre comunes: ocote, pino alazán, pino blanco, pino real de seis hojas

Distribución geográfica: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Michoacán, Guerrero.

Distribución altitudinal: 2400 m a 3200 m snm

Características botánicas (Fig. 4a-b)

Árbol de 15 m a 40 m de altura y 1m de diámetro. Corteza rugosa con grandes placas castaño rojizo. Hojas en fascículos de 6, verde amarillento o verde pálido, delgadas, de 14 cm a 30 cm de largo, con márgenes finamente aserrados, con 2 a 3 canales resiníferos y 2 haces vasculares. Conos ovulados de 6 cm a 10 cm de largo y de 6 cm de ancho.

Características de la madera

Macroscópicas (Fig. 4c)

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen. Es de color castaño muy pálido (10YR 8/3) en la madera temprana y amarillo rojizo (7.5YR 7/6) en la madera tardía. El olor y el sabor poco resinoso, el brillo es bajo en los planos transversales y tangenciales y mediano en los radiales, el veteado es pronunciado por la diferencia de madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento y por la abundancia de los canales resiníferos axiales, la textura es fina y el hilo es recto. Anillos de crecimiento de 2 a 4 en 1.0 cm. Los canales resiníferos notables.

Microscópicas (Fig 4d-f y 8d y Tablas 3 y 4)

La madera temprana es cuatro veces más que la madera tardía en cada anillo de crecimiento, la transición de una a otra es abrupta. Los canales axiales por milímetro cuadrado son pocos y de 3 a 9 en 1.5 cm, su diámetro tangencial es mediano, son más abundantes en la madera temprana que en la tardía, uniformemente distribuidos. El diámetro tangencial de los canales radiales es pequeño y son en menor número que los axiales. Los radios son poco numerosos y bajos, los radios sin canal más bajos que los radios con canal, presentan de 1 a 4 hileras de traqueidas de radio en los márgenes, las traqueidas de radio tienen paredes dentadas. Las puntuaciones de los campos de cruce son pinoides areoladas, generalmente 3 por campo. Las traqueidas son largas, de diámetro mediano y pared delgada en la madera temprana y de diámetro fino y pared mediana en la tardía, ambas con una hilera de puntuaciones areoladas. Presentan crásulas.

Ficha 4. Descripción de *Pinus herrerae*.**4. *Pinus herrerae* (Fig. 5)**

Sección: Diploxylon (Pinos duros)

Subsección: Oocarpae

Nombre comunes: ocote, pino chino

Distribución geográfica: Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero

Distribución altitudinal: 1800 m a 2500 m snm

Características botánicas (Fig. 5a-b)

Árbol de 25 m a 35 m de altura y 35 cm a 90 cm de diámetro. Corteza con placas escamosas castaño rojizo cuando maduro.

Hojas en fascículos de 2 a 3, verde claro, delgadas, de 10 cm a 20 cm de largo, con márgenes finamente aserrados, con 1 a 5 canales resiníferos y 2 haces vasculares. Conos ovulados de 1.5 cm a 5 cm de largo y de 5 cm a 6 cm de ancho.

Características de la madera**Macroscópicas (Fig. 5c)**

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen. Es de color rosa (75YR 8/3) en la madera temprana y castaño rojizo claro (2.5YR 6/3) a amarillo rojizo (5YR7/8) en la madera tardía. El olor y el sabor poco resinoso, el brillo es bajo en los planos transversales y tangenciales y mediano en los radiales, el veteado es pronunciado por la diferencia de madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento y por la abundancia de los canales resiníferos axiales, la textura es fina y el hilo es recto. Anillos de crecimiento de 2 a 3 en 1.0 cm. Canales resiníferos conspicuos.

Microscópicas (Fig. 5d-f y 8e y Tablas 3 y 4)

La madera temprana es dos veces más que la madera tardía en cada anillo de crecimiento, la transición de una a otra es gradual. Los canales axiales por milímetro cuadrado son pocos y de 10 a 12 en 1.5 cm, su diámetro tangencial es mediano, con igual distribución y número en la madera temprana que en la tardía. El diámetro tangencial de los canales radiales es pequeño. Los radios son pocos y bajos, los radios sin canal más bajos que los radios con canal, presentan de 2 a 3 hileras de traqueidas de radio en los márgenes y una hilera intermedia, las traqueidas de radio tienen paredes dentadas. Las puntuaciones de los campos de cruce son pinoides areoladas, generalmente 3 por campo. Las traqueidas son largas, de diámetro mediano y pared delgada en la madera temprana y de diámetro fino y pared mediana en la tardía, ambas con 1 o 2 hileras de puntuaciones areoladas y entremezcladas dos puntuaciones. Presentan crásulas.

FICHA 5. Descripción de *Pinus leiophylla*.

5. *Pinus leiophylla* (Fig. 6)

Sección: Diploxylon (Pinos duros)

Subsección: Leiophyllae

Nombre comunes: ocote, pino chino, pino prieto

Distribución geográfica: Zacatecas, Jalisco, Michoacán, México, Tlaxcala, Distrito Federal, Morelos, Oaxaca, Veracruz

Distribución altitudinal: 2500 m a 2800 m snm

Características botánicas (Fig. 6a-b)

Árbol de 15 m a 35 m de altura y 25 cm a 85 cm de diámetro. Corteza rugosa gris oscuro a negro cuando maduro. Hojas en fascículos de 4 a 5, verde cenizo, azulado a distancia, delgadas, de 6 cm a 16 cm de largo, con márgenes finamente aserrados, con 2 a 4 canales resiníferos y 2 haces vasculares. Conos ovulados de 3 cm a 7 cm de largo y de 3 cm a 7 cm de ancho.

Características de la madera

Macroscópicas (Fig. 6c)

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen. Es de color castaño muy pálido (10YR 8/2) en la madera temprana y amarillo rojizo (7.5YR 6/6) en la madera tardía. El olor y el sabor poco resinoso, el brillo es bajo en los planos transversales y alto en los tangenciales y en los radiales, el veteado es pronunciado por la diferencia de madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento, la textura es fina y el hilo es recto. Anillos de crecimiento de 3 a 7 en 1.0 cm. Canales resiníferos poco conspicuos.

Microscópicas (Fig. 6d-f y 8f y Tablas 3 y 4)

La madera temprana es tres veces más que la madera tardía en cada anillo de crecimiento, la transición de una a otra es abrupta. Los canales axiales por milímetro cuadrado son pocos y de 6 a 12 en 1.5 cm, su diámetro tangencial es mediano, son más abundantes en la madera temprana que en la tardía, principalmente en la parte media de la madera temprana. El diámetro tangencial de los canales radiales es pequeño y son en menor número que los axiales. Los radios son poco numerosos y bajos, los radios sin canal más bajos que los radios con canal, presentan de 1 a 3 hileras de traqueidas de radio en los márgenes, las traqueidas de radio tienen paredes dentadas. Las puntuaciones de los campos de cruce son pinoides areoladas, generalmente 3 por campo. Las traqueidas son largas, de diámetro mediano y pared delgada en la madera temprana y de diámetro fino y pared mediana en la tardía, ambas con una hilera de puntuaciones areoladas, separadas.

FICHA 6. Descripción de *Pinus teocote*.**6. *Pinus teocote* (Fig. 7)**

Sección: Diploxylon (Pinos duros)

Subsección: Oocarpae

Nombres comunes: albacarrote, balcarrote, ocote, pino amarillo, pino colorado, pino chino, pino prieto, pino rosillo

Distribución geográfica: Chihuahua, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, México, Distrito Federal, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Veracruz

Distribución altitudinal: 2400 m a 3200 m snm

Características botánicas (Fig 7a-b)

Árbol de 8 m a 35 m de altura y 30 cm a 60 cm de diámetro. Corteza rugosa castaño grisáceo oscuro a veces rojiza cuando maduro. Hojas en fascículos de 2 a 3, verde claro, delgadas y rígidas, de 5 cm a 18 cm de largo, con márgenes finamente aserrados, con 1 a 5 canales resiníferos y 2 haces vasculares. Conos ovulados de 1.5 cm a 7 cm de largo y de 3 cm a 6 cm de ancho.

Características de la madera**Macroscópicas (Fig. 7c)**

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen. Es de color castaño muy pálido (10YR 8/2) en la madera temprana y amarillo rojizo (7.5YR 6/6) en la madera tardía. El olor y el sabor poco resinoso, el brillo es bajo en los planos transversales y alto en los tangenciales y en los radiales, el veteado es pronunciado por la diferencia de madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento, la textura es fina y el hilo es recto. Anillos de crecimiento de 3 a 7 en 1.0 cm. Canales resiníferos poco conspicuos.

Microscópicas (Fig. 7d-f y 8g y Tablas 3 y 4)

La madera temprana es cuatro veces más que la madera tardía en cada anillo de crecimiento, la transición de una a otra es gradual. Los canales axiales por mm² son pocos y de 8 a 12 en 1.5 cm, su diámetro tangencial es mediano, son más abundantes en la madera temprana que en la tardía, principalmente en la parte media de la madera temprana. El diámetro tangencial de los canales radiales es pequeño y son en menor número que los axiales. Los radios son pocos y bajos, los radios sin canal más bajos que los radios con canal, presentan de 1 a 4 hileras de traqueidas de radio en los márgenes, las traqueidas de radio tienen paredes dentadas. Las puntuaciones de los campos de cruce son pinoides areoladas, generalmente 3 por campo. Las traqueidas son largas, de diámetro mediano y pared delgada en la madera temprana y de diámetro fino y pared mediana en la tardía, ambas con una hilera de puntuaciones areoladas. Presentan crásulas.

TABLA 4. Características anatómicas por árbol.

Número de árbol y localidad	Transición de madera temprana a tardía	Número de canales axiales en 1.5 cm	Anchura de anillos en mm	Tipo y número de traqueidas de radio	Tipo y número de puntuaciones de campos de cruce	Hileras de puntuaciones en traqueidas axiales presencia o ausencia de crásulas
<i>Pinus arizonica</i>						
24 Santiago	gradual	7-10	3	dentadas 2-6	pinoide areolada 1-5	1 con crásulas
3 San Dimas	gradual	7-10	3-4	dentadas 2-5	pinoide areolada 3-4	1 con crásulas
5 San Dimas	gradual	7-10	4	dentadas 2-5	pinoide areolada 3-4	1 con crásulas
<i>Pinus cooperi</i>						
13 Durango	abrupta	3-9	3	dentadas 2-4	pinoide areolada 2-4	1 y 2 mezcladas sin crásulas
14 Durango	abrupta	3-9	2-4	dentadas 2-4	pinoide areolada 2-4	1 y 2 mezcladas sin crásulas
<i>Pinus durangensis</i>						
17 Santiago	abrupta	9-10	2-3	dentadas 1-4	pinoide areolada 1-4	1 con crásulas
21 Santiago	abrupta	5	2	dentadas 2-4	pinoide areolada 2-7	1 con crásulas
6 San Dimas	abrupta	9	3-4	dentadas 1-4	pinoide areolada 1-2	1 y 1 y-2 mezcladas con crásulas
7 Durango	abrupta	7	4	dentadas 2-4	pinoide areolada 1-2	1 y-1 y 2 mezcladas con crásulas
<i>Pinus herrerae</i>						
15 Santiago	gradual	10-12	3	dentadas 2-3	pinoide areolada 1-3	1 o 2 y mezcladas con crásulas
18 Santiago	gradual	12-14	3-5	dentadas 2-3	pinoide areolada 2-3	1 y 2 mezcladas con crásulas
<i>Pinus leiophylla</i>						
16 Santiago	abrupta	6-11	1-2	dentadas 2-3	pinoide areolada 3-4	1 espaciadas sin crásulas
23 Santiago	abrupta	7-12	1-2	dentadas 1-2	pinoide areolada 1-3	1 espaciadas sin crásulas
<i>Pinus teocote</i>						
8 Durango	gradual	8-14	1-2	dentadas 1-4	pinoide areolada 1-2	1 con crásulas
9 Durango	gradual	7-12	1-2.5	dentadas 2-3	pinoide areolada 2-3	1 con crásulas

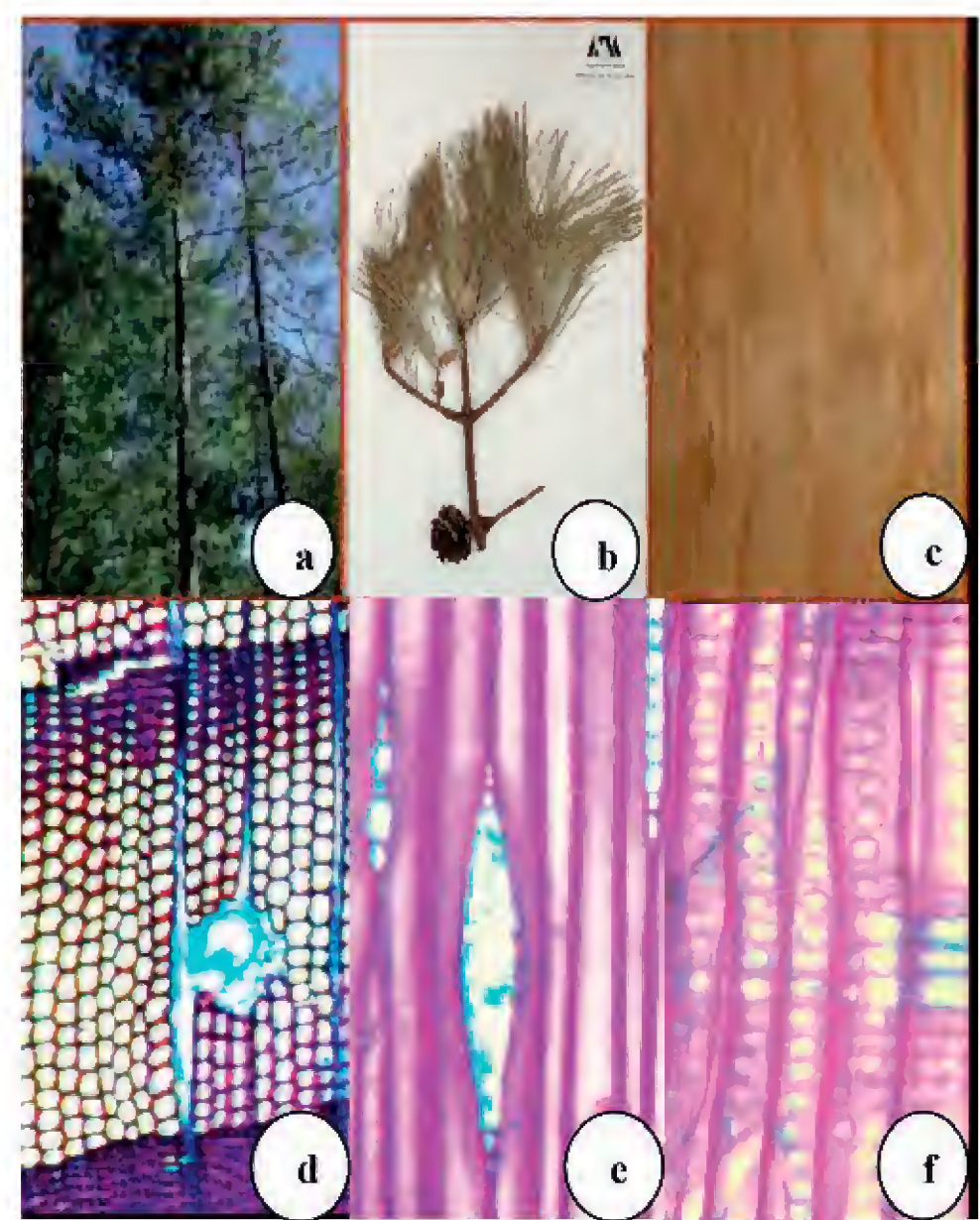


FIGURA 6. *Pinus leiophylla*. a. Árbol 23. b. Herbario. c. Tablilla radial. Cortes: d. Transversal. e. Tangencial. f. Radial.

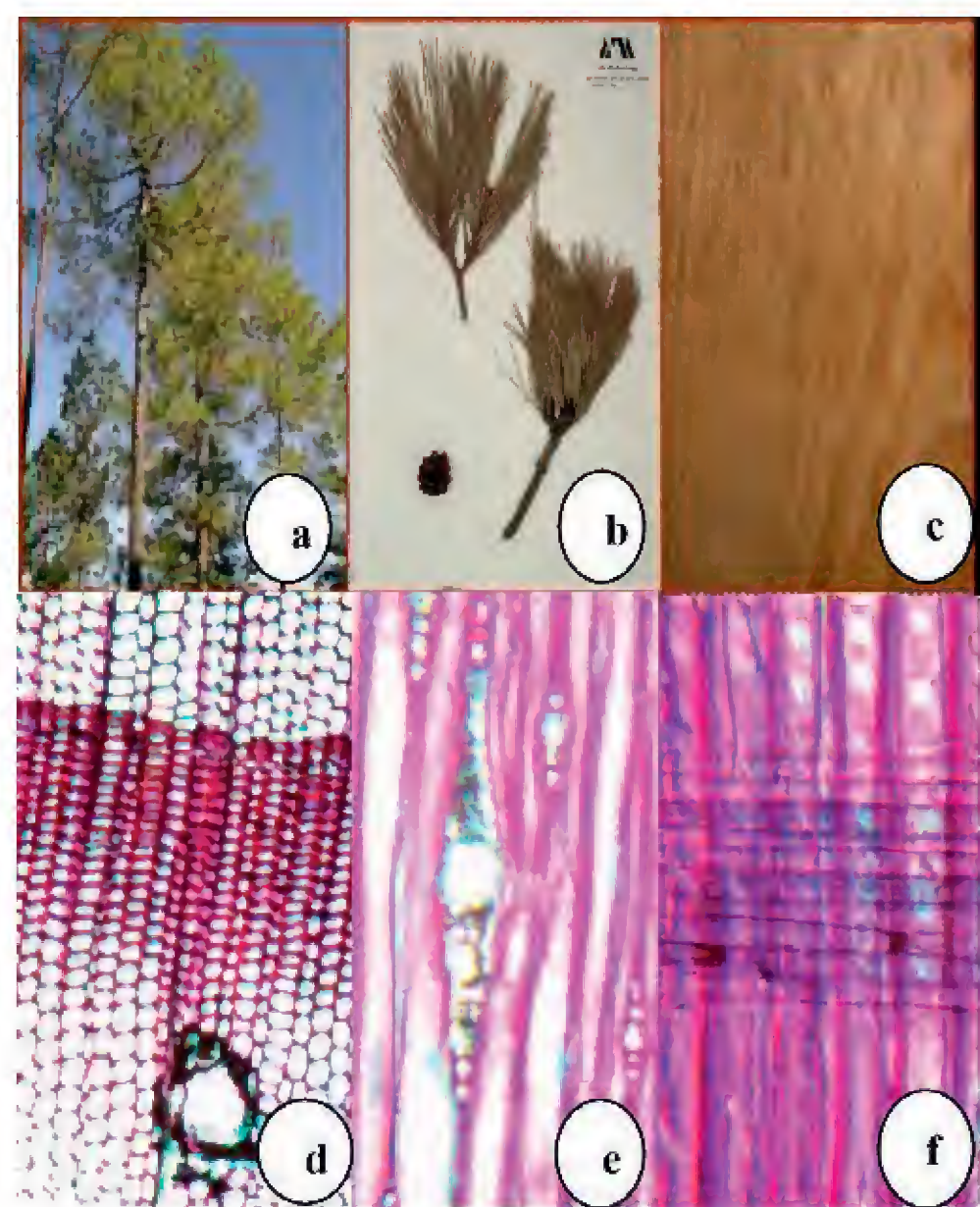


FIGURA 7. *Pinus teocote*. a. Árbol 8. b. Herbario. c. Tablilla tangencial. Cortes: d. Transversal. e. Tangencial. f. Radial.

TABLA 5. Resumen de resultados de análisis de variancia (Anova).

			F	Valor crítico para F	Significancia (p>0.05)
Canales	Axiales	n/mm ²	0.557	2.242	N. S.
		Diámetro tangencial (µm)	53.480	2.242	Significativo
	Radiales	Diámetro tangencial (µm)	38.850	2.242	Significativo
Radios	n/mm		6.006	2.238	Significativo
	Altura (µm)		9.615	2.238	Significativo
	Número de células		11.066	2.238	Significativo
Campos de cruce		Número	1.611	2.240	N. S.
Traqueidas	Longitud (µm)		10.393	2.277	Significativo
	Madera temprana (µm)	Diámetro del lumen	29.838	2.238	Significativo
		Grosor de pared	22.943	2.238	Significativo
	Madera tardía (µm)	Diámetro del lumen	32.704	2.238	Significativo
		Grosor de pared	19.364	2.238	Significativo

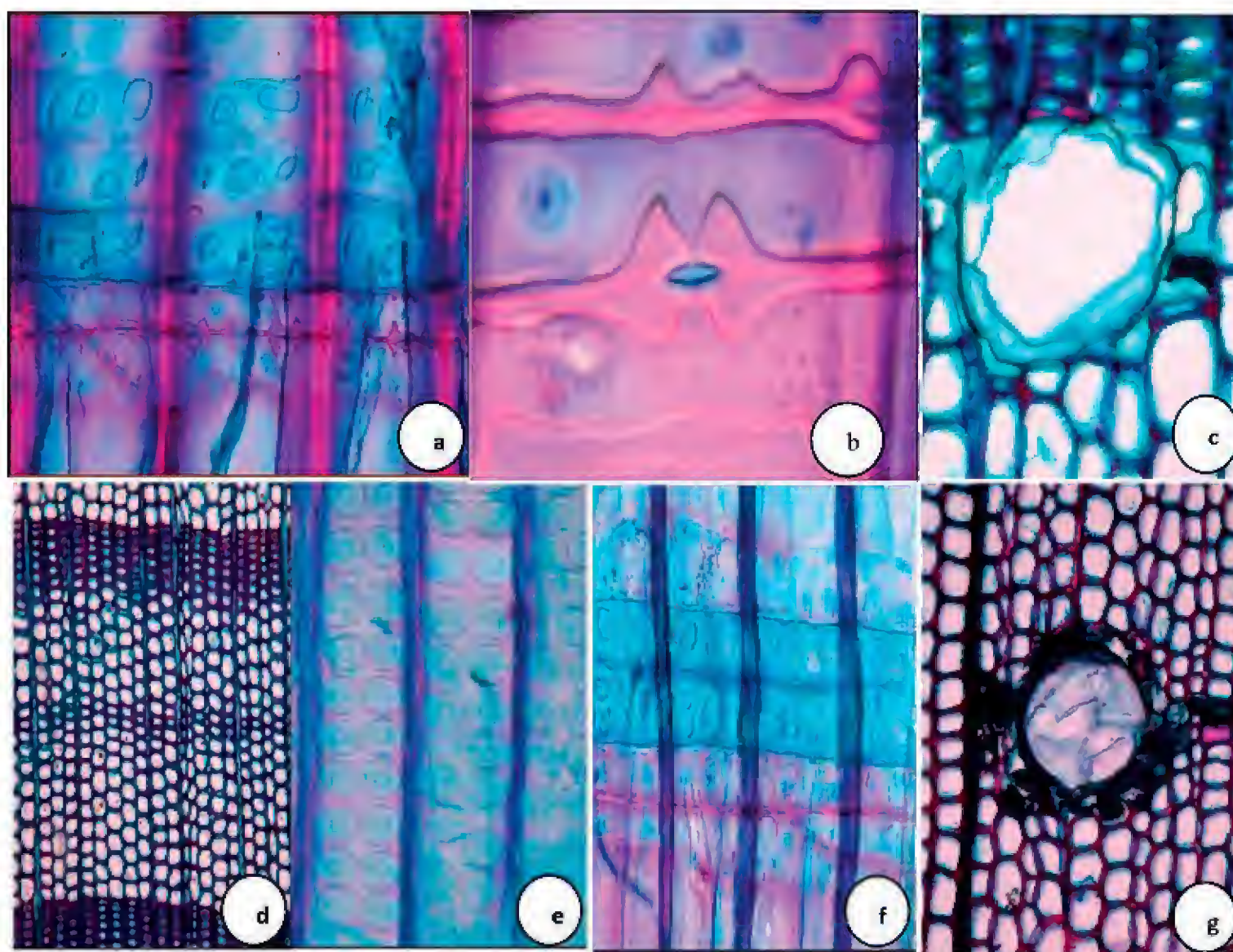


FIGURA 8. Algunos caracteres microscópicos de las seis especies estudiadas. A. *Pinus arizonica*. Puntuaciones pinoides areoladas y dos hileras de traqueidas de radio abajo en campo de cruce. B. *Pinus arizonica*. Traqueida de radio dentada. C. *Pinus cooperi*. Canal resinífero axial con nueve células epiteliales. D. *Pinus durangensis*. Madera temprana y madera tardía con transición abrupta en corte transversal. E. *Pinus herrerae*. Puntuaciones areoladas en dos hileras en traqueidas axiales. F. *Pinus leiophylla*. Puntuaciones pinoides areoladas y tres hileras de traqueidas de radio dentadas, una arriba y dos abajo en campo de cruce. G. *Pinus teocote*. Canal resinífero axial con resina.

madera temprana y tardía cambia de anillo a anillo y de especie a especie. Las seis especies presentan traqueidas de radio dentadas, carácter de pinos duros. Las puntuaciones de campo de cruce son pinoides areoladas, carácter de pinos duros. La transición de madera temprana a tardía en tres especies es gradual y en *P. cooperi*, *P. durangensis* y *P. leiophylla* es abrupta.

Los canales axiales son más abundantes en *Pinus cooperi* que en las otras cinco especies. *P. cooperi* y *P. herrerae*, presentan dos hileras de puntuaciones en algunas traqueidas. Algunas características anatómicas cambian de individuo a individuo, inclusive en el mismo municipio. La madera de las especies de *Pinus*, seguirá teniendo un papel importante en la economía nacional, gracias a sus características estructurales y propiedades tecnológicas.

Las especies estudiadas representan un valioso recurso para las entidades donde crecen por su abundancia relativa y sus útiles características. Si se aprovechan de manera racional significarán un importante impulso a la economía local y a través de su conservación, con programas de manejo y reforestación apropiados, continuarán aportando importantes servicios ambientales al estado.

RECONOCIMIENTOS

Las especies fueron determinadas por el M.C. Abel García Arévalo, quien encabezó la recolección de los árboles. Los autores agradecen al Dr. Roberto Limón Godina, anteriormente del INECOL-Durango y actualmente en la Facultad de Economía y Contabilidad de la UJED, su apoyo en la recolección del material de estudio. Este estudio fue finan-



ciado con recursos del proyecto del Fondo Sectorial Conafort-Conacyt 32697 “Caracterización de la madera de especies de pinos y encinos de importancia comercial en el estado de Durango” y “Estudio tecnológico de la madera de especies forestales” de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. El proyecto 32697 se hizo de manera conjunta con la Asociación de Industriales Forestales de Durango, A.C. (Aifdac) la cual estuvo representada por el Ing. Gerardo Andrade Martínez como responsable administrativo con el apoyo de la Sra. Laura Godina.

REFERENCIAS

- Chattaway, M. (1932). Proposed standard for numerical values used in describing wood. *Tropical Woods*, 29, 20-28.
- De la Paz-Pérez O., C. y Carmona V., T. (1979). Influencia del hilo en algunas características tecnológicas de la madera. *Boletín Técnico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. No. 60. México.
- De la Paz-Pérez O., C. y Olvera C., P. (1981). Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas. *Boletín Técnico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. No. 69. México.
- De la Paz-Pérez O., C. (1985). *Variación de la estructura anatómica de los encinos y su efecto en el aprovechamiento de los mismos*. II Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Publicación Especial: 49:292-312.
- De la Paz-Pérez O., C. y Quintanar I., A. (1997). Las características tecnológicas de la madera. *ContactoS*, 19, 15-21.
- De la Paz-Pérez, C. y Dávalos-Sotelo, R. (2008). Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*, 14 (3), 43-80.
- De la Paz-Pérez O., C., Dávalos-Sotelo, R., Limón-Godina, R. y Quintanar-Isaías, A. (2015). Características tecnológicas de la madera de dos especies de *Quercus* de Durango, México. *Madera y Bosques*, 21 (3), 19-46.
- Desch, H. E. (1973). Timber, its structure and properties (5a ed). Londres, R.U.: Macmillan Press Ltd.
- Dinwoodie, J. H. (1985). Timber, a review of the structure, mechanical properties relationship. *Journal of Microscopy*, 104 (1), 3-32.
- Eguiluz, T. (1978). Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis de licenciatura. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo.
- García A., A. y González E., M. S. (2003). Pináceas de Durango (2ª ed). Xalapa, Ver. Y Zapopan, Jal.: Instituto de Ecología, A.C.-Comisión Nacional Forestal.
- Hoadley, R. B. (2000). *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*. Taunton Press.
- Huerta C., J. (1963). Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas. *Boletín Técnico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. No. 8. México. 53p.
- IAWA Committee. (1964). *Multilingual glossary of terms used in wood anatomy*. Committee on Nomenclature. Verlagsanstalt, Suiza: International Association of Wood Anatomists.
- IAWA. 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal*, 25 (1), 1-70.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Anuario estadístico y geográfico del estado de Durango, 2014. México: Autor.
- Jane, F. W. (1970). *The structure of wood*. Londres: Adam & Charles Black.
- Johansen, D. A. (1940). *Plant microtechnique*. Nueva York y Londres: McGraw-Hill Book Company.
- Kollmann, F. P. y Coté Jr., W. A. (1968). *Principles of wood science and technology*. Vol. I. Solid Wood. Nueva York, EUA: Springer-Verlag.
- Kraus, J. E., de Sousa, C., Rezende, H., Vecchi, C. y Luque, R. (1998). Astra blue and basic fuchsin staining of plants materials. *Biotechnic & Histochemistry*, 73 (5), 235-243.
- Mancera V., O. (1956). *Contribución al conocimiento de la anatomía microscópica de algunas especies de pinos mexicanos*. Tesis de licenciatura. Instituto de Investigaciones Forestales.
- Martínez, M. (1948). Los pinos mexicanos (2ª ed). México: Botas.
- Munsell Color. (1990). *Munsell Soil color charts*. Baltimore, Maryland: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.
- Olvera C., P. (1981). Estudio anatómico de la madera de siete especies del género *Pinus*. *Boletín Técnico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. No. 71. México.

- Olvera C., P. (1985). Descripción anatómica de la madera de siete especies del género *Pinus*. *Boletín Técnico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. No. 126. México. 73p.
 - Panshin, A. J. y de Zeeuw, C. (1970). *Textbook of wood technology*. Vol. I. Nueva York, USA: McGraw-Hill Book Company.
 - Peterson, R. L., Peterson, C. A. y Melville, L. H. (2008). *Teaching plant anatomy through creative laboratory exercises*. Ottawa, Canadá: NRC Press.
 - Richardson, D. M. (1998). Ecology and biogeography of *Pinus*. Cambridge, R.U.: Cambridge University Press.
 - Robles F., F. (1980). Usos estructurales de la madera en México. *La Madera y Su Uso en la Construcción* No.5. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos.
 - Romero A., C., de la Paz-Pérez O., C. y Corral L., G. (1978). Características anatómicas y fisicomecánicas de ocho especies de coníferas de Baja California Norte. *Boletín Técnico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. No.57. México.
 - Ruíz, D. (1968). *Anatomía de la madera de cinco especies de pinos mexicanos*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Ruzin, S. E. (1999). *Plant microtechnique and microscopy*. Oxford University Press.
 - Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Limusa.
 - Sandoval Z., E. (2005). Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. *Cuadernos* 38. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Shaw, G. (1978). Los pinos de México. (Trad. T. Moncayo y G. González). *Serie Técnica Reforestación* 15. Comisión Forestal de Michoacán, México. (Original en inglés, 1909).
 - Tortorelli, L. (1956). *Maderas y bosques argentinos*. Buenos Aires: ACME.
 - Tsoumis, G. (1969). *Wood as raw material. Source, structure, chemical, composition, growth, degradation and identification*. Londres: Pergamon Press.
 - Vidal I, J. (1962). *El pino y algunas especies de interés económico*. México: UTHEA.
 - Wangaard, F. F. (1981). *Wood: its structure and properties*. Pennsylvania State University.
 - Ziegler, H. (1964). Storage, mobilization and distribution of reserve material in trees. En M. Zimmermann (Ed.), *The formation of wood in forest trees* (303-320). Nueva York: Academic Press.
- Manuscrito recibido el 10 de diciembre de 2015.
Aceptado el 11 de noviembre de 2016.
- Este documento se debe citar como:
De la Paz-Pérez O., C. y Dávalos-Sotelo, R. (2016) Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México. *Madera y Bosques*, 22 (3), 113-132.

Guía de autores

ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

Los manuscritos que se sometan, deben presentarse en archivo digital en la página electrónica de la revista (<http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/about/submissions#onlineSubmissions>) en tamaño carta (216 mm x 269 mm), con un tamaño de letra Times New Roman de 12 pt, con interlineado doble, con 30 mm de margen izquierdo y 25 mm en el resto. Se numerarán en la parte superior derecha. Los artículos deben tener una extensión máxima de 30 páginas, incluyendo tablas y figuras. Las notas no deben exceder 15 páginas incluyendo tablas y figuras.

El manuscrito debe omitir los nombres y adscripciones de los autores, así como los reconocimientos, para mantener el anonimato de la autoría hacia los árbitros. En archivo separado, preparar la página titular del manuscrito y enviar como archivo complementario. La página titular debe contener: título en español y en inglés, nombres de los autores y su lugar de adscripción. El título del manuscrito debe ser claro y conciso, no debe exceder 90 caracteres.

Los artículos científicos y las notas científicas deben contener, y en este orden: Título en español, Título en inglés, Resumen, Palabras clave, «Abstract», «Keywords», Introducción, Objetivos, Materiales y métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Reconocimientos (optativo) y Referencias.

- a) El título del manuscrito se escribe en mayúsculas y minúsculas, en español y en inglés
- b) El **resumen** (250 palabras) debe ser estructurado incluyendo los siguientes componentes:
Propósito del estudio (por qué se realizó, cuáles son las preguntas principales relacionadas con el tema).
Métodos
Resultados más importantes
Conclusiones (qué debe tomar el lector de este artículo)
El resumen debe ser escrito de tal forma que capture el interés del lector y debe evitar la inclusión de citas.
La versión en inglés se denominará «abstract». Después de cada resumen y «abstract» deben incluirse hasta seis palabras clave o «keywords» relacionadas con el método o resultados del estudio, pero que no estén contenidas en el título. Solamente los nombres propios deben ponerse en mayúsculas, las palabras clave deben colocarse en orden alfabético, separadas por punto y coma. Seleccione palabras que los lectores pudieran estar buscando y palabras mencionadas frecuentemente en el texto. También puede incluir el nombre de las especies o géneros de las plantas bajo estudio.
- c) En la **introducción** se describe el estado actual del conocimiento sobre el tema, con el debido respaldo de la bibliografía revisada y se discute la importancia que tiene lograr y divulgar avances al respecto. En este punto no se incluyen tablas ni ilustraciones.
- d) En **objetivos** se presentan de manera concisa y clara los propósitos del estudio.
- e) En **materiales y métodos** se explica cuidadosamente cómo se desarrolló el trabajo. En forma precisa y completa se da una visión clara de los métodos aplicados y los materiales empleados. Cuando el método no sea original, se deben citar con claridad las fuentes de información. Se pueden incluir tablas e ilustraciones, que de ninguna manera se repitan en otra parte del texto.
- f) La sección de **resultados** está reservada para todas las informaciones técnicas obtenidas, estadísticamente respaldadas. Los comentarios que se incluyan en este punto son sólo los indispensables para la fácil comprensión de la información presentada.
- g) En **discusión** se analizan los resultados obtenidos, sus limitaciones y su trascendencia, se relacionan con la información bibliográfica previamente reunida y se pueden plantear necesidades de trabajos futuros que aumenten el conocimiento sobre el tema.

- h) Las **conclusiones** rescatan lo más valioso o consistente de los resultados y aquellos aspectos más débiles que requieran de mayor trabajo o investigación.
- i) **Reconocimientos** es un punto optativo, destinado a los créditos a instituciones colaboradoras, fuentes de financiamiento, etc. Si se va a incluir este apartado, en la versión original para revisión debe colocarse el título del mismo, pero no los reconocimientos como tal. Estos sólo se deben incluir en la versión final para publicación.
- j) En las **referencias** solamente se incluyen aquellas citadas en el documento. Deben listarse alfabéticamente por autor y con una línea en blanco entre cada referencia. Se debe utilizar el sistema de referencias APA; en los siguientes enlaces puede encontrar información sobre este sistema de referencias:
<http://www.udel.edu.mx/i2012/investigacion/investigacion.html>
<http://normasapa.net/normas-apa-2016>
<http://www.apastyle.org/learn/tutorials/basics-tutorial.aspx>
- k) Las **tablas** deben utilizarse para presentar resultados. El título se coloca en la parte superior, con mayúsculas y minúsculas. En la versión original, para revisión, se incluyen en el cuerpo del texto. Para la versión corregida, posterior a las evaluaciones, se deben enviar en archivo de Word, separadas del archivo del cuerpo del manuscrito.
- l) Las **ilustraciones** (diagramas, gráficas, mapas, etc.) deben utilizarse cuando contribuyen a presentar la información de manera más clara; pueden ser realizadas en color negro o escala de grises (la revista cuenta con un presupuesto limitado para impresión de figuras en color. Si ese presupuesto fuera rebasado, los costos adicionales por impresión en color serían cubiertos por el autor). En la versión para revisión, las ilustraciones se deben incluir en el archivo de texto. Para la versión corregida, revise las indicaciones más adelante en esta guía en «Presentación final». Los pies de figura se escriben en la parte inferior y con minúsculas; en el texto se citan como «figura X» o bien entre paréntesis como (Fig. X).
- m) Se utilizan las **unidades** de medida del SI. Para mayores detalles, se sugiere consultar el documento «CENAM-MMM-PT-003», que puede obtenerse en la página electrónica del Centro Nacional de Metrología (CENAM)
<http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/descarga/default.aspx?arch=/CENAM-MMM-PT-003.pdf>
- n) **Notaciones.** La nomenclatura de las ecuaciones se escribe debajo de cada una de ellas. De igual manera, las abreviaturas que se utilicen en las tablas se deben definir al pie de la tabla.

Los manuscritos que no cumplan con el formato no serán enviados a los evaluadores y serán regresados a los autores para que los pongan en el formato. Asimismo, los autores deben firmar el formato de confirmación de originalidad.

PRESENTACION FINAL

La revista requiere que los manuscritos aceptados sean entregados en formato electrónico por medio del sistema OJS, conservando el formato original de los manuscritos revisados: tamaño de papel, de letra, numeración etc. Sin embargo, en esta versión corregida, sí se deben incluir los nombres de los autores y sus adscripciones, además de que los **gráficos y las tablas no deben estar integrados al texto**. Todas las figuras deben enviarse en archivos por separado (no archivos de Word), en formato tiff, jpg, etc., con al menos 300 ppp de resolución (considerando el tamaño en que serán impresos; es decir, si la figura será impresa a lo ancho de una columna, se requieren al menos 1050 puntos de ancho; si la figura será impresa a lo ancho de la caja de texto, se requieren al menos 2200 puntos de ancho), o en formato pdf o eps si las imágenes son vectoriales. Las tablas deben enviarse todas juntas en un archivo de Word, adicional al archivo con el cuerpo del manuscrito. No se requieren manuscritos impresos.

A Author's guide

STRUCTURE OF THE MANUSCRIPTS

The manuscripts submitted must be presented in digital form on the electronic page of the journal (<http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/about/submissions#onlineSubmissions>) in letter-size paper (216 mm x 269 mm: 8-1/2" x 11"), doubly spaced, with Times New Roman font size of 12 pt., with a left margin of 30 mm and the rest of 25 mm, numbered at the upper right corner. The **maximum** extension of the papers will be 30 pages written on a single side for the full-length papers (including tables and figures) and 15 pages (including tables and figures) for scientific notes.

The manuscript for evaluation must omit names and affiliations of the authors as well as acknowledgements, in order to keep double-blind evaluation. The Title page must be presented in a separate file and should be sent as complementary file. The Title page must contain: Title, names and affiliations of authors, including e-mail addresses.

Scientific papers and notes must contain the following sections in this order: Title, Abstract, Keywords, Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusions, Acknowledgements (optional) and References. The title of the papers should not exceed of 90 characters.

- a) The first page must include the title of the article in upper and lower case characters.
- b) The **abstract** (250 words **maximum**) must be structured as follows:
Purpose of the study (why the work was done, what major questions of research in this field are addressed).
Methods
Key results
Conclusions (what major points should the reader take from this article)
The abstract should be written to capture the interest of the reader. Avoid citation to references.
Provide a list of 5–6 Keywords. Capitalize proper nouns, place in alphabetical order, and separated by semicolons. Choose words that readers might be searching for, and words frequently included in the text. You may also include the name of the plant species or gender under study.
- c) In the **introduction** a brief description of the state of knowledge of the subject matter of the paper must be given, with the appropriate review of literature; the importance of the study reported must be highlighted. In this item, no tables or figures are to be included.
- d) In **objectives**, the purposes of the study will be clearly and concisely stated.
- e) In **materials and methods**, it will be carefully explained how the work was carried out. In a precise and complete form, a clear vision of the methods applied and the materials used shall be given. When the methodology is not original, the sources of information shall be clearly stated. Tables and illustrations can be given that are not repeated in any other part of the text.
- f) The section of **results** will be reserved for all the technical information obtained, statistically supported. Comments included here will be only those necessary to clarify the information presented.
- g) In **discussion**, the results obtained will be analyzed, as well as their limitations and relevance; they will be related with the bibliographic information previously gathered and the eventual necessity of further work which could augment the state of knowledge on the subject could be disclosed.
- h) The **conclusions** will highlight the most valuable or consistent aspects of the work reported along with those aspects deemed the weakest which require further work or investigations.
- i) The **Acknowledgements** section is an optional point, reserved for credits to collaborating institutions, financial sources, etc.
- j) In the **references**, only those quoted in the paper will be included. They must be listed alphabetically by author's last names, separated

by a blank line. The APA citation system should be utilized; in the following links you could find information about this citation system: <http://www.apastyle.org/learn/tutorials/basics-tutorial.aspx>

- k) The **tables** must be utilized to present results. The heading will come on top with upper and lower case letters. In the original version for review, they must be included in the body of the text. For the corrected version after evaluation, they should be sent in a Word file, separate from the body of the manuscript file.
- l) The **illustrations** (pictures, diagrams, graphs, etc.) must be utilized when they contribute to present the information in the clearest way. Figures in black and white or color, when necessary, with excellent resolution and contrast may be accepted. The figures captions shall be written on the bottom and with lower case letters; in the text they will be mentioned as "figure X" or in parenthesis as (Fig. X). In the original version for reviewing, figures must be included in the manuscript. For the corrected version after evaluation, they should be sent in separate files, see details in «Final presentation» below.
- m) **Units**. SI system will be used.
- n) **Notations**. The nomenclature of the equations must be listed under each one. Similarly, the abbreviations used in the tables must be defined at the foot of the table.

The manuscripts that do not conform to the format will not be sent to the reviewers. Also, the authors must sign the format of "Confirmation of unpublished manuscript" which must be uploaded into the system as an additional file.

FINAL PRESENTATION

accepted manuscripts must be delivered through OJS, keeping the original format (paper size, font size, page numbering, etc.). However, illustrations and tables must not be included in the text file. They must be uploaded in image format (JPG, TIFF, etc. no Word files); if they are vectorial images, they may be pdf or eps files. Tiff and jpg files must be produced in 300 dpi at least (considering the final size of the figure, i.e. if they are going to be printed in a column width, they must be 1050 dots at least; if they are going to be printed full text box width, they must be 2200 dots at least. Tables must be sent in a separate Word file (not in the main text file). **Hard copies of the documents are not required.**

Madera y Bosques

vol. 22 Núm. 3 Otoño 2016

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2016
En los talleres de Fís. Arturo Sánchez y Gándara
Cuapinol 52, Colonia Pedregal de Santo Domingo,
Delegación Coyoacán, C.P. 04369, México, D.F.

La edición consta de 100 ejemplares
más sobrantes para reposición.

C contenido

05

Editorial

artículos científicos

Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: the case of *Oecopetalum mexicanum*
Maite Lascurain, Citlalli López-Binnquist y Marla R. Emery

11

Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México
Griselda Chávez-Aguilar, Gregorio Ángeles-Pérez, Marlín Pérez-Suárez, Miguel Angel López-López, Edmundo García-Moya y Craig Wayson

23

Diversidad, composición florística y estructura en el Chaco Serrano, Argentina
Patricia Hernández y Ana María Giménez

37

Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) de diferentes edades
Liliana Y. López-Reyes, Marivel Domínguez-Domínguez, Pablo Martínez-Zurimendi, Joel Zavala-Cruz, Armando Gómez-Guerrero y Saúl Posada-Cruz

49

Abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca
Arianne Ríos-Altamirano, Cecilia Alfonso-Corrado, Víctor Aguirre-Hidalgo, Gregorio Ángeles-Pérez, Magdalena M. Mendoza-Díaz, Viviana Rodríguez-Rivera, Eusebio Roldán-Félix y Ricardo Clark-Tapia

61

Estructura y composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la Empresa Agroforestal Minas, Cuba
Yatsunaris Alonso-Torrens, Fernando Ramón-Hernández Martínez, Héctor Barrero-Medel, Germán López-Ibarra, Nora Madanes y Judith Prieto-Méndez

75

Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba
María Amparo León-Sánchez, Jorge Luís Reyes-Pozo, Grisel Herrero-Echevarría y Víctor Ernesto Pérez-León

87

Evaluación de dos barnices mediante intemperismo acelerado, aplicados en madera de plantaciones
Juana Laura Rivera-Nava, Amparo Borja de la Rosa, Alejandro Corona-Ambriz, Rogelio Flores-Velázquez y Roberto Machuca Velasco

103

Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México
Carmen de la Paz-Pérez Olvera y Raymundo Dávalos-Sotelo

113