



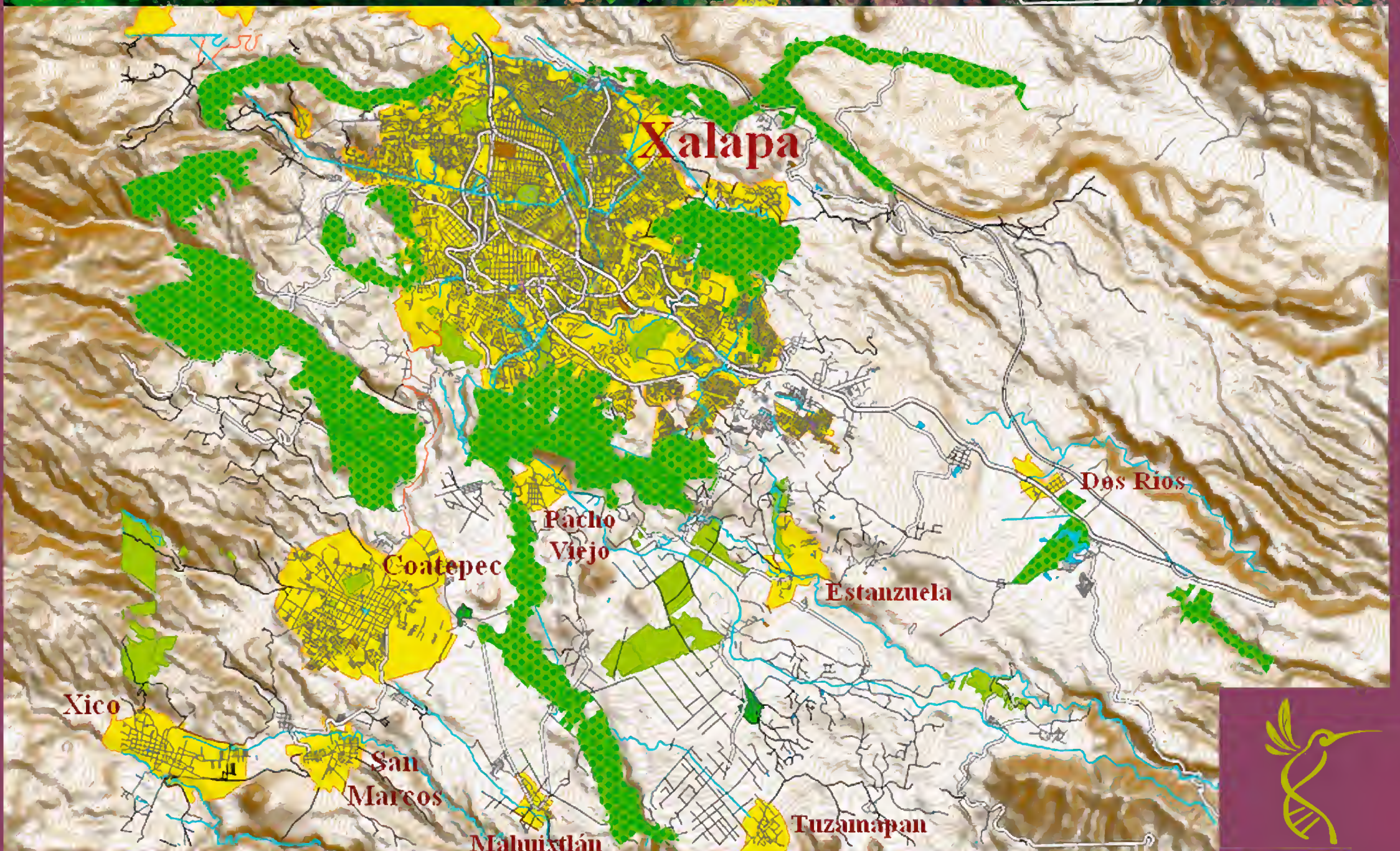
ISSN 1405-0471

Maderay y Bosques

Vol. 21, Núm. especial • Invierno2015 • Xalapa, Ver.



Impacto de la investigación científica





Madera y Bosques

vol. 21 núm. Especial 2015



comité editorial

- Dr. Óscar Aguirre Calderón**
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- M. I. Miguel Cerón Cardena**
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 21, núm. especial, noviembre 2015, 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, ambos otorgados 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 09 de noviembre de 2015 con un tiraje de 200 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 2015 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 de actualidad

7

Una forma de evaluar el impacto de la investigación científica
Raymundo Dávalos-Sotelo

17

Manejo forestal en el siglo XXI
Oscar Alberto Aguirre-Calderón

artículos científicos

31

Evaluation of chemical compositions, air-dry, preservation and workability of eight fastgrowing plantation species in Costa Rica
Róger Moya, Cynthia Salas, Alexander Berrocal y Juan Carlos Valverde

revisiones bibliográficas

51

El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos?
Guadalupe Williams-Linera

63

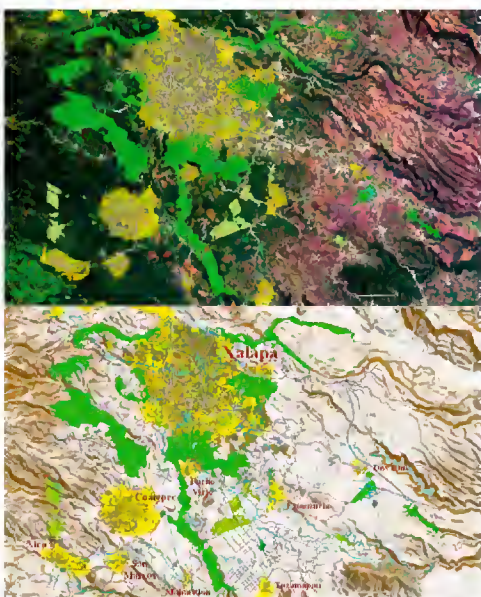
Wood preservation using natural products
Rubén Francisco González-Laredo, Martha Rosales-Castro, Nuria Elizabeth Rocha-Guzman, José Alberto Gallegos-Infante, Martha Rocío Moreno-Jiménez y Joseph J. Karchesy

77

Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación
José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz, Adolfo Galicia Naranjo, Nuria Julieta Venegas Mancera, Tomás Hernández Tejeda, María de Jesús Ordoñez Díaz y Raymundo Dávalos-Sotelo

Portada:
Imágenes del Área Natural
Protegida "Bosques y Selvas de
la Región Capital del Estado de
Veracruz", derivadas de un SIG.

Imágenes:
José Luis Álvarez Palacios
Red de Ambiente y
Sustentabilidad
Instituto de Ecología, A.C.



C Contents

topical papers

7

One way to evaluate the impact of scientific research

Raymundo Dávalos-Sotelo

17

Forest management in the XXI Century

Oscar Alberto Aguirre-Calderón

scientific papers

31

Evaluación de la composición química, secado al aire, preservación y trabajabilidad de ocho especies de rápido crecimiento en plantación de Costa Rica

Róger Moya, Cynthia Salas, Alexander Berrocal and Juan Carlos Valverde

literature reviews

51

Tropical montane cloud forest, twenty years of ecological research. What have we done and where are we going?

Guadalupe Williams-Linera

63

Preservación de la madera usando productos naturales

Rubén Francisco González-Laredo, Martha Rosales-Castro, Nuria Elizabeth Rocha-Guzman, José Alberto Gallegos-Infante, Martha Rocío Moreno-Jiménez and Joseph J. Karchesy

77

Density of Mexican woods by vegetation type based on J. Rzedowski's classification: compilation

José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz, Adolfo Galicia Naranjo, Nuria Julieta Venegas Mancera, Tomás Hernández Tejeda, María de Jesús Ordoñez Díaz and Raymundo Dávalos-Sotelo

Cover:
GIS images of Natural
Protected Area "Forests of
Xalapa, Ver. region".

Images:
José Luis Álvarez Palacios
Red de Ambiente y
Sustentabilidad
Instituto de Ecología, A.C.





Una forma de evaluar el **impacto** de la **investigación** científica

One way to evaluate the impact of scientific research

Raymundo Dávalos-Sotelo¹

¹Instituto de Ecología, A.C., Red de Ambiente y Sustentabilidad, Xalapa, Ver.
raymundo.davalos@inecol.mx

RESUMEN

El criterio más usado internacionalmente para evaluar las revistas científicas se basa en el valor del Factor de Impacto (*FI*) generado de la base de datos *Journal of Citation Reports (JCR)* publicado anualmente en la plataforma *Web of Science* de *Thomson Reuters*. El argumento central de este artículo es que la forma más completa de evaluar el trabajo de los científicos es a través de métricas de fácil acceso y de alcance general como el índice *h* de Hirsch a partir de la base de datos de *Google Académico*, más algunas otras consideraciones. Se reconoce que si se trata de medir el impacto de la investigación en ámbitos meramente académicos, el Factor de Impacto (*FI*) del *JCR* es el medio más adecuado, pero si se trata de medir el impacto de la investigación en el mundo real, entonces se deben usar otras métricas y criterios de valoración. Aquí se sugiere que con la información incluida en la plataforma de *Google Scholar* se refleja de una manera más natural el verdadero alcance de las publicaciones entre un público usuario más heterogéneo. Para los países en vías de desarrollo, se destaca que es más importante definir sus políticas de apoyo a la investigación que el buscar la mayor visibilidad internacional o relevancia global de sus revistas. Se ha demostrado aquí que el mensaje es lo importante y no el medio. Sin embargo, las revistas científicas merecen la mayor de las atenciones por parte de las instancias responsables de las ciencias en los países en vías de desarrollo.

PALABRAS CLAVE: *cienciometría, factor de impacto, Google Scholar, índice h, Thomson Reuters.*

ABSTRACT

The internationally most widely used criterion to evaluate scientific journals is based on the value of the impact Factor (*FI*) generated from the *Journal Citation Reports (JCR)* database published annually on the *Web of Science* platform from *Thomson Reuters*. The central argument of this article is that the most complete form of evaluation of the work of scientists through metrics of easy access and general scope as the index *h* of Hirsch from the database of *Google Scholar*, plus some other considerations. The author recognizes that if the goal to achieve is to measure the impact of purely academic research, the *JCR* impact Factor (*FI*) is the most appropriate means, but if the objective is to measure the impact of research in the real world, then other metrics and assessment criteria should be used. Here it is suggested that the true relevance of the publications is reflected in a more natural way among a heterogeneous user audience with the information included in the *Google Scholar* platform. For developing countries, the paper highlights that it is more important to define their policies of support for research than to seek greater international visibility or global relevance of their journals. It has been shown here that the message is the important subject matter and not the means of publication. Nevertheless, scientific journals do deserve indeed the greatest attention by the responsible authorities of the sciences in developing countries.

KEYWORDS: *sciencometrics, impact factor, Google Scholar, h index, Thomson Reuters.*

INTRODUCCIÓN

El criterio más usado internacionalmente para evaluar las revistas científicas se basa en el valor del Factor de Impacto

(*FI*) generado de la base de datos *Journal of Citation Reports (JCR)* publicado anualmente en la reconocida plataforma *Web of Science* de la empresa *Thomson Reuters*

(http://wokinfo.com/products_tools/analytical/JCR/). Este factor se basa en el número de citas recibidas por los artículos publicados en cada revista incluida en la base de datos del *JCR*. Aunque el *FI* es el elemento más reconocido y usado a escala internacional, no está exento de críticas y polémicas. Tal vez la principal es que se hasta hace pocos años se centraba mayoritariamente en publicaciones generadas en idioma inglés en países del mundo desarrollado e ignoraba la mayor parte de las publicaciones escritas en otros idiomas de otras partes del planeta. La empresa *Thomson Reuters* ha sido sensible a estas críticas y desde hace algunos años ha tomado ciertas medidas para ampliar la base de revistas incorporadas en el índice y, más recientemente, para emplear criterios adicionales para valorar el impacto de los artículos de las revistas científicas.

Existen otros indicadores bibliométricos para medir el impacto de las revistas pero ninguno ha alcanzado hasta ahora la estatura y el prestigio del índice *JCR*. Entre esos índices podemos mencionar al de la organización *Scimago* (<http://www.scimagojr.com/>) que maneja la base de datos *Scopus* de la Editorial *Elsevier* (<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>), el *Scielo Citation Index* de la organización *Scielo* (<http://www.scielo.org/>) de alcance Iberoamericano con la adición de revistas de algunos países de fuera del área como Sudáfrica y la India. Un índice de acceso abierto que por razones naturales tiene la más amplia difusión, es el del motor de búsqueda de documentos *Google*: el índice *Google Académico* (*Google Scholar* en idioma inglés) (<http://scholar.google.com.mx/>).

Cuando el objetivo de la evaluación es estimar el impacto del trabajo de investigadores individuales, el uso del *FI* de las revistas donde publica también se convierte en un tema controversial. El propio creador del *JCR* - originalmente conocido como *Science Citation Index (SCI)* - el Dr. Eugene Garfield, admite que este es un tema controversial, aunque aclara que la solución para evaluar de manera justa el trabajo de los científicos no es sencilla (Garfield, 2007).

El argumento central de este artículo es que la forma más completa de evaluar el trabajo de los científicos es a

través de métricas de fácil acceso y de alcance general y eso se logra de la mejor manera con el índice *h* de Hirsch¹ (Hirsch, 2005) a partir de la base de datos de *Google Académico*, más algunas otras consideraciones que no pueden expresarse numéricamente, pero si a través de medios indirectos. Para el caso de las revistas del área forestal, cuando menos, esta misma propuesta ha sido planteada formalmente por Vanclay (2008). Es cierto que esta base de datos no tiene el rigor científico de bases más reputadas (*JCR*, *Scimago*, *Scielo*) y recoge citas de muchos trabajos que no están publicados en revistas indizadas pero, ese es precisamente el punto que deseamos destacar: la información científica de acceso abierto está al alcance de cualquier persona con acceso al internet y eso le permite hacer uso de ella para los fines que le resulten convenientes y en muchas ocasiones ese uso no es siquiera para fines académicos convencionales, aunque a veces esa forma de emplear la información es para fines mucho más importantes. Por cierto, la plataforma *Web of Science* también tiene su propio índice *h* calculado con la información de su base de datos. Toda la información de la plataforma *Web of Science* está restringida para el uso de sus suscriptores exclusivamente.

Usuarios de la información

Los artículos científicos publicados en la actualidad reciben mucha mayor difusión que en el pasado sobre todo debido a los medios electrónicos que existen en esta época (la red mundial Internet), por lo tanto, llegan a mucha mayor cantidad de usuarios que en épocas anteriores. Esto representa una enorme ventaja para los usuarios de la información. Con los buscadores actuales, cualquier persona puede tener acceso literalmente instantáneo a una extraordinaria cantidad de información solamente con una computadora que tenga acceso al internet. Resulta interesante y revelador investigar quienes son los usuarios de esta información.

¹ El índice *h* de los artículos publicados en un período establecido es el número mayor *h* en cuanto a que *h* artículos publicados en ese período deben tener al menos *h* citas cada uno.



En una tesis doctoral completada recientemente Juan Carlos Alperín (Alperín, 2015) explora la amplitud del impacto y alcance de los trabajos de investigación publicada en América Latina, donde la vasta mayoría de los trabajos es de acceso abierto. Alperín concluye que el impacto real de las publicaciones científicas de esta parte del continente llega mucho más allá del ámbito estrictamente académico. Analiza la forma en que el impacto de la investigación se mueve en esferas mucho más amplias que las confinadas a contar meramente el número de citas que ha sido la materia prima de la bibliometría convencional, que ha dominado el entorno académico mundial por más de 50 años. Para establecer quienes son los usuarios de la investigación en América Latina, así como sus motivaciones, el autor utilizó una serie de sondeos simples que estuvieron a la vista de los usuarios de los dos más grandes portales de publicaciones científicas de América Latina: *Scielo* y *REDALYC* (<http://www.REDALYC.org/>).

Los resultados, analizando miles de respuestas, indican que solo una cuarta parte del empleo de esos trabajos en América Latina está hecho para usuarios del ámbito académico tradicional. La mayoría del uso es de las comunidades no relacionadas directamente con el campo científico, es decir, estudiantes (alrededor de 50% del uso total) y personas interesadas por razones profesionales o personales (colectivamente alrededor de 20% del uso total). Al relacionar las respuestas de la encuesta a los artículos que se leen, también fue posible identificar puntos de convergencia y divergencia en estudiantes, profesores y grupos de interés público. Finalmente, este estudio empleó métodos de un campo nuevo de investigación, denominado *altmetrics*, en un intento de capturar el compromiso con la investigación en la red social.

Alperín ha puesto el dedo en la llaga acerca del impacto de las publicaciones científicas en nuestro subcontinente y nos presenta información objetiva y contundente acerca de algo que intuitivamente sospechábamos: el alcance real de las publicaciones científicas que se elaboran en esta parte del mundo. Con sus descubrimientos ahora sabemos que solamente 30% de los lectores o usuarios de esa información son científicos (investigadores o

académicos) profesionales, 50% aprox., son estudiantes y el otro 20% son el público general, es decir que en las mejores circunstancias, solamente un tercio de los que consultan esa información tiene la posibilidad real de citarla alguna vez como antecedente de sus propias investigaciones. Del uso que le da el 70% restante, muy poco se dice en los círculos académicos. A mi juicio aquí está el verdadero meollo del asunto: ¿a quién va dirigida la información científica que generamos? Al parecer a no-científicos. Si ese es el caso, entonces las limitaciones de los factores de impacto (*FI*) o medidas bibliométricas convencionales son evidentes.

La información que nos permite extraer el *FI* de Thomson Reuters o medidas equivalentes no es despreciable, desde luego. Cuando menos nos señalan la importancia que nuestros colegas científicos le otorgan a nuestro trabajo, lo que no es poca cosa. Pero, ¿cómo medimos el impacto fuera de estos círculos? Se me ocurre que en el caso de los estudiantes, el impacto es claro pues muchos de los artículos que los estudiantes leen van a ser citados como fuentes en sus propias tesis de diferentes niveles. A estas citas nadie les concede ninguna importancia o valor en el entorno académico de nuestras instituciones, incluyendo el Sistema Nacional de Investigadores – SNI – de México, pero es indiscutible que las publicaciones así citadas tienen un gran valor didáctico, cuando menos. Muchos de estos trabajos o productos académicos también se usan como bibliografía recomendada en cursos de enseñanza superior en nuestros países y esos usos, por supuesto que no generan citas de ninguna clase, pero tienen un inmenso valor como apoyo al trabajo de los docentes (ver por ejemplo: “Links para la carrera de Ingeniería en Industria de la madera”: 1)Revista *Madera y Bosques*– <https://biblioteca-regionaledorado.wordpress.com/>).

Ejemplos de investigaciones de alto impacto

Con respecto al beneficio que puede obtener el público usuario de esta información, se me ocurren un número de ejemplos que podría citar. Voy a usar cuatro casos que conozco de primera mano que ilustran estas posibles situaciones:

Un artículo publicado en la revista *Madera y Bosques* (Williams-Linera *et al.*, 2002) (que por cierto es el más citado de la revista según el motor *Google Académico* (124 citas) y también tiene no pocas citas (44) en la *Web of Science* de *Thomson Reuters*), ha sido empleado como soporte principal de la argumentación por el Gobierno del Estado de Veracruz para decretar Áreas Naturales Protegidas en la región metropolitana de Xalapa, Ver. y municipios circunvecinos (Gaceta Oficial, 2015) utilizando el concepto de reservas archipiélago planteado originalmente por Halffter (2007). El punto central de la publicación de Williams-Linera *et al.* (2002) es que el bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz es un ecosistema que está en peligro de desaparecer. En 1993 solo se contaba con 10% del bosque original de la región, cifra que seguramente ha disminuido en los últimos años. Según señala la Gaceta Oficial 211, una amplia verificación de campo y los datos del sistema de información geográfica indican que la situación en la región es crítica: solo quedan 19 fragmentos de bosque de niebla relativamente no perturbado. Sin embargo, aún se encuentran muchos fragmentos de bosque perturbado. La conservación de los

remanentes del bosque, así como la rehabilitación y restauración ecológica de éstos es necesaria como parte de un plan de desarrollo regional que considere la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales del bosque en la región. En atención a estos argumentos y a otros descritos en publicaciones y estudios similares, el Gobierno del Estado de Veracruz consideró necesario emitir un Decreto de Área Natural Protegida que establece un cuadro preciso con coordenadas que definen los polígonos considerados en términos de la Ley Estatal de Protección Ambiental, como Área Natural Protegida en la categoría de Reserva Ecológica Restrictiva. Los siete polígonos descritos en la Gaceta 211 se presentan en la figura 1. Es difícil pensar en algún mejor uso de la información científica publicada que la de servir como justificación y apoyo para la conservación del patrimonio natural de los habitantes de la región. De nuevo, estos usos no generan una sola cita académica en los términos del *FI* pero su impacto en la sociedad será perdurable ¿Cómo medir esto con justicia?

El segundo ejemplo que quiero citar trata del verdadero impacto de la investigación que ni siquiera se publica en revistas científicas. Me refiero a los trabajos de la Dra.

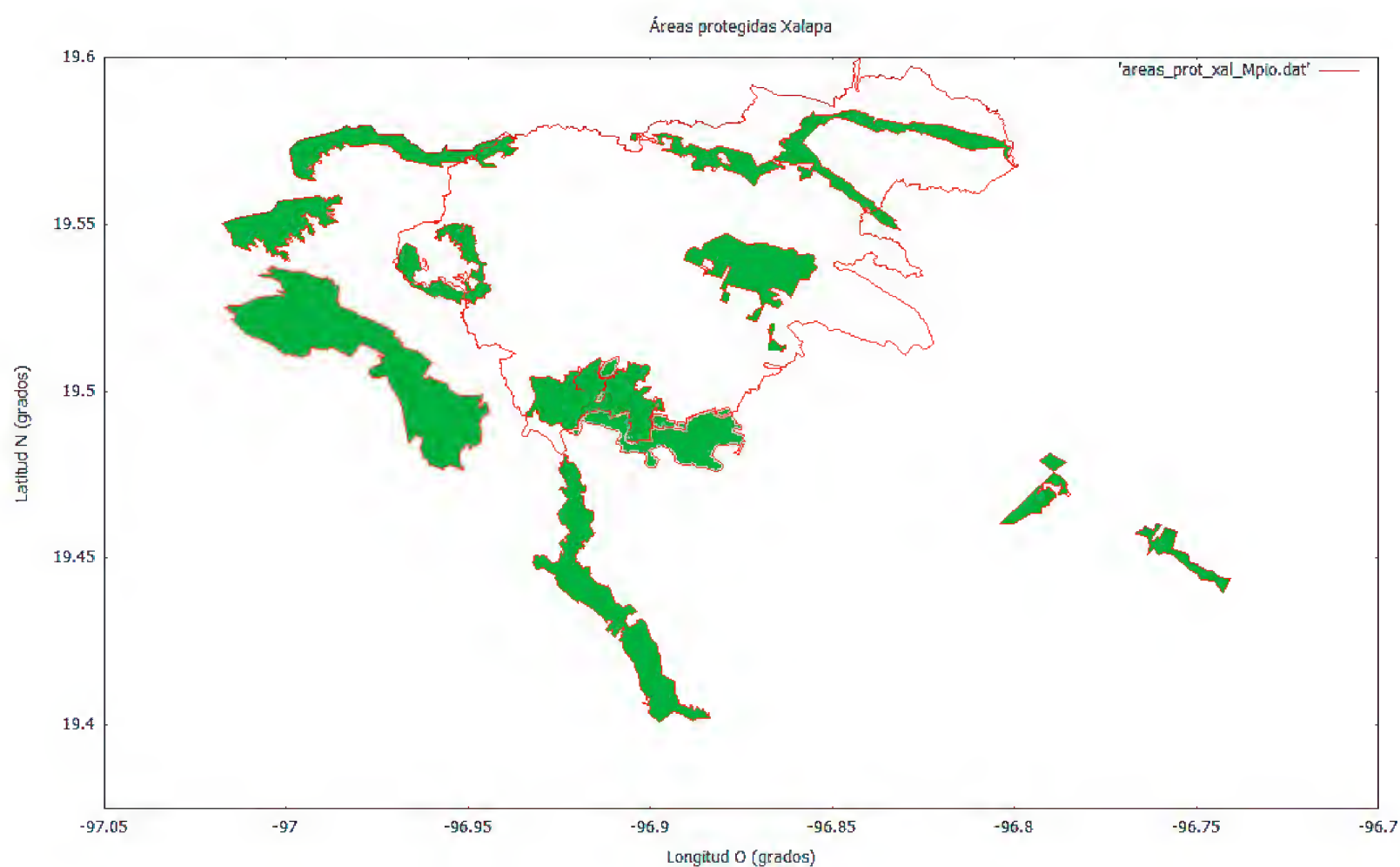


FIGURA 1. Reservas archipiélago de la región de Xalapa, Ver.



Ivette Perfecto, académica de la Universidad de Michigan, EUA: <http://www-personal.umich.edu/~perfecto/Home.html>. La Dra. Perfecto y sus colegas trabajan en agroecosistemas de café con sombra, los cuáles albergan muchas especies de artrópodos, algunas dañinas y otras beneficiosas. Este grupo ha estado investigando una red de interacciones ecológicas directas e indirectas entre un grupo de artrópodos que habitan el agroecosistema de café en el Soconusco de Chiapas y otros lugares y naturalmente publican los resultados de su investigación en las revistas de mayor prestigio (y mayor factor de impacto) internacional (Williams-Guillén *et al.*, 2008; Vandermeer *et al.*, 2008; Perfecto *et al.*, 2014). Como eje de esta red se puede mencionar la asociación entre la hormiga *Azteca sericeasur* y la escama verde, *Coccus viridis*. Esta asociación mutualista atrae otras especies que, en conjunto contribuyen al control biológico de varias plagas de café, incluyendo a la escama verde. Este sistema incluye interacciones no-lineales, así como una dimensión espacial importante. Sin embargo, las publicaciones mencionadas están fuera del alcance de los productores de café en las regiones donde ellos trabajan. Confrontados con la tarea y el compromiso moral, ético y profesional de comunicar la importancia de la complejidad ecológica a los agricultores, la Dra. Perfecto y sus colegas de ECOSUR han desarrollado un juego de mesa llamado “Ajedrez Azteca” (<http://www.mexicoambiental.com/v2/plagas-del-cafe-seminarios-con-expertos-en-el-inacol/>). Este juego se ha difundido entre los productores y campesinos que trabajan en esas fincas de la región y ha tenido una notable acogida, a grado tal que ya se han llevado a cabo, varios torneos con buen número de participantes. Ha resultado una forma muy efectiva de transmitir de una manera sencilla y asequible para los jugadores, la complejidad de los ecosistemas, de una forma lúdica y amena, quienes como resultado, comprenden mejor la importancia de mantener la biodiversidad en sus fincas. Lo más notable es que esto ni siquiera se publica en revistas de corte científico, pero es el trabajo académico de la Dra. Perfecto y sus colegas lo que les permite idear métodos de difusión de sus trabajos entre los principales interesados, sin preocuparse siquiera

acerca de asuntos como citas, que en este contexto, resultan triviales.

Para afrontar el reto que representa el cambio climático al manejo y conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) del país, la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (Conanp) de México ha puesto en práctica una *Estrategia de Cambio Climático para Áreas Naturales Protegidas de México (Eccap)* con la cual busca garantizar la adecuada ejecución de las estrategias y medidas de mitigación y adaptación en áreas naturales protegidas, a través del desarrollo de capacidades, la asistencia técnica y financiera en el personal y sus socios estratégicos. Uno de los temas identificados y que la Conanp considera estratégico para la gestión de las ANP es el de los ecosistemas centinelas considerando la vulnerabilidad y resiliencia en el contexto del cambio climático. Ese es precisamente el tema de un trabajo de Yáñez-Arancibia *et al.* (2014) publicado en la primera parte del número especial del 20 aniversario de la revista *Madera y Bosques*. En atención a esa publicación, el primer autor, el Dr. Alejandro Yáñez Arancibia fue invitado por la Semarnat y la Conanp a impartir una conferencia a los responsables de la administración de las ANP del país dentro del Segundo Ciclo de Conferencias sobre Cambio Climático con el fin de contribuir al fortalecimiento del personal de la Conanp para el manejo de las ANP en el contexto del cambio climático. Con esto se demuestra que el impacto de este manuscrito rebasa con mucho el ámbito meramente académico y tiene influencia significativa en la definición de las políticas públicas del país.

El último ejemplo que deseo citar es el del trabajo del Profesor Lucien Schmit en el ámbito de la optimización en Ingeniería Estructural. Uno de sus más destacados discípulos, el Dr. Garret Vanderplaats, fundador y director General de la importante empresa tecnológica Vanderplaats Research & Development, Inc., (VR&D), escribió una breve reseña de los principales desarrollos en el tema de la síntesis estructural desde su creación en 1960 hasta 2010 (Vanderplaats, 2010) donde relata la carrera del Prof. Schmit y el enorme impacto que tuvo en sus discípulos. El Prof. Schmit presentó un trabajo en una conferencia deta-

lizando los principios básicos de la síntesis estructural y tuvo el buen tino de distribuirlo a todos sus alumnos, asociados y colegas (Schmit, 1960). El Dr. Vanderplaats destaca que ese documento se convirtió en un clásico dentro del campo y fue la base de un gran desarrollo en el campo de la tecnología. Ese fue el principal trabajo académico publicado por el Prof. Schmit y nunca fue publicado en una revista arbitrada, sin embargo, las ideas contenidas en dicha publicación generaron literalmente miles de artículos técnicos, cientos de empleos profesionales y ahora han madurado hasta el punto de que las aplicaciones prácticas de la optimización se han vuelto rutinarias justo en la época en que el mundo empieza a reconocer la importancia de conservar los cada vez más escasos recursos de que disponemos.

El común denominador de estos trabajos es la calidad intrínseca de la investigación que es la que les otorga la relevancia que han alcanzado y no necesariamente por haber sido publicada en una revista de alto impacto (“del primer cuartil”). Otro elemento en común es que los cuatro autores principales de los trabajos citados como ejemplos de investigaciones de gran impacto son autoridades reconocidas en sus respectivos campos de trabajo. Como corolario podemos decir que el medio de difusión no es el elemento más importante para la valoración del resultado de los trabajos de los investigadores sino la calidad de sus trabajos de investigación y la excelencia de los investigadores mismos. Este tipo de investigaciones de esta clase de investigadores rebasan con mucho los estrechos confines de los círculos académicos donde nos desenvolvemos rutinariamente los investigadores.

A manera de resumen, a partir de estos ejemplos, podemos citar cuando menos cuatro áreas donde el impacto de los trabajos de investigación puede ser muy grande:

- Conservación de áreas protegidas y de recursos naturales en general
- Aplicaciones prácticas de la investigación en el manejo de los recursos naturales
- Generación de políticas públicas
- Innovación y desarrollo tecnológico

Por supuesto que esta lista se puede ampliar a muchas otras áreas del conocimiento y de la vida cotidiana. Por ejemplo, la investigación biomédica igualmente puede alcanzar impactos de enorme trascendencia sin que sea necesariamente a través de las revistas científicas habituales.

Nuevos criterios de valoración del impacto de las publicaciones científicas

Los creadores y los actuales directivos de las empresas u organizaciones que evalúan el impacto de las revistas no han sido omisos en observar los cambios en las tendencias mundiales de la difusión de la investigación científica y han tomado ya algunas medidas para seguir a la vanguardia en este ámbito. Tomemos el caso de *Thomson Reuters* que continúan siendo propietarios del medio más prestigiado para la evaluación de las publicaciones científicas. El *Science Citation Index* fue planteado por primera vez en 1955 por el Dr. Eugene Garfield. No fue sino hasta 1964 que se lanzó la primera versión operativa de dicho índice. La primera edición del *SCI Journal Citation Reports* vio la primera luz oficialmente en 1975. Es a partir de esa fecha que el campo de la cienciometría, como un patrón de medición de la actividad científica, se ha desarrollado de manera espectacular (Garfield, 2007). Atentos a las críticas de que el *JCR* ignoraba la mayor parte de los desarrollos científicos que se generaban fuera de Norteamérica y Europa Occidental, la empresa *Thomson Reuters* tuvo una importante expansión en la segunda mitad de la primera década de este siglo incrementando de manera significativa el número de revistas de impacto regional en América Latina, Asia, el Medio Oriente y África. Del año 2005 a 2010 la *Web of Science (WofS)* aumentó su cobertura global en 2906 revistas, lo que representó un incremento de 35%. Para el final del año 2010 la *WofS* cubría 11 739 revistas científicas publicadas en 87 países diferentes. (Testa, 2011). Es importante recalcar que en todos los casos, los responsables de la inclusión de revistas en el índice, han enfatizado que han mantenido el mismo rigor académico y los mismos criterios de aceptación que para las revistas aceptadas anteriormente (o después).



En ese mismo tenor, en fechas recientes, *Thomson Reuters* estableció alianzas estratégicas con organizaciones como *Scielo* y *Google Scholar* para generar enlaces entre las diversas bases de datos que atienden originalmente a mercados diferentes. Como resultado de estas alianzas, se ha generado el *Scielo Citation Index* que abarca todas las revistas aceptadas por esta organización y está integrado formalmente en la página electrónica del *Web of Science* en un apartado especial. Para el caso de *Google Scholar*, también se cuenta con la posibilidad de conocer de manera simultánea el número de citas que obtiene un artículo en las respectivas bases de datos. Para ejemplificar, el artículo de Williams-Linera *et al.* (2002) tiene 44 citas en el *Web of Science* y 124 en *Google Scholar* (cuantificado al día 14 de octubre de 2015), es decir que las citas del *WofS* representan 35% del total de citas de dicho artículo. Las otras 80 veces (65%) que el artículo ha sido citado es por estudiantes de diversos niveles académicos y por otros usuarios del público en general entre los que seguramente podemos contar, sin duda, a los responsables de la gestión y manejo de los recursos forestales de esta región. Este 65% de usuarios no le otorgará nunca una cita académica al trabajo de estos autores en el sentido tradicional, pero si hará buen uso de esta información para sus fines particulares que, a final de cuentas, es lo verdaderamente importante y es a lo que podemos aspirar los científicos. Es importante aclarar que esta información concatenada está solamente disponible a los suscriptores al servicio de la *WofS*, es decir, que no es de libre acceso a diferencia del *Google Scholar* convencional.

Un elemento importante adicionado recientemente a la base de datos *WofS* es el *Conteo de Uso*. Esto se ha incorporado a la base de datos para medir el nivel de interés en un elemento específico de la plataforma *WofS*. El conteo refleja el número de veces que el artículo cubrió las necesidades específicas de información de un usuario, demostrado a través de los clics en los enlaces digitales al artículo completo en el sitio web de la editorial o por el hecho de guardar el artículo para usarlo en una herramienta de gestión bibliográfica. Este registro de uso se lleva para los últimos 180 días y desde 2013. Esto resulta

útil para estimar el interés en artículos recientemente publicados que aún no han recibido citas. Por ejemplo, podemos citar un artículo de la revista *Madera y Bosques* publicado en 2014 que aún no ha sido citado formalmente pero si ha sido objeto del interés de muchos usuarios. Se trata del artículo de Faba *et al.* (2014). Para el día 14 de octubre de 2015 registra cero citas en el *WofS* pero tiene registrados 12 usuarios en los últimos 180 días y 27 desde 2013 (o más bien 2014 en este caso). Esto refleja que el tema de los biocombustibles atrae gran interés en estos tiempos. Con toda seguridad, cuando los artículos escritos por los investigadores que hayan consultado le otorgarán un buen número de citas pero no se puede decir lo mismo de los lectores que se interesan en el tema para otros fines, fundamentalmente empresariales.

Por su parte, la Editorial *Elsevier*, propietaria de la plataforma *Scopus* se ha asociado con la organización *Scimago* para difundir los análisis bibliométricos realizados a partir de su base de datos que es más amplia que la de *Thomson Reuters*. El índice de *Scimago* es el principal competidor de la *WofS* y hasta la fecha es de acceso abierto lo que seguramente ha contribuido a su difusión y popularidad.

Contribución al debate sobre el acceso abierto de las publicaciones

Uno de los temas que más discusión ha generado en los círculos científicos mundiales ha sido el del acceso abierto de las revistas. Existen posiciones muy encontradas y los argumentos en pro y en contra de esta forma de publicación se debaten intensamente de manera cotidiana. Es un hecho que en Latinoamérica donde la mayoría de la investigación es subsidiada por los gobiernos, el acceso abierto es la forma preferida de publicación, aunque ya se observan ciertas tendencias al cambio en algunos países, sobre todo cuando los recursos gubernamentales para la ciencia empiezan a reducirse por los constreñimientos fiscales de esos gobiernos. Ese debate se dio intensamente durante el encuentro académico *Entre Pares 2015* (<http://entrepares.conricyt.mx/>), recientemente celebrado en Mérida, Yuc., México y seguramente seguirá dándose de manera intensa,

animada y apasionada por largo tiempo. Para fines de este artículo, pienso que el acceso abierto en la modalidad de que no hay costo para los lectores es la mejor receta para difundir la información científica en los países menos desarrollados porque así se alcanza una mayor penetración de la información generada por los investigadores.

El idioma de publicación también es relevante para fines de distribución local de la información. Seguramente, las revistas cuyo idioma de publicación sea diferente al inglés nunca alcanzarán los factores de impacto de las revistas establecidas y publicadas en inglés, pero para alcanzar un impacto local y regional amplio es indispensable que se publiquen en el idioma mayoritario del país donde se publiquen.

Comentarios finales acerca del tema

Deseo concluir este ensayo repasando los argumentos aquí planteados. En primer lugar, quisiera mencionar que si se trata de medir el impacto de la investigación en ámbitos meramente académicos, el conocido Factor de Impacto (FI) del *JCR* es el medio más adecuado por ser sistemático, preciso y matemáticamente sólido, pero si se trata de medir el impacto de la investigación en el mundo real, afuera de las paredes de las instituciones académicas, entonces deberemos usar otras métricas y criterios de valoración. Es en este punto es donde cobra mayor importancia un buscador de citas como el *Google Scholar* por ser de acceso abierto y por reflejar de una manera más natural el verdadero alcance de las publicaciones entre un público usuario más heterogéneo. Para esta plataforma el índice *h* es el más apropiado, toda vez que es más directo y simple de calcular y porque en su esencia contiene la información relevante de las revistas que escudriña. El índice *h* da una verdadera medida de la relevancia de las revistas analizadas, pues refleja la importancia concedida a un conjunto de artículos durante todo el período de análisis que es de más de dos años que es el período que maneja el Factor de Impacto.

Para los países en vías de desarrollo, es más importante definir sus políticas de apoyo a la investigación que el buscar la mayor visibilidad internacional o relevancia

global de sus revistas. Se ha demostrado aquí que el mensaje es lo importante y no el medio. Se deben establecer con claridad las prioridades del desarrollo nacional y a partir de esta definición, financiar o auspiciar la investigación que atienda estas prioridades. Las revistas locales y regionales no deben ser descuidadas ni mucho menos abandonadas, sino más bien fortalecidas y reforzadas para que cumplan con su objetivo central de difundir la investigación que se hace en los países de la región de la mejor manera. No deberían invertirse los recursos escasos en buscar equipararlas o hacerlas competitivas con las revistas de empresas comerciales, pues a final de cuentas eso no resulta necesario siquiera. Los investigadores de estas regiones siempre tendrán la opción de publicar en esas revistas pero también deberán hacer una sincera reflexión acerca de a quien deben estar dirigidos los resultados de sus trabajos de investigación y hacia allá encaminar sus esfuerzos.

Notas sobre los artículos incluidos en este número especial

La revista *Madera y Bosques* cumplió 20 años de publicación ininterrumpida en 2014. Para conmemorar dicho aniversario el Comité Editorial decidió producir un número especial. Para ello invitó a los autores de los artículos más citados a escribir un trabajo con la actualización de los temas tratados en los artículos originales. Por razones logísticas y de condicionantes de producción editorial, el número se dividió en dos partes. La primera se publicó en 2014 incluyendo dos artículos (Lugo *et al.*, 2014; Yáñez Arancibia *et al.*, 2014). Para la segunda parte se incluyen cinco manuscritos de los autores que aceptaron colaborar para este número. El criterio de selección de los artículos invitados fue el número de citas. De inmediato surgió la pregunta: ¿en qué sistema de citación se debe basar la selección? De madera obligada se seleccionó el motor de búsqueda de *Google Scholar* puesto que todos los artículos invitados fueron publicados antes de 2008 el cual fue el primer año en que la revista *Madera y Bosques* fue incorporado al *Journal of Citation Reports (JCR)* de la empresa *Thomson Reuters*, que es hoy por hoy el estándar



por excelencia utilizado en el ámbito científico a nivel mundial y que por supuesto, es muy útil y valioso, pero que como ya dijimos, no está exento de controversias y polémicas. El punto central de este escrito es que, en general, los distintos motores de búsqueda están correlacionados y si un artículo recibe muchas citas en uno de ellos, también recibe bastantes en los otros, por lo que la diferencia de usar un buscado u otro no es significativa. De hecho, nuestro argumento es que el índice de citación de *Google Scholar* es más útil para mediar el eventual impacto de un manuscrito que el propio factor de impacto (FI) de *Thomson Reuters*. Más aún, postulamos que el verdadero impacto de la investigación científica no se mide con las citas que recibe sino con el uso que le da el público usuario de esa información. Para probar esta aseveración se presentan argumentos que la soportan.

A los autores de los artículos más citados se les invitó con la intención de que desarrollaran un tema relacionado con su campo de investigación que actualizara la información que presentaron en los artículos originales o sobre algún tema semejante igualmente importante. Podemos aseverar sin temor a equivocarnos que los artículos de este número especial representan lo más relevante de los temas de investigación que se han abordado en la revista. Por principio de cuentas, uno de los artículos que ya aparecieron en la primera parte de este número especial tiene a Ariel Lugo como autor principal (Lugo *et al.*, 2014). Ariel Lugo ha sido uno de los investigadores más citados en la base de datos del *Web of Science*, cuando menos hasta hace pocos años. Dos de los artículos que integran este número en sus dos partes complementarias, manejan la información que dio origen a dos de los ejemplos de investigaciones de alto impacto más allá de las estrechas fronteras del ámbito meramente académico. Son los trabajos ya citados de Williams-Linera *et al.* (2002) en su versión original y la versión actualizada (Yáñez-Arancibia *et al.*, 2014) de un artículo de Yáñez-Arancibia *et al.*, publicado originalmente en 1998. Para este número, la Dra. Williams presenta una contribución reseñando las investigaciones que se han hecho en el bosque mesófilo de montaña en los últimos 20 años. Esta revisión bibliográfica nos ilustra

acerca de lo que se sabe de este importante ecosistema y de lo que todavía nos falta por estudiar. Los otros investigadores que aceptaron colaborar con este número son:

- González Laredo *et al.*, quienes presentan una revisión de los preservadores para madera usando materias primas de origen natural.
- Aguirre Calderón quien escribió un artículo donde describe un criterio de manejo forestal adecuado para enfrentar los retos del siglo XXI.
- Moya *et al.* quienes disertan sobre la evaluación en la composición química, secado al aire, preservación y trabajabilidad de ocho especies de rápido crecimiento en plantación de Costa Rica.
- Ordóñez *et al.*, quienes hicieron una compilación de los datos de densidad de la madera por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski.

Tampoco tengo la menor duda que estos nuevos artículos serán igualmente relevantes para el campo de la ciencia forestal y de los productos forestales como lo fueron y lo siguen siendo, los artículos originales de estos autores. Los lectores podrán constatarlo por sí mismos.

REFERENCIAS

- Alperín, J.P. 2015. The public impact of Latin America's approach to open access. Tesis doctoral de la Universidad de Stanford. Palo Alto, CA.
- Faba, L., E. Diaz y S. Ordóñez. 2014. Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación. *Madera y Bosques* 20(3):11-24.
- Gaceta Oficial. 2015. Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Número Extraordinario, Tomo CXCI Xalapa-Enríquez, Ver., lunes 5 de enero de 2015, Núm. Ext. 006
- Garfield, E. 1955. Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas. *Science* 122:108-111
- Garfield, E. 2007. The evolution of the Science Citation Index. *International Microbiology* 10:65-69. DOI: 10.2436/20.1501.01.10 ISSN: 1139-6709

- Halffter, G. 2007. Reservas archipiélago: un nuevo tipo de área protegida. *In: Halffter, G., S. Guevara y A. Melic, eds. Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica. M3M: Monografías Tercer Milenio, Vol. 6: 281-286. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. 358 Pp.*
- Hirsch, J.E. 2005. An index to quantify and individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 102(46):16569-16572.
- Lugo, A.E., E. Medina y Kathleen McGinley. 2014 Issues and challenges of Mangrove conservation in the Anthropocene. *Madera y Bosques* 20(3):11-38.
- Perfecto, I., J. Vandermeer y S. M. Philpott. 2014. Complex ecological interactions in the coffee agroecosystem. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 45:137-58.
- Schmit, Jr. L. A. 1960. Structural design by systematic synthesis. 2nd Conference on Electronic Computation. Pittsburgh Pa. Septiembre 8-9, 1960.
- Testa, J. 2011. The Globalization of Web of Sciences: 2005-2010. Thomson Reuters. Philadelphia, PA.
- Vanclay, J. K. 2008. Ranking forestry journals using the h-index. *Journal of Informetrics* 2(4):326-334.
- Vandermeer, J., I. Perfecto, I., y S. M. Philpott. 2008. Clusters of ant colonies and robust criticality in a tropical agroecosystem. *Nature* 451 (7177): 457-459.
- Vanderplaats, G.N. (2010). Fifty years of structural synthesis: Some musings from a disciple of Schmit. *In: 13th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis Optimization Conference* p: 1-8.
- Williams-Guillén, K., I. Perfecto, y J. Vandermeer. 2008. Bats limit insects in a neotropical agroforestry system. *Science* 320 (5872):70-70.
- Williams-Linera, G., R.H. Manson y E. Isunza-Vera. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.
- Yáñez-Arancibia, A., J.W. Day, R.R. Twilley y R.H. Day. 2014. Manglares; ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques* 20(3):39-75.

Manuscrito recibido el 12 de febrero de 2015.

Aceptado el 15 de octubre de 2015.

Este documento se debe citar como:

Dávalos-Sotelo, R. 2015. Una forma de evaluar el impacto de la investigación científica. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):7-16.



Manejo Forestal en el Siglo XXI

Forest management in the XXI Century

Oscar Alberto Aguirre-Calderón¹

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México.
oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

RESUMEN

El manejo forestal sustentable en el siglo XXI es un principio que asegura la producción de diversos bienes y servicios a partir de los ecosistemas forestales de una manera perpetua y óptima, conservando siempre los valores de tales ecosistemas; es una estrategia de manejo de recursos naturales, en la cual las actividades forestales son consideradas en el contexto de las interacciones ecológicas, económicas y sociales, dentro de un área o región definida, a corto y largo plazo. El reto del manejo forestal sustentable es la gestión y utilización de los bosques y de los terrenos forestales de una manera y con una intensidad tales que conserven su diversidad biológica, su productividad, su capacidad de regeneración, su vitalidad y su capacidad de cumplir, en el presente y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales pertinentes, a escala local, nacional y mundial, sin dañar otros ecosistemas. En este trabajo se revisa la evolución del concepto de manejo forestal y los nuevos paradigmas de su aplicación, destacando sus características como proceso administrativo, sus relaciones con la provisión de servicios ambientales, el papel de la certificación para el desarrollo del buen manejo forestal, la importancia del proceso de toma de decisiones, los retos del manejo forestal sustentable y la investigación necesaria para su ejecución con bases científicas. Se enfatiza asimismo la necesidad de formar recursos humanos, creando y mejorando capacidades para la planeación, ejecución y monitoreo del manejo forestal.

PALABRAS CLAVE: servicios ambientales, certificación forestal, proceso analítico jerárquico.

ABSTRACT

The sustainable forest management in the twenty-first century is a principle that ensures the production of several goods and services from forest ecosystems in a permanent and optimal manner, maintaining always the values of such ecosystems; it is a strategy for natural resources management, in which forestry activities are considered in the ecological, economic and social context, within a defined area or region, in a short and long term. The challenge of sustainable forest management is the stewardship and use of the forests and forest lands in a manner and with an intensity that they preserve their biological diversity, its productivity, its capacity for regeneration, its vitality and ability to achieve, in the present and in the future, the ecological, economic and social functions relevant to local, national and global level, without causing damage to other ecosystems. This paper reviews the evolution of the forest management concept and the new paradigms for its implementation, highlighting their features such as administrative process, its relations with the provision of environmental services, the role of the certification for the development of good forest management, the importance of the decision-making process, the challenges of sustainable forest management, and the research needed for its implementation with scientific bases. It also emphasizes the need to train human resources, creating and improving capabilities for the planning, execution and monitoring of forest management.

KEYWORDS: environmental services, forest certification, analytic hierarchy process.

INTRODUCCIÓN

El manejo forestal comprende las decisiones y actividades encaminadas al aprovechamiento de los recursos forestales de manera ordenada, procurando satisfacer las necesidades de la sociedad actual, sin comprometer la provisión de bienes y servicios para las generaciones futuras.

Los bosques naturales se manejaron en el pasado principalmente para la producción de madera y energía (leña y carbón). El aprovechamiento se realizó en algunos casos en forma excesiva, lo que ocasionó consecuentemente fuertes presiones hacia su protección, provocando la pérdida de importantes superficies de bosques, selvas y

matorrales. Las prácticas de aprovechamiento se desarrollaron principalmente como respuesta a la demanda del mercado nacional e internacional, básicamente de maderas, ignorando en muchos casos otros aspectos muy importantes de los ecosistemas forestales como los ambientales y ecológicos, los bienes y servicios que brindan (principalmente la captura de carbono y los servicios hidrológicos), así como las implicaciones sociales, económicas, ambientales e institucionales de los ecosistemas forestales y su manejo.

Desde hace algunas décadas, el manejo forestal considera en el proceso de toma de decisiones tres factores: el económico, el social y el ecológico, orientando la cosecha de productos o la provisión de servicios ambientales de acuerdo con las capacidades de los ecosistemas. Tiene entonces que ver con la sociedad y las personas, y la necesidad de que deban y puedan mantener y aumentar los servicios, beneficios económicos y la salud de los ecosistemas forestales para su desarrollo y mejor calidad de vida.

La tendencia en el siglo XXI es manejar el bosque en el marco de una visión ecosistémica, paisajista, integral, participativa y de uso múltiple, orientado a la obtención del rendimiento sostenido de los diversos productos, bienes y servicios que ofrece, con el fin de mejorar las condiciones y calidad de vida de la sociedad, dando origen al concepto de Manejo Forestal Sustentable o Manejo Forestal Sostenible (MFS). El manejo forestal sustentable moderno se concibe entonces como un sistema de toma de decisiones multiobjetivo que atiende los factores ecológico, económico y social. Lejos ha quedado el concepto de considerar como único bien aprovechable la madera y como indicador de buen manejo el minimizar los impactos ambientales de la cosecha.

El manejo forestal sustentable es un principio que asegura la producción de diversos bienes y servicios a partir de los ecosistemas forestales, de una manera perpetua y óptima, conservando siempre los valores de tales ecosistemas; es una estrategia de manejo de recursos naturales, en la cual las actividades forestales son consideradas en el contexto de las interacciones ecológicas, económicas y sociales, dentro de un área o región definida, a corto y

largo plazo. El manejo forestal sustentable es entonces la gestión y utilización de los bosques y de los terrenos forestales de una manera y con una intensidad tales que conserven su diversidad biológica, su productividad, su capacidad de regeneración, su vitalidad y su capacidad de cumplir, en el presente y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales pertinentes, a escala local, nacional y mundial, sin dañar otros ecosistemas.

MANEJO FORESTAL COMO PROCESO ADMINISTRATIVO

Los bosques han estado sujetos a intensas presiones por actividades humanas. El rápido cambio demográfico, los acelerados avances tecnológicos y el crecimiento de la demanda de energía han ejercido nuevas presiones a la actividad forestal para abordar problemas globales emergentes, particularmente energía y cambio climático. El crecimiento de la demanda de productos forestales y servicios está determinada por múltiples factores, y el crecimiento poblacional es una de las causas más importantes (Bettinger *et al.*, 2009). El efecto demográfico por sí solo causará cambios significativos en la demanda de bienes y servicios provenientes del bosque. Los tomadores de decisiones del sector forestal se enfrentarán en el presente siglo al gran reto de buscar responder a las necesidades crecientes de productos forestales mientras se mantienen las múltiples funciones de los ecosistemas forestales.

El manejo forestal es esencialmente un proceso administrativo. Como tal, comprende entre otras las fases de organización, planeación, ejecución y control, teniendo como resultado el desarrollo futuro de los ecosistemas forestales (Knoke *et al.*, 2012). En este marco hay tres cuestiones importantes a considerar: ¿cuáles son los objetivos que las actividades de manejo esperan alcanzar?; ¿cuáles son los procedimientos operativos y recursos financieros requeridos para ejecutar un plan de acción programado para lograr los objetivos? y ¿cuáles son los criterios que pueden ser empleados para evaluar la medida en la cual los objetivos son alcanzados? Los manejadores forestales deben establecer objetivos adecuados, tomar los pasos necesarios para alcanzar estos objetivos y medir el



nivel de éxito en el cumplimiento de los mismos, esto es, realizar la planeación, la ejecución y el monitoreo del manejo del bosque.

El establecimiento de objetivos de manejo forestal es una tarea compleja que consiste en determinar los productos y servicios a ser obtenidos del bosque y especificar las medidas de logro de las metas asociadas. Tradicionalmente, los manejadores de bosques seleccionaban una combinación de producción de madera, generación de empleo y beneficios económicos como los principales componentes del programa de manejo forestal. En el presente siglo, establecer objetivos de manejo debe contemplar una visión multiobjetivo, teniendo en cuenta que muchos de ellos compiten entre sí y que no todas las metas pueden expresarse en unidades físicas, lo que dificulta su medición cuantitativa. Por otra parte, los objetivos deberán definirse para diferentes plazos y a diferentes escalas, desde el paisaje hasta la unidad mínima de manejo (Gadow *et al.*, 2004).

La visión sobre cómo y para qué se debe manejar el bosque ha adquirido una nueva dimensión en el presente siglo. La planeación a largo plazo continuará sin duda teniendo su lugar en el manejo forestal, considerando que en esta nueva era las metas cambiantes caracterizarán las prácticas forestales, lo que dará vigencia al manejo adaptativo. El manejador forestal deberá ser perceptivo al ambiente institucional que rodea al bosque y a los valores culturales para reajustar los objetivos predefinidos en su plan de manejo a lo largo de un camino; el reto es lidiar con metas e hitos cambiantes en el manejo de bosques.

Los objetivos de la actividad forestal no solo varían a diferentes escalas, cambian también a través del tiempo y difieren de un contexto socioeconómico a otro. Las metas de manejo requieren ser revisadas constantemente, considerando los valores sociales prevalecientes, el estado de la tecnología disponible y el nivel de desarrollo económico, así como las percepciones públicas de las condiciones ecológicas generales del bosque y el impacto potencial de los regímenes de manejo propuestos (Lal, 2007). Además, el nivel de logro de los objetivos de

manejo seleccionados se mide por un conjunto de criterios que se actualizan periódicamente.

MANEJO FORESTAL Y SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

En las últimas dos décadas se han observado cambios en la valoración social de los recursos naturales y la forma en que estos se manejan, lo que ha ocasionado un cambio fundamental en el contexto en el cual se desarrollan las actividades del manejo forestal (Aguirre, 1997). Los bosques no son más solamente una fuente de madera; en su lugar se convierten en fuente de una variedad de productos y servicios, incluyendo la diversidad biológica, hábitats, así como oportunidades recreativas y educativas.

En el siglo XXI los servicios que proveen los ecosistemas forestales son tanto o más importantes que los productos maderables. Por ello, los sistemas de manejo deben contemplar no solo los sistemas de cosecha sostenible, sino la provisión permanente de los servicios de los ecosistemas forestales. Lo anterior representa un reto para los manejadores forestales, a la vez que ofrece un amplio marco de oportunidades para la creatividad en cuanto a desarrollo de modelos de manejo y de estrategias de gestión de los recursos bajo su responsabilidad, internalizando el valor del bosque en la conservación de la biodiversidad, provisión de servicios hidrológicos y captura de carbono, básicamente.

Las evidencias de los beneficios ecológicos, económicos y sociales de los nuevos modelos de manejo dejan claro que no se trata de optar entre desarrollo o conservación, sino que existen respuestas posibles desde las personas que habitan los bosques para cumplir los objetivos del desarrollo sostenible en las regiones forestales. Esta es la base de los nuevos paradigmas del manejo forestal sustentable (Higman *et al.*, 2000; Hawksworth y Bull, 2006; Poff, 2008; Grossberg, 2009; Malmshemer *et al.*, 2009).

Las oportunidades de desarrollo del manejo forestal sostenible se ubican también en las estrategias de gestión de recursos forestales que la comunidad internacional ha desarrollado en los últimos años, entre las que destaca REDD+. En 2005, un grupo de países llevó el tema de la

deforestación evitada a la agenda de la Conferencia de las Partes (COP), realizada en Montreal (COP 11). Durante la COP 13, en Bali en 2007, se reconoció la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD) como un mecanismo válido en la lucha contra el cambio climático. Inicialmente, las discusiones se centraron en lograr el reconocimiento del potencial de la reducción de emisiones causadas por deforestación (RED); la segunda D se incluyó más tarde al reconocer que la degradación de los bosques representa también una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero, definiéndose el término REDD. Se incorporó luego el papel de la conservación, el manejo sustentable de los bosques y el mejoramiento de los almacenes de carbono, elementos que constituyen el signo +. REDD+ denota entonces las actividades que reducen las emisiones por evitar la deforestación y degradación forestal y contribuyen a la conservación, manejo sostenible de los bosques y mejoramiento de los acervos de carbono forestal, y que tienen el potencial de generar significativos beneficios sociales y ambientales.

La implementación de REDD+ representa una de las estrategias más importantes de gestión de los bosques del futuro y aunque enfrenta retos técnicos y prácticos en lo que a su implementación se refiere, diversos países muestran avances importantes en la fase de preparación y desarrollo de proyectos a nivel local o regional (Calmel *et al.*, 2010). Durante la COP 16 se presentó la Visión de México sobre REDD+ (SEMARNAT-CONAFOR, 2010) y el país muestra avances en la implementación de acciones tempranas. Una acción temprana REDD+ es un esfuerzo articulado institucionalmente a nivel subnacional (regional y local) que permite atender las causas de la pérdida de bosques y del carbono forestal mediante diferentes instrumentos de política pública que generen oportunidades para el desarrollo para los habitantes de los bosques.

A través de las acciones tempranas REDD+ se busca, a escala local, la promoción de la competitividad en las diferentes actividades productivas, incluyendo las actividades agropecuarias asociadas al bosque; el fortalecimiento del manejo comunitario de los bosques y de sus empresas

forestales; la diversificación productiva, y la conservación y protección de los bosques, de sus servicios y su biodiversidad en el largo plazo. La implementación de proyectos de esta naturaleza es una alternativa factible a corto plazo.

CERTIFICACIÓN DEL MANEJO FORESTAL

El monitoreo es una fase determinante en el proceso administrativo denominado manejo forestal y cobrará cada vez mayor importancia en el futuro. El manejo forestal sostenible puede ser caracterizado y evaluado a través de principios, criterios e indicadores. Diversas instituciones han desarrollado con detalle estos aspectos como base para evaluar la sustentabilidad según el tipo de ecosistema forestal, escala de manejo y productos aprovechados. Lo anterior ha dado origen a la certificación forestal, que constituye un proceso que evalúa el desempeño del manejo forestal, para garantizar que los productos que provienen de los ecosistemas forestales tomen en cuenta estándares que sean: ambientalmente adecuados, económicamente viables y socialmente benéficos.

Los principios actuales del manejo forestal sustentable reconocidos internacionalmente son (Gadow *et al.*, 2000; Davis *et al.*, 2001):

- Tiende hacia el uso sustentable de los recursos de los ecosistemas.
- Es holístico.
- Está basado en el ecosistema.
- Tiene una perspectiva de paisaje.
- Establece objetivos múltiples.
- Es integrador.
- Incluye la participación.
- Se basa en el monitoreo.
- Es adaptativo.
- Está basado en ciencia adecuada y buen juicio.
- Toma en cuenta reacciones cognitivas, emocionales y morales.
- Está basado en principios precautorios.

Bajo esta nueva visión se han gestado a nivel internacional y nacional instrumentos de promoción del manejo



forestal sustentable que se expresan en estándares de certificación, los cuales integran principios, criterios e indicadores de buen manejo que norman cómo debe realizarse la gestión de los recursos forestales. Los principios de manejo forestal sustentable del denominado Proceso de Montreal, son:

1. Conservación de la diversidad biológica.
2. Mantenimiento de la capacidad productiva de los ecosistemas forestales.
3. Mantenimiento de la salud y vitalidad de los ecosistemas forestales.
4. Conservación y mantenimiento de los recursos suelo y agua.
5. Mantenimiento de la contribución de los bosques al ciclo global del carbono.
6. Mantenimiento y mejoramiento de los múltiples beneficios socio-económicos de largo plazo para satisfacer las necesidades de la sociedad, y
7. Creación de marcos legales, institucionales y económicos para la conservación y el manejo forestal sustentable.

A nivel nacional se han desarrollado también estándares de buen manejo forestal. En el caso de México, por ejemplo, el estándar se describe en la Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2008 para la certificación del manejo sustentable de bosque (Secretaría de Economía, 2008), cuyos principios son:

1. La Empresa o predio Forestal está legalmente constituida.
2. La Empresa o predio Forestal cuenta con una administración y archivos de registros de entradas y salidas de materias primas forestales.
3. La Empresa o predio Forestal muestra un compromiso a favor de la conservación del ecosistema forestal y mantiene una conducta apegada a la normatividad vigente.
4. La Empresa o predio Forestal observa la normatividad y realiza acciones para prevenir y mitigar efectos adversos ocasionados por el aprovechamiento forestal.

5. La Empresa o predio forestal lleva registros y aplica procedimientos que aseguran la verificación de volúmenes y de la legal procedencia de la materia prima forestal.
6. La Empresa o predio Forestal proporciona condiciones laborales adecuadas a los trabajadores.
7. La Empresa o predio Forestal mantiene relaciones de respeto y cooperación con las comunidades locales dentro de, o adyacentes al predio bajo manejo forestal.
8. La Empresa o predio Forestal tiene establecido un procedimiento de monitoreo y evaluación de los impactos a la vegetación, fauna, calidad del agua y el suelo.
9. La Empresa o predio Forestal incorpora aspectos socioeconómicos que coadyuvan con el manejo sustentable del recurso forestal.

La certificación de buen manejo forestal pretende destacar situaciones en las cuales el concepto de MFS está bien aplicado en la práctica, viéndose reflejado tanto en las condiciones en que se encuentran los ecosistemas como en los beneficios que generan a sus propietarios y a la sociedad en general, para que sean empleados como modelos de referencia en otros bosques de condiciones y contextos semejantes. La certificación es un marco regulatorio para hacer operativos los conceptos modernos del enfoque de ecosistemas y el manejo forestal sustentable.

La certificación es un componente de la tendencia hacia modelos de manejo forestal de amplia visión y mayor participación, los cuales se agrupan bajo el concepto general de enfoque de ecosistemas, y ha sido también un instrumento para el desarrollo de mejores prácticas de manejo, que orientan el quehacer de los responsables de la gestión de los recursos forestales. Guías de mejores prácticas de manejo forestal se han sistematizado para diferentes regiones y escalas territoriales, en México, por ejemplo, el manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte incluye (CONAFOR-PNUD, 2012):

Prácticas a nivel paisaje:

- Conectividad de hábitats.
- Claros en el bosque.
- Red de áreas de conservación.
- Protección de hábitats en las partes altas de las cuencas.
- Protección de ecosistemas ribereños.
- Bosques sobremaduros.

Prácticas a nivel rodal:

- Estructura vertical y horizontal.
- Estructura y diversidad de especies.
- Formación de micro-hábitats.
- Actividades recreativas.
- Biomasa residual de la cosecha forestal.

Prácticas a nivel sitio:

- Protección de áreas de importancia crítica.
- Mantenimiento de árboles secos o con cavidades.
- Limpieza de las áreas de corta.

Los sistemas de certificación exitosos se han sido asociado a enfoques plurales y participativos para la toma de decisiones en los bosques y han ido más allá de simplemente mejorar las técnicas de cosecha, abordando aspectos sociales y ambientales. La certificación ha contribuido también a elevar el conocimiento y comprensión del manejo forestal sustentable. Los criterios e indicadores han propiciado un debate público sobre los bosques más estructurado y han resultado en una más amplia aceptación de la aplicación del manejo forestal como estrategia de conservación del bosque.

TOMA DE DECISIONES

La función del manejo forestal es administrar la capacidad productiva del bosque para generar diversos de bienes y servicios para satisfacer necesidades humanas. El final de la primacía de la madera hacia finales del siglo pasado marca el inicio de una nueva era en la que los planes de manejo deben ser hechos a nivel de paisaje con el propósito de mantener una diversidad de funciones de los ecosis-

temas (Hussain, 2012). El cambio de la planeación forestal de nivel rodal a nivel paisaje amplía la visión de los objetivos de manejo forestal para abarcar el papel de los bosques en proveer ingresos y oportunidades de desarrollo, preservar la diversidad biológica y los hábitats, y posibilitar un apropiado funcionamiento del sistema global del carbono y del ciclo hidrológico (Sayer *et al.*, 2007). Los esquemas de toma de decisiones han cambiado en consecuencia integrando actualmente consideraciones económicas, ambientales, sociales y culturales, con lo que el proceso se ha tornado más complejo. Prácticamente en todo el mundo se ha discutido quién toma o debe tomar las decisiones acerca del bosque y cómo se toman o deberían tomarse tales decisiones.

Dado que el manejo debe realizarse con una visión multiobjetivo, para el diseño de planes de manejo en el siglo XXI se aplicarán en mayor medida técnicas cuantitativas de toma de decisiones que permitan optimizar objetivos bajo una serie de restricciones. En este marco, las técnicas de investigación de operaciones, particularmente la programación lineal, posibilitan la planeación del manejo forestal a partir de la determinación de un objetivo de manejo y del establecimiento de una serie de restricciones (Pukkala, 2002; Buongiorno y Gilles, 2003; Herat y Prato, 2006; Kaiser y Messer, 2011). Un modelo de programación lineal tiene la estructura siguiente:

$$\text{Max } Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$$

sujeto a:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n = b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \geq b_2$$

...

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

Max Z representa la función objetivo para cada opción de manejo forestal, por ejemplo utilidades netas; el resto de las ecuaciones constituyen restricciones de igualdad, mínimo y máximo que incorporan los recursos disponibles para el desarrollo de la opción de manejo propuesta;



expresan asimismo el resto de los objetivos que se proponen lograr con la aplicación del modelo. El objetivo a maximizar puede ser la cosecha de un bien determinado, las restricciones pueden expresar mantenimiento de la biodiversidad, un nivel mínimo de cobertura residual permisible y un nivel determinado de volumen en pie post-cosecha.

Por otra parte, la formulación y selección de alternativas de manejo forestal se podrá realizar incorporando herramientas de toma de decisiones como la denominada *Proceso Analítico Jerárquico*, que posibilita la participación de los sectores sociales involucrados.

El proceso analítico jerárquico es una técnica para la toma de decisiones con atributos múltiples (Saaty, 2006, 2008). El método consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que quienes deben tomar decisiones puedan estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones por pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El proceso analítico jerár-

quico permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad. Para un objetivo dado, las comparaciones se realizan por pares de elementos, primero planteando la pregunta: ¿Cuál de los dos es el más importante? y segundo: ¿Por cuánto?

El proceso analítico jerárquico se ajusta bien al tipo de problemas complejos de toma de decisiones que involucran metas múltiples relacionadas con la planeación del manejo forestal (Schmoldt *et al.*, 2001; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2012). Para ilustrar la aplicación del método en la toma de decisiones en manejo forestal se modelizó un ejemplo en el que el objetivo global es la obtención de la Mejor Estrategia de Manejo (Aguirre *et al.*, 2013). En un primer nivel jerárquico, los criterios de decisión son: Producción Maderable, Estructura del Subrodal y Provisión de Servicios Ambientales. El segundo nivel jerárquico de criterios subordina el Valor de la Cosecha y el Valor de las Existencias Residuales a la Producción Maderable; la Diversidad de Especies y la Diversidad Dimensional a la Estructura del Subrodal y, finalmente, los Servicios Hidrológicos y la Captura de carbono a la Provisión de Servicios Ambientales. Las alternativas de manejo son Aclareo Ligero, Aclareo Moderado y No Cosechar (Fig. 1).

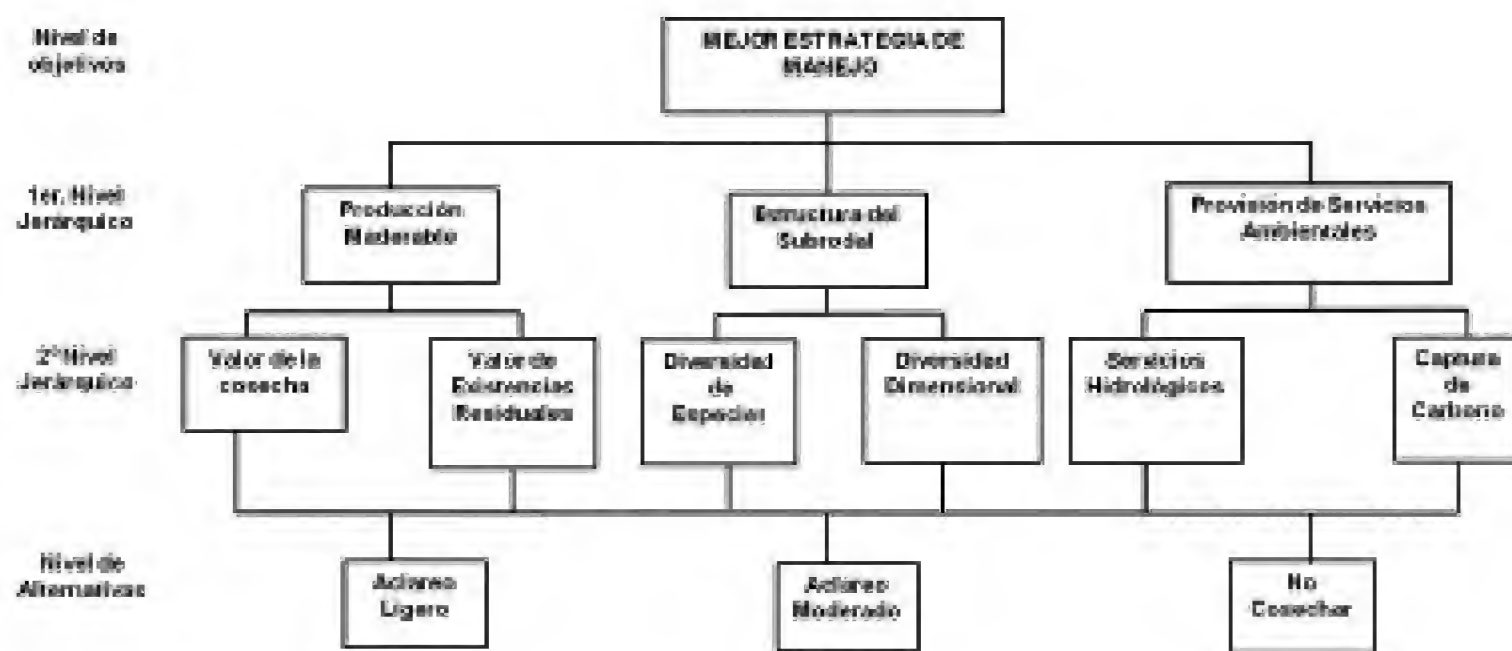


FIGURA 1. Proceso Analítico Jerárquico. Representación del objetivo y estructura de criterios de valoración y alternativas de manejo.

La elección de alternativas de manejo mediante el proceso analítico jerárquico se realiza empleando *software* desarrollado específicamente para este objeto. Entre los recursos libres disponibles en la Web destaca el programa HIPRE 3+ desarrollado por Mustajoki y Hämäläinen (2000).

RETOS DEL MANEJO FORESTAL

El manejo forestal es una experiencia gratificante para quienes son responsables de su ejecución, ya que enfrenta retos en de diversas áreas. Existen numerosos retos económicos, dentro de los cuales destacan diversas necesidades como son: generar beneficios, no operar con pérdidas, operar dentro de un presupuesto y generar ingresos o retornos financieros competitivos en comparación con otras inversiones. Estos retos económicos usualmente se expresan en unidades monetarias por lo que es necesario internalizar en las valoraciones las externalidades de los servicios de los ecosistemas.

Hay asimismo numerosos retos ambientales, relacionados con el mantenimiento y desarrollo del hábitat para la vida silvestre, la calidad del agua, calidad del suelo, calidad del aire y diversidad biológica, muchos de los cuales están contemplados en leyes y regulaciones pero que son difíciles de llevar a la práctica en muchas situaciones.

No menos importantes son los retos sociales respecto al manejo forestal. Convencer a la opinión pública de que el bosque está siendo manejado responsablemente no es un asunto trivial, de ahí la relevancia de la aplicación de instrumentos de política forestal como la certificación forestal (leyes y regulaciones) que guíen el manejo de los recursos forestales. Existe también la necesidad de generar empleos para las comunidades locales y pagar estos empleos con salarios suficientes.

Los retos tecnológicos relacionados con el manejo forestal son de muy diversa índole, lo mismo que los relacionados con los procesos de planeación. Otros retos del manejo forestal se relacionan con los sistemas silvícolas y operaciones forestales (cosecha, reducción de combustibles, etc.) que posibiliten el mantenimiento de la diversidad biológica y el mantenimiento de la condición de los

ecosistemas. El manejo forestal es una actividad de largo plazo, lo que da como resultado que los productos del manejo están sujetos a riesgos potenciales por las condiciones ambientales, así como por la propia influencia antropogénica. Lo anterior representa también un importante reto, ya que el desarrollo de planes de manejo para áreas boscosas tiene que integrar estas incertidumbres, las cuales pueden ser numerosas para planes de acción que comprenden grandes superficies y largos periodos. El riesgo no puede ser eliminado ni totalmente cuantificado al manejar sistemas de recursos naturales y la percepción del mismo cambia con el tiempo; la tarea de los manejadores de recursos naturales es realizar buenos planes y ejecutar un buen manejo basados en la evaluación de los riesgos involucrados.

Debe reconocerse que los procesos de planeación y toma de decisiones se ven frecuentemente obstaculizados por retos internos en una organización. Estos incluyen limitaciones tecnológicas (sistemas computacionales obsoletos, programas de *software* inadecuado etc.), diferencias de visión entre los miembros, carencia de datos y falta de apoyo de un equipo de manejo organizacional. La tecnología puede ser tan obsoleta que se convierte en cuello de botella del proceso de planeación y superar este reto puede requerir planeación en sí misma a fin de lograr una mejor toma de decisiones.

En muchos procesos de planeación forestal, la obtención y procesamiento de información puede tomar más de la mitad del tiempo invertido en el proceso de planeación. Contar con un sistema de información geográfica, bases de datos suficientes, proyecciones de crecimiento e incremento para cada prescripción de manejo, precios, costos, medidas de la calidad potencial del hábitat y niveles de las restricciones que serán aplicadas representa también un importante reto. Colectar, manejar, corregir y dar formato a los datos se lleva a cabo generalmente por varias personas en la organización, y es, desafortunadamente, uno de los aspectos poco valorados en el manejo. La motivación de las personas para capacitarse y apoyar el proceso de planeación es asimismo un reto, al igual que una serie contratiempos que pueden ocurrir durante el desa-



rollo del plan; sin embargo, muchos de los retos de la planeación que son internos a una organización de recursos naturales pueden ser superados si se reconocen y discuten entre sus miembros.

LA INVESTIGACIÓN NECESARIA

Para la planeación, ejecución y monitoreo del manejo forestal sustentable se requiere de la generación de conocimiento científico como apoyo a la toma de decisiones y medición del logro de los objetivos establecidos. La producción maderable será el principal objetivo en muchas regiones, y para su implementación es necesario conocer la dinámica de los ecosistemas bajo manejo a fin de garantizar una cosecha sustentable. A pesar de que el manejo forestal maderable ha sido fundamental en el pasado y existen numerosas investigaciones sobre el desarrollo de las especies en diversas regiones, las investigaciones sobre volumen, crecimiento, incremento, densidad y cosecha permisible, entre otras, siguen siendo necesarias y vigentes (Pretzsch, 2009), a la par de las referentes al conocimiento de las interacciones de los diversos elementos de los ecosistemas y de estos con la sociedad y otros ecosistemas.

Dado el cambio en el manejo silvícola de ser principalmente enfocado a bosques regulares hacia un sistema de manejo enfocado a bosques mixtos incoetáneos a pequeña escala y/o a árboles individuales, las tablas de producción se tornarán gradualmente poco confiables. Como una alternativa potencial, será necesario continuar el desarrollo de modelos de crecimiento para pronosticar el crecimiento de los árboles dentro de un rodal atendiendo condiciones de edad, mezcla de especies y manejo silvícola, posibilitando la flexibilidad necesaria para modelizar bosques bajo manejo (Hasenauer, 2006).

El siglo XX se caracterizó por el uso de petroquímicos para obtención de energía y generación de productos. La creciente preocupación acerca del impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero en el cambio climático ha resultado en un incremento de oportunidades para energías alternativas, incluida la bioenergía de las fibras de madera (Bravo *et al.*, 2008). En el presente, la industria de productos forestales juega un papel determinante en el

sector forestal, y las actividades de manejo se ven afectadas por la fortaleza o debilidad de los precios de mercado de productos forestales. Sin embargo, los factores que determinan de qué manera los bosques deben ser manejados están cambiando rápidamente. Es claro que el siglo XXI va a ser caracterizado por una bioeconomía, donde los cultivos de biomasa, incluyendo fibras de madera, proveerán energía renovable, productos químicos y materiales. Obviamente, se requiere investigación para examinar la factibilidad técnica y económica, así como las implicaciones ecológicas de usar biomasa forestal como alternativa a los combustibles fósiles.

Actualmente se reconoce la importancia de los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero, considerados los causantes del cambio climático, particularmente el bióxido de carbono (CO_2) es el gas con mayor participación y se fija a través del proceso de fotosíntesis, en el que las plantas utilizan CO_2 y liberan oxígeno. Así, para contrarrestar las emisiones de carbono, un número creciente de instituciones y organizaciones de diferentes países están desarrollando planes para preservar bosques naturales, mejorar el manejo de bosques y establecer plantaciones forestales, ya que los árboles almacenan el carbono por periodos prolongados. En este marco, la investigación necesaria refiere al desarrollo de métodos para la evaluación de la capacidad de captura de carbono en ecosistemas forestales, con objeto de valorar este servicio ambiental con procedimientos confiables que sean costo-eficientes (Husch *et al.*, 2003; Ravindranath y Ostwald, 2007; Van Laar y Akça, 2007; Hoover, 2008; Bigsby, 2009). En México, a pesar de que se ha observado un incremento notable en el desarrollo de metodologías de evaluación para estimar la biomasa y el carbono contenido en diferentes ecosistemas forestales (De Jong *et al.* 1995; Ordóñez *et al.*, 2001; Pimienta *et al.*, 2007; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008; Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009; Figueroa-Navarro *et al.*, 2010, Aguirre y Jiménez, 2011), aún se requiere de investigaciones en numerosas especies y ecosistemas para apoyar el desarrollo de proyectos como REDD+ que contribuyan a un buen manejo forestal.

La investigación es necesaria asimismo para generar mejores esquemas de toma de decisiones y para la valoración económica de las alternativas de manejo propuestas, donde deben internalizarse las contribuciones de los bienes y servicios “no de mercado” que proveen los ecosistemas forestales.

Los aspectos de investigación mencionados son apenas algunos de los que deberán abordarse para el desarrollo de un mejor manejo forestal. El enfoque dinámico del manejo de los ecosistemas forestales demandará nuevos retos en la investigación y generación de conocimientos, que permitan a los responsables de la gestión de estos recursos el mejoramiento y la creación de capacidades para el mejor desempeño de las tareas de planeación, ejecución y monitoreo del manejo forestal.

El avance en el desarrollo de los diferentes tópicos de investigación mencionados, posibilitará la integración de sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS por sus iniciales en inglés), cuyo diseño deberá realizarse por equipos interdisciplinarios y que puedan ser aplicados en un amplio rango de condiciones ecológicas, sociales y económicas; tengan costos accesibles; sean de fácil comprensión y operación; sean interactivos; contengan interfaces amigables que expliquen los impactos de las alternativas de manejo; faciliten la producción de documentos para las instituciones regulatorias; proporcionen información social, económica y ambiental de las áreas de manejo y posibiliten la implementación de modelos cuantitativos para la toma de decisiones (Moreno-Sánchez y Torres-Rojo, 2010).

COMENTARIOS FINALES

En el siglo XXI, el manejo forestal deberá seguir avanzando hacia la sustentabilidad, teniendo en mente que esta meta es alcanzable a diferentes escalas, por diferentes actores y mediante diferentes estrategias, herramientas y prácticas; no existe un modelo único.

A pesar de los avances en la fase de planeación del manejo forestal sustentable, es necesario mejorar la ejecución del mismo. Para ello se requerirá de recursos humanos operativos con capacidades certificadas, amplia visión

del manejo y voluntad de interacción en grupos interdisciplinarios. Los responsables del manejo deberán mejorar sus capacidades no solamente en aspectos técnicos, sino para el fortalecimiento del capital social que posibilite una adecuada organización y gestión empresarial.

El manejo forestal sustentable constituye una práctica de gestión de los recursos forestales que asegura los procesos y funciones del bosque, posibilita la conservación de la biodiversidad y satisface necesidades sociales. En el siglo XXI la comunidad internacional seguirá adecuando respuestas a las preguntas: manejo forestal ¿para qué? y ¿para quién?

REFERENCIAS

- Aguirre C., O.A. 1997. Hacia el manejo de ecosistemas forestales. *Madera y Bosques* 3(2):3-11.
- Aguirre-Calderón, O.A. y J. Jiménez-Pérez. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del Sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(6):73:83.
- Aguirre-Calderón, O.A., J. Jiménez-Pérez, E. Alanís-Rodríguez e I. Yerena-Yamallel. 2013. Manejo Forestal. *In: C. Cantú A., M. Rovalo M., J. Marmolejo M., S. Ortiz H. y F. Serriñá G., eds. Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. p:275-286.*
- Bettinger, P., K. Boston, J.P. Siry y D.L. Grebner. 2009. *Forest Management and Planning*. Elsevier. Amsterdam. 331 p.
- Bigsby, H. 2009. Carbon banking; creating flexibility for forest owners. *Forest Ecology and Management* 257(1):378-383.
- Bravo, F., V. LeMay, R. Jandl y K. Gadow. 2008. *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change*. Springer. Dordrecht. 338 p.
- Buongiorno, J. y J.K. Gilles. 2003. *Decision methods for forest resource management*. Academic Press. Amsterdam. 439 p.
- Calmel, M., A. Martinet, N. Grondard, T. Dufour, M. Rageade y A. Ferté-Devin. 2010. *REDD+ at project scale. Evaluation and development guide*. ONF International. 215 p.
- CONAFOR-PNUD. 2012: *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad*



- en ecosistemas templados de la región norte de México. 76 p.
- Davis, L.S., K.N. Johnson, P. Bettinger y T.E. Howard. 2001. Forest management. to sustain ecological, economic and social values. 4a ed. Waveland Press, Inc. Long Grove. 804 p.
- De Jong, B.H.J., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto y R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia* 20(6):409-416.
- Domínguez-Cabrera, G., O.A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, R. Rodríguez-Laguna y J.A. Díaz-Balderas. 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1):59-64.
- Figueroa-Navarro, C.M., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez y H.M. de los Santos-Posadas. 2010. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1):105-112.
- Gadow, K., T. Pukkala y M. Tomé. 2000. Sustainable forest management. Managing forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 356 p.
- Gadow, K., S. Sánchez-Orois y O.A. Aguirre-Calderón. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques* 10(2):3-16.
- Grossberg, S.P. 2009. Forest management. Nova Science Publishers, Inc. Nueva York. 329 p.
- Hasenauer, H. 2006. Sustainable forest management. Growth Models for Europe. Springer. Berlin. 398 p.
- Hawksworth, D.L. y A.T. Bull. 2006. Forest diversity and management. Springer. Dordrecht. 547 p.
- Herath, G. y T. Prato. 2006. Using multi-criteria decision analysis in natural resource management. Ashgate. Hampshire. 239 p.
- Higman, S., S. Bass, N. Judd, J. Mayers y R. Nussbaum. 2000. The sustainable forestry handbook. A practical guide for tropical forest managers on implementing new standards. Earthscan Pub. Londres. 289 p.
- Hoover, C.M. 2008. Field measurements for forest carbon monitoring: a landscape-scale approach. Springer. Dordrecht. 258 p.
- Husch, B., T.W. Beers y J.A. Kershaw. 2003. Forest mensuration. 4a ed. John Wiley & Sons. Hoboken. 443 p.
- Hussain A. 2012. Forest management: Innovative Practices. The Icfai University Press. Agartala. 163 p.
- Kaiser; H.M. y K.D. Messer. 2011. Mathematical programming for agricultural, environmental, and resource economics. John Wiley & Sons, Inc. Danvers. 494 p.
- Knoke, T., T. Schneider, A. Hahn, V.C. Grieb y J. Rübiger. 2012. Forstbetriebsplanung als Entscheidungshilfe. Ulmer. Stuttgart. 408 p.
- Lal, J.B. 2007. Forest Management: Classical Approach & Current Imperatives. Natraj Publishers. Dehradun. 289 p.
- Malmsheimer, R.W., P. Heffernan, S. Brink, D. Crandall, F. Deneke, C. Galik, E. Gee, J.A. Helms, N. McClure, M. Mortimer, S. Ruddell, M. Smith y J. Stewart. 2009. Forest management solutions for mitigating climate change in the United States. Society of American Foresters. Bethesda. 137p.
- Mustajoki J. y P. Hämäläinen. 2000. Web-HIPRE: Global decision support by value tree and AHP analysis. *INFOR* 38(3):208-220.
- Moreno-Sánchez, R. y J.M. Torres Rojo. 2010. Forest management in Mexico: their characteristics and context for their creation and evolution. *In: B. Manos, N. Matsatsinis, K. Paparrizos y J. Papathanasiou. Decision support systems in agriculture, food and the environment: trends, applications and advances. Information Science Reference. Hershey. p:74-100.*
- Ordóñez, J.A., B.H.J. de Jong y O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47.
- Pérez-Rodríguez, F., B. Vargas-Larreta, O.A. Aguirre-Calderón, J.J. Corral-Rivas y A. Rojo-Alboreca. 2012. Proceso analítico jerárquico para seleccionar métodos de manejo forestal en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(15):55-72.
- Pimienta de la T., D.J., G. Domínguez C., O. Aguirre C., F.J. Hernández y J. Jiménez P. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1):35-46.

- Poff, B. 2008. Forest management in a spatio-temporal multi-objective decision-making framework. Verlag Dr. Muller. Saarbrücken. 100 p.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield. Springer. Dordrecht. 664 p.
- Pukkala, T. 2002. Multi-objective forest planning. managing Forest Ecosystems. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 207 p.
- Ravindranath, N.H. y M. Ostwald 2007. Carbon inventory methods. Springer. Dordrecht. 308 p.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, J. Meza- Rangel, O. Aguirre-Calderón y R. Razo-Zárte 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biósfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2):215-222.
- Saaty, T.L. 2006. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. 2a ed. RWS Publications. Pittsburgh. 478 p.
- Saaty, T.L. 2008. The analytic hierarchy process for decisions in a complex world. RWS Publications. Pittsburgh. 343 p.
- Sayer J., S. Maginnis y M. Laurie, eds. 2007. Forests in landscapes: ecosystem approaches to sustainability. The Earthscan Forest Library. Routledge. Sterling. 257 p.
- Schmoldt, D.L., J. Kangas, G.A. Mendoza y M. Pesonen. 2001. The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making. Managing forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 305 p.
- Secretaría de Economía. 2008. Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2008 para la certificación del manejo sustentable de bosque. 22 p.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2010. Visión de México sobre REDD+. Hacia una estrategia Nacional. México. 56 p.
- Van Laar, A. y A. Akça. 2007. Forest Mensuration. Springer. Dordrecht. 383 p.

Manuscrito recibido el 27 de febrero de 2014.

Aceptado el 18 de septiembre de 2015.

Este documento se debe citar como:

Aguirre-Calderón, O.A. 2015. Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):17-28.



Evaluation of chemical compositions, air-dry, preservation and workability of **eight fastgrowing plantation species** in Costa Rica

Evaluación de la composición química, secado al aire, preservación y trabajabilidad de ocho especies de rápido crecimiento en plantación de Costa Rica

Róger Moya^{1,*}, Cynthia Salas¹, Alexander Berrocal¹ y Juan Carlos Valverde¹

¹ Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. * Corresponding author: rmoya@itcr.ac.cr

ABSTRACT

Costa Rica has successfully planted various forestry species for wood production. However, the use of their wood is limited, due to poor knowledge about their chemical properties, air-dry, preserved and workability performance. The present study details information of these properties for the species: *Alnus acuminata* (Aa), *Acacia mangium* (Am), *Bombacopsis quinata* (Bq), *Cupressus lusitanica* (Cl), *Swietenia macrophylla* (Sm), *Terminalia amazonia* (Ta), *Terminalia oblonga* (To) and *Vochysia guatemalensis* (Vg). Among the results obtained, it was found that the wood of these species is in general slightly acidic, except Bq, which presented tendency to be basic. Different species show considerable variability in the content of holocellulose, lignin and extractable micronutrients. Regarding micronutrients, and in relation to other species it was found a high percentage in Vg. The use of boron as a preservative, may be applied in the 8 plantation species. The presence of heartwood in some species made it not possible to be preserved by the vacuum-pressure method, but the sapwood was possible to preserve in all species. The drying rate increased with increasing board thickness and drying time was different among species. The fastest drying rate was found in Ta and Am, followed by Sm, To, Aa and Cl with intermediate values and Vg with the slowest air-drying rate. Am, Bq, Cl, Sm and To present from excellent to good planing, sanding, drilling and molding, but Ta, Bq, Aa and Vg, especially Aa and Vg, in the workability operations were catalogued as poor or very poor quality.

KEYWORDS: Central America, commercial wood, tropical species, wood variation.

RESUMEN

En Costa Rica se han plantado con éxito varias especies forestales para la producción de madera. No obstante, el uso de la madera es limitado debido al poco conocimiento acerca de sus propiedades químicas, secado al aire, preservado y trabajabilidad. En el presente estudio se detalla información de esas propiedades para las especies: *Alnus acuminata* (Aa), *Acacia mangium* (Am), *Bombacopsis quinata* (Bq), *Cupressus lusitanica* (Cl), *Swietenia macrophylla* (Sm), *Terminalia amazonia* (Ta), *Terminalia oblonga* (To) and *Vochysia guatemalensis* (Vg). Dentro de los resultados obtenidos, se encontró que la madera presenta un pH ligeramente ácido, a excepción de Bq, con tendencia a ser básica. Las diferentes especies muestran una considerable variabilidad en el contenido de holocelulosa, lignina, extraíbles y micronutrientes; con respecto a los micronutrientes, y en relación con las otras especies se encontró un alto porcentaje en Vg. El uso de boro como preservador, puede ser aplicado en las 8 especies de plantación. Las especies con presencia de duramen no fue posible preservarlas con el método vacío-presión; sin embargo, la albura sí es posible de preservar en todas las especies. El tiempo de secado incrementa con el incremento de espesor de la tabla y presenta variación entre especies. El menor tiempo de secado se encontró para Ta y Am, seguido por Sm, To, Aa y Cl, con valores intermedios y Vg con el secado al aire más lento. Am, Bq, Cl, Sm y To presentan de excelentes a buenas propiedades de cepillado, lijado, taladrado y moldurado, pero el resto de las especies (Ta, Bq, Aa and Vg), en especial para Aa y Vg, en las operaciones de trabajabilidad son catalogadas como de mala o muy pobre calidad.

PALABRAS CLAVE: América central, madera comercial, especies tropicales, variación de propiedades.

INTRODUCTION

The environmental conditions in the tropical region, allows that countries like Costa Rica develop a variety of wood trees species (Petit and Montagnini, 2004). Some of these species have been successfully used in reforestation programs for commercial purposes (Nichols and Vanclay, 2012). It is estimated that by the year 2011 Costa Rica has successfully planted about 20 tree species including exotic species (*Acacia mangium*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea* and *Tectona grandis*) and native species (*Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga*, *Vochysia guatemalensis*, *Bombacopsis quinata*, *Swietenia macrophylla* and *Alnus acuminata*). The exotic species are characterized by having high yield (m^3/ha) and rotation periods of less than 30 years (Baraloto *et al.*, 2010) either in pure plantation or mixed plantation (Petit and Montagnini 2004). Also, these species have been used in agroforestry, plantations for carbon sequestration, soil conservation and recovery, among others (González and Fisher 1998). However, the limiting factor found with the use and exploitation of many species, is the lack knowledge of their chemical properties, air-drying properties, preservation treatment response and workability performance of wood (Moya and Muñoz, 2010). Nevertheless, recently studies has been developed on the physical and mechanical properties (Moya and Muñoz 2010), their behavior in kiln dry (Moya *et al.*, 2013) and energetic properties (Tenorio and Moya, 2013). Studies carried out by Butterfield *et al.* (1993), Gonzalez and Fisher (1998) and Moya *et al.* (2009) have evaluated some of these species in aspects of physical properties and not in industrial aspects.

The importance of knowing about aspects such as chemical properties, air-drying, preserved, durability and workability performance of the species, growing in conditions of fast growing plantations, is important because it determines the quality of wood and the potential uses and markets that they may provide. The fact that native species have different properties to the wood from the logs of trees growing in natural forests has been proved before (Butterfield *et al.*, 1993). It is

also important to know the characteristics and behavior of wood, because these should be criteria for acceptance to continue planting a particular species. Therefore, considering the growing demand for wood of new species and especially from forest plantations of fast growth condition and the need to know the properties of wood, it was carried out this study with the objective of evaluating the chemical properties, air-drying, preservation, durability and workability performance of wood of *Alnus acuminata*, *Acacia mangium*, *Bombacopsis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Swietenia macrophylla*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* and *Vochysia guatemalensis* of fast growth plantations in Costa Rica.

MATERIALS AND METHODS

Site, plantation description, and tree sampling

Eight different pure plantations located in several parts of Costa Rica were studied. The initial planting density was 1 111 trees/ha (3 m x 3 m spacing). At the time of sampling, the average age was 9-18 years old and the density was at 495 trees/ha -575 trees/ha (Table 1). Nine trees per species were randomly selected for harvesting, including suppressed, intermediate, and dominant trees, in accordance with the methodology developed by Moya and Muñoz (2010). Selected trees, with straight trunks, normal branching, and no disease or pest symptoms were felled. Two stem sections from the base of the tree to 2.5 m high were obtained from each tree (with 1.25 m in length). Among these logs, a cross-sectional sample of 3.0 cm wide was taken at 1.3 m in height, the diameter at breast height (DBH). Afterwards, stem log with 2.5 m-length were cut from at DBH to commercial height (stem diameter of 13.0 cm over bark is considered the minimum diameter for these species in Costa Rica). Finally a log with 30 cm-length was cut after commercial height with a 10 cm in diameter in each sampled trees. The North-South direction was marked on each stem cross-section and logged for later identification in the laboratory.



TABLE 1. Dasometric information for the plantations sampled.

Species and abbreviation	Age (years)	Density (trees ha ⁻¹)	Total height (m)	DBH (cm)
<i>Alnus acuminata</i> (Aa)	9	556	20.7	20.5
<i>Acacia mangium</i> (Am)	9	338	19.0	36.7
<i>Bombacopsis quinata</i> (Bq)	10	480	16.7	21.5
<i>Cupressus lusitanica</i> (Cl)	10	525	20.7	18.5
<i>Swietenia macrophylla</i> (Sm)	14	452	21.4	22.6
<i>Terminalia amazonia</i> (Ta)	13	475	21.9	25.2
<i>Terminalia oblonga</i> (To)	18	408	19.2	28.0
<i>Vochysia guatemalensis</i> (Vg)	8	515	22.7	18.5

Determination of chemical properties and extractives in different solvents

Ash, silice, lignin and holocellulose content, pH, and inorganic ash compo were determined. Ash content determination was done through the ASTM D-1102-84 standard (ASTM, 2012a); to quantify lignin the TAPPI T222 om-02 method was used (TAPPI, 2002), and for holocellulose determination was followed Erickson's methods (1962). Twelve aqueous solutions of 1 g sawdust in 5 ml of water were used for measuring the pH of the tissues, using an Accumet AP61 pH meter. For inorganic ash compositions analysis, the methods of Sparks (1996) were used, and included determination of mass of nitrogen (N), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K) and sulfur (S), whose concentrations were reported as percentages, and iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), zinc (Zn) and boron (B), whose concentrations were reported as milligrams of inorganic element per gram of ash. From cross-section at DHB in each trees and species, were milled 30 g to a particle size of less than 0.6 mm and then screened through a 40- and a 60-mesh for wood chemical analysis. Particle screened from three trees was grouped, and then three groups from nine trees were obtained. Three samples from each group were used for ash, lignin and holocellulose content, ash analysis, pH measured and different extractives (three groups x three samples = nine

total samples for each chemical parameters) Extractives content were determined in water (hot and cool condition) (ASTM, 2012b), in sodium hydroxide (NaOH) (ASTM, 2012c), in an ethanol-toluene solution (ASTM, 2012d) and in dichloromethane (CH₂-Cl₂) (ASTM, 2012e).

Air-drying properties

Each log (from logs with 2.5 m-length that were cut from at DBH to commercial height) was sawed and piled for drying in boards of different thickness (1.25 cm, 2.50 cm, 3.75 cm, 5.00 cm, 6.25 cm, and 7.50 cm) and a width of 7.5 cm, following a sawing patron used for small-diameter trees in Costa Rica (Moya *et al.*, 2013). A total of 24 air-drying samples (four per each thickness board) per species were weighed every three days until reaching constant values. The drying rate was defined as the time needed to reach 20% of moisture content and was categorized as slow, moderate, and fast according to the Pan-American Committee of Testing Norms for tropical species (Keenan and Tejada, 1988).

Preservation

In the preservation performance two methods were evaluated: (1) dip-diffusion and (2) vacuum-pressure. In the dip-diffusion method, 24 samples from each species of 50 cm length with dimensions of 7.5 cm in width and thick-

ness of 1.25 cm, 2.50 cm, 3.75 cm, 5.00 cm, 6.25 cm and 7.50 cm were obtained. These samples in green and freshly cut condition were immersed for one minute in a preservative solution of boric acid, sodium borate decahydrate dissolved in water with a concentration of 12%. Then the samples were covered with plastic to prevent the drying. The evaluation of the penetration and retention used the methodology proposed by Williams and Mauldin (1996), in which every four days three samples were taken which were selected and cut in half, to measure the penetration and retention of the preservative by the turmeric rhizome curcuma indicator. In vacuum–pressure preservation methods, a total of nine log samples per species, with 30 cm-length was cut after commercial height, were treated with CCA (chrome, cooper, and arsenic) preservatives at 2.8% vv/vv concentration. All samples were placed into an experimental preservation tank under a pressure of 690 kPa (approximately 100 psi). The preservation process consisted of 30 minutes of vacuum, 2 hours of pressure and 15 minutes of vacuum. A colorimetric evaluation was performed for identifying the areas conducting the preservatives in cross sections. The samples were weighed before and after the preservation process, for pressure preservation the absorption capacity was calculated as the absorption of preservatives (liters) by timber volume (m³), while preservative retention was determinate considering the absorption per species given by the difference in weight and concentration of preservative solution.

Workability

Boards of 2.5 cm thick were used, which were previously oven dried to a moisture content of 12% of the study developed by Moya *et al.* (2013). From the drying bath, 30 boards were selected considering three types of grain patterns (10 cross-sectional samples, 10 samples of radial cutting and 10 oblique cutting samples). Subsequently, a sample of each board was obtained for each type of workability test (three types of cutting x 10 samples = 30 samples). The tests performed were planing, mortising, shaping, boring, sanding, and turning. They were performed following the specifications in ASTM D-1666-93

(ASTM, 2012f), with amendments proposed to test effects of tropical timber” Workability Standards of the Cartagena Agreement” (PADT.RTF, 1976). Quality and classification criteria for each test are detailed in table 2. For the test of turning, mortising, shaping, boring, planing and sanding the type of quality and classification have been detailed in ASTM D-1666-93 standard (ASTM, 2012f) and “Standards of the Cartagena Agreement” (PADT.RTF, 1976). Planing specimens were evaluated using two angles of blades (15° and 30°) in two feet rate (6 m/min and 30 m/min). In the sanding test, in the standard is not considered the aspect of temperature measurement and sawdust removal, but this measurements, were included using the criteria developed by Serrano (1983). The temperature was measured by a laser type temperature gauge (Raytec Brand, model Raynger ST) immediately after sanding. The temperature was measured at 3 different points. The removal in the sanding process was calculated using equation 1. In the boring test, the chip thickness calculation was included (Equation 2) and this test basically uses two types of drill bits used for wood and metal, both with two speeds. The classification for different workability performance are detailed in table 2. More information can be found in Serrano (1983).

$$Removal = \frac{Roughing}{V_{sandpaper} * t * N} \quad (1)$$

Where:

Roughing: mm removed based on an average of 0.5 mm,
 $V_{sandpaper}$: sanding speed m/min
 t : duration of sanding
 N : number of passes to achieve a roughing of approximately 0.5 mm

$$CT = \frac{D}{T * n * N} \quad (2)$$

Where:

CT : chip thickness
 D : Depth of hole in mm



TABLE 2. Classification table for trials of workability for the 10 timber species from plantations in Costa Rica.

Turning, morting, shaping, boring	Quality and classification by chip thickness in boring	Quality and classification in planing	Sanding		
			Quality and classification with sand #100	Classification by temperature with sand #60	Classification by dust removal with sand #60
Excellent: any defect	Very deficient: chip thickness < 0.1 mm	Excellent: 80%-100% of area without defect	Excellent: without sand marks and any fuzziness	High over 37 °C	Very difficult: < 0.025 mm
Good: one or several defects, but these were not higher than 25% of total area	Deficient: chip thickness from 0.101 to 0.17 mm	Good: 60%- 80% of area without defect	Good: small quantity of sand marks and fuzziness	Medium between 34-37 °C	Difficult: 0.0251-0.05 mm
Fair: one or several defects, but these were not higher than 50% of total area and not continue.	Lack efficient: chip thickness from 0.171 to 0.25 mm	Fair: 40%- 60 % of area without defect	Fair: small quantity of sand marks and some parts with fuzziness	Low: minor than 34 °C	Bit hard: 0.051-0.075 mm
Poor: one or several defects, but these were not higher than 75% of total area and continue.	Efficient: chip thickness from 0.251 to 0.32 mm	Poor: 20%- 40% of area without defect	Poor: small quantity of sand marks and abundant fuzziness		Easy: 0.0751-0.100 mm
Very poor: one or several defects and they are present over 75% of total area.	Very efficient: chip thickness > 0.321 mm	Very poor: 0%- 20% of area without defect	Very poor: large quantity of sand marks or fuzziness		Very easy: > 0.101 mm

T: drilling time in min

n: speed of test in min⁻¹ (rpm)

N: number of propellers

Statistical analyses

Normality and the presence of anomalous data or outliers were examined for each variable. A general statistical overview was performed for the different variables. An analysis of variance (ANOVA) was used for evaluating differences between species in different wood properties evaluated. Where statistical differences occurred, the means were compared using Tukey's test at 1.0% significance.

RESULTS

Chemical properties

In table 3, shows the chemical composition of the 8 species tested. It is evident that: (I) the pH varied from 3.79 to 9.72, where *Bq* presented the pH significantly more basic (9.72), in contrast *Ta* obtained the more acidic pH (3.72) and *Am* and *Vg* were the only species that showed no difference in pH. (II) Holocellulose content (Table 3) varied from 69.04% to 52.54%, the *Cl* and *Sm* species showed holocellulose values significantly lower compared to the other 6 species, which showed no differences between them. (III) in the lignin content, four group are for-

TABLE 3. Chemical properties of eight different fast-growth plantation species in Costa Rica.

Parameter	Species			
	<i>A. acuminata</i>	<i>A. mangium</i>	<i>B. quinata</i>	<i>C. lusitánica</i>
pH	6.04 ^B (0.13)	5.66 ^C (0.13)	9.72 ^A (0.14)	4.92 ^E (0.04)
Holocellulose (%)	64.01 ^{AB} (2.91)	64.19 ^A (2.15)	64.11 ^{AB} (3.92)	52.54 ^C (0.69)
Lignin (%)	33.00 ^C (1.80)	31.44 ^D (3.80)	39.92 ^B (1.44)	46.35 ^A (1.35)
N (%)	0.34 ^{AB} (0.01)	0.30 ^{BC} (0.02)	0.37 ^A (0.02)	0.33 ^{AB} (0.02)
P (%)	0.02 ^B (0.01)	ND	0.05 ^A (0.01)	ND
Ca (%)	0.06 ^C (0.02)	0.12 ^C (0.01)	1.52 ^A (0.33)	0.06 ^C (0.01)
Mg (%)	0.02 ^B (0.00)	0.02 ^B (0.01)	0.04 ^B (0.01)	0.00 ^{CD} (0.00)
K (%)	0.14 ^C (0.01)	0.05 ^D (0.02)	0.64 ^A (0.10)	0.02 ^D (0.01)
S (%)	0.02 ^A (0.00)	0.01 ^B (0.00)	0.02 ^A (0.01)	0.01 ^B (0.00)
Fe (mg/kg)	15.37 ^{AB} (5.86)	15.36 ^{AB} (5.74)	23.67 ^{AB} (2.52)	36.70 ^A (11.70)
Cu (mg/kg)	3.09 ^A (0.00)	1.00 ^A (0.00)	1.00 ^A (0.00)	1.00 ^A (0.00)
Zn (mg/kg)	2.92 ^B (0.00)	6.67 ^B (0.17)	2.67 ^B (1.15)	0.00 ^B (0.00)
Mn (mg/kg)	2.47 ^B (0.58)	9.00 ^B (0.51)	0.00 ^B (0.00)	0.00 ^B (0.00)
B (mg/kg)	3.91 ^B (2.65)	3.00 ^B (0.33)	1.67 ^B (0.58)	1.67 ^B (0.58)
	<i>S. macrophylla</i>	<i>T. amazonia</i>	<i>T. oblonga</i>	<i>V. guatemalensis</i>
pH	5.23 ^D (0.11)	3.79 ^C (0.12)	4.13 ^F (0.27)	5.53 ^C (0.18)
Holocellulose (%)	58.20 ^C (2.23)	66.44 ^{AB} (1.62)	69.04 ^{AB} (2.53)	64.33 ^{AB} (3.67)
Lignin (%)	35.02 ^C (2.27)	31.35 ^D (1.47)	38.14 ^B (2.17)	38.41 ^B (6.50)
N (%)	0.27 ^{BC} (0.03)	0.30 ^{BC} (0.04)	0.34 ^{AB} (0.02)	0.22 ^D (0.02)
P (%)	0.02 ^B (0.00)	0.01 ^C (0.00)	0.02 ^B (0.00)	0.03 ^B (0.01)
Ca (%)	0.24 ^C (0.03)	0.09 ^C (0.01)	0.95 ^B (0.09)	0.05 ^C (0.00)
Mg (%)	0.01 ^{CD} (0.00)	0.01 ^{CD} (0.00)	0.03 ^B (0.01)	0.14 ^A (0.01)
K (%)	0.15 ^C (0.01)	0.14 ^C (0.02)	0.22 ^C (0.02)	0.42 ^B (0.13)
S (%)	0.02 ^A (0.00)	0.02 ^A (0.01)	0.03 ^A (0.01)	0.02 ^A (0.01)
Fe (mg/kg)	5.34 ^C (1.01)	18.33 ^{AB} (10.40)	18.76 ^{AB} (11.87)	2.60 ^D (1.53)
Cu (mg/kg)	2.78 ^A (0.78)	2.50 ^A (2.12)	2.23 ^A (0.38)	8.33 ^B (10.12)
Zn (mg/kg)	1.56 ^B (0.50)	2.00 ^B (1.00)	1.83 ^B (0.90)	9.33 ^A (6.66)
Mn (mg/kg)	1.63 ^B (0.24)	11.67 ^B (2.37)	3.21 ^B (0.26)	500.33 ^A (238.55)
B (mg/kg)	1.50 ^B (0.30)	2.00 ^{AB} (1.00)	3.95 ^B (0.84)	5.66 ^A (2.08)

Legend: Not data, those chemical elements were not measured in chemical analysis.

Note: Value in parenthesis is standard deviation and different letters between species and same wood properties are statistically different at 99%.



med: one group consisting of *Cl* with the highest value, followed by two groups with an intermediate value of the amount of lignin, one formed by *Bq*, *To* and *Vg*, the third group consisted solely for *Sm* and finally the group *Am*, *Aa* and *Ta*, which showed lignin values significantly lower.

Regarding macroelements in ash (Table 3), it was determined that (IV) for the proportion of N, three groups were formed: a first group with significantly higher values consisting of 4 species (*Aa*, *Bq*, *Cl* and *To*) and the second group was formed by *Am*, *Sm* and *Ta*, and finally *Vg* showed the lowest value of N. (V) For P, this element was not detected in *Am* and *Cl*. *Bq* had the highest amount of P, while *Ta* showed the lowest presence and, the remaining four species showed no significant differences between them. (VI) In relation to Ca, *Bq* showed the highest value of Ca, *Ta* and *Vg* showed lower concentrations of this element and the remaining five species showed no statistical differences between them. (VII) For the Mg element, three groups were formed, one group with the highest concentration, which is composed solely of *Vg*, followed by the group of *Aa*, *Am*, *Bq* and a third group consisting of *Cl*, *Sm* and *Ta* with the least presence of Mg. (VIII) For the K element, *Bq* obtained the highest value, followed by *Vg* and subsequently *Aa*, *Sm*, *Ta* and *To* species showed no differences between them and finally *Am* and *Cl* reported the lowest percentages of K. (IX) Two groups were formed in the S element (Table 3): the first group with the lowest values of S consisting of *Cl* and *Am* and a second group formed with the remaining 6 species, which showed no significant difference between each other.

Regarding microelements in ash (Table 3) it revealed that: (I) to the Fe element, there were only differences in *Vg* which showed a significantly smaller presence of Fe to the remaining seven species, which showed no difference between each other. (II) In the elements of Cu, Zn, Mn and B statistical analyzes showed that these micronutrients were significantly higher *Vg* in relation to the remaining seven species, which have no statistical difference between them.

Amount of extractives

Different percentages of extractives obtained with various solvents are presented in table 4. Extractives in cool water were significantly higher *Vg*, contrary, *Aa* and *Am* showed lower values, while *Ta* and *Sm* show differences between them and *Bq*, *Cl* and *To* show a proportion of between 2.9% and 5.3% and showed no differences between them. (II) The hot water extractives present three groups of species: a first group consisting of *Ta*, with significantly higher value, a second group consisting of *Am* and *Aa* and finally the third group consisting of the remaining 5 species, which showed no significant differences between them. (III) The extractives dissolved in NaOH present two groups: the first is composed of *Ta*, *To*, *Vg* and *Sm*, which showed no variations between them and the second group was formed of *Am*, *Aa*, *Bq* and *Cl*. (IV) For the ethanol-toluene extractives, it was only found significant difference in *Aa* and *Am*, which showed significantly lower values to the remaining six species that showed no significant differences between them. (V) Finally for extractives in Dichloromethane three groups formed: the first, with significantly higher percentages, which is formed by *Cl* and *Am*, the second group consisting of *Bq* and *Vg* and the third group contemplated the remaining four species.

Dip-diffusion Preservation

Boron penetration increased with storage time in all species and this time varies from 4 days to 40 days depending on the species and the thickness of the wood (Fig. 1). It is remarkable to note that: (I) *Ta* and *Vg* showed a period of less widely to 6 days for any thickness of wood (Fig. 1) and (II) for heartwood of *Cl* boron dip-diffusion was not achieved and only got a penetration of 2 mm at all thicknesses (Fig. 1). For the rest of the five species, the diffusion time varied with the thickness of the wood. In the thickness of 12.7 mm (Fig. 1a), 100% of the diffusion is accomplished in 15 days to 16 days in *Aa*, *Am* and *Sm*. Meanwhile *To* achieve full penetration in 32 days (Fig. 1a). For the case of *Bq* it was not evaluated in this thickness. In the thickness of 25.4 mm (Fig. 1b), *Aa*, *Am* and *Bq* have similar diffusion time (20 days to 24 days), whereas the time

Table 4. Extractives in different solvent for eight different fast-growth plantation species in Costa Rica

Species	Extractives percentage				
	Cool water	Hot water	NaOH at 1%	Ethanol toluene	Dichloromethane
<i>Alnus acuminata</i> (Aa)	2.0 ^D (0.9)	2.5 ^C (0.9)	13.2 ^D (1.2)	0.9 ^C (0.4)	3.3 ^{AB} (1.1)
<i>Acacia mangium</i> (Am)	1.9 ^D (0.7)	2.7 ^C (0.5)	16.3 ^{AB} (1.8)	1.1 ^C (0.6)	1.3 ^{DE} (0.5)
<i>Bombacopsis quinata</i> (Bq)	2.6 ^C (0.5)	6.2 ^B (1.5)	11.1 ^D (0.5)	1.3 ^{AB} (0.6)	2.5 ^{BC} (0.7)
<i>Cupressus lusitanica</i> (Cl)	4.3 ^C (1.0)	8.0 ^B (1.3)	11.8 ^D (1.4)	2.2 ^{AB} (1.0)	4.6 ^A (1.7)
<i>Swietenia macrophylla</i> (Sm)	7.9 ^B (1.6)	9.6 ^B (1.8)	21.2 ^{AB} (0.7)	3.9 ^A (1.8)	1.5 ^{CD} (0.8)
<i>Terminalia amazonia</i> (Ta)	8.2 ^B (1.2)	15.3 ^A (1.6)	22.4 ^A (1.1)	3.4 ^A (1.6)	1.0 ^E (0.7)
<i>Terminalia oblonga</i> (To)	5.3 ^C (1.1)	11.2 ^B (2.8)	19.0 ^{AB} (2.8)	2.9 ^{AB} (0.8)	1.0 ^E (0.4)
<i>Vochysia guatemalensis</i> (Vg)	11.5 ^A (1.2)	10.0 ^B (1.7)	21.0 ^{AB} (4.0)	2.8 ^{AB} (1.6)	2.9 ^{BC} (1.3)

Legend: Value in parenthesis is standard deviation and different letters between species and same wood properties are statistically different at 99%.

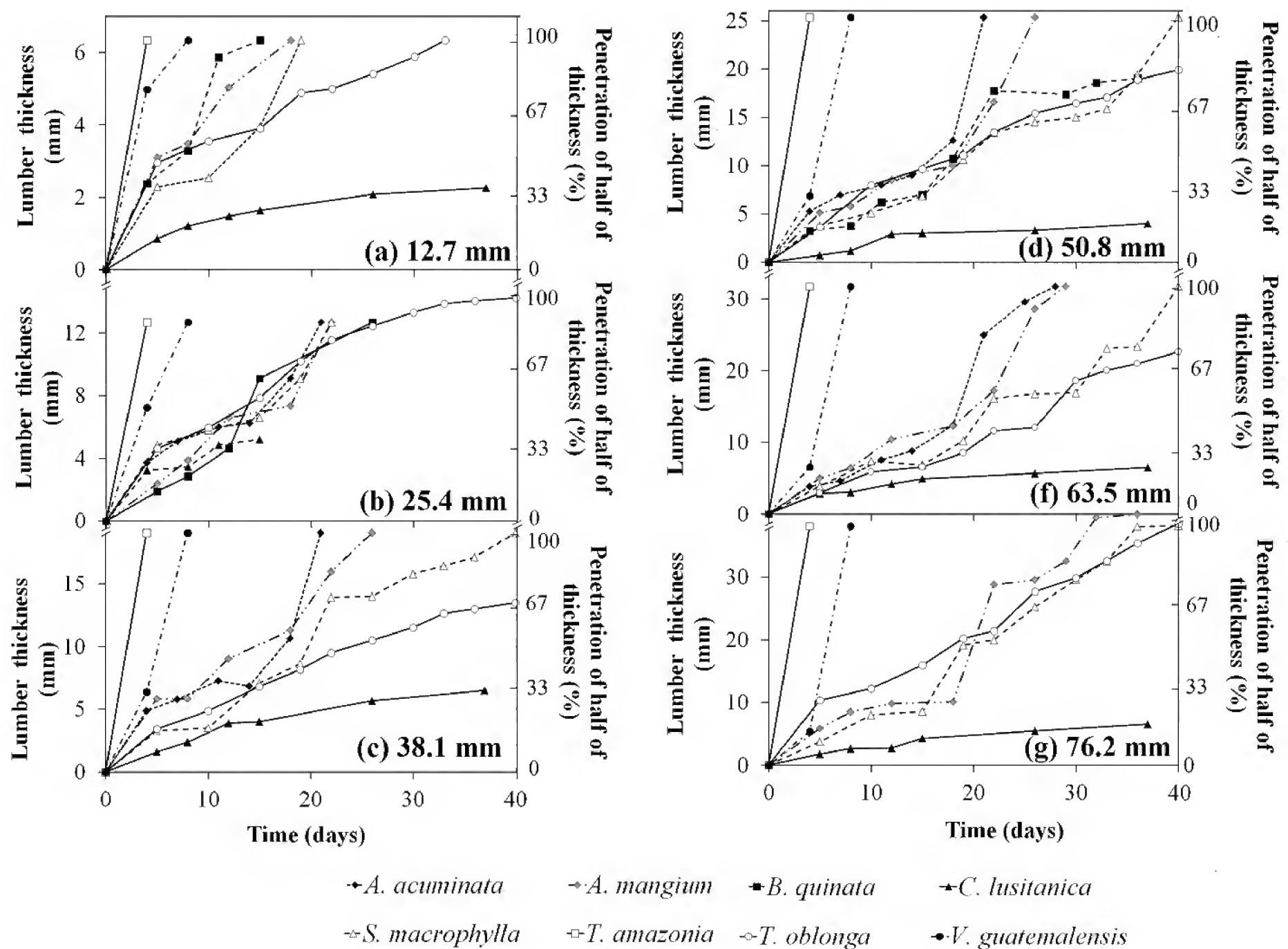


FIGURE 1. Number of days for reaching 100% of penetration at different lumber thicknesses in eight different fast-growth plantation species in Costa Rica.



for *To* has wider diffusion, 40 days. In thicknesses of 38.1 mm and 63.5 mm (Fig. 1c and 1f), *Am* and *Aa* showed similar period of diffusion in two thicknesses, followed by *Sm*, while for *To*, after 40 days, full penetration was not achieved. In thickness of 50.8 mm (Fig. 1c) again *Aa* and *Am* have a similar diffusion time, followed *Sm* and *Ta* and *Bq* no penetration was achieved beyond 80% of the thickness at 40 days. Finally for the thickness of 76.2 mm (Fig. 1f) *Aa*, *Am* and *Sm* showed a similar period of diffusion. In case of *Bq*, for this thickness was not studied.

Vacuum-Pressure Preservation

The introduction of preservatives, using vacuum pressure method was not possible in the heartwood of the four reforestation species studied with presence of heartwood, while the sapwood succeeded in introducing the preservative (Table 5). The kind of penetration is different and therefore, 6 types of impregnation were listed: regular total penetration (in *Vg*), regular partial (in *Am*), irregular vascular partial (in *Aa*, *Ta* and *Ta*), regular vascular partial (in *Bq*), irregular (*Cl*) and irregular partial (in *Sm*). The absorption obtained for sapwood of species varied from 103.3 l/m³ to 476.0 l/m³, and retention ranged between 2.1 kg/m³ and 8.9 kg/m³. The ANOVA for these two parameters showed that *Vg* has the highest absorption and retention, followed by *Ta*, *To* and *Sm*. The remaining four species showed no significant differences between them.

Air drying

As expected in all species and for different thicknesses, the time to reach 20% moisture content increased with lumber thickness (Fig. 2a). However, the drying time was different and different groups were formed: the first consisting of *Ta* and *Am*, which showed the shorter drying periods at all thicknesses. Then *Aa* species has slightly more time than the previous two species drying. Subsequently the species *Cl*, *Sm* and *To* with a longer drying time. Finally the species *Vg* presents the longest drying times in almost all thicknesses (Fig. 2a).

The drying rate obtained is smaller than 2% day⁻¹ in the thicknesses of lumber about 50 mm, while for the

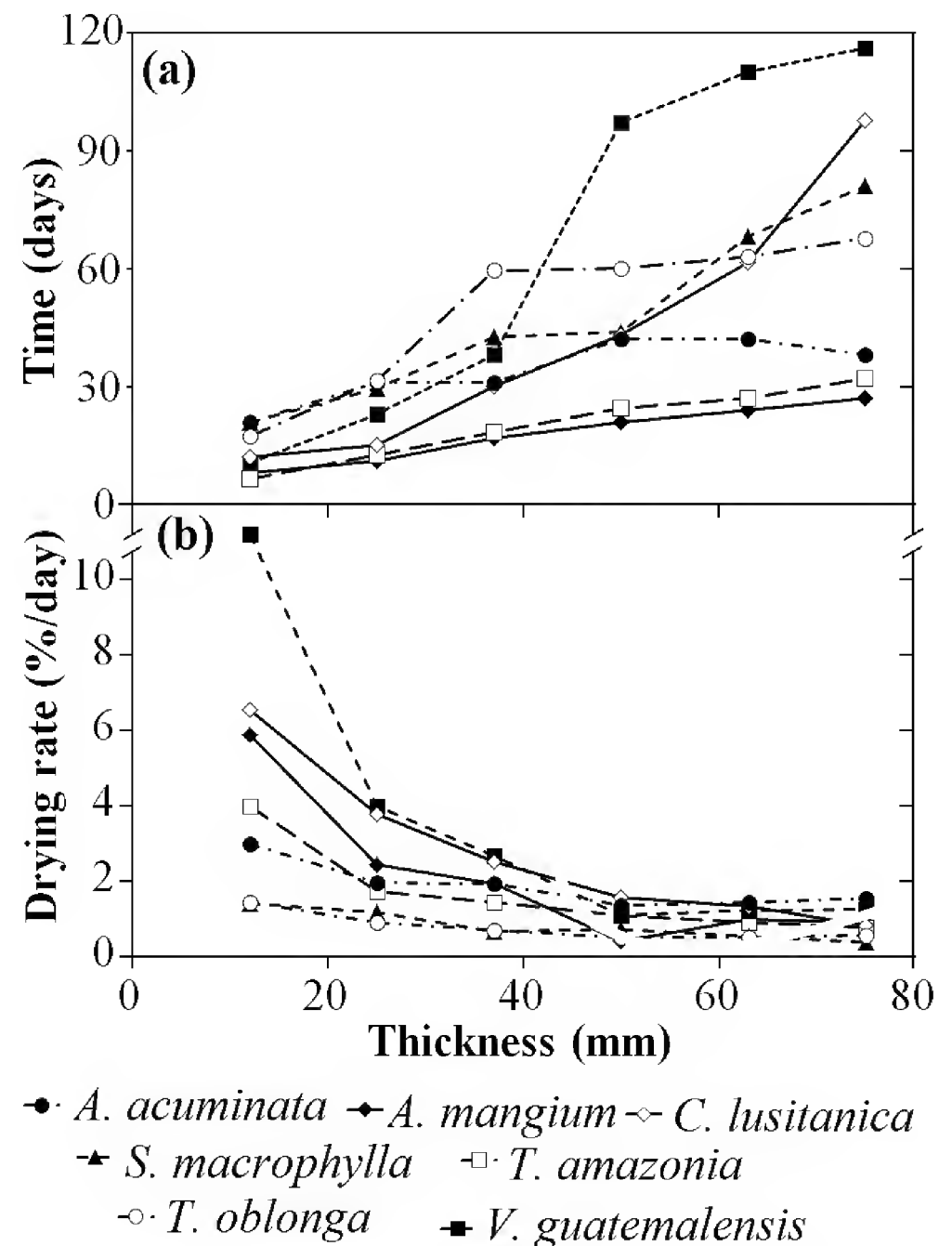


FIGURE 2. Air drying on in eight different fast-growth plantation species in Costa Rica.

wood thickness of 12 mm presents the highest drying rates compared to the rest of the thickness (Fig. 2b). Also, the drying ratio confirms species grouping for the air drying process, especially if it considers thickness over 37 mm (Fig. 2b). The drying ratios in *Sm* and *To* are the lowest, then with a drying rate slightly larger is presented in *Ta* and *Aa*, then with slightly higher values are *Am* and *Cl* Finally, *Vg* presents the highest ratios for moisture loss.

Workability

The behavior of wood in planing test varied between species, cutting angles and feeding rates. Regarding the species, four species groups were established: a first group formed by *Am*, *Bq*, *Cl*, *Sm* and *To*, with the highest percentage of area free of defects and planing quality from

TABLE 5. Penetration, absorption and retention capacity in pressure preservation for eight different fast-growth plantation species in Costa Rica.

Species	Penetration on			Preservative uptake in sapwood		Specify gravity ^Δ
	Sapwood	Type	Heartwood	Absorption (l/m ³)	Retention* (kg/m ³)	
<i>A. mangium</i>	Yes	Partial Regular	No	121.4 ^c (21.8)	2.4 ^c (0.4)	0.45
<i>A. acuminata</i>	Yes	Partial Irregular-Vascular	ND	108.8 ^c (61.7)	2.2 ^c (1.2)	0.34
<i>B. quinata</i>	Yes	Partial Regular-Vascular	No	145.1 ^c (67.1)	2.9 ^c (1.3)	0.32
<i>C. lusitanica</i>	Yes	Irregular	No	103.3 ^c (67.6)	2.1 ^c (1.4)	0.43
<i>S. macrophylla</i>	Yes	Partial Irregular	No	231.6 ^b (50.4)	4.6 ^b (1.0)	0.50
<i>T. amazonia</i>	Yes	Partial Irregular-Vascular	ND	222.5 ^b (44.6)	4.5 ^b (0.9)	0.49
<i>T. oblonga</i>	Yes	Partial Irregular-Vascular	ND	214.6 ^b (40.3)	4.3 ^b (0.8)	0.58
<i>V. guatemalensis</i>	Yes	Total regular	ND	476.0 ^a (8.9)	8.9 ^a (2.9)	0.32

Legend: Value in parenthesis is standard deviation and different letters between species and same wood properties are statistically different at 99% and ND: preservation no determined because heartwood was not present. *Retention was calculated in a concentration of 2.8%. ^Δ data from Moya and Muñoz (2010).

excellent to good (Table 6). However *Bq* wood, for speed 20 m/min, would not be included in this group. The second group is only composed by *Ta* with lower area free of defects than the previous group and presents a surface quality from fair to good. *Aa* has a lower value compared to the previous species and a planing quality from very poor to poor. Finally *Vg* is the species with the smallest area free of defects and the lowest brushing quality, from very poor to poor.

Regarding cutting angles, again there is no clear trend in which angle is the most appropriate for all species. For example, in *Aa* and *Bq* the angle of 15° has higher area free of defects than the angle of 30°, but in *Cl*, *Sm* and *To*, the greatest percentage of area free of defects occur when planing is performed with a blade with a cutting angle of 30°. As for the other species no definite trend is observed. As for the feed rate in most species was found that a feed rate of 6 m/min produces the best area percentage except *Aa* and *Cl* in the cutting angle of 15° and *To* and *Vg* in the angle of 30° (Table 6).

In the sanding test, the highest temperature was obtained in *Ta*, followed by *Vg* and then followed by a group of species (*Aa*, *Cl* and *To*) with average and low

temperatures. Finally, *Am*, *Bq* and *Sm* presented the lowest statistically temperatures. The dust removal parameter, that indicates the ease of sanding, again classifies the species into five groups: one group (easily sanded) formed only by *Sm* with the highest removing, followed by second group compound alone by *Bq*, thereafter, a third group (median easiness to sanding) composed of *Am*, *Aa* and *Vg*, then a group consisting of *Cl* and *To* and finally the group, of harder sanding consisting by *Ta*. It is important to note that in this test the presence of fluffy grain was found in the sanded surface (Table 6).

For the boring test, when this operation is performed with a wood drill bit, the quality of excellent is presented in *Cl* and *Vg*, but if these species are bored with a metal drill bit, the hole quality is poor quality. Likewise, the quality of the holes is excellent with metal drill bit in *Sm*, *Ta*, *To* and *Am* to a 500 min⁻¹ rotation, but these species with the wood drill bit show a poor quality. Moreover, a deficient quality was recorded when *Am* used a wood drill bit in the two-speed turns and with a metal drill bit with a rotation of 1000 min⁻¹. For *Aa* and *Bq*, with two types of drill bits, there is poor or deficient qualities of hole (Table 6).



Regarding the chip thickness, the highest values are presented in *Cl* with a wood drill bit, followed by *Bq* and *Vg*, then a group consisting of *Aa*, *Sm*, and the two species of *Terminalia*. Finally the smallest chip thickness with wood drill bit was reported for *Am*. The chip thickness, when a metal drill bit is used, is varied. At the speed of 500 min⁻¹ the greatest thickness is presented in *Am*, followed by *Sm* and *To*, then a group consisting of *Ta* and *Vg* and last *Aa* and *Cl*. In the speed of 1000 min⁻¹ the order is different: first *Sm* and *Am*, then an intermediate group composed of the two species of *Terminalia*, and the lowest chip thickness is a group composed of *Aa*, *Bq* and *Vg* (Table 6).

The behavior of the species is similar in mortising and shaping test, showing excellent surface quality in *Cl* and *Bq*. In *Sm*, the species of *Terminalia* and *Vg*, the quality of the surface is classified as good. The *Am* and *Aa* species shown fair quality in mortising and poor to good quality in shaping (Table 6). In the test for turning, the best performance is obtained in *Bq* and *Sm* with few defects and slight presence of ripped grain. *Am* is another species with good turning, because it presented good surface quality and when there is presence of any defect is a fluffy grain. Species *To* and *Vg* show a surface quality in turning from fair to good, with the presence of fluffy grain and the presence of a rough surface. The lowest conditions of surface quality were obtained in *Aa*, *Cl* and *Ta* (Table 6).

DISCUSSION

The wood has, generally, a slightly acidic pH (below 7) (Johns and Niazi, 1980; Abe and Ono, 1982) this is fulfilled for most of the species in this study. When there is a very low pH, like the case of the two species of *Terminalia*, leads to problems of corrosion of metals (Zelinka and Stone, 2011), or decrease in curing of the adhesive (Johns and Niazi, 1980). Meanwhile, *Bq* wood showed a tendency to be basic (Table 3), a situation that is not common in the wood (Abe and Ono, 1982). Regarding holocellulose and lignin content, again reflects the difference between softwood and hardwood species. The hardwood

species have a greater content of holocellulose and lower lignin content relative to softwood species (Schroeder, 1972; Bárcenas-Pazos y Dávalos Sotelo, 1999; Pereira *et al.*, 2003). In this study, the only softwood specie (*Cl*) showed the lowest value in the content holocelullose and was the species with the lowest amount of lignin (Table 3). Moreover, within the hardwood species analyzed the variability that occurs in tropical woods is shown, which have a wide range of variation, which is related to the amount of polysaccharides present in the cellulose and hemicellulose, amounts that are variables between species (Pereira *et al.*, 2003).

The micro and macro elements in ash, although it does not have great importance from the point of use of wood (Bougnom *et al.*, 2011) are considered by some authors as important aspects related to ash production. This because they represent a waste necessary to handle and also because they are an indicator of the quantity of nutrients removed by the tree during growth (Demeyer *et al.*, 2001). As expected, the amount of microelements varies among the different species (Bougnom *et al.*, 2011), as occurred in this study (Table 3). But the differences obtained should be taken with great care since these variations occur between species, tree age, tree section, soil type and climate, combustion type, type of sampling and wood storage (Demeyer *et al.*, 2001). Importantly, to point out the differences in the five micro-elementes analyzed (Fe, Cu, Zn, Mn and B) of *Vg* in relation to the other seven species studied (Table 3). This result agrees with studies by Kukachka and Miller (1980), which had noted the high concentration of microelements in the genre *Vochysia*, feature that can be used to identify the species of this genus.

The percentage of extractives, that were extracted in the studied species (Table 4), again reflects the variation in the chemical composition of extractives found in the species, this because each solvent reflects the chemical nature of these compounds (Pereira *et al.*, 2003). For example, the high values obtained in the extractives in hot and cold water, reflect the amount of tannins, gums, sugars, and coloring matters and starches (ASTM, 2012b), so that the

TABLE 6. Workability for eight different fast-growth plantation species in Costa Rica.

Testing lumber	Parameter	Condition	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Planing	15° cutting angle	6 m/min in feet rate	90 ^A EX	36 ^C PO	85 ^A EX	78 ^A GO	92 ^A EX	56 ^B FA	83 ^A EX	21 ^D PO
		20 m/min in feet rate	72 ^A GO	43 ^B PO	10 ^D VP	84 ^A EX	79 ^A GO	38 ^B PO	70 ^A GO	4 ^E VP
	30° cutting angle	6 m/min in feet rate	89 ^A EX	9 ^C VP	79 ^A GO	88 ^A EX	92 ^A EX	33 ^B GO	95 ^A EX	0 ^D VP
		20 m/min in feet rate	84 ^A EX	2 ^C VP	0 ^C VP	92 ^A EX	86 ^A EX	74 ^B GO	86 ^A EX	75 ^B GO
Sanding	Temperature		30.87 ^D L	33.10 ^C L-W	30.77 ^D L	34.43 ^C L-W	29.32 ^D L	41.30 ^A H	32.89 ^C L-W	36.10 ^B M-H
	Dust removal (mm)		1.89 ^C VE	1.84 ^C VE	2.43 ^B VE	1.46 ^D VE	3.26 ^A VE	0.90 ^E VE	1.39 ^D VE	1.82 ^C VE
Boring with bit for wood	500 min ⁻¹	Chip thick- ness x 100	2.6 ^E PO	7.0 ^D PO	77.7 ^B PO	454.7 ^A EX	5.9 ^D PO	6.9 ^D PO	6.4 ^D PO	68.9 ^C EX
	1000 min ⁻¹	Chip thick- ness x 100	3.2 ^C PO	11.6 ^D DF	122.6 ^B PO	837.2 ^A EX	5.7 ^F PO	8.0 ^E PO	5.0 ^F PO	89.2 ^C EX
Boring with bit for metal	500 min ⁻¹	Chip thick- ness x 100	89.8 ^A EX	15.0 ^E DF	32.5 ^D PO to VP	5.5 ^F PO	67.7 ^B EX	32.1 ^D EX	46.9 ^C EX	27.8 ^D PO
	1000 min ⁻¹	Chip thick- ness x 100	86.2 ^B PO	8.3 ^E PO	9.8 ^E PO	4.0 ^F PO	119.6 ^A EX	66.7 ^C EX	40.3 ^D EX	9.5 ^E PO
Mortising	Calidad	FA	GO	EX	EX	GO	GO	GO	GO	
Shaping	Horizontal		PO to GO	PO to GO	EX	EX	PO to GO	GO	PO to GO	GO
	vertical		FA to EX	FA to GO	EX	EX	GO to EX	GO	GO to EX	GO
Turning	10	paralelo	GO (FG)	FA to VP (RG)	EX (AD)	FA to PO (RG)	EX (AD)	VP (RG)	GO (FG)	A to GO (RS)
		perpendicular	GO (FG)	FA to VP (RG)	EX (AD)	PO to VP (RG)	EX (AD)	VP (RG)	GO (FG)	FA to GO (RS)
	40	paralelo	GO (FG)	FA to VP (RG)	EX (AD)	VP (RG)	EX (AD)	VP (RG)	GO (FG)	FA to GO (RS)
		perpendicular	GO (FG)	FA to VP (RG)	GO (RG)	PO to VP (RG)	FA (RG)	FA to VP (RG)	FA (RG)	GO (RG)
	60	paralelo	GO (FG)	FA to VP (RG)	EX (AD)	VP (RG)	EX (AD)	VP (RG)	GO (FG)	FA to GO (RS)
		perpendicular	GO (FG)	FA to VP (RG)	GO (RG)	PO to VP (RG)	FA (RG)	FA to VP (RG)	FA (RG)	GO (RG)

Legend: Value different letters between species and same test workability are statistically different at 99% and letters in in parenthesis represent quality and classification. For temperature and dust removal in sanding test; L: low, M: medium, H: high, L-M: low to medium, M-H: medium to high, VE: very easy, VD: very difficult. In planing, mortising, turning, shaping and burning: EX: excellent, GO: good, FA: fair, PO: poor, VP: very poor. In turning test: FG: fluffy grain, RG: ripped grain, AD: Any defects, RS: rough surface



highest values found in *Vg* and *Ta*, indicate that these components are present in the wood. Likewise, high levels of soluble extractives in NaOH, found *Sm*, *Ta*, *To* and *Vg* indicate the high presence of low molecular weight extractives such as carbohydrates consisting mainly of hemicellulose and degraded cellulose in wood (ASTM, 2012c). The high value of soluble extractives in dichloromethane, found in *Cl*, indicates the high presence of waxes, fats, resins, phytosterols, and nonvolatile hydrocarbons in the wood of this species (ASTM, 2012e). Tropical wood extractives have several effects on the properties of the wood, specifically by the values of swelling and shrinking, the equilibrium moisture content that wood can reach, the dimensional stability and the physical and mechanical properties of wood (Kilic and Niemz, 2012). Thereby, indicating that the differences found between species (Table 4), affect the properties of the plantation species studied.

The preservation of wood aims to increase its resistance to attack by insects and fungi (Lloyd, 1998). The use of boron salts caters mainly for insect protection and has its advantage over other types of preservatives, since it does not depend on the presence of sapwood/heartwood and has a low cost (Ra *et al.*, 2001). The protective effect and application can be used in the eight plantation species analyzed in this work, since all species achieved full penetration of the preservative. However, this penetration is related to two aspects: the thickness of the wood to be preserve and the species (Fig. 1). The differences in thickness were to be expected, since the boron diffusion arises from the surface to the inner part of wood, chemically explained by a difference in boron concentration between the outside part and the inside part (Ra *et al.*, 2001). So in a smaller thickness, the preservative reaches the center of the piece of wood (Fig. 1) more quickly.

The species factor is the most influential in the types of boron diffusion. Two species (*Ta* and *Vg*) showed a very rapid diffusion period, less than six days in any of the thicknesses evaluated (Fig 1). The rapid diffusion in *Vg* can be explained because it presents the initial moisture content (close to 145%) higher relative to the other species (Moya and Munoz, 2010) and a high moisture accelerates

the diffusion of boron into the wood (Morrell *et al.*, 1990) while the rapid diffusion of *Ta* can be attributed to the low pH present in the wood of this species (Table 3), since a low pH (3-4) in the wood favors boron diffusion (Lloyd, 1998). In other species the variations that occur can be attributed to differences in moisture conditions. For example, *Aa* has low moisture content and pH within the range of timber species, justifying why this species presented a slow diffusion time in some thicknesses. Likewise, the slightly basic pH found in *Bq*, would not allow the adequate diffusion of boron, which explains the high treatment times in certain thicknesses.

Regarding *Cl*, it was observed that the boron is diffused only in the sapwood. Although the determination of moisture content was not performed in this study, Nakada (2006) reports a marked difference in moisture content between the portion of sapwood and part of heartwood in the wood of *Cl*, 152% and 47% respectively. Jrabnhoft *et al.* (2004) agrees with this result, an appropriate moisture content for the diffusion of boron is 100%, but when it has low moisture content, the diffusion of boron is little effective. For this reason, it is expected that the low humidity in the heartwood of *Cl* would limit the diffusion of boron.

Regarding the preservation of wood with the vacuum-pressure method is important to note that it was not possible to preserve, with this method, species with presence of heartwood. It is mentioned that the heartwood of most species would refract preservative impregnation by the pressure method (Stan, 2010), however, some wood species, both temperate and tropical climates, may have preservative penetration with this method (Keenan and Tejada, 1988). This ability to absorb or no the preservative, is related to the anatomical structure and the abundance and amount of extractives (Stan, 2010).

Moreover, the preservation by the vacuum pressure method showed that, for all species, it is possible to preserve the sapwood (Table 5), however, two major differences between species are presented: first the type of penetration and second the absorption (l/m^3) of the preservative. Both parameters are related to the variety of the anatomical structure of the species (Keenan and Tejada,

1988). A total and regular penetration, as recorded in *Vg*, occurs when the anatomical structure of the wood has pathways (pit) suitable for fluid flow between the different anatomical features such as punctuations and perforation plates of the vessels. The partial, irregular and vascular penetration the most common among the species analyzed, occurs when the vessels have almost no obstructions to the passage of preservative lengthwise, but in the transverse direction (radial or tangential) there is greater blockage of the vessels. When the flow of the preservative crosswise is not prevented, the penetration is regular, as happened in *Bq* and *Aa*. Finally, the irregular penetration occurs when areas of the cross section of the wood, the flow of the preservative is not uniform (Keenan and Tejada, 1988).

The other aspect that shows the differences between the species studied is the absorption of the preservative (Table 5). Keenan and Tejada (1988) found that the absorption of preservative is related to the density of the wood in different tropical species of natural forest in the Andean Region of Colombia, Peru, Bolivia and Venezuela. However, this behavior was not fully complied with these plantation species (Table 5). For example, *Bq*, *Aa* and *Vg*, similarly specific weight, showed large differences in absorption (approximately 331 l/m³ to 367 l/m³). The lack of correlation between specific weight and absorption, in this case, it is related to the penetration type. Species with partial and irregular penetration would present a proportionality between the specific gravity and absorption of preservative, but in the other species what happens is a combined influence between specific weight and the penetration type of the preservative.

The drying rate increased with increasing board thickness in air-dry conditions (Fig. 2), following the common rule of proportionality (Moya *et al.*, 2009). The water in lumber moves from high to low moisture content zones, aiming at a moisture equilibrium through-out the board. This means that the drying within a board occurs from its interior, moving the moisture to drier surfaces more rapidly in thinner boards (Moya *et al.*, 2009). The difference in drying time among species with different board thicknesses can be attributed to initial moisture content.

The initial or green moisture content showed a positive correlation with air-drying time. The fastest drying rate was found in *Ta* and *Am* (with 45% and 47% in moisture content), followed by *Sm*, *To*, *Aa* and *Cl*, with intermediate values (with 52%, 53%, 80% and 94% in moisture content) and *Vg* (initial moisture content of 137%) with the slowest air-drying rate. However, others inherent wood characteristics can affect the relationships between initial moisture content and drying time, such as vessels and parenchyma rays compositions (Pereira *et al.*, 2003), but they not considered in this research.

On the others hand, studies by Serrano (1983) in Costa Rica and Torelli and Cufar (1996) with 43 Mexican woods, showed that species of low density and high density (especially of interlocked grain) present problems in different operations of workability as happens in this study with species *Aa* and *Vg* (both low density), which showed the greatest problems in workability. *Am*, *Bq*, *Cl*, *Sm* and *To* (medium density species) generally have from excellent to good properties in planing, sanding, boring, and shaping, which makes them potential species to use in the manufacture of furniture since in this type of use, these operations are applied most frequently. For all other species (*Ta*, *Bq*, *Aa* and *Vg*), especially for *Aa* and *Vg*, much more care must be taken in these operations, since the quality of the surface that can be obtained is low, scored as poor or very poor. However, to reduce this intrinsic effect of wood, it is possible to apply some treatments to wood. Recent research has shown that workability properties in plantation species can be improved. For example thermal rectification en *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (De Mauro *et al.*, 2011) or *Hevea brasiliensis* (Ratnasingam and Ioras, 2012) improves workability problems of these species. This type of treatment, for example, could be applied on wood from plantations of *Ta*, *Bq*, *Aa* and *Vg* in Costa Rica to increase quality in the operations of workability.

CONCLUSIONS

1. Wood from the plantation species analyzed, presents a slightly acidic pH (less than 7), however



Bq wood tended to be basic. Also, the only softwood specie (*Cl*) showed the lowest value in the content holocelullose and it was the species with the lowest amount of lignin, reflecting the difference in chemical composition between softwood and hardwood species. The species studied show considerable variability in the content of holocelullose, lignin, and amount of extractable and micronutrients, which is common in tropical woods. In connection with the micronutrients, a high percentage was found in *Vg*, compared with the seven species studied.

2. The preservatives based on boron salts can be applied in the 8 plantation species analyzed, however two aspects must be considered: the thickness of the wood and the species to be preserved. In the wood with lower thickness, the preservative reaches the center of the treated piece more quickly and conversely in the wood with greater thickness, the boron diffuses more slowly. Regarding the species *Ta* and *Vg* showed a faster diffusion period, compared with the other species, where the time is longer.
3. It was not possible to preserve the species with presence of heartwood with vacuum-pressure method, but it was possible to preserve the sapwood in all species. Two major differences were observed between the species studied: first the type of penetration (partial, irregular and vascular) and second the preservative absorption which varied from 103 l/m³ to 476 l/m³.
4. The drying rate increased with increasing board thickness in air-dry conditions and the difference in drying time among species. The fastest drying rate was found in *Ta* and *Am* (species with 45% and 47% in initial moisture content), followed by *Sm*, *To*, *Aa* and *Cl*, with intermediate values in moisture content (52%, 53%, 80% and 94%) and *Vg* (initial moisture content of 137%) with the slowest air-drying rate.
5. The *Am*, *Bq*, *Cl*, *Sm* and *To* species have excellent to good properties of planing, sanding, turning and shaping, but the rest of the species (*Ta*, *Bq*, *Aa* and *Vg*) and especially *Aa* and *Vg* are catalogued in the operations of workability, as poor or very poor quality.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Vicerrectoría de Investigación y Extensión at the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), and Precious Woods of Central America (MACORI), Maderas Cultivadas de Costa Rica and Escuela de Agricultura de Trópico Húmedo (EARTH) for the raw materials and facilities for the study.

REFERENCES

- Abe, I. and K. Ono.1982. The acidity of wood and the extractives of some tropical species. *Journal of the Japan Wood Research Society* 28(6):535-540.
- PADT.RFT. 1976. Acuerdo de Cartagena. Normas y metodología para las actividades tecnológicas. Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el área de recursos tropicales. Documento PADT.RFT/di 2. Lima, Perú. 25 p.
- ASTM. 2012a. D1102-84 Standard test method for ash in wood. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 11.06. Philadelphia, US. 2 p.
- ASTM. 2012b. D1110-84 (1995) Standard test methods for water solubility of wood. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 11.06. Philadelphia, US. 2p.
- ASTM. 2012c. D1109-84 Standard test method for 1% sodium hydroxide solubility of wood. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 11.06. Philadelphia, US. 2p.
- ASTM. 2012d. Standard test method for ethanol-toluene solubility of wood. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 11.06. Philadelphia, US. 2p.
- ASTM. 2012e. D1108-96 Standard test method for dichloromethane solubles in wood. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 11.06. Philadelphia, US. 2p.
- ASTM. 2012f. D-1666-2003. Standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-base materials.

- Annual Book of ASTM Standards. Vol. 11.06. Philadelphia, US. 16p.
- Baraloto, C., C Paine, L. Poorte, J. Beauchene, D. Bonal and A. Domenach. 2010. Decoupled leaf and stem economics in rain forest trees. *Ecology Letters* 13(11):1338-1347.
- Bárceñas Pazos, G.M. y R. Dávalos Sotelo. 1999. Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. *Madera y Bosques* 5(1):13-26
- Bougnom, B.P., B.A. Knapp, F. Etoa and H. Insam. 2011. Possible use of wood ash and compost for improving acid tropical soils. *In: H. Insam, and B.A. Knapp, eds. Recycling of biomass ashes. Springer Verlag. New York. p:87-105.*
- Butterfield, R., R. Crook, R. Adams and R. Morris. 1993. Radial variation in wood specific gravity, fiber length and vessel area for two Central American hardwoods; *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation-grown trees. *IAWA Journal* 14(2): 153-161.
- Demeyer, A., J.C. Voundi and M.G. Verloo, 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology* 77(3): 287-295
- De Mauro, L.F., J. Brito, A.M. Nolasco and L. Rodrigues. 2011. Effect of thermal rectification on machinability of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* woods. *European Journal of Wood Products* 69(4):641-648.
- Erickson, H.D. 1962. Some aspects of method in determining cellulose in wood. *TAPPI Journal* 45(9):710-719.
- Jrabnhof, K., P. Hoffmeyer, C.G. Bechgaards and L. Damkilde. 2004. Finite element analysis of boron diffusion in wooden pole. *Wood Fiber and Science* 36(4): 573-584.
- González, E. and R. Fisher. 1998. Variation in selected wood properties of *Vochysia guatemalensis* from four sites in Costa Rica. *Forest Science* 44(2):185-191.
- Johns, W. and N. Niazi. 1980. Effect of pH and buffering capacity of wood on the gelation time of urea-formaldehyde resin. *Wood fiber and Science* 12(4):255-263
- Kukachka, B.F. and R.B. Miller. 1980. Chemical spot-test for aluminum and its value in wood identification. *IAWA Bulletin n.s.* I(3): 104-109.
- Kilic, A. and P. Niemz, 2012. Extractives in some tropical woods. *European Journal of Wood Products* 70(1-3):79-83
- Keenan, F.J. and M. Tejada. 1988. Maderas tropicales como material de construcción en los países del grupo andino de América del Sur. Ottawa, Canada. 147 p.
- Lloyd, J.D. 1998. Borates and their biological applications. International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 98-30178. IRG Secretariat, Stockholm Sweden. 17 p.
- Monique, T., I. Bosman, K. ven Genderen and P. Baas. 1994. Radial variation in wood properties of naturally and plantation variation in wood properties of naturally and plantation. *IAWA Journal* 15(2): 111-120.
- Moya, R. and F. Muñoz. 2010. Physical and mechanical properties of eight species from fast-growth plantation in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 22(4):317-328.
- Moya, R., L. Leandro and O. Murillo. 2009. Wood characteristics of *Terminalia amazonia*, *Vochysia guatemalensis* and *Hyeronima alchorneoides* planted in Costa Rica. *Revista Bosque* 30(2):78-87.
- Moya, R. and C. Tenorio. 2013. Fuelwood characteristics and its relation with extractives and chemical properties of ten fast-growth species in Costa Rica. *Biomass and Bioenergy* 56(1): 14-21
- Moya, R., E. Ureña, C. Salas, F. Muñoz and O. Espinosa. 2013. Kiln drying behavior of lumber from ten fast-growth plantation species in Costa Rica. *Wood Material Science and Engineering* 8(1):37-45.
- Morrell, J.J., C.M. Sexton and A.E. Preston. 1990. Effect of moisture content of douglas-fir heartwood on longitudinal diffusion of boron from fused borate rods. *Forest Products Journal* 40(4):37-40.
- Nakada, R. 2006. Within-stem water distribution in living trees of some conifers. *IAWA Journal*. 27(3):313-327
- Nichols J.D. and J.K. Vanclay. 2012. Domestication of native tree species for timber plantations: key insights for tropical island nations. *International Forestry Review* 14(4):402-413.
- Pereira, H., J. Graca and J.C. Rodrigues. 2003. Wood chemistry in relation to quality. *In: Barnett, J., G. JeEronimidis, eds.*



- Wood quality and its biological basis. Blackwell Publishing Ltd, London, 3-40 p.
- Petit, B. and F. Montagnini. 2004. Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. *Forests Ecology and Management* 199(2):243-257.
- Ra, J.B., H.M. Barnes and T.E. Conners. 2003. Determination of boron diffusion coefficients in wood. *Wood Fiber and Science* 31(1): 90-103.
- Ratnasingam, J. and F. Ioras. 2012. Effect of thermal rectification on machinability of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* woods. *European Journal Wood Products* 70(4):759-761.
- Schroeder, H.A. 1972. Shrinking and swelling differences between hardwoods and softwoods. *Wood and Fiber* 4(1):20-25.
- Sparks, D.L., 1996. Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 356 p.
- Stan, L., 2010. Wood Preservation. In: USDA (United States Department of Agriculture). Wood Handbook. General Technical Report FPL-GTR-190. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, WI: USA. 15 p.
- Serrano R., 1983. Características de cepillado, taladrado, lijado y torneado de 16 especies. III Parte. In: Serrano R, Tuk, J. Informe Final del proyecto: Propiedades físicas, mecánicas, preservación, durabilidad, cepillado, taladrado, lijado, torneado de 18 especies maderables de Costa Rica. Centro de Investigación en Ingeniería en Maderas. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 72 p.
- TAPPI. 2002. Standard test for acid-insoluble lignin in wood and pulp. Parkway South Norcross, USA. 4 p.
- Torelli, N. and K. Čufar. 1996. Mexican tropical hardwoods: machinability, nailing and screwing. *Holz als Roh-und Werkstoff* 54(1): 69-71.
- Williams, L. and J. Mauldin. 1996. Integrated protection against lyctid beetle infestations. III. Implementing boron treatment of Virola lumber in Brazil. *Forest Products Journal* 36 (11-12):24-28.
- Zelinka, S. L. and D.S. Stone. 2011. The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts. *Materials and Corrosion* 62(3):739-744.

Manuscrito recibido el 12 de enero de 2014.
Aceptado el 14 de septiembre de 2015.

Este documento se debe citar como:

Moya, R., C. Salas, A. Berrocal y J.C. Valverde. 2015. Evaluation of chemical compositions, air-dry, preservation and workability of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):31-47.



El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos?

Tropical montane cloud forest, twenty years of ecological research. What have we done and where are we going?

Guadalupe Williams-Linera¹

¹ Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec 351 Xalapa, Veracruz, México.
guadalupe.williams@inecol.mx

RESUMEN

El bosque mesófilo de montaña (BMM) es un tema de actualidad y, pareciera que con larga tradición de investigación ecológica pero el BMM, desde un punto de vista ecológico, ha empezado a estudiarse intensamente en los últimos 20 años con un impresionante desarrollo y despunte en varias áreas solamente en los últimos 10 años. El objetivo del presente artículo es presentar una revisión de 1995 a 2014 de varios temas de investigación para tener una retrospectiva, una visión actual y un vislumbre de hacia dónde se dirigen los estudios futuros de ecología del bosque mesófilo de montaña de México y particularmente en el bosque de Veracruz. Los temas más estudiados en el BMM están relacionados con biodiversidad y perturbaciones. En la última década se han consolidado temas prácticos que aparentemente tuvieron que esperar a que las condiciones de perturbación y destrucción del bosque los impulsaran, como son la restauración ecológica y los servicios ecosistémicos. Los temas a futuro deben relacionar la resiliencia del bosque, procesos y componentes ante los efectos del cambio climático.

PALABRAS CLAVE: biodiversidad, cambio climático, ecología del bosque de niebla, restauración ecológica, revistas científicas, *Web of Science*.

ABSTRACT

Tropical montane cloud forest (TMCF) is a current issue. It would appear that TMCF had an extended tradition in ecological research, but it is only during the last 20 years that it has been intensively studied. The last 10 years have seen an impressive development in ecological knowledge and the emergence of several research lines. The objective of this paper is to present a review of the TMCF ecological research published in 1995-2014 to have a retrospective, a current view and a glimpse of future studies in Mexico and, particularly, in the state of Veracruz. Biodiversity and disturbance have been the most addressed issues in TMCF. In the last decade, following disturbance and habitat loss of the TMCF, more applied topics such as ecological restoration and ecosystem services have been consolidated. Forthcoming topics will be relating forest resilience with forest processes, components and climate change effects.

KEYWORDS: biodiversity, climate change, cloud forest ecology, ecological restoration, scientific journals, *Web of Science*.

INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña incluye una de las más importantes colecciones de la biodiversidad de México, ensambles de plantas, animales y hongos que son vitales

para el funcionamiento del ecosistema y además provee bienes y servicios ambientales, incluyendo ecoturismo. Pero la sustentabilidad y permanencia a mediano y largo plazo está amenazada por la destrucción del hábitat y por

el cambio climático (Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). El bosque mesófilo de montaña (BMM) se ha convertido en un tema de actualidad y, pareciera que, con larga tradición de investigación ecológica pero el BMM, desde un punto de vista ecológico, ha empezado a estudiarse intensivamente en los últimos 20 años con un impresionante despunte en varias áreas solamente en los últimos 10 años y un vislumbre reciente en otras líneas de investigación que aún falta explorar.

El término ‘bosque mesófilo de montaña’ se utilizó por primera vez hace más de 65 años cuando Faustino Miranda (1947) se refirió a un tipo de bosque en la cuenca del río Balsas que se desarrolla en el mismo piso altitudinal del encinar, pero ocupa las barrancas, donde las condiciones de humedad en el suelo y en el aire son favorables. El término fue ampliamente aceptado desde que Jerzy Rzedowski (1978) lo extendió a todo el territorio nacional y acotó que el BMM tiene una distribución limitada y fragmentaria ya que las condiciones climáticas que requiere se presentan en zonas restringidas que corresponde en México al clima húmedo de altura. Efectivamente, el término BMM es muy apropiado porque se refiere a todos los tipos de bosque húmedo de montaña (Villaseñor, 2010) incluyendo bosques que pueden no ser altamente lluviosos o donde la niebla puede ser rara durante gran parte del año.

El BMM desde un punto de vista florístico y estructural ha llamado la atención de viajeros y colectores desde el siglo XIX (Williams-Linera, 2007) quienes lo describieron de varias maneras. Los estudios formales se pueden encontrar desde mediados del siglo XX y descripciones de sitios desde hace decenas de años. Sin embargo, investigaciones y publicaciones netamente ecológicas fueron escasas antes de los 90s.

En México, la ecología empieza a desarrollarse como ciencia en la década de los 70s. El puñado de artículos sobre ecología que aparecieron en esa década trataban temas que se encontraban en la frontera en algunas ramas de la ecología básica y aplicada y aún en ecología teórica (Guevara-Sada, 1990). La década de los 80s se considera como la década de la consolidación de las especialidades en eco-

logía, tales como ecofisiología, interacción planta-animal, ecología y genética de poblaciones (Guevara-Sada, 1990).

Los ecólogos mexicanos tradicionalmente concentraron su actividad en los bosques tropicales perennifolios, los bosques tropicales caducifolios y los matorrales xerófilos, y hasta antes de la década de los 90s, los bosques mesófilos de montaña recibieron escasa atención (Martínez-Ramos, 1994). Martínez-Ramos (1994) menciona que del total de artículos científicos sobre los bosques mexicanos aparecidos en revistas de circulación nacional e internacional de 1980 a 1994 (n = 259), solo el 5% (n = 13) se referían al BMM.

En 1993, se hizo una revisión exhaustiva de estudios sobre la ecología del bosque mesófilo para una presentación en el Congreso Mexicano de Botánica (Williams-Linera, 1993), y se compiló una lista de alrededor de 80 publicaciones entre artículos, libros y tesis. Entre ellas, 21 artículos tratan diversos aspectos ecológicos y fueron publicados en revistas científicas internacionales y principalmente en revistas nacionales como *Acta Botanica Mexicana*, *Biotica* y *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana* (Tabla 1).

La ecología tiene su origen en la historia natural y por eso las primeras publicaciones tienden a ser muy descriptivas y específicas para un sitio (Sutherland *et al.*, 2013).

Tabla 1. Número de artículos publicados en revistas internacionales y nacionales antes de 1995.

Tema	antes 1980	1980-1994
Dinámica de claros/disturbio	-	2
Epífitas y hemiepífitas	-	2
Estructura de la vegetación y composición	3	5
Ecohidrología/niebla	1	-
Hojarasca/descomposición	-	2
Ecología/biología reproductiva	-	2
Sucesión secundaria/bordes	-	6
Banco de semillas del suelo	-	1



Esto lo vemos también en las publicaciones de BMM; se han publicado decenas de artículos con descripciones puntuales de sitios con BMM en revistas nacionales. Los estudios del bosque mesófilo de montaña anteriores a 1993 se enfocaron necesariamente en describir el bosque; destacan estudios de comunidades en lugares como la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas (Puig y Bracho, 1987) o Guerrero (Meave *et al.*, 1992). Desde entonces ha habido avances notables, sin embargo, cabe destacar que muchos de los temas de estudio sobre la ecología de bosques mesófilos que se consolidarían en la última década ya se habían iniciado en la década de los 90s e incluso antes. Por ejemplo, perturbación y dinámica de claro (Arriaga, 1988), estudios de la sucesión secundaria (González-Espinosa *et al.*, 1991), los cafetales como agroecosistemas (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982), e incluso la ecohidrología (Vogelmann, 1973). Hay temas que han avanzado de cero a alcanzar un franco proceso de consolidación y actualmente están siendo muy estudiados como la restauración ecológica, o los servicios ambientales.

En el presente artículo se revisan las tendencias en la investigación reciente (20 años) llevada a cabo en BMM de México y particularmente en el bosque de Veracruz – y por tratarse de un ensayo especial para celebrar a *Madera y Bosques*, se hace un breve recuento de que ha pasado por las páginas de la revista durante esos 20 años.

El objetivo del presente artículo es presentar una revisión de 1995 a 2014 y una mirada hacia el futuro de la investigación en ecología del bosque mesófilo de montaña. Las preguntas son: ¿Qué hemos avanzado en ecología del BMM de Veracruz en la última década? y ¿Hacia dónde vamos? Los temas para agrupar áreas de investigación se eligieron para tener una retrospectiva, una visión actual y un vislumbre de hacia donde se dirigen los estudios futuros.

MÉTODOS

La información sobre el número de artículos publicados en revistas indexadas se obtuvo en una búsqueda avanzada del *Web of Science* (WoS) realizada en septiembre del 2015. Se utilizó la cadena de texto: “*tropical montane cloud forest* or tropical lower montane forest* or tropi-*

*cal upper montane forest**”, extrayendo después las referencias sobre “Mexico” y a continuación sobre “Veracruz”. Las bases de datos anuales se filtraron eliminando las referencias sobre otros tipos de vegetación. Únicamente se contaron publicaciones que estuvieran relacionadas con campos de la ecología (procesos, poblaciones, comunidades, ecosistemas, grupos de organismos) excluyendo estudios con un objetivo en la descripción de nuevas especies o en presentar listados de especies. Hay varias formas de cortar el pastel para clasificar los artículos en grupos de interés, para esta revisión se decidió considerar temas generales como biodiversidad, disturbio, sucesión, restauración, servicios ambientales y cafetales (Tabla 2).

Tabla 2. Temas generales y cadenas utilizadas en la búsqueda de artículos indexados publicados entre 1995 y 2014 sobre el bosque mesófilo de montaña. Los valores son el número global de artículos (GL), los artículos sobre investigación ecológica en México (MX) y en Veracruz (VE).

Temas generales	Cadena	GL	MX	VE
Bosque mesófilo de montaña	<i>tropical montane cloud forest or tropical lower montane forest* or tropical upper montane forest*</i>	987	138	62
Diversidad	<i>diversity</i>	391	80	35
Biodiversidad	<i>biodiversity</i>	190	37	18
Árboles	<i>tree*</i>	527	83	38
Disturbio/perturbación	<i>disturbance</i>	193	40	13
Sucesión secundaria	<i>succession*</i>	131	30	9
Restauración ecológica	<i>restoration</i>	58	18	9
Servicios ecosistémicos	<i>ecosystem services or environmental services</i>	28	6	4
Cafetales	<i>coffee</i>	42	26	21
Cambio climático	<i>global change or clima* change</i>	254	31	13
Ecohidrología	<i>hydrology or ecohydrology</i>	39	4	4

En una lista depurada donde se verificó que se trataran exclusivamente temas ecológicos e investigación llevada a cabo en México, se analizaron las principales líneas de investigación que se han desarrollado en la última década, que han pasado de cero publicaciones a un incremento considerable, es decir, las temáticas que han despegado o comenzado a despegar en los últimos años, y la investigación prometedora a futuro.

Para detectar algunos de los artículos más citados en cada tema se usó como herramienta el factor *h-index* del WoS. Esta métrica indica el número de artículo que tienen al menos “*h*” número de citas. Es un indicador útil porque descuenta el peso desproporcionado de artículos altamente citados o de artículos recientemente publicados que todavía no están citados (WoS, Hirsch, 2005).

El procedimiento seguido tiene sus limitaciones; en primer lugar, solamente se consultó el WoS, y sabemos de una enorme cantidad de artículos han aparecido en español en revistas nacionales. Segundo, sin duda alguna, otros autores harían una lista diferente ya que muchos artículos aparecen en varios grupos y no se intentó hacer cruzamientos para los objetivos de esta revisión. Tercero, la selección de temas fue necesariamente arbitraria, pero la búsqueda, aunque no es exhaustiva, se espera que indique las tendencias sobre el número de publicaciones por tema y por década.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al consultar WoS usando la cadena de ‘*tropical montane cloud forest* or tropical lower montane forest* or tropical upper montane forest**’, el resultado fue más acotado que usando otras cadenas. A nivel mundial, anteriormente a 1979 no hubo publicaciones registradas sobre bosques mesófilos, y entre 1980 y 1994 se encontraron menos de 50 publicaciones. Posteriormente, y a partir de 1995 se incrementó notablemente la producción de artículos en revistas indexadas: de 1995 a 2004 llegaron a 288 artículos, y de 2005 a 2014 se registraron 699 (Fig. 1). En 1995 ocurrió un parteaguas, tal vez catalizado por reuniones internacionales sobre bosques de niebla llevadas a cabo en 1993 o tal vez era el tiempo de maduración del interés por

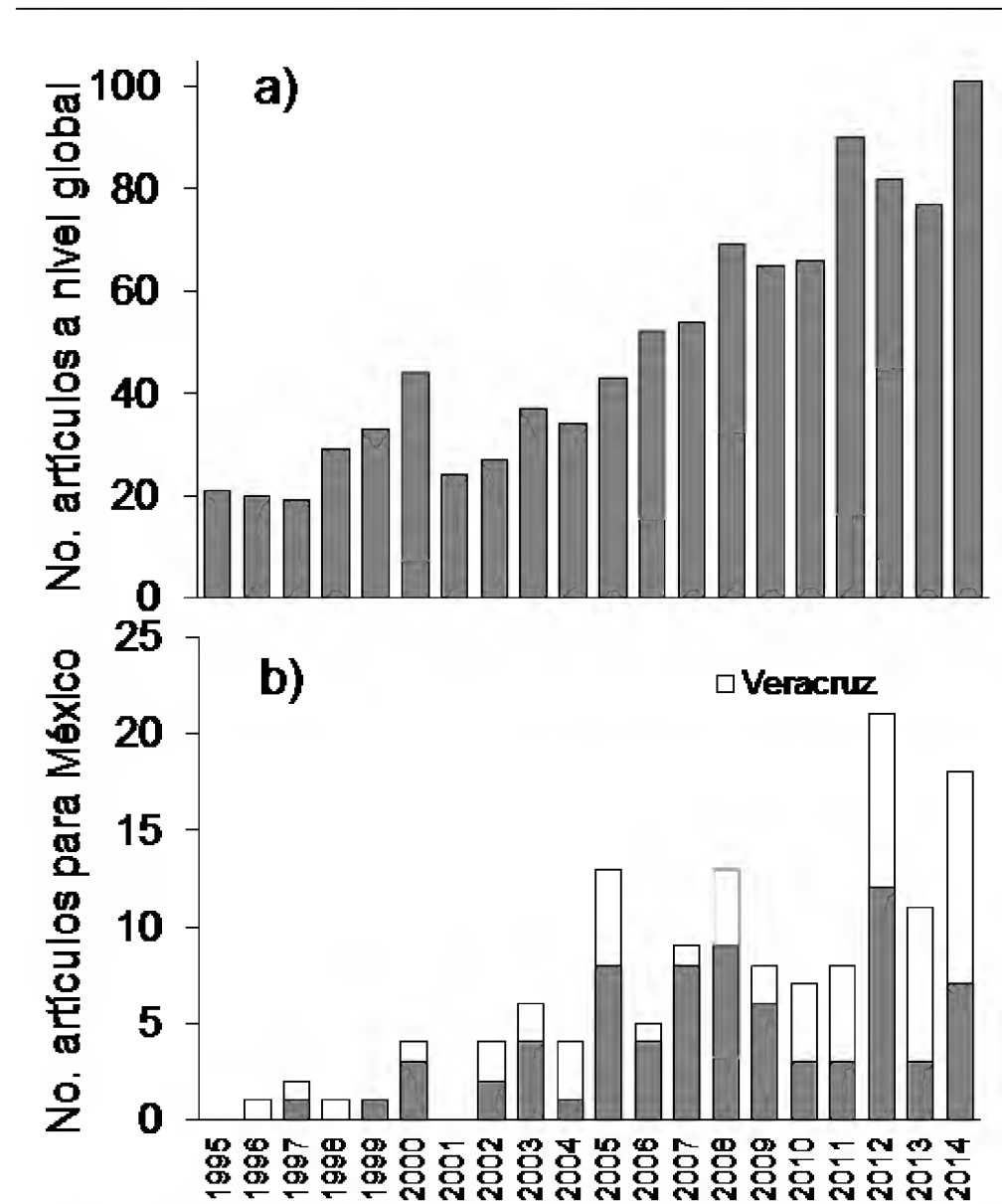


FIGURA 1. Número de artículos encontrados en *Web of Science* para la cadena “*tropical montane cloud forest* or tropical lower montane forest* or tropical upper montane forest**” en septiembre 2015 (lista depurada). a) número de artículos a nivel global, b) número de artículos sobre México (barra completa) y Veracruz (parte blanca de la barra).

conocer el ecosistema lo cual captó la atención de más investigadores. Dado lo anterior, se decidió comparar dos décadas: 1995 a 2004 y 2005 a 2014.

Al usar número de artículos obviamente que hay una fuerte desviación ya que se trata también de un reflejo en el aumento global de publicaciones sobre ecología de bosques húmedos de montaña (Fig. 1a). Sin embargo, el porcentaje de artículos sobre BMM de México se duplicó respecto al total de artículos publicados a nivel global según el WoS pasando de 8.0% (23) en 1995-2004 a 16.2% (113) en 2005-2014 (Fig. 1b, 2a).

A continuación se presentan las tendencias temáticas de las publicaciones encontradas. Dentro de cada uno de



los temas presentados se mencionan los artículos sobre BMM publicados en las últimas dos décadas y que han sido muy citados. Definitivamente, el aumento en el número de publicaciones en revistas indexadas internacionales es un buen indicador del desarrollo de las investigaciones sobre BMM. Respecto al número de citas, como lo mencionan Bradshaw *et al.* (2011), aunque no consideramos que las citas científicas por sí solas reflejen suficientemente el valor de un artículo, si nos dan un indicador de su influencia sobre direcciones de investigación.

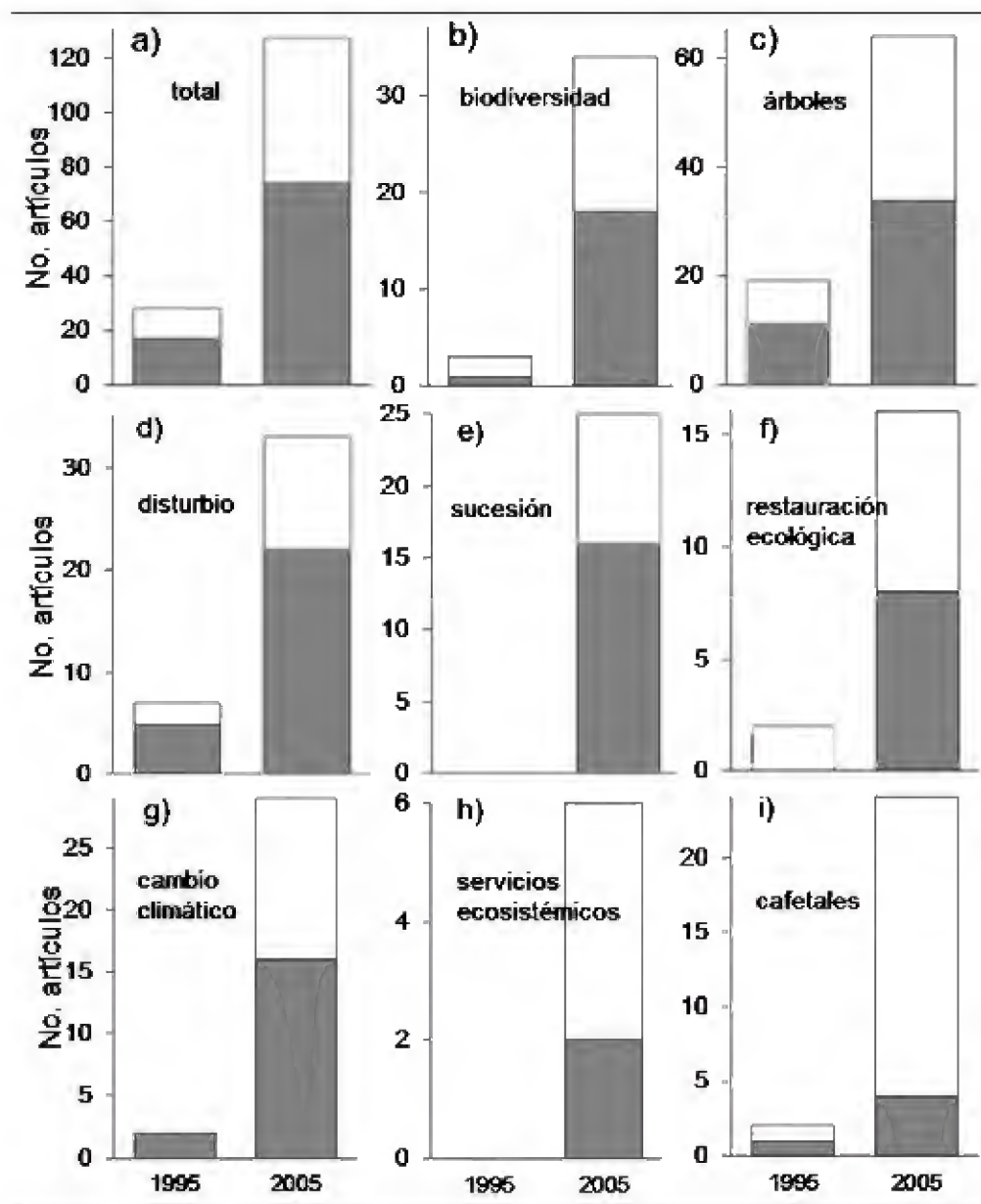


FIGURA 2. Número de artículos publicados en 1995-2004 y 2005-2014 de acuerdo a grupos de interés. Las barras representan el número de artículo encontrados para México según la búsqueda en WoS de septiembre 2015. La parte blanca de cada barra es el número de artículo para Veracruz. a) número total de artículos encontrados en la búsqueda, b) biodiversidad, c) árboles, d) disturbio natural y antropogénico, e) sucesión secundaria, f) restauración ecológica, g) cambio climático, h) servicios ecosistémicos, y g) cafetales.

Biodiversidad

En conjunto, los bosques mesófilos de montaña son el tipo de vegetación más diverso en México en relación a la superficie que ocupan. Por lo tanto no es sorpresa, el gran número de publicaciones que encontramos usando el término '*diversity*', a nivel global pasa de 83 publicaciones en 1995-2004 a 308 en la última década, igualmente en México y en Veracruz, el crecimiento es espectacular con 87.5% y 85.7% más artículos en la última década. Recientemente, los estudios enfocados en diversidad han incorporado conceptos como diversidad funcional, así que acotando a '*biodiversity*' WoS dio una salida de 169 publicaciones a nivel global, 34 para México y 16 para Veracruz (Fig. 2b).

En Veracruz, los estudios publicados tienen un fuerte sesgo hacia la ecología de comunidades con la mayoría sobre árboles (Fig. 2c). Las epífitas son una parte ineludible de la diversidad de los BMM, así que siguen en número de publicaciones (94). Los artículos sobre biodiversidad y ecología de aves y mamíferos (murciélagos) son aún pocos (7), y solo se registraron tres para anfibios.

Es interesante destacar que a nivel global, entre los artículos más citados (*h-index*) se encuentran tres sobre diversidad en Veracruz, uno sobre la diversidad de anfibios, murciélagos y escarabajos en el BMM y agroecosistema cafetalero (Pineda *et al.*, 2005), otro sobre anfibios y fragmentación (Pineda y Halffter, 2004) y otro más sobre la riqueza de especies de árboles y disturbio (Williams-Linera, 2002).

Disturbio

La perturbación es cualquier evento relativamente discreto en tiempo que quebranta la estructura de un ecosistema o de la población y cambia la disponibilidad de recursos o el ambiente físico. Las perturbaciones ocurren en un intervalo continuo desde niveles mínimos como la extracción de unos pocos individuos (árboles, aves, orquídeas) de un bosque, hasta la conversión de uso del suelo a algo muy diferente a lo que originalmente fue (bosque a potrero), o incluso a la destrucción completa del sitio (bosque a urbanización).

En ecología del BMM, el disturbio ha sido un área de interés de mucho tiempo y se enfocó a la dinámica de claros y a sucesión. Actualmente, las perturbaciones naturales y antropogénicas se relacionan con procesos, ensamblaje de especies, interacciones, fragmentación, efecto de borde, conservación de remanentes, y la restauración ecológica. Un artículo reciente indica que el tiempo está maduro para analizar los efectos de las perturbaciones naturales y antropogénicas sobre los ecosistemas mexicanos (Calderón-Aguilera *et al.*, 2012).

El número de estudios sobre perturbación es relativamente alto en México pero en los bosques de Veracruz es relativamente bajo (Fig. 2d). Los artículos más citados en este grupo (*h-index*) se refieren al efecto del disturbio y la riqueza de especies de árboles (Williams-Linera, 2002; Cayuela *et al.*, 2006), y la respuesta de las epífitas a la perturbación antropogénica (Wolf, 2005).

Sucesión secundaria

La sucesión secundaria es el proceso de recuperación del bosque original a lo largo del tiempo y fue un tema de investigación que se ha desarrollado de manera notable en México pero sobretodo en el bosque tropical perennifolio (Guevara-Sada, 1990; Martínez-Ramos, 1994). Para los BMM, muchos temas ya se habían iniciado en la década de los 90s, como es el estudio de la sucesión secundaria (Tabla 1). En México, hay varias publicaciones, particularmente para los BMM de Chiapas y Jalisco, pero pocos estudios para BMM en Veracruz (Fig. 2e): este es uno de los temas que recientemente se han consolidado. Entre los artículos más citados se encuentran uno sobre vegetación arbórea (Muñiz-Castro *et al.*, 2006) y dos relacionados con los cambios en varias propiedades del suelo (Bautista-Cruz y del Castillo, 2005; Negrete-Yankelevich *et al.*, 2007).

Restauración ecológica

El BMM es de prioridad crítica para la conservación de la biodiversidad debido a que se encuentra amenazado por la pérdida de cobertura, hábitat y funciones (Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). De ahí ha surgido la necesidad de desarro-

llar urgentemente las bases ecológicas para la restauración de áreas degradadas y asegurar la continuidad de su funcionamiento. Por lo tanto, los estudios sobre la restauración ecológica del BMM representan un tema de investigación que se está fortaleciendo tanto para México como para Veracruz con un aumento en 100% en la última década (Fig. 2f). Hay artículos experimentales recientes que aún no entran al grupo de *h-index*, pero otros sobre restauración utilizando especies nativas en sitios con diferente nivel de perturbación están dentro de los más citados (Pedraza y Williams-Linera, 2003; Alvarez-Aquino *et al.*, 2004).

Servicios ambientales

La degradación de los bosques tiene consecuencias graves en la pérdida de los llamados servicios ecosistémicos que son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas incluyendo servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de apoyo (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). En los últimos años, es cada vez más evidente que los desastres naturales, el problema del agua y la degradación de los bosques están relacionados. Por lo tanto no es sorpresa que el tema de los servicios ambientales sea un área de consolidación muy actual y que las publicaciones a nivel global (excepto una) y para México, detectadas por la WoS correspondan a los últimos 10 años (Fig. 2h). Dentro de los más citados a nivel global (*h-index*), destacan para los BMM un estudio sobre el efecto del cambio de uso del suelo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Martínez *et al.*, 2009), el efecto sinérgico entre cobertura del suelo, lluvia y estacionalidad de niebla y precipitación (Ponette-González *et al.*, 2010), y otro sobre escorrentía y captación de precipitación (Muñoz-Villers y McDonnell 2012).

Cafetales

El estudio del agroecosistema cafetalero ha presentado un desarrollo interesante ya que hace varias décadas se iniciaron estudios que no tuvieron seguimiento (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982) pero que en la última década han repuntado con un aumento del 100% en



publicaciones en revistas indexadas; tan solo en Veracruz han aparecido 20 artículos en revistas con factor de impacto (Fig. 2i). Los artículos *h-index* para cafetales también están en relación con anfibios, murciélagos y escarabajos (Pineda *et al.*, 2005; Pineda y Halffter, 2004; Arellano *et al.*, 2005), hormigas (Perfecto y Vandermeer 2002), la conservación de epífitas (Hietz, 2005; Solís-Montero *et al.*, 2005), su estructura y diversidad de árboles (López-Gómez *et al.*, 2008), y con los servicios ecosistémicos que prestan (Martínez *et al.*, 2009; Ponette-González *et al.*, 2010).

Otras áreas

El cambio global está reduciendo críticamente la entrada de humedad al BMM, se registra menor precipitación, menos días con neblina y aumento en la duración e intensidad de los periodos de sequía (Foster, 2001; Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). Los ecosistemas de montaña están siendo afectados, por lo tanto la investigación y las publicaciones han aumentado en 81% a escala global mientras que a escala de México en 93%. Para el BMM de Veracruz este acercamiento es novedoso, y pasó de ninguno a 13 artículos relacionados con el cambio global en la última década (Fig. 2g). Esta área es nueva y las pocas publicaciones para México todavía no están incluidas en el *h-index*.

Ecohidrología es una de las áreas de investigación que pasó de cero a presentar un sólido avance, incluyendo investigaciones sobre el efecto del uso del suelo, escorrentía e interceptación de lluvia y niebla por diferente vegetación. Dentro de la ecohidrología una de las actividades que parece estar aumentando son los estudios sobre servicios ambientales, especialmente lo relacionado con los recursos hídricos, la vulnerabilidad de los bosques ante el cambio climático, y efectos de la deforestación sobre la hidrología y bioquímica del bosque. Para el BMM de México y Veracruz, las publicaciones son muy recientes, sin embargo hay artículos dentro del *h-index* que tratan sobre la interceptación de la lluvia y la niebla por el dosel de bosque secundario y maduro (Holwerda *et al.*, 2010; Ponette-González *et al.*, 2010).

Madera y Bosques – 20 años de estudios

Hace 20 años apareció la revista *Madera y Bosques* proporcionando un espacio muy valioso para científicos latinoamericanos trabajando en aspectos aplicados del manejo de los recursos. La participación de trabajos sobre ecología ha sido irregular, particularmente para los BMM. Pero al revisar los 20 años de *Madera y Bosques* se encontró que ya desde los primeros números se presentaron artículos relacionados con el bosque mesófilo en temas tan diversos como alternativas para enriquecer cafetales y proteger el suelo de la erosión introduciendo palma camedora (*Chamaedorea elegans*) y macadamia (Sosa y Mendoza, 1996). Por ser la línea de la revista se pueden encontrar varios artículos sobre la anatomía de la madera de especies de BMM (Aguilar-Rodríguez y Castro-Plata, 2006) e incluso sobre el uso de la madera de especies de BMM para laudería (Quintanar *et al.*, 1998). Los temas sobre encinos (*Quercus* spp.) van desde la anatomía de la madera, encinos como recurso forestal, y aprovechamiento de la madera (Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008). El crecimiento diamétrico de los árboles del BMM es una variable esencial relacionada con reforestación, plantaciones, y proyectos de restauración ecológica (Williams-Linera, 1996). Otro artículo específicamente sobre BMM del centro de Veracruz nos indica que solo queda el 10% de bosque no perturbado (Williams-Linera *et al.*, 2002). Otros temas tratados en la revista están relacionados con servicios ambientales, como el almacenamiento y la captura de CO₂ en cafetales (Pineda-López *et al.*, 2005) y el manejo de los recursos hídricos (Manson, 2004). Un artículo de actualidad y relacionado con los BMM, calentamiento global y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es sobre la estrategia REDD+ (Gerez-Fernández y Pineda-López, 2011).

Direcciones futuras

En los últimos años han aparecido publicaciones clave que pretenden analizar avances y señalar líneas para el desarrollo de la ecología. En estas publicaciones se han revisado las preguntas de importancia para la conservación de la diversidad biológica (Sutherland *et al.*, 2009), y en otra

se presentan las preguntas enfocadas a cuestiones fundamentales de ecología (Sutherland *et al.*, 2013). Esas preguntas se centran en temas como el funcionamiento del ecosistema, cambio climático, áreas protegidas, manejo y restauración de ecosistemas y manejo de especies. Si para los bosques mesófilos de montaña esas preguntas se contestaran de manera clara y contundente, podrían contribuir muchísimo a entender el funcionamiento, a la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica de esos bosques en la práctica. Esas preguntas pudieran parecer hoy como demasiado del tipo de ciencia básica, pero debemos recordar que la ciencia y las preguntas avanzan y el bosque no.

Para los próximos años sería muy importante ver artículos que se enfoquen en contestar las preguntas clave de investigación básica en campos aplicados. La ecología moderna es una disciplina altamente colaborativa (Sutherland *et al.*, 2013) por lo que se debe incentivar una mayor participación de ecólogos en temas interdisciplinarios de ecología, recursos hídricos y cambio climático. Se debe hacer un esfuerzo por combinar muchas disciplinas y por unir ecología de organismos, de comunidades, biología filogenética, atributos funcionales de las especies para entender ensambles de comunidades. Al mismo tiempo se deberían incorporar estudios de perturbación natural y antropogénica, bosques perturbados, servicios ecosistémicos, restauración ecológica, y efectos del cambio climático.

CONCLUSIÓN

Los procesos ecológicos más estudiados en el BMM están relacionados con biodiversidad, perturbaciones, y sucesión secundaria. Otras áreas como restauración ecológica y servicios ambientales se han incrementado notablemente. Cabe destacar que gran parte de los temas ecológicos ya se habían abordado en la década de los 90s pero algunos ahora están retomándose como es el estudio de la sucesión secundaria, los cafetales como agroecosistemas, y los disturbios naturales y antropogénicos. Hay otros aspectos más prácticos que tuvieron que esperar a que las condiciones ambientales los impulsaran y que ya están en

un franco proceso de consolidación como son la restauración ecológica, y los servicios ambientales. Hay otros tópicos que están empezando a estudiarse o a despegar como la biología evolutiva (filogenias) y la ecohidrología. Muy necesariamente, hacen falta estudios sobre la resiliencia del bosque y sus componentes ante efectos de cambio climático.

La ecología del BMM se ha consolidado en los últimos 20 años y ha tenido un desarrollo espectacular en los últimos 10 años, donde aumentó cinco veces el número de artículos publicados en revistas indexadas. Durante ese tiempo surgieron preguntas que no hubieran podido ser previstas hace una década. Durante los próximos años tenemos que anticipar las opciones de manejo, hacer restauración proactiva y minimizar los impactos del crecimiento poblacional, de los cambios de uso de suelo, de la fragmentación extrema y aún del cambio global sobre los bosques mesófilos montaña.

Para finalizar, cabría un comentario sobre el impacto de la investigación. Creemos que en los últimos 20 años se han tendido puentes sólidos entre la investigación para entender el funcionamiento del BMM, y la transmisión de conocimiento a la sociedad y a las autoridades del sector forestal pero faltan los nuevos caminos: la gobernanza para la conservación, restauración y uso sustentable de estos bosques que desaparecen.

REFERENCIAS

- Aguilar-Rodríguez, S. y B.J. Castro-Plata. 2006. Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. *Madera y Bosques* 12(1):95-115.
- Alvarez-Aquino, C., G. Williams-Linera y A. C. Newton. 2004. Experimental native tree seedling establishment for the restoration of a Mexican cloud forest. *Restoration Ecology* 12(3):412-418.
- Arellano, L., M. Favila y C. Huerta. 2005. Diversity of dung and carrion beetles in a disturbed Mexican tropical montane cloud forest and on shade-coffee plantations. *Biodiversity and Conservation* 14(3):601-615.
- Arriaga, L. 1988. Gap dynamics of a tropical cloud forest in Northeastern Mexico. *Biotropica* 20(2):178-184.



- Bradshaw, C.J.A., N.S. Sodhi, W.F. Laurance y B.W. Brook. 2011. Twenty Landmark Papers in Biodiversity Conservation, pp. 97-112. *In*: I. Pavlinov, ed. Research in Biodiversity - Models and Applications. 364 p. <http://www.intechopen.com/books/research-in-biodiversity-models-and-applications/twenty-landmark-papers-in-biodiversity-conservation>. Publicado online 12 octubre 2011.
- Bautista-Cruz, A. y R.F. del Castillo. 2005. Soil changes during secondary succession in a tropical montane cloud forest area. *Soil Science Society of America Journal* 69(3):906-914.
- Calderón-Aguilera, L.E., V.H. Rivera-Monroy, L. Porter-Bolland, A. Martínez-Yrizar, L.B. Ladah, M. Martínez-Ramos, J. Alcocer, A.L. Santiago-Pérez, H.A. Hernández-Arana, V.M. Reyes-Gómez, D.R. Pérez-Salícru, V. Díaz-Nuñez, J. Sosa-Ramírez, J. Herrera-Silveira y A. Búrquez. 2012. An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trend and research gaps. *Biodiversity and Conservation* 21(3):589-617.
- Cayuela, L., Golicher, D.J., Benayas, J.M.R., González-Espinoza, M. y Ramírez-Marcial, N. 2006. Fragmentation, disturbance and tree diversity conservation in tropical montane forests. *Journal of Applied Ecology* 43(6):1172-1181.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55(1-2):73-106.
- Gerez-Fernández, P. y M.R. Pineda-López. 2011. Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD. *Madera y Bosques* 17(3):7-27.
- González-Espinosa, M., P.F. Quintana-Ascencio, N. Ramírez-Marcial y P. Gaytán-Guzmán. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests of the highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2(3):351-360.
- Guevara-Sada, S. 1990. Historia de la ecología terrestre en México. *Ciencias* 4 (especial):89-95.
- Hietz, P. 2005. Conservation of vascular epiphyte diversity in Mexican coffee plantations. *Conservation Biology* 19(2):391-399.
- Hirsch, J.E. 2005. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(46):16569-16572
- Holwerda, F., L.A. Bruijnzeel, I.E. Muñoz-Villers, M. Equihua y H. Asbjornsen. 2010. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* 384(1-2):84-96.
- Jiménez-Avila, E. y A. Gómez-Pompa. 1982. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. INIREB. Xalapa, Veracruz. 143 p.
- López-Gómez, A.M., G. Williams-Linera y R.H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124(3-4): 160-172.
- Manson, R.H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Martínez, M.L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, M. Equihua, y R. Landgrave. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management* 258(9):1856-1863.
- Martínez-Ramos, M. 1994. Estudios y perspectivas sobre ecología vegetal en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 55:75-91.
- Meave, J., M. A. Soto, L. M. Calvo, H. Paz y S. Valencia. 1992. Análisis sinecológico del bosque mesófilo de montaña de Omiltemi, Guerrero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 53(1):31-77.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, D.C. 155 p.
- Miranda, F. 1947. Estudios sobre la vegetación de México. V. Rasgos de la vegetación en la Cuenca del Río de las Balsas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 8:95-114.
- Muñiz-Castro, M.A., G. Williams-Linera y J. M. Rey Benayas. 2006. Distance effect from cloud forest fragments on

- plant community structure in abandoned pastures in Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 22(4):431-440.
- Muñoz-Villers, L.E. y J. J. McDonnell. 2012. Runoff generation in a steep, tropical montane cloud forest catchment on permeable volcanic substrate. *Water Resources Research* 48, Num. W09528.
- Negrete-Yankelevich, S., C. Fragoso, A.C. Newton y O.W. Heal. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology* 35(2):340-355.
- Pedraza, R. A. y G. Williams-Linera. 2003. Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest. *New Forests* 26(1): 83-99.
- Pérez-Olvera, C.P. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80
- Perfecto, I. y J. Vandermeer. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16(1):174-182.
- Pineda, E. y G. Halffter. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117(5):499-508.
- Pineda, E., C. Moreno, F. Escobar y G. Halffter. 2005. Frog, bat, and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 17(2):400-410.
- Pineda-López, M.R., G. Ortiz-Ceballos y L.R. Sánchez-Velásquez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2):3-14.
- Ponette-González, A.G., K.C. Weathers y L.M. Curran. 2010. Water inputs across a tropical montane landscape in Veracruz, Mexico: synergistic effects of land cover, rain and fog seasonality, and interannual precipitation variability. *Global Change Biology* 16(3):946-963.
- Puig, H. y R. Bracho, eds. 1987. El Bosque Mesófilo de Montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología, A.C. México, D.F. 186 p.
- Quintanar, I.A., M. de Icaza, L. Rivera y C.P. Pérez Olvera. 1998. Algunas características anatómicas y acústicas de tres especies de angiospermas de Huayacocotla, Ver. *Madera y Bosques* 4(1):15-25.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México, 314 pp.
- Sánchez-Ramos, G. y R. Dirzo. 2014. El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado. In: M. Gual-Díaz y A. Rendón-Correa, comps. Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo. CONABIO. México, D.F. p: 109-139.
- Solís-Montero, L., A. Flores-Palacios y A. Cruz-Angón. 2005. Shade-coffee plantations as refuges for tropical wild orchids in central Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19(3):908-916.
- Sosa, M.A. y M.A. Mendoza. 1996. Posibilidades financieras de diversificación en cafetales mexicanos. *Madera y Bosques* 2(1):33-44.
- Sutherland W.J., W.M. Adams, R.B. Aronson, et al. 2009. One Hundred Questions of Importance to the Conservation of Global Biological Diversity. *Conservation Biology* 23(3):557-567.
- Sutherland, W.J., R.P. Freckleton, H.C.J. Godfray, et al. 2013. Identification of 100 fundamental ecological questions. *Journal of Ecology* 101(1):58-67.
- Villaseñor, J.L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. CONABIO-UNAM. México, D.F. 40 p.
- Vogelmann, H. W. 1973. Fog precipitation in the cloud forests of eastern Mexico. *Bioscience* 23(1):96-100.
- Williams-Linera, G, 1993. Simposio de Ecología de Comunidades: Contribución a los Estudios de Manejo, Conservación, Biodiversidad y Funcionamiento. El bosque mesófilo de montaña. XII Congreso Mexicano de Botánica. Mérida, Yucatán 3 al 8 de octubre.
- Williams-Linera, G. 1996. Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques* 2(2):53-65.
- Williams-Linera, G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical



montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11(10):1825-1843.

Williams Linera, G. 2007. El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. Instituto de Ecología, A.C.-CONABIO. Xalapa, Veracruz. 208 p.

Williams-Linera, G., Manson, R. H. y Isunza-Vera, E. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.

Wolf, J.H.D. 2005. The response of epiphytes to anthropogenic disturbance of pine-oak forests in the highlands of Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* 212(1-3):376-393.

Manuscrito recibido el 4 de febrero de 2014.

Aceptado el 5 de septiembre de 2015.

Este documento se debe citar como:

Williams-Linera, G. 2015. El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos?. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):51-61.



Wood preservation using natural products

Preservación de la madera usando productos naturales

Rubén Francisco González-Laredo^{1,2*}, Martha Rosales-Castro³, Nuria Elizabeth Rocha-Guzmán², José Alberto Gallegos-Infante², Martha Rocío Moreno-Jiménez² and Joseph J. Karchesy⁴

¹Instituto Tecnológico de Durango. Depto. Ingenierías Química y Bioquímica. Felipe Pescador 1830 Ote., 34080 Durango, Dgo. México

* Corresponding author. gonzalezlaredo@yahoo.com

²Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. México

³CIIDIR-IPN Durango. Biotechnology Group. Sigma 119 Fracc. 20 de Noviembre, 34220 Durango, Dgo. México

⁴Oregon State University. College of Forestry. Department of Wood Science & Engineering. Corvallis OR, USA 997331

ABSTRACT

It is a current concern in the wood preservation field to avoid the use of toxic chemicals and develop new technologies based on low environmental impact agents and sustainable principles. Under this expectation, an intended state-of-the-art is introduced on the application of natural products such as traditional tar and wood oils as well as tannins and plant extracts. A particular revision to heartwood chemical components is offered. The combined methods of using natural and chemical components are reviewed, considering as outstanding the mixtures of natural organic constituents with copper and boron salts that seem to be under encouraging experimentation. Fungicides and anti-termite applications are commented as well the leaching problem of inorganic salts. Chemical modification of wood structure through the formation of adducts and the treatment with nanomaterials are promising tools that will change the actual view and performance of wood preservation techniques.

KEYWORDS: bark, biocides, extract, fungicide, oil, phenolics, tannins, termites.

RESUMEN

Una de las prioridades actuales en el campo de la preservación de madera es evitar el uso de materiales tóxicos, desarrollando nuevas tecnologías fundamentadas en principios sustentables y empleando agentes de bajo impacto ambiental. Con esta expectativa se plantea una revisión del estado del arte sobre la aplicación de productos naturales, tales como taninos, alquitrán, aceites y extractos vegetales. Se presenta en particular una revisión sobre los componentes químicos contenidos en el duramen de maderas naturalmente resistentes. Se analizan los métodos combinados de ingredientes naturales y químicos, resaltando las mezclas de componentes naturales orgánicos con sales de cobre y boro que parecen representar una opción experimental confiable. Se comentan también las aplicaciones fungicidas y anti termitas, así como los problemas de lixiviación de sales inorgánicas. Opciones como la modificación química de la madera vía la formación de aductos y por tratamiento con nanomateriales son procesos promisorios que cambiarán eventualmente la manera de ver y aplicar la tecnología actual de preservación de maderas.

PALABRAS CLAVE: corteza, biocidas, extracto, fungicidas, aceite, compuestos fenólicos, taninos, termitas.

INTRODUCTION

Wood as a natural renewable resource plays an important role in the world economy, particularly in the construction and furniture fields. The expectation for better options in preserving wood from biodegradation during storage, transportation, manufacturing, and in service is actual. Environmental issues from the conventional toxic

chemical preservatives containing metals for wood treatment and their disposal problems have urged the search for more ecologically friendly technologies. The current progress and implementation of new technologies has been limited due to variability between the laboratory and the field performances of natural products alternatives, and legal problems derived from the lack of globally

defined quality standards. Plant extracts, biological control agents, and combination of chemical and natural processes are emerging as partial solutions to control wood deteriorating organisms such as fungi, bacteria and termites.

Any wood protection plan may involve a systematic approach, starting with moisture control as most wood attacking organisms require a water source. Finishes, including water repellents, can help to protect wood in slight deterioration environments, as above ground conditions. Durable wood, including heartwood from naturally resistant species and chemically treated wood, can be used to replace deteriorated wood in moderate to extreme locations such as ground contact (Loferski, 1999).

Since a previous review on tannins as wood protection agents (González-Laredo, 1996) some important advances have been made in the exploration of new organic and natural biocides for the development and innovation of sustainable processes to be applied for wood preservation. Since then several interesting reviews have been published (Singh and Singh, 2012; Verma *et al.*, 2009; Yang, 2009; Mai *et al.*, 2004). Also a dozen of related patents intended to extend service life of wood and wood products using some natural bioactive components have been conceded (USPTO, 2013). It continues to be imperative developing sustainable technologies for protecting wood and wood products from biodegradation with a minimum environmental impact. It is expected that at some point the totally organic systems will be required for wood products in residential uses.

NATURAL DURABILITY - WOOD PROTECTION FROM TREES

The wood protection against biodeterioration is closely linked to the accumulation of extractives typically in the heartwood. They are often produced by the standing tree as defensive compounds to environmental stresses, conferring natural resistance. However, extractive content is highly variable not only from tree to tree but also within an individual tree. Therefore, it is a big challenge trying to standardize these materials and recommend service life

spans and performances. These non-structural chemical components play a major role in the susceptibility of wood against wood decay organisms. Using a wide selection of extraction methods, extractives from naturally durable wood species have been used to inhibit a wide range of organisms from human pathogens to insects, wood decay fungi, and mould fungi (Kirker *et al.*, 2013). The attack of these organisms in general can be prevented with synthetic organic and inorganic preservatives. Although most of them are harmful to human health and the environment, it has been shown that it is encouraging the application of wood extractives as natural preservatives.

It is known that the heartwood is the naturally resistant part of tree woods, while sapwood in almost all species has no natural durability. The extractive compounds are produced as the living ray cells in the inner sapwood zone die, forming the non-living heartwood. As the sapwood dies in wood species with durable heartwood, a series of reactions in the storage or parenchyma cells of the wood rays converts the stored sugars and starch into a diverse group of biocides that constitutes the new heartwood chemicals (Scheffer and Morrell, 1998). The leading components of wood extractives are tannins, obtained typically from tree barks; flavonoids, exhibiting antifungal and feeding deterrent activities against subterranean termites (Carrillo-Parra *et al.*, 2011; Reyes-Chilpa *et al.*, 1995; Reyes Chilpa *et al.*, 1997; Reyes-Chilpa *et al.*, 1998; Sundararaj *et al.*, 2015); quinones, with natural repellent and toxic properties, mainly against termites; and stilbenes imparting natural heartwood durability, mainly for its resistance to fungal (Nascimento *et al.*, 2013).

The role of extractives in durability of eight wood species compared to a nondurable control was evaluated in laboratory for resistance to termite attack and decay by brown-rot and white-rot decay fungi (Kirker *et al.*, 2013). Nearly all of the wood species displayed higher weight loss due to termite or fungi when extractives were removed, which was comparable to the nondurable controls. It has been suggested that micro-distribution of extractives within the wood may be more important than incidence of bulk extractive in the heartwood, although



in-situ studies of extractives are extremely difficult. Both quantity and particularly quality of extractives have a key role, but their relative contribution varies considerably from substrate to substrate. Moreover, Morrell (2011) confirmed in western juniper that the presence of heartwood had no effect on durability of adjacent sapwood. This was observed while testing two Hawaiian heartwoods with exceptionally resistance to termite and fungal attack in non-soil contact, where juniper heartwood was shown slightly less resistant to attack.

Stirling *et al.* (2007) have evaluated individual components of western red cedar extracts and determined their role as biocidal, metal chelators, or radical scavenger. They found that thujaplicins, β -thujaplicinol, and plicatic acid were toxic to decay fungi and good metal chelators. Plicatic acid and β -thujaplicinol showed also excellent radical scavenging activity. According to Morris and Stirling (2012), some of the protective compounds in the cedars remain under typical field exposure (UV, rain), but are removed through solvent exposure. Thus, leachability of natural wood extractives presents a major obstacle for wood use in ground exposure. Extractive content is primarily responsible but not directly correlated with durability. Therefore, it is probable that individual components of extractives confer durability rather than bulk presence of extractives. An additional factor that may also confer resistance to leaching and decay is the physical barrier from the peculiar wood cell anatomy. It may provide additional protection against fungal colonization or resist any severe extraction from removing the chemicals present in the heartwood.

Bark extract from mimosa (*Acacia mollissima*) and quebracho heartwood extract (*Schinopsis lorentzii*) have shown antifungal resistance, while pine bark (*Pinus brutia*) was ineffective, when tested against white rot fungi and brown rot fungi (Tascioglu *et al.*, 2013). These plant extracts are known for their high condensed tannin contents. When extract retentions in wood samples increased, the resulting mass losses of all tested species decreased. Commercial mimosa and quebracho extracts may be used at concentration levels of 9% - 12% as wood preservatives

against common wood decay fungi for indoor applications. Similarly, these extracts have shown termiticidal action against *Reticulitermes grasei* at relative high retentions above 90 kg/m³ on pine and 85 kg/m³ for beech samples, suggesting their use as environmentally sound alternatives for wood protection (Tascioglu *et al.*, 2012).

In the tropical rain forest, the pressure from insects and fungi has prompted the development of highly resistant and long living species. As a consequence, some woody plants are appreciated for their resistance to decay, which may be explained by the relatively high levels of extractives, mainly in their heartwood. Such is the case of seven woody species (*Bagassa guianensis*, *Manilkara huberi*, *Sextonia rubra*, *Vouacapoua americana*, *Andira surinamensis*, *Handroanthus serratifolius*, and *Qualea rosea*) studied by Rodrigues *et al.* (2012) with varying natural durability against soft-rot, brown rot, and white rot degradations. From the seven wood extracts, the one from *H. serratifolius* was the most effective even compared with commercial standards.

During heartwood formation, many tree species produce higher quality resistant wood by inserting mainly phenolic substances in the formed cell walls as in the case of black locust (*Robinia pseudoacacia*). This has inspired the modification of wood properties by a chemical treatment with commercially available hydrophobic flavonoids (Ermeýdan *et al.*, 2012). Inserting hydrophobic molecules into wood cell walls following a tosylation pretreatment has provided an alternative and well-suited way to significantly reduce the water uptake of cell walls. The resultant artificial heartwood improved its dimensional stability and wood performance applying the basic principles of chemical and physical polymer interactions among the lignocellulose cell wall and simple or polycyclic phenolic compounds

PLANT EXTRACTS

Traditionally, natural extracts has been explored throughout history to protect wood. Oils, tars and extracts were used to impregnate wood structures, but their availability and economic feasibility have not promoted their exten-

sive use. Steam distillation for oils, water soluble and selective extraction with organic solvents for extracts, and pyrolysis for tars have been the processes used to produce raw wood preservatives. The natural sources have been almost any part of select wooden and herbaceous plants: bark, heartwood, fruit, seeds, and leaves. Among sources of plant oils (either vegetal oils or essential oils), flax seeds (Lyon *et al.*, 2007a), cinnamon (Lin *et al.*, 2007), citrus peels (Macias *et al.*, 2005), and tung seeds have been experimented as potential wood protectors, showing diverse activities as antibacterial, antifungal, antitermite, and antinematode agents. The list continues with exotic sources such as the oil from the nut of kukui plant (*Aleurites moluccana*), which is being used to protect canoes against marine borer damage according to native folklore (Nakayama and Osbrink, 2010). However the results indicated that this oil acts as a feeding deterrent rather than a toxic agent. Parallel interest has incited to explore the major active components present in such oils and extracts, by example cinnamaldehyde in the case of cinnamon, and turpentine and volatiles in orange peels.

It has thought that toxicity and antioxidant properties of bark extracts such as mangrove plant (*Rhizophora apiculata*) may impart natural resistance to termite action (Khalil *et al.*, 2009). Dewaxed bark was extracted with methanol and successively partitioned with chloroform, ethyl acetate (EA), and butanol. A chromatographical guided purification by a termite bioassay gave the EA fraction as the more active with a distinctive composition of bioactive constituents based on aromatic carboxylic acids and phenolics. These results suggest that the astringency of polyphenols and their antioxidant activity may play a role in preventing termite attack.

OILS AND MOISTURE CONTROL

Controlling moisture content is a very effective way of protecting timber because treating with biodegradable tall oil, reduces the capillary water uptake of pine sapwood. However, there are two problems that limit the extensive use of tall oil for wood protection, the amount of oil needed and its tendency to exude from the wood. The emulsion tech-

nique is one way of providing high water-repellence efficiency at low oil retention levels (Hyvönen *et al.*, 2006). This has environmental benefits as it uses water as a thinner, instead of the common organic solvents. Another option is to promote the oxidation and polymerization of the crude tall oil, which can be accelerated by iron catalysts, thus preventing the oil from exuding out of the wood and keeping the water repellent efficiency (Hyvönen *et al.*, 2007a). Limiting to some extent the water uptake by the emulsion technique will allow the tall oil to dry, and promoting the *in situ* iron oxidation will keep it into the wood (Hyvönen *et al.*, 2007b). This may be performed in one single step in existing wood preservation plants.

Vegetable oils may be potential preservatives when applied as a layer into wood surface by decreasing water absorption and actually performing as water repellents (Tomak and Yildiz, 2012). Still, impregnation with vegetable oils is not enough to impart tolerable biological resistance against decomposition factors (i.e., decay or insect attack), but actually easing wood to burning. In fact the need of high oil absorption level required for good protection make the process impractical. However, the concept can be improved adding biocides and optimizing the retention of oil needed. By example, drying oils are commonly used for preserving solid wood or wood composites in combination of metals to form a copper ammonium acetate complex wood preservative (Roos and Acher, 2004). The preservative is applied effectively into the wood to improve its decay and termite resistance. The drying oil in the wood reduces water absorption and swelling, increasing its mechanical strength; even in a wood composite it may require less binding resin than normal. Also, the copper ammonium acetate-oil complex may be added to green wood either in solid or flaked form.

Bio-oil produced by pyrolysis of non-conventional raw materials like palm fruit shells was characterized and positively tested as wood preservative agent (Sunarta *et al.*, 2011). The pyrolytic liquid yielded at a ratio of 35% - 37% by weight of the waste material was effective against drywood termites (*Cryptotermes* spp.) and particularly against the blue stain fungi (*Ceratocystis* spp.).



Forest residues such as wood and barks from oaks and pines were subjected to thermal degradation to produce bio-oils, and subsequently fractionated to obtain lignin-rich fractions, consisting mainly of phenols and neutrals fractions. Whole bio-oils and their lignin-rich fractions were studied as potential environmentally benign wood preservatives with antifungal properties to replace metal-based chromated copper arsenate (CCA) and copper systems. At relatively high loading level (25%), the raw bio-oils showed excellent wood preservation properties. However, prevention of leaching is very critical to provide decay resistance (Mohan *et al.*, 2008). Other organic residues may have potential use as raw material for producing oils and vinegars as wood preservatives, fungicides, herbicides, repellents and insecticides (Tiilikala *et al.*, 2010).

Adding linseed oil increases boric acid retention; it also reduces leachability and improves efficacy against termites (Lyon *et al.*, 2007a). The ammonium borate oleate (ABO), a complex product from the reaction between boric acid, ammonia and oleic acid, was positively tested as a wood preservative treatment against white and brown rot fungi (Lyon *et al.*, 2009), and also resulted effective against termites (Lyon *et al.*, 2007b). Efficiency of the ABO salt is based on the repellence provided by fatty acids, which deters boron leaching and penetration of water and fungi. This may be considered a dual treatment from the successful combination of coating and biocide products. In this case, the vacuum leaching procedure is inappropriate to place specimens in real exposure conditions because it forces penetration of water. This observation has reminded the lack of standardized procedure of testing for combined coating and biocide treatments.

A traditional method to preserve wood in Asian countries such as Indonesia is by smoking samples, which is an indirect way to apply wood condensates into the samples. Wood burning produce smoke that contains a variety of toxic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), as well as phenols, aldehydes, ketones, organic acids, alcohols, esters, hydrocarbons and several heterocyclic compounds (Stolyhwo and Sikorski 2005). When treating

wood with smoke, moisture content is reduced and PAHs are condensed and diffused inside wood structure. PAHs have shown to provide some resistance to biological deterioration driven by termite attack (Hadi *et al.*, 2010), and microorganisms *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* (Sunen *et al.*, 2003).

COMBINED METALS AND BIOCIDES

Combined use of certain metals acting as chelators with organic biocides might enhance their efficacy. Some metals are key components on fungal enzymes because they function as co-factors, and metal chelation may reduce the wood decay by fungi. Therefore, it is important to find the right combination of metal chelators and biocides that promotes the required synergistic action. Another approach is to increase the efficacy of organic biocides with antioxidant additives that synergically can scavenge the free radicals action of wood degrading microorganisms. In doing so the fungal activity may be successfully slowed down. Paradoxically, organic preservatives may be unstable with time. Thus, we need to understand the impact of different environmental conditions on the viability of the active ingredients, which may be susceptible to degradation by the same wood decay action or parallel mechanisms. These may include evaporation, water leaching, chemical or biological degradation of either the biocide or the formed biocide-wood complex, and photodegradation. Consequently, a protection additive has to be considered (Ruddick, 2008).

TANNIN-METAL COMPLEXES

One of the original classical patents was filed by Laks (1991) affirming that complexes of sulphated tannin extracts and copper (II) ions effectively protect wood against fungal attack. The complex can be impregnated into wood in a single step treatment using a water/organic solvent system, or formed in situ by treating the wood with an aqueous solution containing the extract and subsequently treating the wood with an aqueous solution of a copper (II) salt. This was based on sulphide derivatives of catechins from condensed tannins that have shown a

broad biocidal spectrum. Particularly, epicatechin-4-alkylsulfides and cupric complexes containing up to 20, and preferably 5 to 15 carbon atoms, were particularly effective against wood rotting fungi and gram-positive bacteria. Such sulphides were prepared by reacting condensed tannin, either in the form of purified tannin extracts or pulverized plant tissues, with an appropriate thiol reagent under mild acidic conditions (Laks, 1990).

Later, Lotz (1993) proposed the use of impregnating agents such as halogenated tannin extracts from plant species, which are relatively more resistant to fungi, weathering, rotting, and insect attack. The tannin extracts were converted to their halogenated products and absorbed by the treated wood samples. The halogenated tannin material may be used with other treatment agents such as fixatives or metal salts. In this case, Bromine was suggested as the preferred halogen material, with optimum treatment occurring at bromine concentrations above 2%, but preferably around 4% - 5%.

The mechanism of preservation by chemically modified tannin and tannin-ammonia-copper agents was examined by Yamaguchi and Yoshino (2005). Wood decay by *Fomitopsis palustris* was markedly suppressed by treating wood with the modified tannins agents, although the mycelial growth and the protein generated slightly increased. The preservative effects of the chemically modified tannins were attributed to inhibition of the enzymatic breakdown of wood components by xylanases, mannanases and cellulases. No pH drop was observed in the culture medium, where the treated wood powder was set, implying negative production of oxalic acid, which is distinctively produced by *F. palustris*. The mechanism proposed was the chelation of copper, an essential trace element for wood decay by the brown rot fungi, by the tannin, and the neutralization or suppression of oxalic acid production by the ammonia-copper involved in the chemical preparation.

Synergic effect of natural product with an inorganic fungicide, and waste product upgrading were conceptualized by Lomelí-Ramírez *et al.* (2012) in the use of phenolics from coconut tree residuals for wood protection. Tannins extracted from the fibrous mesocarp of coconut,

an agro-industrial waste, were tested satisfactorily along with copper salts addition against *Trametes versicolor*. The bioassays showed poor fungal inhibition for the wood samples impregnated only with the tannin extract. However, the tannin-copper complex mixture showed greater fungal inhibition due mainly to the retention values and the phenolic nature of solutions.

Currently, the tendency seems to develop processes that incorporate biocides into wood or wood products, but the biocide is presented as a nanoparticle. The biocide as a nanoparticle is applied into the wood or wood particles applying sufficient pressure to force it to penetrate into the wooden material (Laks and Heiden, 2004). Nanotechnology is promising for wood preservation; as well nano-metal treatment may be totally different from the traditional elemental metals treatment and perform in a different way. Nano-metals have characteristic size and charge that may improve their performance in wood protection applications. If their particle size is smaller than the diameter of pores in the bordered pits or in the wood cells, complete penetration and uniform distribution in wood can be reached.

FUNGICIDES USED FOR WOOD PROTECTION

Fungicides are organic or inorganic substances, natural or synthetic agents, acting against fungi. Their toxicant or retardant mechanism of action depends on their chemical structure and bioactive functional groups from which all important biocidal properties are derived. Some fungicides may present combined bactericidal, insecticidal or other biocidal effects, as boric acid does (Lloyd *et al.*, 1990). In searching for natural fungicides, they should fulfil the mentioned properties as shown in table 1.

Fungicide efficacy is not a constant parameter because is influenced by more biological and environmental factors inside and outside of the fungal cells. Also it depends on its ability to impair fungal cells, suppress growth, and inhibit enzymatic or other actions from rotting-fungi on wooden substrates. The reference for field and lab tests is the critical minimal concentration (%) or the minimal critical retention in wood (kg/m³) (Reinprecht, 2008). Distinctive parameters to consider are shown in table 2.



TABLE 1. Antifungal activity, mechanisms and uses of fungicides for wood preservation*

Actions	Mechanisms	Fungicide applications
1. Inhibition of respiration. Fungal cells have affinity to different chemical groups (i.e., thiol groups), resulting in non-specific denaturation of proteins and enzymes.	Inhibition of Acetyl coenzyme A (CoA). Interruption of respiratory chain phosphorylation. Suppression of high-energy intermediate adenosine triphosphate (ATP).	Cupric ion Cu^{2+} from copper sulphate, copper oxide, copper naphthenate, copper-8-hydroxyquinolate, Cu-HDO. Similar inhibitory effects from arsenic compounds, 2-phenylphenol, pentachlorophenol and other phenolic compounds, carboxamides, tributyltin compounds, or isothiazolones.
2. Inhibitors of polysaccharide biosynthesis	Inhibition of carbohydrate, protein, lipid and nucleic acid biosynthesis.	Polyoxins and antibiotics from streptomycete (Inhibition of chitin synthesis in fungi cell walls). Imidazoles, pyrimidines, triazoles (suppression of lipid synthesis).
3. Inhibitors of cell division	Inhibition of microtubules synthesis.	Benzimidazole derivatives (e.g. carbendazim, benomyl) interfere with microtubule subunit polymerization, preventing mitosis and depressing the DNA synthesis.
4. Disruptors of fungi cell membranes	Structure and function of sterols (i.e., ergosterol) play an important role. Inhibition of sterol biosynthesis is connected with disruption of cell membranes.	Tiazoles (e.g. azaconazole, propiconazole, tebuconazole). Tar oils disrupt cell membranes dissolving lipids in membranes. Quaternary ammonium compounds (QAC) can rehydrate and damage the semi-permeable membranes of fungi (e.g. didecyl-dimethyl-ammonium chloride-DDAC), combined with leaking of cell constituents.
5. Enzymes inactivation	Simultaneous inhibition of metabolic activity, enzymatic functions and growth of fungi	Hg-based fungicides, dicarboximides (reaction with thiol groups in proteins). Hg^{2+} and Cu^{2+} cations (Inhibition of glycolysis). Boric acid and boron compounds form stable complexes with vitamins, coenzymes or biological molecules with poly-OH groups (action as fungistatic rather than fungicide) (Lloyd <i>et al.</i> 1990).
6. Retardants of Fenton polysaccharides depolymerisation	Polysaccharides in wood cells chemically bond Fe^{3+} ions	Tropolon, β -tujaplicin (inhibit activity of brown-rot fungi) (Gérardin <i>et al.</i> 2002).
7. Retardants of fungal spread in wood	Adaptive nitrogen redistribution mechanisms, which are unique in rot-fungi	Non-toxic amino acid analogue "AIB" α -aminoisobutyric acid (Watkinson and Tlalka 2008).

* Prepared from Reinprecht (2010).

TABLA 2. Parameters of fungicides efficacy in wood treatment*

Fungicide adsorption rate on the surface of fungal cells	Rate of adsorption depends on physicochemical variables such as pH of wood
Fungicide accumulation rate into fungal cells	Retention of fungicide by fungal body can be enhanced in presence of conditioners
Fungus species	Individual fungi commonly show selective resistance to particular chemical fungicides
Fungal cells biomass	Fungicide may be inactivated when interacting with fungus, thus it has to be applied at higher concentration than for preventive use.
Fungicide retention/concentration and synergistic applications	Minimal critical retention or critical minimal concentrations are not usually effective for a long time. Fungus can be adapted to the fungicide and other substances may catalyse or retard efficacy of the fungicide.
Environmental factors: Temperature, Moisture Content, UV radiation, and others	Abiotic factors influence activity of fungal cells. Extreme temperatures may inhibit or kill cells; warmer and wetter conditions may assist fluid diffusion of water soluble fungicides.

*Prepared from Reinprecht (2010).

BIOLOGICAL CONTROL OF WOOD DEGRADATION

The main biological pests for wood preservation are fungi and insects. These biotic factors cause negative effects in wood quality mainly by decay and staining damages. Degradation may start when wood is in contact with soil or water and cell wall polymers is attacked by bacteria. Complementary, handling practices and environmental conditions are influential factor to be observed. While chemical protection of wood products is effective in many cases, it imposes recognized ecological and health risks. Therefore, strategies for developing biological control agents are welcome as soon they are specific at targeting biological hazards and are readily biodegradable. Though, since they are living materials and have limited shelf-life, their design and formulation must be improved (Mai *et al.*, 2004).

Attempts of biocontrol of wood deterioration with fungus such as *Trichoderma harzianum*, was evaluated by Canessa and Morell (1997) on ponderosa pine sapwood wafers at small-scale tests. Although this ascomycete fungi-

cide significantly reduced the weight losses and the enzyme activities associated with white-rot fungi (*Trametes versicolor*) and brown-rot (*Gloeophyllum trabeum*), it could not completely inhibit their activity. Results suggested that these biocontrol organisms might inhibit slowly but not totally the decay process. Addition of sugars as carbon source has not enhanced the specific activity of the biocontrol fungus. Another example is the dry-rot fungus *Serpula lacrymans*, which is a typical brown-rot basidiomycete found particularly in woods under certain environmental conditions. Some *Trichoderma* isolates prevented *Serpula* colonisation in experimental wood-block tests. However, the biocontrol fungicides could not stop decay of already infected blocks, making the isolates only valid for prevention (Score *et al.*, 1998). The antagonism mode of action appears to be the inhibitory volatile organic compounds produced by the *Trichoderma* isolates (Humphries *et al.*, 2002). The production of volatiles by *Trichoderma* is determined by cultural age and medium composition, and mainly by the amino acids available (Bruce *et al.*, 2000). It



is known that aldehydes and ketones of seven to ten carbons such as heptanal, octanal, nonanal and decanal and related ketones inhibit growth of a wide range of brown and white-rot fungi. Extended protection by *Trichoderma* or other fungal antagonists is likely not achievable, but at least a certain prolongation of the life-time of wood products is feasible. Experiments to protect wood against decay fungi by antagonist action of other microorganisms are still under exploration and evaluation.

INSECT BIOCONTROL

Some novel methods for coating, penetrating, treating, and curing wood, wood composites or cellulosic materials are inspired in the addition of natural biocides such as azadirachtin from seeds of the Neem tree (*Azadirachta indica*), where is present at 0.2% - 0.8% (Subbaraman and Brucker, 2001). This component disrupts the feeding behavior and growth cycle of termites, wood-borers and other biologically important insects. The water resistant formulation contains the Neem seed oil plus binding and bittering agents, which enhance the long active effectiveness of the extract. The composition is non-reactive, non-toxic to vertebrates, and non-polluting of surrounding soils. Also, the preparation may be resistant to oxidation, and photo degradation, when applied in non-aerobic conditions, such as subterranean use. Azadirachtin as well other specific insecticidal and fungicidal compounds are found also in the leaves and bark of the neem tree. Therefore the plant becomes an available source of biocides and a compatible biological control option against other pest insects (Nathan *et al.*, 2005).

In other paper, Neem extracts alone or mixed with copper sulphate and boric acid confirmed their antifungal activity protecting mango (*Mangifera indica*) and rain tree (*Albizia saman*) woods (Islam *et al.*, 2009). The Neem extract treatment has been extended with relative success against beetles and termites because these woods are widely used in Bangladesh and are very susceptible to them, as well to decay and wood-staining fungi. The growth of white rot fungus (*Schizophyllum commune*) was fully inhibited on field samples containing 1.8% of the extract or 5% from the mixture. The average weight

losses were significantly lower compared to the controls, providing an increase of 6–7 times on the life span. Therefore, these are promising treatments for tropical woods preservation. Similar studies have concluded on the efficacy of cashew nut shell liquid against termites in the termite mound compared to the conventional creosote treatment (Jain *et al.*, 1989).

Another tree with potential phytochemicals is Camphor (*Cinnamomum camphor*), which is rich in camphor, eucalyptol, terpineol, linalool, and 4-terpineol, active compounds already used in medicines and insecticides (Liu *et al.*, 2006). Particularly, camphor leaves extract, which is thermally unstable and volatile but has strong insecticidal and antifungal activity, is mixed with fixing agents to facilitate the protection action in bamboo. Some polymers have been used as modifiers to improve the durability of treated wood. As an example, Melamine-modified Urea Formaldehyde resin prepolymers (MUF) have improved the mechanical strength and decay and insect resistance of treated wood and bamboo samples compared to controls (Xu *et al.*, 2013). These resins are efficient fixative materials for plant-based preservatives, keeping their activity and improving their thermal stability.

COMBINED PROCESSES

The co-addition of the synthetic antioxidant BHT (butylated hydroxytoluene) increased the efficacy of wood samples treated with the commercial fungicides Propiconazole/tebuconazole or DCOI in an accelerated soil-contact test (Schultz and Nicholas, 2011). Parallely, the natural antioxidant and metal chelator propyl gallate improved the response of above ground samples treated with propiconazole and wax. These experiments highlight the antioxidant and metal complexing properties of organic phenolic extracts that protect wood from decay when combined with biocides.

The addition of heartwood extractives such as walnut tree has being explored with relative success in combined systems based of acid copper chromate, and boric acid tested on beech sapwood for white rot fungus resistance (Feraudoni and Hosseinihashemi, 2012). Substances such

as juglone, 2,7-dimethyl phenanthrene, and gallic acid from walnut heartwood flour have been reported with antifungal activity (Hosseinihashemi and Latibari, 2011).

In cooper based preservatives, the use of rosin has been proved as good fixing agent. Rosin is a paper sizing agent from softwoods that has a suitable hydrophobic character and affinity for the wood structure. This feature is appropriate to maintain a low moisture absorbing tendency and help to keep cooper from being leached out (Hien *et al.*, 2012).

Boron compounds are recognized as good wood preservatives, acting as both fungicide and insecticide, relatively inexpensive and environmentally acceptable (Caldeira, 2010). However, in the field, borates are used only for indoor and non-exposed applications or in combination with other biocides, because they are easily leachable from treated wood (Thevenon *et al.*, 2009). The fact is that boron is not fixed chemically to wood, and it will be leached out if wood in service is subjected to any wet environment, even at moisture contents below 20% (Peylo and Willeitner, 1995). This boron leaching, which is a major drawback, has been markedly reduced in wood preservatives based on the cross-linking and hardening of condensed tannins with hexamine, where boric acid was added and formed a composite. Boron can be covalently fixed to the tannin-hexamine network (Tondi *et al.*, 2012a). As a desired output, the wood treated with this system has shown a significant enhancement of wood durability before and even after leaching once tested towards basidiomycetes (Thevenon *et al.*, 2010). The mechanical and fire-proofing attributes of pine and beech specimens preserved with these formulations were improved. Treated samples under compression, bending, hardness, and gluing tests showed average improvements of 20%. The treatment with tannins has enhanced the fire resistance of samples, which was also upgraded with the addition of boron and phosphorous (Tondi *et al.*, 2012b). Eventually more work on this concept such as impregnation, agent diffusion, and wood anatomy considerations (Tondi *et al.*, 2013), may lead to effective, more environmental and friendly wood protection systems.

ENVIRONMENTAL CONCERNS AND BIOTECHNOLOGY

Environmental concerns have stimulated the search for friendly substitutes to replace toxic chromium and arsenic in chromated copper arsenate (CCA) systems by soy products in wood preservative formulations (Yanga *et al.*, 2006). Soy is intended as chelating and fixative agent in preservative solutions containing anhydrous cooper sulphate and hydrated borax. Despite the molecular sizes of the copper–protein and copper–boron–protein complexes, pine samples were treatable, leached and exposed successfully to brown rot fungi. Although wood samples needed higher retentions, soy-based formulations should be still evaluated by long-term ground-contact testing to consider them as an optional wood preservative from fungal attack and replace of CCA.

Another original approach for ecological preservation of wood materials is the copolymerization of phenolic extracts from pine barks with acrylic monomers into the cell wall structure (Dumitrescu *et al.*, 2008). Besides the biocide effect there is a plus regarding the emulsifying capacity from the bark extract, which improves the emulsion stability.

Traditionally, Biotechnology has found little attention in the forest products industries, and particularly in the wood preservation field. Now, the situation is changing due to legal restrictions on conventional processes detested by growing environmental concerns and a favourable scientific background. Current biotechnological approaches for wood protection are targeting to the treatment of wood with natural and ecological friendly preservatives and replacing conventional chemicals with biological control agents.

Complementary, Biotechnology is playing an important role in the remediation of wastes from chemically treated wood. Developing of low environmental impact technologies to remove any biological damage is still one of the major goals of wood protection industry. An example in this sense may be the experimentation for potential recycling of old creosote-treated woods through a pyrolysis process to produce tar oils for treating new wood ele-



ments. Wood tar obtained this way may have potential as a sustainable preservative for wood protection or as a component of preservatives (Mazela, 2007).

CONCLUSION

At present time, several types of inorganic and organic fungicides are commonly used for protection of wood products against termites, moulds, staining and rotting fungi. However, in the near future the wood preservation industry is required for sustainable processes based on environmentally more friendly additives. Among the most expected biocides are natural substances such as tannins, chitosan, and plant oils, maybe in combination with synthetically prepared organic compounds such as hetero-cycles and carbamates. Research in this field is becoming complex as chemical modification of the wood structure and the treatment with nanomaterials are promising tools that will change the actual view and performance of wood preservation industry and their methods.

Moreover, wood preservation processes focus on standard chemical treatments are part of the innovation efforts from chemical companies. They are looking for differentiating wood products with no current value-added, giving them colouring, finishing and chemical treatments.

Besides the ecological impact of residues and the required approach to environmental sustainability, in the next years, biotechnology industries will put more attention on organic/inorganic wastes as a valuable source of energy or new biomaterials. Particularly, biowaste evaluation will be carried out on wood processed wastes, for further testing and validation at larger scale. These bio-conversion processes have to be integrated, combining biomass treatments, energy production and/or recovery of useful biochemicals.

Finally, a modern vision will consider nanotechnology to improve raw materials and enhancing resistance and durability to decay. Consequently, a priority will be developing products with value-added and functionality to existing products and designing novel nanotechnologies for new generations of more cost effective wooden

products. The nanotechnological applications have great potential to improve treatability of commercially important wood species, designing engineered composites and delivery systems for specific targeted applications such as developing of slow-release of combined metal and biocides models. At the end is clear that the goal is offering to the market only safe, stable and effective products, i.e., with economic and environmental sustainability.

REFERENCES

- Bruce, A., R.E. Wheatley, S.N. Humphries, C.A. Hackett and M.E.J. Florence. 2000. Production of volatile compounds by *Trichoderma* in media containing different amino acids and their effect on selected wood decay fungi. *Holzforchung* 54:481–486.
- Caldeira, F. 2010. Boron in wood preservation. A review in its physico-chemical aspects. *Silva Lusitana* 18(2):179-196.
- Canessa, E.A. and J.J. Morrell. 1997. Biological control of wood decay fungi - I. Effects of exogenous carbon on effectiveness. *Material und Organismen* 31(3):167–182.
- Carrillo-Parra, A., F. Hapla, C. Mai and F. Garza-Ocañas. 2011. Durability of wood of *Prosopis laevigata* and the effect of its extractives on wood-decaying fungus. *Madera y Bosques* 17(1):7-21.
- Dumitrescu, L., I. Manciulea, M. Sica and M. Baritz. 2008. Ecomaterials for wood preservation based on acrylic copolymers and lignin derivatives. *Annals of DAAAM & Proceedings 19th International DAAAM Symposium*. DAAAM International, Vienna, Austria.
- Ermeydan, M.A., E. Cabane, A. Masic, J. Koetz and I. Burger. 2012. Flavonoid insertion into cell walls improves wood properties. *Applied Materials & Interfaces* 4(11):5782-5789.
- Feraydoni, V. and S.K. Hosseinihashemi. 2012. Effect of walnut heartwood extractives, acid copper chromate, and boric acid on white-rot decay resistance of treated beech sapwood. *BioResources* 7(2):2393-2402.
- González-Laredo, R.F. 1996. Preservación de madera con taninos. *Madera y Bosques* 2(2):67-73.
- Hadi, Y.S., T. Nurhayati, J.H. Yamamoto and N. Kamiya. 2010. Smoked wood resistance against termite. *Journal of Tropical Forest Science* 22(2):127–132.

- Hien, N.T.T., J.Li and S. Li. 2012. Effects of water borne rosin on the fixation and decay resistance of copper-based preservative treated wood. *BioResources* 7(3):3573-3584.
- Hosseinihashemi, S.K. and A.J. Latibari. 2011. Evaluation and identification of walnut heartwood extractives for protection of poplar wood. *BioResources* 6(1):59-69.
- Humphries, S.N., A. Bruce and R.E. Wheatley. 2002. The effect of *Trichoderma* volatiles on protein synthesis in *Serpula lacrymans*. *FEMS Microbiology Letters* 210:215-219.
- Hyvönen, A., P. Piltonen and J. Niinimäki. 2006. Tall oil/water - emulsions as water repellents for Scots pine sapwood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64(1):68-73.
- Hyvönen, A., M. Nelo, P. Piltonen, O. Hormi and J. Niinimäki. 2007a. Using iron catalyst to enhance the drying properties of crude tall oil-based wood preservative. *Holz als Roh- und Werkstoff* 65(2):105-111.
- Hyvönen, A., M. Nelo, P. Piltonen and J. Niinimäki. 2007b. Using the emulsion technique and an iron catalyst to enhance the wood protection properties of tall oil. *Holz als Roh- und Werkstoff* 65(3):247-249.
- Islam, M., I. Shams, G.N.M. Ilias and O. Hannan. 2009. Protective antifungal effect of neem (*Azadirachta indica*) extracts on mango (*Mangifera indica*) and rain tree (*Albizia saman*) wood. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63(2):241-243.
- Jain, J.K., V. Narayan and A.K. Gazwal. 1989. Studies on the efficacy of cashew nut shell liquid as compared to normal creosote against termites in the termite mound. *Journal of the Timber Development Association of India* 35:51-54.
- Khalil, H.P.S.A., N.H. Kong, M.N. Ahmad, A.H. Bhat, M. Jawaid and S. Jumat. 2009. Selective solvent extraction of the bark of *Rhizophora apiculata* as an anti-termite agent against *Coptotermes gestroi*. *Journal of Wood Chemistry & Technology* 29(4):286-304.
- Kirker, G.T., A.B. Blodgett, R.A. Arango, P.K. Lebow and C.A. Clausen. 2013. The role of extractives in naturally durable wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation* 82:53-58.
- Laks, P. 1990. Biocidal treatment of materials with catechins. US Pat. 4,906,656.
- Laks, P. 1991. Method for treating wood against fungal attack. US Pat. 4,988,545.
- Laks, P. and P.A. Heiden. 2004. Compositions and methods for wood preservation. US Pat. 6,753,035.
- Lin, C.Y., C.L. Wu and S.T. Chang. 2007. Evaluating the potency of cinnamaldehyde as a natural wood preservative. The international research group on wood protection. Document no. IRG/WP 07-30444 Stockholm.
- Liu, C.H., A.K. Mishra, R.X. Tan, C. Tang, H. Yang and Y.F. Shen. 2006. Repellent and insecticidal activities of essential oils from *Artemisia princeps* and *Cinnamomum camphora* and their effect on seed germination of wheat and broad bean. *Bioresource Technology* 97(15):1969-1973.
- Loferski, J.R. 1999. Technologies for wood preservation in historic preservation. *Archives and Museum Informatics* 13(3):273-290.
- Lloyd, J.D., D.J. Dickinson, R.J. Murphy. 1990. The probable mechanism of action of boric acid and borates as wood preservatives. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 1450.
- Lomelí-Ramírez, M.G., H.G. Ochoa-Ruiz, F. Navarro-Arzate, M.A. Cerpa-Gallegos and S. García-Enriquez. 2012. Valuation of fungi toxic activity of tannins and a tannin-copper complex from the mesocarp of *Cocos nucifera* Linn. *Wood and Fiber Science* 44(4):357-364.
- Lotz, W.R. 1993. Wood preservation systems including halogenated tannin extracts. US Pat. 5,270,083.
- Lyon, F., M.F. Thevenon, Y. Imamura, J. Gril and A. Pizzi. 2007a. Development of boron/linseed oil combination treatment as a low-toxic wood protection: evaluation of boron fixation and resistance to termites according to Japanese and European standards. The international research group on wood protection. Document no. IRG/WP 07-30448. Stockholm.
- Lyon F., A. Pizzi, Y. Imamura, M.F. Thevenon, N. Kartal and J. Gril. 2007b. Leachability and termite resistance of wood treated with a new preservative: Boric acid ammonium oleate. *Holz als Roh und Werkstoff* 65(5), 359-366.
- Lyon, F., M.F. Thevenon, A. Pizzi and J. Gril. 2009. Resistance to decay fungi of ammonium borate oleate treated wood. 40th Annual Meeting of the International Research



- Group on Wood Protection (IRG/WP 09), Beijing, CN, 24-28.05.09
- Macias, F.A., A. Torres, C.C. Maya and B. Fernandez. 2005. Natural biocides from citrus waste as new wood preservatives. Fourth World Congress on Allelopathy, 21–26 Aug 2005 Charles Sturt University, Wagga.
- Mai, C., U. Kües and H. Militz. 2004. Biotechnology in the wood industry. *Applied Microbiology and Biotechnology* 63(5):477–494.
- Nakayama, F.S. and W.L. Osbrink. 2010. Evaluation of kukui oil (*Aleurites moluccana*) for controlling termites. *Industrial Crops and Products* 31(2):312-315.
- Mazela, B. 2007. Fungicidal value of wood tar from pyrolysis of treated wood. *Waste Management* 27(4):461-465.
- Mohan, D., J. Shi, D.D. Nicholas, C.U. Pittman Jr., P.H. Steele and J.E. Cooper. 2008. Fungicidal values of bio-oils and their lignin-rich fractions obtained from wood/bark fast pyrolysis. *Chemosphere* 71(3):456-65.
- Morrell, J.J. 2011. Resistance of selected wood-based materials to fungal and termite attack in non-soil contact exposures. *Forest Products Journal* 61(8):685–687.
- Morris, P.I. and R. Stirling. 2012. Western red cedar extractives associated with durability in ground contact. *Wood Science and Technology* 46(5):991-1002.
- Nascimento, M.S., A.L.B.D. Santana, C.A. Maranhão, L.S. Oliveira and L. Bieber. 2013. Phenolic extractives and natural resistance of wood. In: R. Chamy and F. Rosenkranz, eds. <http://www.intechopen.com/books/biodegradation-life-of-science>.
- Nathan, S.S., K. Kalaivani, K. Murugan and G. Chung. 2005. The toxicity and physiological effect of neem limonoids on *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) the rice leaf folder. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 81(2):113-122
- Peylo, A., H. Willeitner. 1995. The problem of reducing the leachability of boron by water repellents. *Holzforschung* 49(3):211-216.
- Reinprecht, L. 2008. *Ochrana dreva / Wood protection*. Handbook. Technical University in Zvolen - Slovakia. 453 p.
- Reinprecht, L. 2010. Fungicides for wood protection. World viewpoint and evaluation/testing in Slovakia. In: O. Carisse, ed. Fungicides. <http://www.intechopen.com/books/fungicides>
- Reyes-Chilpa, R., N. Viveros-Rodriguez, N., F. Gomez-Garibay, and D. Alavez-Solano. 1995. Antitermitic activity of *Lonchocarpus castilloi* flavonoids and heartwood extracts. *Journal of Chemical Ecology* 21(4): 455-463.
- Reyes Chilpa, R., R.I. Quiroz Vázquez, M. Jiménez Estrada, A. Navarro-Ocaña and J. Cassani Hernández. 1997. Antifungal activity of selected plant secondary metabolites against *Coriolus versicolor*. *Journal of Tropical Forest Products* 3:110–113.
- Reyes-Chilpa, R., F. Gomez-Garibay, G. Moreno-Torres, M. Jimenez-Estrada and R. I. Quiroz-Vazquez. 1998. Flavonoids and isoflavonoids with antifungal properties from *Platymiscium yucatanum* heartwood. *Holzforschung* 52(5): 459-462.
- Rodrigues, A.M.S., D. Stien, D., V. Eparvier, L.S. Espindola, J. Beauchêne, N. Amusant, N. Leménager, C. Baudassé, and L. Raguina. 2012. The wood preservative potential of long-lasting Amazonian wood extracts. *International Biodeterioration & Biodegradation* 75:146–149.
- Roos, K.D. and K.J. Archer. 2004. Reactive oil/copper preservative systems for wood products. US Pat. 6,686,056.
- Ruddick, J.N.R. 2008. Biocide depletion: chemical, physical, and photodegradation. In: T.P. Schultz, H. Militz, M.H. Freeman, B. Goodell and D.D. Nicholas, eds. Development of commercial wood preservatives; efficacy, environmental and health issues. ACS, Washington. p:285–311.
- Score, A.J., A. Bruce, B. King and J.W. Palfreyman. 1998. The biological control of *Serpula lacrymans* by *Trichoderma* species. *Holzforschung* 52(2):124–132.
- Scheffer, T.C. and J.J. Morrell. 1998. Natural durability of wood: A worldwide checklist of species. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Research Contribution 22. 58p.
- Schultz, T.P. and D.D. Nicholas. 2011. Efficacy of two organic biocides with co-added antioxidants. *Holzforschung* 60(5):771-773.
- Singh, T. and A.P. Singh. 2012. A review on natural products as wood protectant. *Wood Science and Technology* 46(5):851–870.

- Stirling, R., C.R. Daniels, J.E. Clark and P.I. Morris. 2007. Methods for determining the role of extractives in the natural durability of western red cedar. International Research Group on Wood Protection. Doc No. IRG-WP 07e20356.
- Stołyhwo, A. and Z.E. Sikorski. 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish: a critical review. *Food Chemistry* 91(2):303–311.
- Subbaraman, R.B. and B.R. Brucker. 2001. Method for using neem extracts and derivatives for protecting wood and other cellulosic composites. US Pat. 6,294,571.
- Sunarta, S., P. Darmadji, T.Uehara and S. Katoh. 2011. Production and characterization of palm fruit shell bio-oil for wood preservation. *Forest Products Journal* 61(2):180-184.
- Sundararaj, R., R.R. Shanbhag, H.C. Nagaveni and G. Vijayalakshmi. 2015. Natural durability of timbers under Indian environmental conditions - An overview. *International Biodeterioration & Biodegradation* 103: 196-214.
- Sunen, E., C. Aristimuno and B. Fernandez-Galian. 2003. Activity of smoke wood condensates against *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged, cold-smoked rainbow trout stored at 4°C. *Food Research International* 36(2):111–116.
- Tascioglu, C., M. Yalcin, S. Sen and C. Akcay. 2013. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85(1):23-28.
- Tascioglu, C., M. Yalcin, T. Troya and H. Sivrikaya. 2012. Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. *Bioresources* 7(3):2960-2969.
- Thevenon, M.F., G. Tondi and A. Pizzi. 2009. High performance tannin resin-boron wood preservatives for outdoor end-uses. *European Journal of Wood Products* 67(1): 89-93.
- Thevenon, M.F., G. Tondi and A. Pizzi. 2010. Environmentally friendly wood preservative system based on polymerized tannin resin-boric acid for outdoor applications. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 12(3):253-257.
- Tiilikkala, K., L. Fagernäs and J. Tiilikkala. 2010. History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. *The Open Agriculture Journal* 4:111-118.
- Tomak, E.D. and U.C. Yildiz. 2012. Applicability of vegetable oils as a wood preservative. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 13(1):142-157.
- Tondi, G., S. Wieland, N. Lemenager, A. Petutschnigg, A. Pizzi and M.F. Thevenon. 2012a. Efficacy of tannin in fixing boron in wood: Fungal and termite resistance. *BioResources* 7(1):1238-1252.
- Tondi, G., S. Wieland, T. Wimmer, M.F. Thevenon, A. Pizzi and A. Petutschnigg. 2012b. Tannin-boron preservatives for wood buildings: mechanical and fire properties. *European Journal of Wood Products* 70(5):689-696.
- Tondi, G., M.F. Thevenon, B. Mies, G. Standfest, A. Petutschnigg and S. Wieland. 2013. Impregnation of Scots pine and beech with tannin solutions: effect of viscosity and wood anatomy in wood infiltration. *Wood Science and Technology* 47(3):615-626.
- USPTO. 2013. www.uspto.gov. Consulted November 15, 2014.
- Verma, M., S. Sharma and R. Prasad. 2009. Biological alternatives for termite control: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63(8):959–972.
- Xu G., L. Wang, J. Liu and S. Hu. 2013. Decay resistance and thermal stability of bamboo preservatives prepared using camphor leaf extract. *International Biodeterioration & Biodegradation* 78:103-107
- Yamaguchi, H. and K. Yoshino. 2005. Influence of tannin-copper complexes as preservatives for wood on mechanism of decomposition by brown-rot fungus *Fomitopsis palustris*. *Holzforschung* 55(5):464–470.
- Yang, D.Q. 2009. Potential utilization of plant fungal extracts for wood protection. *Forest Products Journal* 59(4):97–103.
- Yanga, I., M. Kuoa and D.J. Myers. 2006. Soy protein combined with copper and boron compounds for providing effective wood preservation. *JAOCS* 83(3):239-245.

Manuscrito recibido el 21 de noviembre de 2013.
Aceptado el 4 de septiembre de 2015.

Este documento se debe citar como:
González-Laredo, R.F., M. Rosales-Castro, N.E. Rocha-Guzmán, J.A. Gallegos-Infante, M.R. Moreno-Jiménez and J.J. Karchesy. 2015. Wood preservation using natural products. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):63-76.



Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación

Density of Mexican woods by vegetation type based on J. Rzedowski's classification: compilation

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz^{1*}, Adolfo Galicia Naranjo¹, Nuria Julieta Venegas Mancera¹,
Tomás Hernández Tejeda², María de Jesús Ordóñez Díaz³ y Raymundo Dávalos-Sotelo⁴

¹ Servicios Ambientales y Cambio Climático SACC, A.C.

* Autor de correspondencia. jabordonez@hotmail.com

² Centro Nacional en Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

³ Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver.

RESUMEN

Se realizó una revisión bibliográfica de la densidad básica de la madera de diversas especies con énfasis en especies maderables en México por tipo de cobertura vegetal. Los ecosistemas y las especies incluidas están basados en la clasificación de la vegetación de México elaborada por J. Rzedowski (1978) que, si bien es vigente, es necesario tomar en cuenta que hay nuevos avances en la identificación taxonómica y/o reclasificación. Se proporciona la densidad de la madera para 636 especies y se identifican 738 especies sin información. Asimismo, se proporcionan los datos de la densidad máxima y mínima por tipo de ecosistema y el listado correspondiente de la densidad por especie (sp.), por tipo de ecosistema. El conocimiento de la densidad de la madera, no solo permite darle un mejor uso como recurso natural, sino que adquiere relevancia en la conversión del volumen de las existencias reales (m^3) a biomasa (t) y en particular para la estimación del contenido, captura o secuestro de carbono (C). Para esto último, el contar con el valor de la densidad de la madera, permite hacer estimaciones más precisas (de la biomasa y de las concentraciones de carbono). Este hecho ha tomado relevancia ante el mercado del secuestro de carbono como medida de conservación de la cobertura vegetal, el pago por servicios ambientales, en particular como estrategia en la mitigación del cambio climático y para los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y MRV (monitoreo, reporte y verificación) de proyectos REDD (reducción de emisiones por deforestación y degradación evitada).

PALABRAS CLAVE: biomasa, captura de carbono, ecosistema, recurso natural, reservorios de carbono y cambio climático, servicios ambientales.

ABSTRACT

We conducted a literature review of the basic density of diverse species focused on timber species in Mexico by vegetation cover type. Ecosystems and species included are based on the classification of the vegetation of Mexico prepared by J. Rzedowski (1978) that even though it is still considered the primary source of information on vegetation types, it is necessary to take into account that there are new developments in the taxonomic identification and/or reclassification. Whereupon, we list here the wood density values for 611 species and 785 species are identified as without information at the time. Also, we provide data of minimum and maximum values of density by ecosystem type, and the list corresponding to density by specie (sp.), and by ecosystem type. The knowledge of wood density, not only allows the better use of wood as a natural resource, but it becomes important in the conversion of real stock volume (m^3) to biomass (t) and in particular to estimate the content, capture or carbon sequestration, where, by having the value of wood density, allows more accurate estimates (biomass and carbon concentrations). This fact has gained importance to the carbon sequestration market as a conservation measure of plant cover, payment for environmental services, in particular as a strategy for climate change mitigation and especially for greenhouse gases emission inventories and MRV of REDD's projects.

Keywords: biomass, carbon sequestration, ecosystem, natural resources, carbon sinks and climate change, environmental services.

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica en México comprende una gran variedad de paisajes y comunidades vegetales (Challenger, 2008). En el área que constituye el territorio nacional se pueden encontrar casi todos los climas del planeta; lo cual permite que se desarrollen la mayoría de los ecosistemas terrestres presentes en el mundo (Sarukhán *et al.*, 2009). Esta biodiversidad es debida a la compleja orografía del país y a la convergencia de dos provincias biogeográficas, la Neártica y la Neotropical; cuya interacción permite la presencia y el desarrollo de diversos tipos de climas y de vegetación. Asimismo, propicia las condiciones para generar un alto número de endemismos tanto de especies vegetales como animales, lo cual ha permitido que México sea catalogado como uno de los 17 países con mayor biodiversidad a nivel mundial (Sarukhán *et al.*, 2009).

En la actualidad, de acuerdo con la cuarta Serie de uso de suelo y vegetación publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2007), la vegetación de México se agrupa en 57 clases. Sin embargo, como antecedente histórico, el poder estimar la gran biodiversidad vegetal en México ha sido la tarea de numerosos investigadores, entre los que se encuentran: Martens y Galeotti; Faustino Miranda; José Sarukhán; Jerzy Rzedowski, entre otros. De acuerdo con la Conabio (1998), el término de cobertura vegetal es empleado para referirse al conjunto de especies que tienen determinadas formas de vida o a la agrupación de especies que, por sus requerimientos y tolerancias ambientales, tienen características en común (p. ej. en su fisonomía, tamaño y desarrollo).

Basado en la información generada por diversos autores en el tema, en información de diversas regiones del país y en su trabajo propio, Jerzy Rzedowski inició uno de los primeros análisis sobre la riqueza florística del país, el cual culminó en la publicación del libro “Vegetación de México” (Rzedowski, 1978). En este trabajo se agrupan y describen 10 tipos principales de vegetación, entre los que se encuentran: bosque tropical perennifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, pastizal, matorral xerófilo, bosque de encino, bosque de coníferas, bosque mesófilo de montaña, vegeta-

ción acuática y subacuática (manglar) y otros tipos de vegetación. Esta obra ha tenido una gran influencia en el conocimiento de la flora nacional, aún más allá de nuestras fronteras (Medrano, 2003; Sarukhán *et al.*, 2009). Este trabajo representa uno de los listados florísticos más detallados por tipo de ecosistema, por ello, se decidió tomarlo como base para la elaboración para un primer listado de densidades de madera (o tallo de diversas especies sin especificar si son formas de vida arbustiva, palmas, magueyes, entre otras) para el presente estudio.

DENSIDAD DE LA MADERA

La densidad de la madera es propia de cada especie vegetal, depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que la constituyen (Martínez, 2005). La mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como: la dureza, el peso, la resistencia al impacto y a la abrasión están directamente relacionadas con la densidad; asimismo estas características se asocian con las condiciones climáticas que prevalecen en la región donde los individuos crecen (Rodríguez *et al.*, 2015). De acuerdo con sus características, la madera puede ser empleada en la industria para la fabricación y/o producción de: escuadría, celulosa, triplay, postes, pilotes, leña, carbón y durmientes (Semarnat, 2011). Otro aspecto asociado con la densidad de la madera es su eficiencia como biocombustible. En México el consumo de leña a nivel residencial ocupa el tercer lugar como energético (Sener, 2012).

CRECIMIENTO DE LA VEGETACIÓN Y CAPTURA DE CARBONO

Ante la problemática actual que representa el calentamiento global, se han propuesto alternativas que permiten reducir las concentraciones de CO₂ atmosférico. La captura o secuestro de carbono es un modelo que permite retirar el CO₂ de la atmósfera (Ordóñez y Maser, 2001). En dicho modelo, la densidad de la madera se ocupa para calcular la biomasa aérea de cada tipo particular de vegetación. Con este cálculo, se puede realizar la estimación adecuada de la biomasa de un bosque y determinar los montos de carbono y otros factores químicos existentes en



cada uno de sus componentes, lo que representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o retenido en una determinada superficie (Brown *et al.*, 1997). Cabe señalar que la captura y el almacenamiento de carbono es proporcional al desarrollo de la cobertura vegetal forestal, la cual, se evalúa a partir de variables cuantitativas como: la altura, el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la densidad de la madera (Mendizábal *et al.*, 2011). Dichas características difieren entre especie y comunidades. En plantaciones forestales, al estar bajo selección direccional, las propiedades (fenotipo) de los árboles pueden diferir de lo registrado en otros ecosistemas (Ordóñez *et al.*, 2001).

Bajo el modelo de pago por servicios ambientales, se ha encontrado en el ciclo del carbono una solución para reducir las emisiones de CO₂ atmosférico. En este ciclo, mediante la fotosíntesis, la masa forestal puede integrar el CO₂ a su biomasa y mantenerlo en reservorios de carbono. Lo anterior adquiere relevancia ante el emergente mercado de carbono y los compromisos de mitigación de gases de efecto de invernadero en México (Ordóñez, 2008).

El balance de carbono es uno de los más importantes en la naturaleza, puesto que determina los flujos de materia orgánica y también, en gran parte, el de otros elementos, como N, P y S (Valdés *et al.*, 2011).

OBJETIVOS

Por lo antes expuesto, uno de los objetivos principales de este trabajo es recopilar, mediante búsqueda bibliográfica, la densidad de la madera por tipo de ecosistema para las especies de las que existe información, a modo de proveer de una base de datos que pueda ser empleada para futuras investigaciones en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en el listado florístico incluido en el libro: La Vegetación de México (Rzedowski, 1978), se tomaron diferentes especies (arbóreas, arbustivas, leñosas) registradas por tipo de ecosistema, con el fin de establecer una base de datos. Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica no exhaustiva de las densidades de madera

publicadas en compilaciones como la de Sotomayor (2008); entre la bibliografía consultada se incluyeron artículos científicos, bases de datos internacionales de las densidades de madera, libros, además de consultar con especialistas en el tema. En muchos casos, no se pudo precisar el origen de los datos.

Se procedió a registrar la densidad de la especie vegetal en cuestión y/o el máximo y mínimo cuando se encontraron diferentes valores de densidad publicados para la misma especie. En los casos en los que no se encontraba información de alguna especie como opciones de investigación, se consideró pertinente no sugerir un valor para otras especies pertenecientes al mismo género por la incertidumbre asociada con los diferentes valores en la densidad de una misma especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recopiló información en la literatura de la densidad de la madera en 636 especies diferentes, en los 10 tipos de vegetación evaluadas. Asimismo, se obtuvo la densidad máxima, la mínima y la promedio por tipo de ecosistema, la cual se muestra en g/cm³, los valores fueron redondeados a dos decimales (Tabla 1, Fig.1).

Cabe recalcar que solo se incluyen los registros para especies publicadas en la literatura técnica. El listado completo de las densidades de madera por tipo de ecosistema se encuentra en el anexo de densidades (Anexo 1). El número de especies que no cuentan con un valor de la densidad en la bibliografía consultada es de 738 (Anexo 2), lo cual abre la oportunidad a líneas de investigación en el tema. Es seguro que existen otras fuentes que no fueron consultadas que contienen información sobre esta importante propiedad física de la madera. Entre las referencias con mayor número de datos de especies publicados podemos citar las de Bárcenas (1995) que incluye información sobre las características físicas y mecánicas de 20 especies de la selva alta perennifolia y las de De la Paz y Dávalos-Sotelo (2008) que contiene datos sobre 24 especies de encinos (*Quercus*) mexicanos.

El bosque tropical caducifolio no solo tiene un mayor número de especies registradas, sino que también es el que

TABLA 1. Densidad mínima, promedio y máxima en madera por tipo de ecosistema en México.

Ecosistema	Densidad (g/cm ³ o t/m ³)			Número de especies	*ND
	Mínima	Promedio	Máxima		
Bosque de coníferas	0.35	0.51	0.80	39	82
Bosque de <i>Quercus</i>	0.40	0.63	0.95	62	128
Bosque de galería	0.37	0.55	0.69	22	20
Bosque espinoso	0.30	0.67	1.10	46	44
Bosque mesófilo de montaña	0.22	0.60	0.94	75	94
Manglar	0.70	0.82	1.01	4	0
Matorral xerófilo	0.40	0.66	1.15	86	97
Otros tipos de vegetación	0.46	0.61	1.05	48	41
Pastizal	0.56	0.68	1.03	18	7
Popal	0.46	0.46	0.46	1	0
Bosque tropical perennifolio	0.30	0.59	0.94	100	65
Bosque tropical caducifolio	0.21	0.63	1.09	79	107
Bosque tropical subcaducifolio	0.21	0.60	0.94	56	53
Subtotal				636	738
Total			1374		

* ND: No determinado.

presenta mayor variación en la densidad de la madera entre especies (Fig. 1). De manera contraria, en el popal solo se encontró un registro de densidad, debido a que la mayor parte de las especies publicadas corresponden a herbáceas y vegetación acuática. En cuanto al bosque tropical perennifolio se encontraron valores de densidad para 100 especies y no se encontraron para 65. La relevancia de este ecosistema radica en que es uno de los más complejos y biodiversos y presenta una alta variación de especies de un lugar con respecto a otro (Sarukhán *et al.*, 2009).

Si bien, el objetivo de este estudio no es el de estimar las diferencias en cuanto a las densidades encontradas en la literatura para la madera de las diferentes especies que crecen en los tipos de vegetación identificados en el país, sí se puede observar una variación muy amplia en las densidades encontradas (Anexo 2).

A nivel general, las propiedades de la madera son un atributo variable que puede cambiar según las condicio-

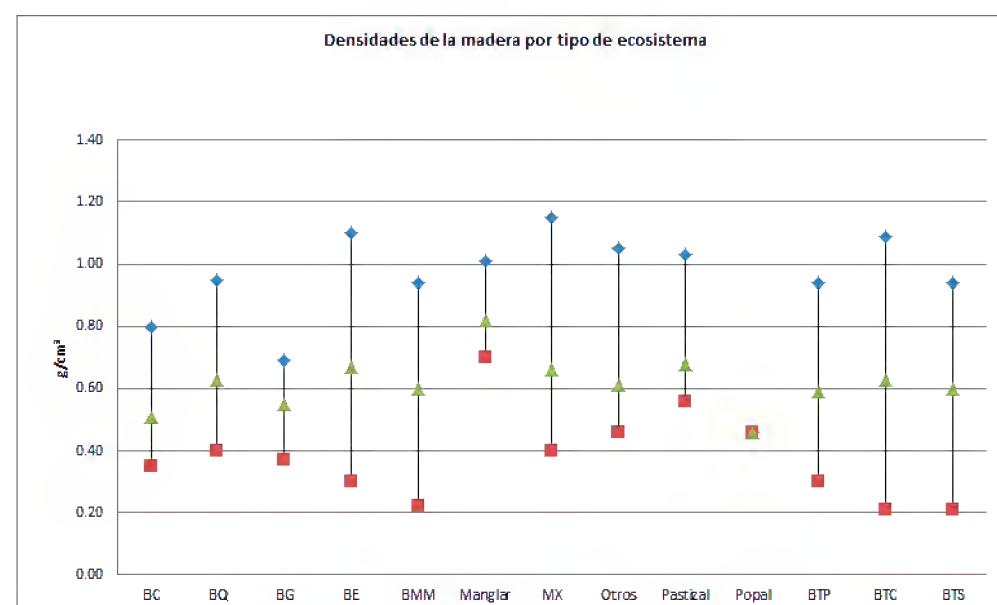


FIGURA 1. Densidad máxima, mínima y promedio para los trece tipos de ecosistema.

Bosque de coníferas (BC), Bosque de *Quercus* (BQ), Bosque espinoso (BE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical perennifolio (BTP), Bosque tropical sub perennifolio (BTS), Matorral xerófilo (MX), Bosque de galería (BG).



nes como la zona geográfica y el clima. Asimismo, estas variaciones pueden ser debidas a la edad del árbol, a la velocidad de crecimiento, a diferencias genéticas, disponibilidad de nutrientes y a la historia evolutiva (Goche *et al.*, 2011). De esta manera, especímenes de la misma especie que se desarrollen en la misma zona, pero bajo condiciones que difieran en cuanto a altitud, humedad y/o composición, pueden tener diferencias notables en cuanto a su densidad en la madera (Goche *et al.*, 2011; Valencia y López, 1999).

La densidad es una característica importante de la madera, pues determina el valor y utilidad de la misma y está altamente correlacionada con otras propiedades como la resistencia mecánica, la rigidez, la conductividad térmica y el calor específico (Tuset y Duran, 1986; Bárcenas, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2010). El conocimiento de la variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas de la madera es de fundamental importancia para los silvicultores y otros usuarios de la madera al momento de evaluar sus múltiples aplicaciones (Quintanar, 2002; Davel *et al.*, 2005). Es decir, conocer aspectos básicos como la densidad de la madera se hace indispensable, ya que puede permitir un mejor aprovechamiento en términos de producción y manejo forestal (Silva *et al.*, 2010; Goche *et al.*, 2011).

Cabe señalar que la diversidad de las especies que se emplean en México en las plantaciones forestales se ha incrementado en los últimos años, incluyendo variedades nacionales e internacionales. Por ello, resulta de gran importancia el conocer el valor de la densidad básica de la madera para las especies forestales bajo manejo (Bárcenas y Dávalos, 2001; Sotomayor, 2008), así como la de especies presentes en ecosistemas naturales (Tamarit y Fuentes-Salinas, 2003). Diversos estudios indican que el mejoramiento genético en plantaciones forestales es factible y representa ventajas considerables en cuanto a tasas de crecimiento, ya sea en altura y/o en DAP (Valencia y Vargas, 2001). Sin embargo, para cada especie en particular se requiere conocer el grado de variación de la densidad de la madera, así como otras características de importancia económica (Gutiérrez *et al.*, 2010).

En la actualidad, ante el emergente mercado de servicios ambientales, se ha planteado la captura de carbono como una opción viable para reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera. En relación con esto, el valor de la densidad básica de una especie permite contemplar el valor de un bosque en términos de biomasa; la productividad total de la biomasa de un rodal no puede determinarse a menos de que se conozca la densidad promedio de la madera (Zobel y Talbet, 1988; Silva *et al.*, 2010). Es necesario hacer una estimación adecuada de la biomasa presente en bosques, pues esto permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o almacenado en una superficie (Brown *et al.*, 1997). De este modo, al contar con el valor de la densidad para más especies, se puede tener una mayor certidumbre para los trabajos de captura de carbono y pago de servicios ambientales aunado a la línea base, MRV en proyectos REDD (Ordóñez *et al.*, 2001 y 2008).

Bajo esta nueva opción de mercado, conocer el valor de la densidad de la madera permite observar el valor socio económico de un bosque, pues está íntimamente relacionado con las propiedades físico-químicas de la madera (Silva *et al.*, 2010), así como de las unidades caloríficas de la madera como combustible (Maser y Dutt, 1991). Algunas de las implicaciones del uso de leña como biocombustible son las emisiones de CO₂, carbono negro y orgánico volátiles, dichas emisiones, no solo contribuyen a incrementar las concentraciones de GEI, sino que también ponen en riesgo la salud de sus usuarios (Maser *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

La densidad de la madera es una de sus características más importantes porque tiene una relación directa con su uso final. El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de la madera permite definir en qué procesos de transformación importantes se pueden aplicar (Quintanar, 2002). López y Valencia (2001) señalan que, por ejemplo, en *P. greggii* Engelm. y en *P. strobus* la densidad de la

madera se incrementa con la altura y con la edad del árbol. Sin embargo en *P. oocarpa* se ha observado que la densidad está más relacionada con la altitud, ya que se registran valores más altos de densidad en las zonas más altas y menores en zonas bajas (Tamarit y Fuentes-Salinas, 2003). Como ya se mencionó, la densidad de la madera es un atributo variable y dependiente de múltiples factores. La variabilidad observada puede ser de utilidad para los silvicultores y es particularmente importante para la estimación del contenido y captura potencial de carbono (Ordóñez *et al.*, 2001; Ordóñez y Maser, 2001).

Valencia y López (1999) así como Bárcenas y Dávalos (2000) enfatizan la importancia del conocimiento de la anatomía y propiedades físicas y mecánicas de la madera de las especies forestales como un factor indispensable si se quiere contar con una base sólida que permita determinar la adecuada utilización de las mismas. La densidad de la madera es una característica que está íntimamente relacionada con las propiedades de resistencia de la madera en la construcción y el rendimiento en la elaboración de pulpa para papel, así como con las unidades caloríficas generadas al utilizar la madera como combustible (Kollman, 1959).

La madera no es un material uniforme (Valencia y López, 1999), por el contrario presenta una alta variabilidad en sus propiedades, tal es el caso de la densidad (van Buijtenen, 1963 citado por Valencia y López, 1999), que en muchas especies disminuye del centro a la periferia y de la base hacia el ápice (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984). Por supuesto, también se reconoce la variación que existe entre árboles, sitios, rodales y especies (Zobel y Van Buijtenen, 1989 citado por Valencia y López, 1999), que se emplea ampliamente en programas de mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1988). Tamarit y López (2007) mencionan la importancia de la xilotecnología de los árboles tropicales de México.

Si bien, en este trabajo se hace la compilación de la densidad para las especies preferentemente arbóreas con distribución en México, es recomendable el realizar estudios que aborden directamente la estimación de la densidad básica de la madera, incorporando variables como la

competencia inter e intra específica, edad (coetaneidad, multietaneidad, si son homogéneas o bien heterogéneas), especies presentes, pendiente del terreno, suelo, entre otras. Algunas de las metodologías más viables para la determinación de la densidad de la madera son la de método empírico, sugerido por Valencia y Vargas (2001) y el método del máximo contenido de humedad.

Cabe señalar que el objetivo de esta compilación no es abordar la variabilidad de la densidad de la madera por especie y por tipo de ecosistema, independientemente de que se observe esto en las especies que conforman los ecosistemas y se destaque la categoría de megadiversidad en la vegetación que ocurre en nuestro país. Más bien, esta compilación se desarrolla con el fin de identificar los valores publicados de la densidad para especies descritas en los diferentes tipos de vegetación listados por el Dr. Rzedowski e indentificar las especies a las que les falta conocer ese valor.

Aspectos como la densidad de la madera tienen implicaciones diversas, entre las que se encuentran: las aplicaciones en la industria maderera, la mejora genética en plantaciones forestales, la captura de carbono y su eficiencia como biocombustible (Bárcenas y Dávalos, 2000). Por lo anterior, es recomendable abordar el estudio de las características de la madera mediante estudios de caso tanto para plantaciones forestales como ambientes naturales.

Se debe incluir en una segunda versión todas las especies descritas por el Dr. Rzedowski señalando si son árboles, arbustos, hierbas, con una relación taxonómica actualizada por si hubo cambio en los nombres de las especies. Es también importante señalar que sugerimos no usar valores genéricos o ponderados para la densidad de la madera asumiendo un comportamiento parecido por pertenecer a un mismo género o familia (en la primera versión del documento nos dimos cuenta de este error y de la incertidumbre asociada).

AGRADECIMIENTOS

A Julia Martínez, Luis Conde, Aquileo Guzmán, Erika Tapia y Francisco Aviña del Instituto Nacional de Ecología



y Cambio Climático (Inecc). Este estudio recibió apoyo del proyecto Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero para el Sector: Uso del Suelo, Cambio en el Uso del Suelo y Silvicultura, periodo 1990-2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Inecc-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Pronatura Noreste A.C. y Servicios Ambientales y Cambio Climático SACC, A.C. A Magdalena Rovalo y Alicia Villarreal de Pronatura Noreste A.C. En particular a los revisores de la Revista *Madera y Bosques* que nos permitieron formular estas propuestas y mejorarlas. Finalmente, agradecemos a la M. I. Reyna Paula Zárate Morales, responsable de Producción Editorial de la Revista *Madera y Bosques* por la cuidadosa revisión editorial de la versión final de este manuscrito.

REFERENCIAS

- Bárcenas P., G.M. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona, Chis., México. *Madera y Bosques* 1(1):9-38.
- Bárcenas P., G. 2000. Banco de información sobre características tecnológicas de maderas mexicanas. Instituto de Ecología A.C. División de Vegetación y Flora. Base de datos SNIB2010-Conabio proyecto No. K015. México, D.F.
- Bárcenas P., G.M. y R. Dávalos S. 2001. Shrinking values for 106 Mexican Woods. *Journal of Tropical Forest Products* 7(2):126-135.
- Borja de la R., A., y J.C. Tamarit U. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales* V(1):103-108.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forestry Paper 134. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Disponible en línea <http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm>.
- Conabio. 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país, 1998. Comisión para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). 2008. Fichas técnicas sobre las características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Semarnat. Tomo 1. México. <http://www.masefi.com.mx/docs/fichas-tecnicas-de-maderas.pdf>
- Daniel, T.W., J.A. Helms y F.S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Mc Graw-Hill. México. 492 p.
- Davel, M., A. Jovanovski y D. Bell. 2005. Densidad básica de la madera de pino oregón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 26(3):55-62.
- De la Paz P.O., C. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- FAO. 1997. Estimating biomass and biomass change in tropical forests. FAO Forestry Paper. ISSN: 0259-2800; ISBN: 103955.
- Goche T., J.R., A. Velázquez M., A. Borja de la Rosa, J. Capulín G. y C. Palacios M. 2011. Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(7):71-78.
- Gutiérrez V., B.N., M. Gómez C., S. Valencia M., E. H. Cornejo O., J.A. Prieto R. y M.H. Gutiérrez V. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schltdl. del estado de Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4):75-78.
- Hocker Jr., H.W. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT Editor, S.A. México. 446 p.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Carta de Uso De Suelo y Vegetación Serie IV, 2007; escala 1:250 000. INEGI, México.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, España. 675 p
- Leandro, L. 2009. Revisión bibliográfica de las densidades de especies maderables del proyecto TROPI-DRY. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- López L., M. y S. Valencia M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques* 7(1):37-46.

- Martínez, J., Borja de la Rosa, A. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1):78-82.
- Masera, O. y G. Dutt. 1991. A thermodynamic analysis of rural energy needs: a case study in a Mexican Village. *Energy* 16:4, 8 p.
- Masera, O., R. Edwards, C. Armendariz, V. Berrueta, M. Johnson, L. Rojas H. Riojas y K.R. Smith. 2007. Impact of Patsari improved cookstoves on indoor air quality in Michoacan, Mexico. *Energy for Sustainable Development* 11(2):45-56.
- Medrano, F. 2003. Las comunidades vegetales de México. Instituto Nacional de Ecología, México D.F.
- Mendizábal, L., J. Alba, J. Márquez, H. Cruz y E.O. Ramírez. 2011. Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una prueba genética. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(4):107-114.
- Ordóñez, J.A.B. 2008. Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Ciencias* 90:36-42.
- Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez y O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255(7):2074-2084.
- Ordóñez, J.A.B. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3-12.
- Ordóñez, A., B.H.J de Jong y O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47.
- Pardo-Tejeda, E. y Sánchez M., C., 1980. *Brosimum alicastrum* (ramón, capomo, ojite, ojoche). Recurso silvestre tropical desaprovechado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz, México.
- Quintanar O., J., ed. 2002. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRCE, C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla, México. 194 p.
- Rodríguez A., R., A.M. Ramírez A., H. Palacios J., F.J. Fuentes T, J.A. Silva G y A.R. Saucedo C. 2015. Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(28):156-173.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México.
- Salazar, A. y R. Alemán. 2002. Caracterización tecnológica de algunas especies de coníferas de la región de el Salto P.N. (Durango). Conafor/Inifap.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta y J. de la Maza. 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 100 p.
- Secretaría de Energía (Sener). 2012. Prospectiva de energías renovables 2012-2026. Sener, Gobierno Federal. México. 156 p.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2011. Semarnat. México. 224 p.
- Silva G., J., F. Fuentes T., R. Rodríguez A., P. Torres A., M. Lomelí R., J. Ramos Q., C. Waitkus y H.G. Richter. 2010. Fichas de Propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. ISBN 978-607-002894-6, 207 p. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/catalogo-maderas-tomo2.pdf>
- Sotomayor, C. 2008. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas, Morelia, México, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Sotomayor, J., M. Ferreyra y J. León, 2003. Clasificación mecánica de la madera de 100 especies mexicanas. XII Congreso forestal mundial. Quebec, Canadá http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/1054-B4.HTM#P14_128
- Tamarit J.C. y M. Fuentes-Salinas. 2003. Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de



- su densidad básica. *Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2):155-164
- Tamarit U., J.C. y J.L. López T. 2007. Xilotecología de los principales árboles tropicales de México. Libro Técnico No. 7. Inifap. CIRGOC. Tlahuapan, Pue. 264 p.
- Tuset, R. y F. Durán. 1986. Manual de la madera comercial, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay: 688 p.
- Valdés V., E., J.I. Valdez H., V.M. Ordaz C., J.F. Gallardo L., J. Pérez N. y C. Ayala S. 2011. Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8):47-58
- Valencia M., S. y F. López A. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl., en Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coah. Foresta-AN. Nota Técnica No. 1. UAAAN. Saltillo, Coah. 17 p.
- Valencia M., S. y H. Vargas. 2001. Correlaciones genéticas y selección simultánea del crecimiento y la densidad de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia* 35:109-120.
- Van Buijtenen, J.P. 1963. Inheritance of wood properties and their relation to growth rate in *Pinus taeda*. World Consultation on Forest Genetics and Tree Improvement. FAO. Roma 13 p.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988 Técnicas de mejoramiento genético en árboles forestales. Limusa. México. p:199-244.
- Zobel, B.J. y J.P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer-Verlag. Alemania. 363 p.
- Zobel, B.J. y J.T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles Forestales. Limusa. México. 545 p.

Manuscrito recibido el 4 de noviembre de 2013.

Aceptado el 6 de octubre de 2015.

Este documento se debe citar como:

Ordóñez D., J.A.B., A. Galicia N., N.J. Venegas M., T. Hernández T., M.J. Ordóñez D. y R. Dávalos-Sotelo. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):77-126.

ANEXO 1. Densidad de la madera (g/cm³) por especie y por tipo de vegetación, señalando la fuente.

Tipo de vegetación	Nombre científico	Densidad (g/cm ³)	Fuente
Bosque de coníferas	<i>Abies religiosa</i>	0.38	(Sotomayor, 2008)
Bosque de coníferas	<i>Archibacchariis</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Berberis</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Ceanothus</i> sp.	0.82	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Cercocarpus</i> sp.	0.75	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Cestrum</i>	0.50	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Crataegus</i>	0.75	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Cupressus</i> sp.	0.59	Vorsevi (2000)
Bosque de coníferas	<i>Desmodium</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>libocedrus decurrens</i>	0.37	Sotomayor, 2003
Bosque de coníferas	<i>Lonicera</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Pinus arizonica</i>	0.43	Sotomayor, 2008
Bosque de coníferas	<i>Pinus cembroides</i>	0.59	CPF (2004)
Bosque de coníferas	<i>Pinus chihuahauna</i>	0.44	Sotomayor, 2003
Bosque de coníferas	<i>Pinus engelmannii</i>	0.44	Salazar, 2002
Bosque de coníferas	<i>Pinus greggii</i>	0.87	inifap
Bosque de coníferas	<i>Pinus hartwegii</i>	0.44	inifap
Bosque de coníferas	<i>Pinus lambertiana</i>	0.36	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de coníferas	<i>Pinus lawsonii</i>	0.48	Sotomayor, 2003
Bosque de coníferas	<i>Pinus montezumae</i>	0.42	Sotomayor, 2003
Bosque de coníferas	<i>Pinus ponderosa</i>	0.40	INTI - CITEMA
Bosque de coníferas	<i>Pinus psedostrobus var oaxacana</i>	0.55	sotomayor, 2008
Bosque de coníferas	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.55	sotomayor, 2008
Bosque de coníferas	<i>Pinus pseudostrobus var chiapensis</i>	0.55	sotomayor, 2008
Bosque de coníferas	<i>Pinus rudis</i>	0.41	Sotomayor, 2003
Bosque de coníferas	<i>Pinus strobus var. Chiapensis</i>	0.42	Woods of the World 400 Forestry Compendium, CAB International
Bosque de coníferas	<i>Pinus teocote</i>	0.52	Sotomayor, 2003
Bosque de coníferas	<i>Populus</i> sp.	0.45	Conafor, 2008
Bosque de coníferas	<i>Prunus</i> sp.	0.63	CPF (2004)
Bosque de coníferas	<i>Pseudotsuga</i> sp.	0.49	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Quercus</i> sp.	0.78	Conafor, 2008
Bosque de coníferas	<i>Rubus</i> sp.	0.75	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Salix</i> sp.	0.49	Vorsevi, 2000



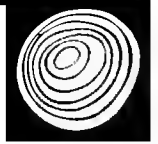
Bosque de coníferas	<i>Salvia</i> sp.	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Satureja</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Senecio carnerensis</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Senecio cinerarioides</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Stevia</i> sp.	0.59	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Symphoricarpos mycrophyllus</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Symphoricarpos</i> sp.	0.54	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Taxodium mucronatum</i>	0.43	Global Wood Density
Bosque de coníferas	<i>Vernonia</i>	0.43	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de galería	<i>Acacia</i> sp.	0.56	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de galería	<i>Brickellia</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Celtis</i> sp.	0.59	FAO, 1997.
Bosque de galería	<i>Cephalanthus</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Chilopsis</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Coccoloba</i> sp.	0.56	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Cornus</i> sp.	0.56	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Cupressus</i>	0.59	Vorsevi, 2000
Bosque de galería	<i>Fraxinus</i> sp.	0.68	CPF (2004)
Bosque de galería	<i>Hasseltia</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Hibiscus</i> sp.	0.37	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de galería	<i>Hymenoclea</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>inga</i> sp.	0.58	FAO, 1997.
Bosque de galería	<i>Piper</i> sp.	0.39	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Pluchea</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Populus</i> sp.	0.45	Conafor, 2008
Bosque de galería	<i>Prunus</i> sp.	0.63	CPF (2004)
Bosque de galería	<i>Salix</i> sp.	0.49	Vorsevi, 2000
Bosque de galería	<i>Tamarix</i>	0.61	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de galería	<i>Taxodium mucronatum</i>	0.43	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Taxodium</i> sp.	0.43	Global Wood Density
Bosque de galería	<i>Viburnum</i> sp.	0.54	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Amicia zygoensis</i>	0.70	Global wood data base density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>	0.75	Rodríguez, 2001.
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Byrsonima crassifolia</i>	0.59	Leandro, L. 2009.
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Ceanothus</i> sp.	0.82	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Cercocarpus</i> sp.	0.75	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Cnidocolus multilobus</i>	0.62	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Cornus</i> sp.	0.56	Global Wood Density

Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Crataegus</i>	0.75	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Cupressus</i>	0.59	Vorsevi, 2000
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Curatella americana</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Daphnopsis</i>	0.52	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Dodonacea viscosa</i>	1.04	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Fraxinus</i> sp.	0.68	CPF (2004)
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Heteromeles</i>	0.75	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Ilex</i> sp.	0.59	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Litsea</i>	0.40	FAO, 1997.
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus arizonica</i>	0.43	Sotomayor, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus cembroides</i>	0.59	CPF (2004)
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus chihuahuana</i>	0.44	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus engelmannii</i>	0.44	Salazar, 2002
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus lawsonii</i>	0.48	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus montezumae</i>	0.42	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus ponderosa</i>	0.40	INTI - CITEMA
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus teocote</i>	0.52	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Populus</i> sp.	0.45	Conafor, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Prunus</i> sp.	0.63	CPF (2004)
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pseudotsuga</i> sp.	0.49	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pseudotsuga taxifolia</i>	0.49	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus acutifolia</i>	0.67	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus affinis</i>	0.58	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus candicans</i>	0.64	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus castanea</i>	0.68	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus coccolobifolia</i>	0.61	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus conspersa</i>	0.69	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus convallata</i>	0.71	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus crassifolia</i>	0.68	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus crassifolia</i>	0.66	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus crispipilis</i>	0.66	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus durifolia</i>	0.68	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus eugeniaefolia</i>	0.59	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus excelsa</i>	0.72	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus germana</i>	0.56	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus glaucescens</i>	0.70	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus glaucoides</i>	0.70	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus glabrescens</i>	0.64	de la Paz y Dávalos, 2008



Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus laeta</i>	0.75	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus laurina</i>	0.65	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus mexicana</i>	0.61	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus obtusata</i>	0.76	Sotomayor, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus obtusata</i>	0.76	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus potosina</i>	0.74	Sotomayor, 2003
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus potosina</i>	0.77	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus resinosa</i>	0.76	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus rugosa</i>	0.69	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus scytophylla</i>	0.64	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus sideroxyla</i>	0.61	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus skinneri</i>	0.66	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus uxoris</i>	0.62	de la Paz y Dávalos, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus</i> sp.	0.78	Conafor, 2008
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Rubus</i> sp.	0.75	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Salix</i> sp.	0.49	Vorsevi, 2000
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Senecio aschenbornianus</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Tabernaemontana alba</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Amphipterygium adstringens</i>	0.64	Global wood data base density
Bosque Espinoso	<i>Amphipterygium glaucum</i>	0.64	Global wood data base density
Bosque Espinoso	<i>Backebergia militaris</i>	0.54	Global wood data base density
Bosque Espinoso	<i>Bumelia laetevirens</i>	0.77	Global wood data base density
Bosque Espinoso	<i>Caesalpinia platyloba</i>	0.94	Olvera, Inifap.
Bosque Espinoso	<i>Celtis</i> sp.	0.59	FAO, 1997.
Bosque Espinoso	<i>Cephalocereus chrysanthus</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Cercidium floridum</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Cercidium macrum</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Cercidium micriphyllum</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Cercidium praecox</i>	0.56	INTI - CITEMA
Bosque Espinoso	<i>Cercidium sonora</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Cercidium</i> sp.	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Cercidium torreyanum</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Coccoloba cozumelensis</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Coursetia glandulosa</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Esenbeckia berlandieri</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Guaiaacum coulteri</i>	1.15	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Espinoso	<i>Haematoxylon brasiletto</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Haematoxylon campechianum</i>	1.02	www.worldagroforestrycentre.org

Bosque Espinoso	<i>Hyperbaena Winzerlingii</i>	0.55	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Ipomoea arborescens</i>	0.30	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	0.73	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Jatropha cordata</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Lemaireocereus pruinosus</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Lemaireocereus sp.</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Lemaireocereus stellatus</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Lemaireocereus thurberi</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Lemaireocereus weberi</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Manihot esculenta</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Manihot tomatophylla</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Olneya tesota</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Pachycereus pecten-arboriginum</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Phyllostylon brasiliense</i>	0.95	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Espinoso	<i>Pithecellobium dulce</i>	0.59	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Espinoso	<i>Pithecellobium flexicaule</i>	0.52	OLVERA Inifap.
Bosque Espinoso	<i>Porlieria angustifolia</i>	1.03	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Prosopis glandulosa</i>	0.70	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Espinoso	<i>Prosopis glandulosa</i>	0.70	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Espinoso	<i>Prosopis torreyana o glandulosa</i>	0.70	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Espinoso	<i>Ptelea Trifoliata</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Willardia mexicana</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Ximения americana</i>	0.72	Global Wood Density
Bosque Espinoso	<i>Ziziphus amole</i>	0.76	Ponderado FAO, 1997.
Bosque Espinoso	<i>Ziziphus mexicana</i>	0.76	Ponderado FAO, 1997.
Bosque Espinoso	<i>Ziziphus sonorensis</i>	0.76	Ponderado FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Abuta panamensis</i>	0.45	global wood data base density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Acer skutchii</i>	0.65	CPF (2004)
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Alchornea sp.</i>	0.41	global wood data base density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Alfaroa mexicana</i>	0.51	global wood data base density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ardisia sp.</i>	0.51	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ardissia compressa</i>	0.65	Rodríguez,2001.



Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Carpinus caroliniana</i>	0.74	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Cedrela</i> sp.	0.42	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Celtis</i> sp.	0.59	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Chaetoptelea mexicana</i>	0.72	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Chiranthodendron</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clethra mexicana</i>	0.56	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Cleyera</i>	0.61	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Cleyera integrifolia</i>	0.64	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clusia</i>	0.63	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Cnidocolus multilobus</i>	0.62	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Conostegia</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Cornus disciflora</i>	0.68	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Cornus florida</i> var. <i>Urbiniana</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Crataegus pubescens</i>	0.64	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Daphnopsis brevifolia</i>	0.52	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Dussia mexicana</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Elaeodendron trichotomum</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Engelhardtia mexicana</i>	0.72	www.worldagroforestrycentre.org

Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Eugenia</i> sp.	0.94	Leandro, L. 2009.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Fraxinus</i> sp.	0.68	CPF (2004)
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Fuchsia arborescens</i>	0.56	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Gymnanthes</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Hymenaea courbaril</i>	0.79	Leandro, L. 2009.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ilex</i> sp.	0.59	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>inga</i> sp.	0.58	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Lonchocarpus</i> sp.	0.69	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Magnolia</i> sp.	0.52	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Morus celtidofolia</i>	0.61	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Morus</i> sp.	0.61	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Myriocarpa</i> sp.	0.37	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Oecopetalum</i> sp.	0.70	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Olmediella</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Olmediella betschleriana</i>	0.62	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Oreopanax jaliscana</i>	0.66	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Osmanthus americana</i>	0.80	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Osmanthus</i> sp.	0.80	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ostrya</i> sp.	0.38	Global Wood Density



Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ostrya virginiana</i>	0.38	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Parathesis</i> sp.	0.61	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Perrottetia ovata</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Perrottetia</i> sp.	0.71	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Persea americana</i> var <i>angustifolia</i>	0.40	OLVERA Inifap.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Persea</i> sp.	0.47	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Piper</i> sp.	0.39	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Poulsenia armata</i>	0.40	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Prunus brachybotrya</i>	0.79	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Prunus</i> sp.	0.63	CPF (2004)
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus germana</i>	0.56	Sotomayor, 2003
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus</i> sp.	0.78	Conafor, 2008
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Rapanea</i>	0.85	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Rapanea jurgensenii</i>	0.76	Rodríguez,2001.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Robinsonella mirandae</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Rubus</i> sp.	0.75	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Salix</i> sp.	0.49	Vorsevi, 2000
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Sambucus</i> sp.	0.44	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ternstroemia pringlei</i>	0.63	Rodríguez,2001.

Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Topobea</i> sp.	0.69	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Trema micrantha</i>	0.41	INTI - CITEMA
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Trema</i> sp.	0.40	FAO, 1997.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Trichilia glabra</i>	0.60	Leandro, L. 2009.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Turpinia</i> sp.	0.45	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ulmus mexicana</i>	0.22	Sotomayor, 2003
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Viburnum</i> sp.	0.54	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Weinmannia pinnata</i>	0.70	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Weinmannia</i> sp.	0.70	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Xylosma</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Zinowewia concinna</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Zinowiewia</i> sp.	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	0.72	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Amphipterygium adstringens</i>	0.64	global wood data base density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Amphipterygium glaucum</i>	0.64	global wood data base density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Amphipterygium</i> sp.	0.64	global wood data base density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bombax ellipticum</i>	0.44	Sotomayor, 2003
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bombax palmeri</i>	0.39	INTI - CITEMA
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bucida macrostachya</i>	1.02	Tamarit, 2003.



Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bumelia celastrina</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cephalocereus</i> sp.	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cercidium peninsulare</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cercidium praecox</i>	0.56	INTI - CITEMA
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cercidium sonora</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Chlorophora tinctoria</i>	0.71	FAO, 1997.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Coccoloba caracasana</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Coccoloba floribunda</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Coccoloba</i> sp.	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Colubrina ferruginosa</i>	1.07	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Comocladia engleriana</i>	0.64	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Conzattia multiflora</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Conzattia sericea</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cordia gerasacanthus</i>	0.90	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Crescentia spp</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cyrtocarpa edulis</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Cyrtocarpa procera</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Dodonaea viscosa</i>	1.04	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Esenbeckia flava</i>	0.71	Global Wood Density

Bosque Tropical Caducifolio	<i>Euphorbia pseudofulva</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Gliricidia sepium</i>	0.74	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Gochnatia arborescens</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Guaiacum sanctum</i>	1.40	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Gymnopodium antigonoides</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Gymnopodium sp.</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Gyrocarpus americanus</i>	0.21	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Haematoxylon brasiletto</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Hyptis albidia</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Ipomoea intrapilosa</i>	0.30	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Ipomoea murucoides</i>	0.30	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Ipomoea sp.</i>	0.30	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	0.73	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Jatropha cinerea</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Jatropha cordata</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	0.53	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Lemaireocereus sp.</i>	0.54	Global Wood Density



Bosque Tropical Caducifolio	<i>Lemaireocereus stellatus</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Lemaireocereus Thurberi</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Lysiloma acapulquensis</i>	0.52	Sotomayor, 2008
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Lysiloma bahamensis</i>	0.63	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Lysiloma sp</i>	0.88	Conafor, 2008
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Neobuxbaumia mezcalensis</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Neobuxbaumia sp.</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Neomillspaughia emarginata</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pachycereus sp.</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Parmentiera aculeata</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Parmentiera edulis</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pereskia conzattii</i>	0.54	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Piptadenia flava</i>	0.58	FAO, 1997.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pistacia mexicana</i>	0.64	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pithecellobium dulce</i>	0.59	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pithecellobium flexicaule</i>	0.52	Olvera, Inifap.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Plumeria acutifolia</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Plumeria rubra</i>	0.62	www.worldagroforestrycentre.org

Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pseudosmodingium multiflorum</i>	0.64	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Pseudosmodingium perniciosum</i>	0.64	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Psidium sartorianum</i>	0.79	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Randia armata</i>	0.91	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Sabal mexicana</i>	0.46	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Sapranthus foetidus</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Spondias purpurea</i>	0.40	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Tecoma</i> sp.	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Tecoma stans</i>	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Trichilia hirta</i>	0.60	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Willardia parviflora</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Wimmeria serrulata</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Ziziphus amole</i>	0.76	Ponderado FAO, 1997.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Ziziphus sonorensis</i>	0.76	Ponderado FAO, 1997.
Bosque Tropical Caducifolio	<i>Zuelania guidonia</i>	0.66	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Acacia</i> sp.	0.56	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Adelia</i> sp.	0.56	Global wood data base density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Albizia</i> sp.	0.52	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Alchornea latifolia</i>	0.41	Global wood data base density



Bosque Tropical perennifolio	<i>Alseis yucatanensis</i>	0.65	Global wood data base density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	0.72	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Ampelocera hottlei</i>	0.72	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Ampelocera hottlei</i>	0.64	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Andira inermis</i>	0.57	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	0.76	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Astronium graveolens</i>	0.72	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Bauhinia</i> sp.	0.67	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Bernoullia flammea</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Blepharidium mexicanum</i>	0.50	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Bravaisia integrina</i>	0.60	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Brosimum alicastrum</i>	0.65	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.54	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Carpodiptera ameliae</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Casearia</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cedrela odorata</i>	0.36	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cedrela</i> sp.	0.42	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Chaetoptelea mexicana</i>	0.72	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Chamaedorea</i> sp.	0.46	Global Wood Density

Bosque Tropical perennifolio	<i>Chlorophora tinctoria</i>	0.71	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0.50	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cnidoscolus</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Conostegia</i> sp.	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Coussapoa purpusii</i>	0.37	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Crotalaria</i> sp.	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cybistax</i> sp.	0.69	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cymbopetalum baillonii</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cynometra retusa</i>	0.85	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Dendropanax arboreus</i>	0.40	Sotomayor, 2003
Bosque Tropical perennifolio	<i>Desmodium</i> sp.	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Dialium guianense</i>	0.88	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Dialium guianense</i>	0.79	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Didymopanax</i> sp.	0.74	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Eugenia</i> sp.	0.94	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Exothea dipphylla</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Gliricidia</i> sp.	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Guarea glabra</i>	0.51	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Guarea</i> sp.	0.52	FAO, 1997.



Bosque Tropical perennifolio	<i>Guatteria anomala</i>	0.43	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Hasseltia guatemalensis</i>	0.62	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Hasseltia</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Lantana</i> sp.	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Licania platypus</i>	0.62	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Licania platypus</i>	0.62	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Licania sparsipilis</i>	0.69	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.69	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Lonchocarpus</i> sp.	0.69	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Luehea</i> sp.	0.50	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Luehea speciosa</i>	0.53	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	0.52	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Malmea depressa</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Manilkara zapota</i>	0.86	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Mirandaceltis monoica</i>	0.69	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	0.59	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Muntingia</i> sp.	0.30	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Myriocarpa</i> sp.	0.37	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Paullinia</i> sp.	0.71	Global Wood Density

Bosque Tropical perennifolio	<i>Pimenta dioica</i>	0.79	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Piper</i> sp.	0.39	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Pithecellobium leucocalyx</i>	0.51	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.61	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Platimiscium yucatanum</i>	0.61	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Populus</i> sp.	0.45	Conafor, 2008
Bosque Tropical perennifolio	<i>Poulsenia armata</i>	0.40	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Protium copal</i>	0.65	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	0.61	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Pterocarpus officinalis</i>	0.32	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Quararibea funebris</i>	0.48	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Quararibea funebris</i>	0.48	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Rheedia edulis</i>	0.72	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Robinsonella mirandae</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sabal morrisiana</i>	0.46	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Salix</i> sp.	0.49	Vorsevi (2000)
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sapindus</i> sp.	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Scheelea liebmannii</i>	0.46	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Schizolobium parahybum</i>	0.30	Tamarit, 2003.



Bosque Tropical perennifolio	<i>Schizolobium parahibum</i>	0.30	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sebastiania laticuspis</i>	0.61	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sickingia rhodoclada</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sickingia salvadorensis</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sideroxylon meyeri</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sideroxylon tempisque</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Spondias</i> sp.	0.32	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sterculia apetala</i>	0.38	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Sweetia panamensis</i>	0.87	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Tabebuia guayacan</i>	0.82	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Tabernaemontana</i>	0.65	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Talisia olivaeformis</i>	0.84	FAO, 1997.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Tapira mexicana</i>	0.64	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Taxodium</i> sp.	0.43	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Terminalia amazonia</i>	0.61	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Tetrochidium</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical perennifolio	<i>Vatairea lundellii</i>	0.56	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Vitex</i> sp.	0.61	FAO, 1997.

Bosque Tropical perennifolio	<i>Vochysia hondurensis</i>	0.56	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical perennifolio	<i>Vochysia hondurensis</i>	0.43	Bárcenas, 1995
Bosque Tropical perennifolio	<i>Zinowiewia integerrina</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Acrocomia mexicana</i>	0.46	Global wood data base density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Albizia caribaea</i>	0.64	FAO, 1997.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Andira inermis</i>	0.57	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Beilschmiedia</i> sp.	0.61	FAO, 1997.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Belotia mexicana</i>	0.32	OLVERA Inifap.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Bernoullia flammea</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Brosimum costaricanum</i>	1.08	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Bumelia cartilaginea</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Bumelia persimilis</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Caesalpinia platyloba</i>	0.94	Olvera, Inifap.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Casearia arguta</i>	0.71	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Castilla elastica</i>	0.61	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Celaenodendron mexicanum</i>	0.62	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Chaetoptelea mexicana</i>	0.72	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Chlorophora tinctoria</i>	0.71	FAO, 1997.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Cnidocolus</i> sp.	0.62	Global Wood Density



Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Coccoloba cozumelensis</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Cordia elaeagnoides</i>	1.10	Sotomayor, 2003
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Couepia polyandra</i>	0.70	FAO, 1997.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Cyrtocarpa procera</i>	0.64	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Daphnopsis bonplandiana</i>	0.52	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Erythrina</i> sp.	0.23	FAO, 1997.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Euphorbia pseudofulva</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Eysenhardtia adenostylis</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Godmania aesculifolia</i>	0.59	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Gymnopodium antigonoides</i>	0.56	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Gyrocarpus americanus</i>	0.21	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Huaya microcerata</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Hymenaea courbaril</i>	0.79	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Lafoensia punicifolia</i>	0.83	Global Wood Density
Bosque Tropical Subca- ducifolio	<i>Luehea candida</i>	0.67	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Luehea speciosa</i>	0.53	Leandro, L. 2009.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Lysiloma acapulquensis</i>	0.52	Sotomayor, 2008
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Lysiloma bahamensis</i>	0.63	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Orbignya cohune</i>	0.46	Global Wood Density

Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Pileus mexicanus</i>	0.27	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Piptadenia constricta</i>	0.58	FAO, 1997.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Plumeria rubra</i>	0.62	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Poeppigia procera</i>	0.70	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Psidium sartorianum</i>	0.79	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Pterocarpus hayesii</i>	0.33	Sotomayor, 2003
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Robinsonella mirandae</i>	0.44	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Roseodendron donnell smitthii</i>	0.56	Moreno y Martínez (1984)
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sabal mexicana</i>	0.46	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sabal rosei</i>	0.46	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sapium macrocarpum</i>	0.48	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sargentia greggii</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sideroxylon capiri</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sideroxylon tempisque</i>	0.77	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Spondias purpurea</i>	0.40	www.worldagroforestrycentre.org
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Sterculia apetala</i>	0.38	Tamarit, 2003.
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Thouinia anuminata</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Trema micrantha</i>	0.41	INTI - CITEMA
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Trichilia hirta</i>	0.60	Leandro, L. 2009.



Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Wimmeria bartletii</i>	0.71	Global Wood Density
Bosque Tropical Subcaducifolio	<i>Xylosma flexuosum</i>	0.73	Rodríguez,2001.
Manglar	<i>Avicennia germinans</i>	0.87	Rumbold , 1993
Manglar	<i>Conocarpus erecta</i>	0.70	Global Wood Density
Manglar	<i>Laguncularia racemosa</i>	0.70	Global Wood Density
Manglar	<i>Rhizophora mangle</i>	1.01	Boland et al. 1884
Matorral xerófilo	<i>Acacia sp.</i>	0.56	www.worldagroforestrycentre.org
Matorral xerófilo	<i>Adenostoma fasciculatum</i>	0.75	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Ambrosia deltoidea</i>	0.59	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Ambrosia dumosa</i>	0.59	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Ambrosia magdalenae</i>	0.59	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Amelanchier denticulata</i>	0.75	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Amelanchier sp.</i>	0.75	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Arbutus xalapansis</i>	0.75	Rodríguez,2001.
Matorral xerófilo	<i>Artemisia californica</i>	0.56	global wood data base density
Matorral xerófilo	<i>Berberis sp.</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Brahea sp.</i>	0.46	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Brickellia sp.</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Bumelia lanuginosa</i>	0.77	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Casimiroa sp.</i>	0.71	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Castela sp.</i>	0.40	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Castela tortuosa</i>	0.40	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Ceanothus greggii</i>	0.82	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Ceanothus sp.</i>	0.82	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Celtis sp.</i>	0.59	FAO, 1997.
Matorral xerófilo	<i>Cephalocereus</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Cephalocereus hoppenstedtii</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Cephalocereus senilis</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Cercidium floridum</i>	0.70	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Cercidium sp.</i>	0.70	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Cercocarpus paucidentatus</i>	0.75	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Cercocarpus sp.</i>	0.75	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Citharexylum oleinum</i>	0.63	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Citharexylum sp.</i>	0.63	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Dodonaea viscosa</i>	1.04	www.worldagroforestrycentre.org
Matorral xerófilo	<i>Encelia californica</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Encelia Farinosa</i>	0.59	Global Wood Density

Matorral xerófilo	<i>Encelia frutescens</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Flouencia sp.</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Flouencia cernua</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Forestiera sp.</i>	0.80	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Fraxinus sp.</i>	0.68	CPF (2004)
Matorral xerófilo	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Gochnatia obtusata</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Guaiacum coulteri</i>	1.15	www.worldagroforestrycentre.org
Matorral xerófilo	<i>Heteromeles arbutifolia</i>	0.75	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Ilex sp.</i>	0.59	www.worldagroforestrycentre.org
Matorral xerófilo	<i>Jatropha cinerea</i>	0.56	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Jatropha cuneata</i>	0.56	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Jatropha sp.</i>	0.56	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Larrea tridentata</i>	1.03	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Lemaireocereus sp.</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Lemaireocereus weberi</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Lycium brevipes</i>	0.50	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Lycium californicum</i>	0.50	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Myrtillocactus cochal</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Myrtillocactus sp.</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Myrtus sp.</i>	0.79	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Neopringlea sp.</i>	0.62	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Neopringlea integrifolia</i>	0.62	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Olneya sp.</i>	0.70	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Olneya tesota sp.</i>	0.70	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Pachycereus pringlei</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Pachycereus sp.</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Pachycormus discolor</i>	0.54	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Parthenium argentatum</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Parthenium incanum</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Pedilanthus sp.</i>	0.56	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Persea sp.</i>	0.47	FAO, 1997.
Matorral xerófilo	<i>Pistacia sp.</i>	0.64	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Porlieria sp.</i>	1.03	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Prosopis glandulosa</i>	0.70	www.worldagroforestrycentre.org
Matorral xerófilo	<i>Prosopis torreyana</i>	0.70	www.worldagroforestrycentre.org



Matorral xerófilo	<i>Ptelea</i> sp.	0.71	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Quercus crasifolia</i>	0.68	Sotomayor, 2003
Matorral xerófilo	<i>Quercus potosina</i>	0.74	Sotomayor, 2003
Matorral xerófilo	<i>Quercus</i> sp.	0.78	Conafor, 2008
Matorral xerófilo	<i>Randia</i> sp.	0.91	www.worldagroforestrycentre.org
Matorral xerófilo	<i>Schaefferia pilosa</i>	0.71	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Schaefferia stenophylla</i>	0.71	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Schinus molle</i>	0.68	INTI - CITEMA
Matorral xerófilo	<i>Sophora secundiflora</i>	0.70	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Sophora</i> sp.	0.70	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Vauquelinia australis</i>	0.75	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Viscainoa</i> sp.	1.03	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Wimmeria microphylla</i>	0.71	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Wimmeria persicifolia</i>	0.71	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Xylosma</i> sp.	0.62	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Zaluzania augusta</i>	0.59	Global Wood Density
Matorral xerófilo	<i>Ziziphus pedunculata</i>	0.76	Ponderado FAO, 1997.
Otros Tipos de Vegetación	<i>Acacia</i> sp.	0.56	www.worldagroforestrycentre.org
Otros Tipos de Vegetación	<i>Acrocomia mexicana</i>	0.46	global wood data base density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ambrosia dumosa</i>	0.59	global wood data base density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Brahea dulcis</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Brahea prominens</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Bumelia calcarea</i>	0.77	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Bumelia persimilis</i>	0.77	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Bumelia socorrensis</i>	0.77	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Byrsonima crassifolia</i>	0.59	Leandro, L. 2009.
Otros Tipos de Vegetación	<i>Caesalpinia</i> sp.	1.05	FAO, 1997.
Otros Tipos de Vegetación	<i>Chysobalanus icaco</i>	0.80	Global Wood Density

Otros Tipos de Vegetación	<i>Citharexylum ellipticum</i>	0.63	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Coccoloba</i> sp.	0.56	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Coccoloba uvifera</i>	0.56	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Conostegia xalapensis</i>	0.69	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Crescentia alata</i>	0.69	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Crescentia cujete</i>	0.69	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Cryosophila nana</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Curatella americana</i>	0.65	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Dalea divaricata</i>	0.70	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Dalea emoryi</i>	0.70	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Dodonacea viscosa</i>	1.04	www.worldagroforestrycentre.org
Otros Tipos de Vegetación	<i>Encelia ventorum</i>	0.59	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Houstonia mucronata</i>	0.65	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Jacquinia macrocarpa</i>	0.73	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Lycium brevipes</i>	0.50	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Lycium carinatum</i>	0.50	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Lycium carolinianum</i>	0.50	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Lycium</i> sp.	0.50	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Miconia</i> sp.	0.69	Global Wood Density



Otros Tipos de Vegetación	<i>Orbignya cohune</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Palafoxia linearis</i>	0.59	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Pseudophoenix sargentii</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Psidium galapageium</i>	0.79	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Randia aculeata</i>	0.91	www.worldagroforestrycentre.org
Otros Tipos de Vegetación	<i>Roystonea sp.</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Sabal mexicana</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Sabal pumos</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Sabal yucatania</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Salix bonplandiana</i>	0.56	Rodríguez,2001.
Otros Tipos de Vegetación	<i>Scheelea liebmannii</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Scheelea lundellii</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Scheelea preussii</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Schinus molle</i>	0.68	INTI - CITEMA
Otros Tipos de Vegetación	<i>Sweetia panamensis</i>	0.87	Tamarit, 2003.
Otros Tipos de Vegetación	<i>Thrinax parviflora</i>	0.46	Global Wood Density
Otros Tipos de Vegetación	<i>Vitex sp.</i>	0.61	FAO, 1997.
Otros Tipos de Vegetación	<i>Washingtonia robusta</i>	0.46	Global Wood Density
Pastizal	<i>Acacia sp.</i>	0.56	www.worldagroforestrycentre.org
Pastizal	<i>Brickellia sp.</i>	0.59	Global Wood Density

Pastizal	<i>Byrsonima crassifolia</i>	0.59	Leandro, L. 2009.
Pastizal	<i>Byrsonima</i> sp.	0.75	FAO, 1997.
Pastizal	<i>Ceanothus</i> sp.	0.82	Global Wood Density
Pastizal	<i>Coccoloba barbensis</i>	0.56	Global Wood Density
Pastizal	<i>Conocarpus erecta</i>	0.70	Global Wood Density
Pastizal	<i>Conostegia</i> sp.	0.69	Global Wood Density
Pastizal	<i>Crescentia cujete</i>	0.69	Global Wood Density
Pastizal	<i>Crescentia latia</i>	0.69	Global Wood Density
Pastizal	<i>Curatella americana</i>	0.65	Global Wood Density
Pastizal	<i>Curatella</i> sp.	0.65	Global Wood Density
Pastizal	<i>Fallugia</i> sp.	0.75	Global Wood Density
Pastizal	<i>Haematoxylon campechianum</i>	0.70	Global Wood Density
Pastizal	<i>Jatropha</i> sp.	0.56	Global Wood Density
Pastizal	<i>Larrea tridentata</i>	1.03	Global Wood Density
Pastizal	<i>Perymenium</i> sp.	0.59	Global Wood Density
Pastizal	<i>Psidium</i> sp.	0.79	Global Wood Density
Popal	<i>Bactris</i> sp.	0.46	Global wood data base density

ANEXO 2. Relación de especies por tipo de vegetación que se necesita conocer su densidad.

Tipo de vegetación	Nombre científico	Tipo de vegetación	Nombre científico
Bosque de coníferas	<i>Abies arbutus</i>	Bosque de coníferas	<i>Abies salix</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies arceutholobium</i>	Bosque de coníferas	<i>Abies</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Abies arctostaphylos</i>	Bosque de coníferas	<i>Abies symphoricarpos</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies circium</i>	Bosque de coníferas	<i>Abies vejarii</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies concolor</i>	Bosque de coníferas	<i>Alnus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Abies delphinium</i>	Bosque de coníferas	<i>Arbutus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Abies duranguensis</i>	Bosque de coníferas	<i>Arctostaphylos</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Abies duranguensis</i> var. <i>Coahuilensis</i>	Bosque de coníferas	<i>Brosimum alicastrum</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies garrya</i>	Bosque de coníferas	<i>Buddleia</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Abies guatemalensis</i>	Bosque de coníferas	<i>Clethra</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Abies heuchera</i>	Bosque de coníferas	<i>Cupressus guadalupensis</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies hickelii</i>	Bosque de coníferas	<i>Cupresus lindleyi</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies lonicera</i>	Bosque de coníferas	<i>Juniperus californica</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies mexicana</i>	Bosque de coníferas	<i>juniperus comitana</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies oaxacana</i>	Bosque de coníferas	<i>juniperus deppeana</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies penstemon</i>	Bosque de coníferas	<i>Juniperus flaccida</i>
Bosque de coníferas	<i>Abies potentilla</i>	Bosque de coníferas	<i>Juniperus gamboana</i>



Bosque de coníferas	<i>Juniperus monosperma</i>	Bosque de coníferas	<i>Rhus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Juniperus monticola</i>	Bosque de coníferas	<i>Vaccinium</i>
Bosque de coníferas	<i>Juniperus</i> sp.	Bosque de coníferas	<i>Agave</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Mimosa</i>	Bosque de coníferas	<i>Brunellia mexicana</i>
Bosque de coníferas	<i>Picea</i>	Bosque de coníferas	<i>Fuchsia</i>
Bosque de coníferas	<i>Picea chihuahuana</i>	Bosque de coníferas	<i>Gaultheria</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus ayacahuite</i>	Bosque de coníferas	<i>Hacer</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus ayacahuite var brachyptera</i>	Bosque de coníferas	<i>Pernettya</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus caribaea</i>	Bosque de coníferas	<i>Ribes</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus cooperi</i>	Bosque de coníferas	<i>Yucca</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus culminicola</i>	Bosque de Galería	<i>Alnus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus durangensis</i>	Bosque de Galería	<i>Bucida</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus edulis</i>	Bosque de Galería	<i>Carya</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus herrerae</i>	Bosque de Galería	<i>Chlorophora</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus jeffrey</i>	Bosque de Galería	<i>Enterolobium</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus leiophylla</i>	Bosque de Galería	<i>Ficus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus lumholtzii</i>	Bosque de Galería	<i>Guazuma</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus macrocarpa</i>	Bosque de Galería	<i>Junglans</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus maximartinezii</i>	Bosque de Galería	<i>Mimosa</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus menziesii</i>	Bosque de Galería	<i>Pachira</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus michoacana</i>	Bosque de Galería	<i>Piscidia</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus michoacana var quevedoi</i>	Bosque de Galería	<i>Pithecellobium</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus migo</i>	Bosque de Galería	<i>Platanus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus monophylla</i>	Bosque de Galería	<i>Pouteria</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus montana</i>	Bosque de Galería	<i>Prosopis</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus muricata</i>	Bosque de Galería	<i>Solanum</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus nelsonii</i>	Bosque de Galería	<i>Tabebuia</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus oocarpa</i>	Bosque de Galería	<i>Trophis</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus patula</i>	Bosque de Galería	<i>Astianthus</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus patula var. longepedunculata</i>	Bosque de Galería	<i>Hacer</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus pinceana</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Abies</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus pringlei</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Acacia farnesiana</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus quadrifolia</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Acacia pennatula</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus radiata</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Alnus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus reflexa</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Arbutus</i> sp.
Bosque de coníferas	<i>Pinus remota</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Arctostaphylos pilifolia</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Arctostaphylos pungens</i>
Bosque de coníferas	<i>Pinus tenuifolia</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Buddleia</i> sp.

Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Carya myristiciformis</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus chihuahuensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Clethra</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus chinantlensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Croton draco</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus chisosensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Cupressus arizonica</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus chrysolepsis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Fraxinus cuspidata</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus chuichupensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Junglans mollis</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus clavicola</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Junglans</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus cordiflora</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Juniperus aff. Patoniana</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus corrugata</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Juniperus flaccida</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus cupreata</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Juniperus pachyphloea</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus depressipes</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Juniperus</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus deserticola</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Meliosma</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus devia</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Mimosa albida</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus diversifolia</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Oreopanax</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus dumosa</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus durangensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus caribacea</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus eduardii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus durangensis</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus elliptica</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus leiophylla</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus emoryi</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus lumholtzii</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus endlichiana</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus michoacana</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus epileuca</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus oaxacana</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus felipensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus oocarpa</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus fulva</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus patula</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus furfuracea</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus quadrifolia</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus galeottii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus reflexa</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus gentryi</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus gravesii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Platanus</i> sp.	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus greggii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus undulata</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus grisea</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus resinosa</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus hartwegii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercua aff. Sororria</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleuca</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus acatenangensis</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus affinis mexicana</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus jaralensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus agrifolia</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus juergensenii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus albocincta</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus lacely</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus aristata</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus laxa</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus arizonica</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus liebmannii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus brachystachys</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus magnoliifolia</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus canbyi</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus mexicana</i>



Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus mexicana f. bonplandi</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Solanum</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus microphylla</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Styrax</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus mohriana</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Symplocos</i> sp.
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus monterreyensis</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Taxus</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus muehlenbergii</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Ternstroemia</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus oblongifolia</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Garrya</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus pallescens</i>	Bosque Espinoso	<i>Acacia amentacea</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus palmeri</i>	Bosque Espinoso	<i>Acacia cymbispina</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus peduncularis</i>	Bosque Espinoso	<i>Acacia greggii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus pennivenia</i>	Bosque Espinoso	<i>Acacia unijuga</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus perseifolia</i>	Bosque Espinoso	<i>Bucida buceras</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus planipocula</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera aloexylon</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus polymorpha</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera confusa</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus porphyrogenita</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera instabilis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus prinopsis</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera laxiflora</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus resinosa</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera microphylla</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus reticulata</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera morelensis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus ryzophylla</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera odorata</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus santaclarensis</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera simaruba</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus sartorii</i>	Bosque Espinoso	<i>Bursera submoniliformis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus schenckiana</i>	Bosque Espinoso	<i>Caesalpinia coriaria</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus sinuata</i>	Bosque Espinoso	<i>Caesalpinia eriostachys</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus sipuraca</i>	Bosque Espinoso	<i>Caesalpinia pumila</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus sororia</i>	Bosque Espinoso	<i>Capparis incana</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus stipularis</i>	Bosque Espinoso	<i>Cassia atomaria</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus striatula</i>	Bosque Espinoso	<i>Cassia emarginata</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus teocote</i>	Bosque Espinoso	<i>Celtis pallida</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus trinitatis</i>	Bosque Espinoso	<i>Cordia boissieri</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus tuberculata</i>	Bosque Espinoso	<i>Croton alamosanus</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus urbanii</i>	Bosque Espinoso	<i>Croton reflexifolius</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus vaseyana</i>	Bosque Espinoso	<i>Eugenia lundelii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus viminea</i>	Bosque Espinoso	<i>Ficus</i> sp.
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus virginiana var fusiformis</i>	Bosque Espinoso	<i>Juniperus monosperma var gracillis</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus xalapensis</i>	Bosque Espinoso	<i>Lonchocarpus megalanthus</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Rhus</i> sp.	Bosque Espinoso	<i>Lysiloma divaricata</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Rhus trilobata</i>	Bosque Espinoso	<i>Lysiloma Watsonii</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Rhus virens</i>	Bosque Espinoso	<i>Maytenus phyllanthoides</i>
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Sauraria</i> sp.	Bosque Espinoso	<i>Metopium brownei</i>

Bosque Espinoso	<i>Mimosa palmeri</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Croton draco</i>
Bosque Espinoso	<i>Piscidia mollis</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Dalbergia sp</i>
Bosque Espinoso	<i>Pithecellobium mexicanum</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Dalbergia tucurensis</i>
Bosque Espinoso	<i>Pithecellobium sonora</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Dendropanax</i>
Bosque Espinoso	<i>Pithecellobium sp.</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Fagus mexicana</i>
Bosque Espinoso	<i>Podopterus mexicanus</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ficus aff. Velutina</i>
Bosque Espinoso	<i>Prosopis laevigata</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ficus lapathifolia</i>
Bosque Espinoso	<i>Prosopis sp.</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Guarea chichon</i>
Bosque Espinoso	<i>Prosopis velutina</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Junglans mollis</i>
Bosque Espinoso	<i>Achatocarpus gracilis</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Junglans pyriformis</i>
Bosque Espinoso	<i>Fouquieria macdougallii</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Junglans sp.</i>
Bosque Espinoso	<i>Yucca filifera</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Licaria cervanresii</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Abies sp.</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Licaria peckii</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Alnus arguta</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Liquidambar sp.</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Alnus sp.</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Beilschmiedia anay</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Magnolia dealbata</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Beilschmiedia mexicana</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Magnolia schiedeana</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Carya palmeri</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Meliosma alba</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Carya sp.</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Meliosma dentata</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Celtis monoica</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clethra macrocarpa</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clethra pringlei</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clethra quercifolia</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clethra sp.</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Clethra suaveolens</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	



Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Meliosma</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Podocarpus matudae</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Myrcia</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Podocarpus reichei</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Nectandra salicifolia</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Podocarpus</i> sp.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Nectandra</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Prunus samydoides</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Nyssa sylvatica</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Prunus serotina</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ocotea</i> aff. <i>Veraguensis</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Prunus tetradenia</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Ocotea</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus acatenangensis</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Oreopanax</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus</i> aff. <i>Ocoteifolia</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus candolleana</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Persea chamissonis</i> paff. <i>Floccosa</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus corrugata</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Persea schiedeana</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus furfuracea</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Phoebe chinantecorum</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus galeottii</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Phoebe ehrenbergii</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus pilarius</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Phoebe</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus sartorii</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Pinus strobus</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus skinneri</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Pinus tenuifolia</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus sororia</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Pithecellobium</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus trinitatis</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Pithecellobium vulcanorum</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quercus xalapensis</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Platymiscium</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Quersua</i> aff. <i>Gracilior</i>

Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Rhamnus</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Brunellia mexicana</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Rhus</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Garrya</i> sp.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Sauraria</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Heliocarpus</i> sp.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Sloanea</i> sp.	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Nephelea mexicana</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Styrax glabrescens</i>	Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Synardisia</i> sp.
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Styrax ramirezii</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia amentacea</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Symplocos aff. Jurgensenii</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia bilimekii</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Symplocos prionophylla</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia cochliacantha</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Symplocos</i> sp.	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia coulteri</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Talauma</i> sp.	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia cymbispina</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Tilia mexicana</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia farnesiana</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Trichilia japurensis</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia gaumeri</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Trophis</i> sp.	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia pennatula</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Turpinia paniculata</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Acacia riparoides</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Turpinia pinnata</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Albizia occidentalis</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Turpinia sinsignis</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bucida wigginsiana</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Zanthoxylum</i> sp.	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bursera aff schlechtendalii</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Brunellia</i> sp.	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bursera aloexylon</i>
Bosque Mesófilo de Montaña	<i>Brunellia comocladifolia</i>	Bosque Tropical Caducifolio	<i>Bursera aptera</i>



Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera ariensis</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera submoniliformis</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera bipinnata</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera trimera</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera copallifera</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Caesalpinia eriostachylis</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera coyucensis</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Caesalpinia velutina</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera exelsa</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Caesalpinia vesicaria</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera fagaroides</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Capparis flexuosa</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera fagaroides var purpusii</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Capparis indica</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera glabrifolia</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cassia atomaria</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera heteresthes</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cassia emarginata</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera inopinata</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cassia pringlei</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera jorullensis</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cedrela mexicana</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera kerberi</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cedrela salvadorensis</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera lancifolia</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ceiba acuminata</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera laxiflora</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ceiba aesculifolia</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera longipes</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ceiba parviflora</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera morelensis</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cochlospermum vitifolium</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera odorata</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Cordia dodecandra</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera simaruba</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Croton niveus</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Bursera</i> sp.	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Dalbergia funera</i>

Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Diospyros cuneata</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lysiloma tergemina</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ehretia mexicana</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lysiloma Watsonii</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ehretia tenuifolia</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Metopium brownei</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Mimosa hemiendyta</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ficus cookii</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Mimosa monancistra</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Ficus sp.</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Mimosa sp.</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Fraxinus purpusii</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Phoebe tampicensis</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Piscidia piscipula</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Leucaena collinsii</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Pithecellobium acatlense</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Leucaena doylei</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Pithecellobium albicans</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Leucaena microcarpa</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Pithecellobium recordii</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Leucaena pueblana</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Pithecellobium sp.</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lonchocarpus lanceolatus</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Pithecellobium tortum</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lonchocarpus longistylus</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Prosopis juliflora</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Prosopis palmeri</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lysiloma candida</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Rauwolfia hirsuta</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lysiloma desmostachys</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Sebastiania bilocularis</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lysiloma divaricata</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Simarouba glauca</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Lysiloma microphylla</i>	Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Swietenia humilis</i>



Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Tabebuia Chrysantha</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Beilschmiedia anay</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Tabebuia edulis</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Belotia campbelli</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Tabebuia palmeri</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Bixa</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Tabebuia rosea</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Calliandra</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Trichilia</i> sp.	Bosque Tropical perennifolio	<i>Carapa guianensis</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Trichilia triflora</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Achatocarpus nigricans</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Cecropia peltata</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Agave fourcroydes</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Cedrela mexicana</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Beaucaria inermis</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Ceiba pentandra</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Beaucarnea yucca</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Celtis monoica</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Crataeva palmeri</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Combretum</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Hauya micricerata</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Cordia</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Hauya rusbyi</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Croton</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Heliocarpus reticulatus</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Dialium</i> sp.
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Diospyros digyna</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Maba veraecrusis</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Drypetes brownii</i>
Bosque Tropical Cadu- cifolio	<i>Yucca</i> sp	Bosque Tropical perennifolio	<i>Ficus hemsleyana</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Andira galeottiana</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Ficus insipida</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Annona</i> sp.	Bosque Tropical perennifolio	<i>Ficus</i> sp.

Bosque Tropical perennifolio	<i>Ficus tecolutlensis</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Pithecellobium</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Guarea excelsa</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Platanus</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Guarea tronpillo</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Pouteria campechiana</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Guazama tomentosa</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Pouteria hypoglauca</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Guazuma</i> sp.	Bosque Tropical perennifolio	<i>Pouteria sapota</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Leucaena</i> sp.	Bosque Tropical perennifolio	<i>Prunus guatemalensis</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Licaria capitata</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Pterocarpus reticulatus</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Licaria coriacea</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Sloanea ampla</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Liquidambar</i> sp.	Bosque Tropical perennifolio	<i>Spondias mombin</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Lonchocarpus aff sericeus</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Sterculia mexicana</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Lonchocarpus cruentus</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Swietenia</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Manilkara zapota</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Tabebuia rosea</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Mimosa</i> sp.	Bosque Tropical perennifolio	<i>Tabebuia</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Myroxylon balsamum</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Talauma mexicana</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Nectandra rubiflora</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Terminalia oblonga</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Ochroma bicolor</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Terminalia</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Pera barbellata</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Trichilia</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Phoebe Mexicana</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Trichilia minutiflora</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Pithecellobium arboreum</i>	Bosque Tropical perennifolio	<i>Virola guatemalensis</i>



Bosque Tropical perennifolio	<i>Zanthoxylum kellermanii</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Dalbergia granadillo</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Zanthoxylum</i> sp.	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Drypetes lateriflora</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Cochlospermum</i> sp.	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Micropholis mexicana</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Enterolobium</i> sp.
Bosque Tropical perennifolio	<i>Mortoniendron guatemalense</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Erythrina goldmanii</i>
Bosque Tropical perennifolio	<i>Siparuna</i> sp.	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Erythroxyllum areolara</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Acacia gaumeri</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus cookii</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Albizia longepedata</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus cotinifolia</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Apeiba tobourbou</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus glabrata</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Aspidosperma stegomeris</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus hemsleyana</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Bursera arborea</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus involuta</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus maxima</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus mexicana</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Cecropia peltata</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus obtusifolia</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ceiba pentandra</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus padifolia</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Celtis caudata</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus segoviae</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Celtis monoica</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Ficus</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Cordia alliodora</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Homalium trichostemon</i>

Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Hura polyandra</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Vitex pyramidata</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Inga spuria</i>	Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Forchhammeria pallida</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Licania arborea</i>	Matorral xerófilo	<i>Acacia amentacea</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Licaria cervantesii</i>	Matorral xerófilo	<i>Acacia berlandieri</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Lonchocarpus longistylus</i>	Matorral xerófilo	<i>Acacia californica</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Metopium brownei</i>	Matorral xerófilo	<i>Acacia cymbispina</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Mimosa hemiendyta</i>	Matorral xerófilo	<i>Acacia rigidula</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Nectandra globosa</i>	Matorral xerófilo	<i>Acacia willardiana</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	Matorral xerófilo	<i>Amyris</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Prunus cortapico</i>	Matorral xerófilo	<i>Arbutus</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Prunus salasii</i>	Matorral xerófilo	<i>Arctostaphylos pungens</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Matorral xerófilo	<i>Arctostaphylos</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Simarouba glauca</i>	Matorral xerófilo	<i>Atamisquea</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Spondias mombin</i>	Matorral xerófilo	<i>Buddleia</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Swietenia humilis</i>	Matorral xerófilo	<i>Bursera microphylla</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Tabebuia palmeri</i>	Matorral xerófilo	<i>Bursera</i> sp.
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Tabebuia rosea</i>	Matorral xerófilo	<i>Cassia chiapensis</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Trophis racemosa</i>	Matorral xerófilo	<i>Ceiba parviflora</i>
Bosque Tropical Sub-caducifolio	<i>Vitex gaumeri</i>	Matorral xerófilo	<i>Celtis pallida</i>
		Matorral xerófilo	<i>Condalia mexicana</i>
		Matorral xerófilo	<i>Condalia</i> sp.
		Matorral xerófilo	<i>Cordia boissieri</i>
		Matorral xerófilo	<i>Croton</i> sp.
		Matorral xerófilo	<i>Diospyros texana</i>
		Matorral xerófilo	<i>Helietta</i> sp.
		Matorral xerófilo	<i>Helietta parviflora</i>
		Matorral xerófilo	<i>Juniperus flaccida</i>
		Matorral xerófilo	<i>Juniperus flaccida var poblana</i>
		Matorral xerófilo	<i>Leucaena esculenta</i>
		Matorral xerófilo	<i>Maytenus phyllanthoides</i>
		Matorral xerófilo	<i>Mezquite</i> sp.
		Matorral xerófilo	<i>Mimosa biuncifera</i>
		Matorral xerófilo	<i>Mimosa lactiflua</i>
		Matorral xerófilo	<i>Mimosa leucaniodes</i>
		Matorral xerófilo	<i>Mimosa luisana</i>
		Matorral xerófilo	<i>Mimosa polyantha</i>



Matorral xerófilo	<i>Mimosa</i> sp.	Matorral xerófilo	<i>Agave parviflora</i>
Matorral xerófilo	<i>Pithecellobium acatlense</i>	Matorral xerófilo	<i>Agave salmiana</i>
Matorral xerófilo	<i>Pithecellobium brevifolium</i>	Matorral xerófilo	<i>Agave shawii</i>
Matorral xerófilo	<i>Pithecellobium</i> sp.	Matorral xerófilo	<i>Agave</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Prosopis laevigata</i>	Matorral xerófilo	<i>Agave strista</i>
Matorral xerófilo	<i>Prosopis</i> sp.	Matorral xerófilo	<i>Atriplex polycarpa</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus alpescens</i>	Matorral xerófilo	<i>Chlamydotis</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus ceripes</i>	Matorral xerófilo	<i>Forchhammeria</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus clivicola</i>	Matorral xerófilo	<i>Fouquieria columnaris</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus eduardii</i>	Matorral xerófilo	<i>Fouquieria peninsularis</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus errans</i>	Matorral xerófilo	<i>Fouquieria</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus flocculenta</i>	Matorral xerófilo	<i>Fouquieria splendens</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus fusiformis</i>	Matorral xerófilo	<i>Garrya</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus hypoxantha</i>	Matorral xerófilo	<i>Garrya ovata</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus intricata</i>	Matorral xerófilo	<i>Karwinskia</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus invaginata</i>	Matorral xerófilo	<i>Krameria</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus laceyi</i>	Matorral xerófilo	<i>Simmondsia chinensis</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus liebmannii</i>	Matorral xerófilo	<i>Simmondsia</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus magnoliifolia</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca carnerosana</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus microphylla</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca dicipiens</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus opaca</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca filifera</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus porphyrogenita</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca periculosa</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus pringlei</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca</i> sp.
Matorral xerófilo	<i>Quercus saltillensis</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca valida</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus schenkiana</i>	Matorral xerófilo	<i>Yucca whipplei</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus sebifera</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Abies arguta</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus tinkhamii</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Acacia bilimekii</i>
Matorral xerófilo	<i>Quercus undulata</i> var. <i>Pungens</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Acacia cymbispina</i>
Matorral xerófilo	<i>Rhamnus</i> sp.	Otros Tipos de Vegetación	<i>Acacia Spharocephala</i>
Matorral xerófilo	<i>Rhus</i> sp.	Otros Tipos de Vegetación	<i>Alnus firmifolia</i>
Matorral xerófilo	<i>Sebastiania</i> sp.	Otros Tipos de Vegetación	<i>Alnus grablata</i>
Matorral xerófilo	<i>Ternstroemia</i> sp.	Otros Tipos de Vegetación	
Matorral xerófilo	<i>Zanthoxylum liebmannii</i>	Otros Tipos de Vegetación	
Matorral xerófilo	<i>Agave amelanchier</i>	Otros Tipos de Vegetación	
Matorral xerófilo	<i>Agave atrovirens</i>	Otros Tipos de Vegetación	
Matorral xerófilo	<i>Agave deserti</i>	Otros Tipos de Vegetación	
Matorral xerófilo	<i>Agave lechugilla</i>	Otros Tipos de Vegetación	
Matorral xerófilo	<i>Agave obscura</i>	Otros Tipos de Vegetación	

Otros Tipos de Vegetación	<i>Alnus iale</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Prosopis velutina</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Brosimum alicastrum</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Zanthoxylum procerum</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Buddleia cordata</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Atriplex canescens</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Bursera aff. Simaruba</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Atriplex julacea</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Bursera sp.</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Atriplex pringlei</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Caesalpinia arenosa</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Frankenia grandifolia</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Caesalpinia crista</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Frankenia gypsophila</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Cassia chamaecristoides</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Frankenia palmeri</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Phaulothamnus spinescens</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ficus cotinifolia</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Scaevola plumieri</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ficus glabrata</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Simmondsia chinensis</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ficus glaucescens</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Stegnosperma cubense</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ficus lentiginosa</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Stegnosperma halimifolium</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ficus padifolia</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Tournefortia gnaphaloides</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Ficus sp.</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Wislizenia refracta</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Fraxinus uhdei</i>	Otros Tipos de Vegetación	<i>Yucca sp.</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Maytenus phyllanthoides</i>	Pastizal	<i>Acacia schaffneri</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Prosopis juliflora</i>	Pastizal	<i>Calliandra sp.</i>
Otros Tipos de Vegetación	<i>Prosopis leavigata</i>	Pastizal	<i>Condalia sp.</i>
		Pastizal	<i>Mimosa sp.</i>
		Pastizal	<i>Prosopis sp.</i>
		Pastizal	<i>Fouquieria sp.</i>
		Pastizal	<i>Frankenia sp.</i>

Madera y Bosques

vol. 21 Num. **Especial** 2015

Se terminó de imprimir en el mes de noviembre del 2015
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 200 ejemplares
más sobrantes para reposición.

C Contenido

artículos de actualidad

Una forma de evaluar el impacto de la investigación científica
Raymundo Dávalos Sotelo

07

Manejo Forestal en el Siglo XXI
Oscar Alberto Aguirre-Calderón

17

31

artículos científicos

Evaluation of chemical compositions, air-dry, preservation and workability of eight fastgrowing plantation species in Costa Rica
Róger Moya, Cynthia Salas, Alexander Berrocal y Juan Carlos Valverde

revisiones bibliográficas

El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos?
Guadalupe Williams-Linera

51

Wood preservation using natural products
Rubén Francisco González-Laredo, Martha Rosales-Castro, Nuria Elizabeth Rocha-Guzmán, José Alberto Gallegos-Infante, Martha Rocío Moreno-Jiménez y Joseph J. Karchesy

63

Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación
José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, Adolfo Galicia Naranjo, Nuria Julieta Venegas Mancera, Tomás Hernández Tejeda, María de Jesús Ordóñez Díaz y Raymundo Dávalos Sotelo

77