

# Revista Mexicana de Ciencias Forestales



**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

# REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS FORESTALES

www.cienciasforestales.inifap.gob.mx  
ISSN: 2007-1132

La **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** (antes Ciencia Forestal en México) es una publicación científica del sector forestal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Público de Investigación y Organismo Público Descentralizado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). Tiene como objetivo difundir los resultados de la investigación que realiza el propio Instituto, así como la comunidad científica nacional e internacional en el ámbito de los recursos forestales. El contenido de las contribuciones que conforman cada número es responsabilidad de los autores y su aceptación quedará a criterio del Comité Editorial, con base en los arbitrajes técnicos y de acuerdo a las normas editoriales. Se autoriza la reproducción de los trabajos si se otorga el debido crédito tanto a los autores como a la revista. Los nombres comerciales citados en las contribuciones, no implican patrocinio o recomendación a las empresas referidas, ni crítica a otros productos, herramientas o instrumentos similares.

**Revista Mexicana de Ciencias Forestales** está inscrita en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Es referida en el servicio de CABI Publishing (Forestry Abstracts y Forest Products Abstracts) de CAB International, así como en el Catálogo de Revistas del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América y El Caribe, España y Portugal (LATINDEX); en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias (PERIÓDICA); en el Catálogo Hemerográfico de Revistas Latinoamericanas, Sección de Ciencias Exactas y Naturales (HELA), Sistema de Información Científica Redalyc y en la Scientific Electronic Library Online (SciELO-México).

La **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** Volumen 7, Número 35, mayo-junio 2016, es una publicación bimestral editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, delegación Coyoacán, C. P. 04010, Ciudad de México [www.inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx), [cienciasforestales@inifap.gob.mx](mailto:cienciasforestales@inifap.gob.mx). Distribuida por el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (Cenid Comef). Editor Responsable: Marisela C. Zamora Martínez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2010-012512434400-102 ISSN: 2007-1132, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (Indautor). Certificado de Licitud de Título y Licitud de Contenido: en trámite por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. El presente archivo digital PDF correspondiente al Volumen 7, Número 35 de la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, es una versión íntegra y fiel de la impresa en mayo de 2016 por: Graphx, S.A. de C.V. Tauba 40 - 205 Col. Centro, C.P. 06010, deleg. Cuauhtémoc, Ciudad de México.



Portada: Carlos Mallén Rivera

## COMITÉ EDITORIAL

M.C. Marisela C. Zamora Martínez  
EDITORA EN JEFE

Dra. Adriana Rosalía Gijón Hernández  
EDITORA ADJUNTA

Dra. Cecilia Nieto de Pascual Pola  
COORDINADORA EDITORIAL

## CONSEJO CONSULTIVO INTERNACIONAL

Dr. Celedonio Aguirre Bravo  
Forest Service, United States Department of Agriculture. Estados Unidos de América

Dra. Amelia Capote Rodríguez  
Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. La Habana, Cuba

Dr. Carlos Rodríguez Franco  
Forest Service United States Research and Development. Estados Unidos de América

Ing. Martín Sánchez Acosta  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

Dra. Laura K. Snook  
International Plant Genetic Resources Institute. Roma, Italia

Dr. Santiago Vignote Peña  
E.T.S.I. de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. España

## CONSEJO CONSULTIVO NACIONAL

Dr. Miguel Caballero Deloya  
Fundador de la Revista Ciencia Forestal en México

Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón  
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Francisco Becerra Luna  
Centro de Investigación Regional - Centro, INIFAP

Dra. Patricia Koleff Osorio  
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Ing. Francisco Javier Musálem López  
Academia Nacional de Ciencias Forestales

M.C. Carlos Mallén Rivera  
Ex-Editor en Jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales

Dra. María Valdés Ramírez  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional

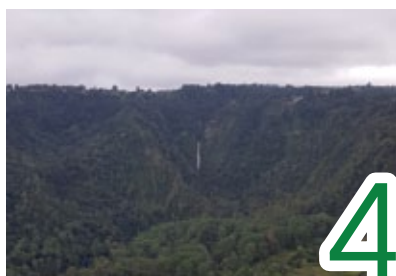
Dr. Alejandro Velázquez Martínez  
Especialidad Forestal, Colegio de Postgraduados

Dr. Hugo Ramírez Maldonado  
División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo

Dr. Jorge Méndez González  
Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Carlos Galindo Leal  
Dirección de Comunicación Científica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

# CONTENIDO



## EDITORIAL

### Superficie forestal actual

Marisela Cristina Zamora Martínez



## ARTÍCULOS

### Factores de proporción y ecuaciones de diámetro normal a partir del tocón para *Pinus greggii* Engelm.

#### Ratio factors and normal diameter equations from the stump diameter of *Pinus greggii* Engelm.

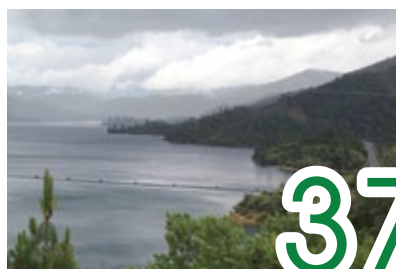
Jonathan Hernández Ramos, Xavier García Cuevas, José Jesús García Magaña, Hipólito Jesús Muñoz Flores, Juan Cosme Velarde Ramírez y Edgar Hugo Olvera Delgadillo



### Precisión de los coeficientes y cocientes de forma en la estimación del volumen de *Pinus montezumae* Lamb.

#### Accuracy of form coefficients and quotients in estimating the volume of *Pinus montezumae* Lamb.

Guadalupe Geraldine García Espinoza, José Jesús García Magaña, Jonathan Hernández Ramos, Hipólito Jesús Muñoz Flores, Xavier García Cuevas y Adrián Hernández Ramos<sup>5</sup>



### Recursos forestales no maderables en dos comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca

#### Non-timber forest resources in two Zapotec communities of the Sierra Juárez of Oaxaca State

Joel Martínez López, Alejandra Acosta Ramos, Enrique Martínez y Ojeda y Filemón Manzano Méndez





Importancia ecológica de los gatuños (*Mimosa* spp.) en el Parque Nacional Sierra de Órganos

Ecological relevance of catclaw (*Mimosa* spp.) at the Sierra de Órganos National Park

Ricardo Ismael Mata-Páez, Pedro Antonio Domínguez-Calleros, José Rodolfo Goche-Télles y Manuel Antonio Díaz-Vásquez



Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo

State of the essential chemical elements in the soils of natural, agroforestry and monoculture systems

Paul René Fernández Ojeda, David Cristóbal Acevedo, Antonio Villanueva Morales y Miguel Uribe Gómez



Insectos barrenadores del xilema en especies forestales comerciales en Costa Rica

Xylem insect borers in commercial forest species in Costa Rica

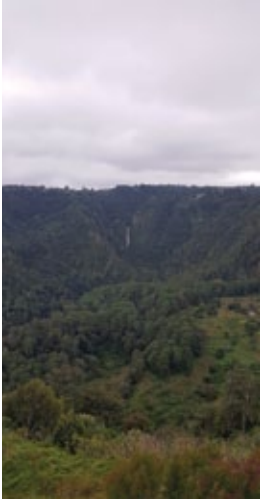
Marcela Arguedas Gamboa y María Rodríguez Solís



Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango

Modeling of biomass and aboveground arboreal carbon in forests of the state of Durango

René Alejandro Martínez Barrón, Oscar Alberto Aguirre Calderón, Benedicto Vargas Larreta, Javier Jiménez Pérez, Eduardo Javier Treviño Garza y José Israel Yerena Yamallé



## Editorial

En la Declaración de Durban (Congreso Forestal Mundial, 2015), se resaltó el papel de los bosques para el cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, a partir de las siguientes premisas:

- ✓ Los bosques son fundamentales para alcanzar la seguridad alimentaria, ya que proveen a la sociedad de alimentos, dendroenergía, lugares de resguardo, forrajes, fibras; por lo tanto, son una fuente de ingresos y de empleo, además coadyuvan al ejercicio de una agricultura sostenible, mediante la estabilización de los suelos, del clima y la regulación de los flujos de agua.
- ✓ Los bosques bajo manejo aumentan la resiliencia tanto del ecosistema como de la sociedad, lo cual favorece el aprovechamiento máximo de su función como sumideros y almacenes de carbono al mismo tiempo que proporcionan otros servicios ambientales. Razón por la cual son una alternativa de solución a los problemas relacionados con el cambio climático y a la mitigación de sus efectos.

En este contexto, es de suma importancia mantener y, en lo posible, incrementar la superficie arbórea del planeta, toda vez, que las presiones resultantes del crecimiento de la población están en constante aumento, con la consecuente demanda mayor de alimentos. Todo ello, incide en un constante cambio de uso del suelo que conlleva a la transformación de terrenos forestales a zonas agropecuarias, fenómeno que hasta finales del siglo XIX prevaleció en las regiones de clima templado; sin embargo, en la actualidad la deforestación es más alta en las zonas tropicales.

Así, en la primera década del presente siglo la pérdida neta de bosques tropicales, a nivel mundial fue del orden de siete millones de hectáreas anuales, con un incremento neto, para el caso de las áreas agrícolas, de 6 millones de hectáreas anuales, cuyo máximo registro correspondió a las naciones con bajos ingresos. Por ejemplo, en América Latina la agricultura comercial origina 70 % de la deforestación, mientras que en África aproximadamente 30%, donde los cultivos de subsistencia son los determinantes.

Cabe señalar que en el último quinquenio (2010-2015), en el mundo, la disminución de los ecosistemas forestales se ha compensado, de alguna manera, por la combinación de dos factores: la reconversión de terrenos agrícolas abandonados (2.2 millones de hectáreas anuales) y el establecimiento de plantaciones forestales (3.1 millones de hectáreas).

En términos generales, la superficie forestal mundial disminuyó 129 millones de hectáreas (3.1 %) en el período de 1990 - 2015, y, actualmente, está por debajo de los 4 millones de hectáreas. Aunque la tasa de pérdida neta de bosques a nivel mundial ha descendido de una media de 7.3 millones de hectáreas anuales en la década de 1990 a 3.3 millones de hectáreas al año en el período 2010-2015 (FAO, 2015), la deforestación continúa siendo preocupante.

México cuenta con 138 millones de hectáreas de vegetación forestal, equivalente a 70% de su territorio; de esta superficie, 64.9 millones de hectáreas corresponden a bosques y selvas, en donde habitan aproximadamente 11 millones de personas, quienes satisfacen sus necesidades básicas a partir de dicho capital natural.

Una característica relevante de los ecosistemas forestales del país es su carácter colectivo, resultado de que gran parte de ella es propiedad ejidal y comunal; de tal manera que el uso de los recursos es comunitario, y en muchos casos su manejo ha sido bajo esquemas sustentables, en particular dentro de grupos muy organizados, lo cual ha proporcionado beneficios sociales, económicos y ambientales a la población, especialmente a los grupos más vulnerables de la sociedad, como es el caso de diversas comunidades indígenas.

No obstante, la deforestación en el periodo 2005-2010 fue de 155 000 hectáreas por año, y esta es mayor o menor en función del tipo de ecosistemas y de las condiciones sociales y económicas prevalecientes en cada región, algo similar a lo que se observa en el ámbito mundial. Así, su impacto es más grande hacia las zonas con bosque tropical o con altos grados de marginación; por ejemplo, en los estados de Chiapas, Guerrero, Yucatán, Campeche; además existen regiones sujetas a fenómenos meteorológicos extremos, o bien a factores como la presencia de incendios, plagas y enfermedades que favorecen la pérdida de la cobertura vegetal.

Con base en lo anterior, el marco institucional responsable de la generación de políticas públicas dirigidas a reducir el cambio del uso del suelo y la consecuente deforestación, deben tener un enfoque participativo; es decir, ser incluyentes en cuanto a las partes interesadas; organizaciones de la sociedad civil, los sectores privados, gubernamentales y académicos. Esta visión permite legitimar

las políticas ambientales, mejorar la gobernanza y la gestión de los recursos y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas forestales.

En el mundo se reconoce la importancia de los derechos tradicionales de los pueblos nativos, en particular, cuando estos pertenecen a grupos vulnerables que dependen para su subsistencia de los recursos forestales. Y, dado que es justamente en estos sectores en los cuales se presentan las pérdidas mayores de áreas boscosas, resulta importante incentivar la inversión pública directa en programas cuyos objetivos sean la protección y conservación tanto ambiental, como social, además de la investigación, la innovación y la transferencia de los conocimientos generados en las instituciones académicas; asimismo, es fundamental la promoción e implementación de esquemas de inversión con la participación del sector privado.

En algunos países se han creado entornos favorables para la inversión privada en la actividad forestal, mediante mecanismos innovadores de financiación, como los sistemas de Pago de Servicios Ambientales (PSA). En el caso particular de México, el programa PSA es una de las herramientas de política pública del Gobierno Federal, la cual busca prevenir la degradación ambiental y, a la vez, mejorar la calidad de vida de los dueños o poseedores del bosque, mediante compensaciones económicas para garantizar la permanencia y calidad de los ecosistemas

A la fecha se tienen tres tipos de esquemas: el primero, es el Programa Nacional de PSA, que no incluye la participación de municipios y operadores de agua; el segundo, corresponde a los Mecanismos Locales de PSA, los cuales funcionan a través de fondos concurrentes; y por último, el Fondo Patrimonial de Biodiversidad, cuyo financiamiento es a largo plazo y está integrado, a partes iguales, por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y la Comisión Nacional Forestal.

Cabe destacar que la experiencia internacional y nacional evidencia que cuando se garantiza la inversión en el sector forestal, la pérdida de la cubierta vegetal disminuye, se contribuye a mejorar la calidad de vida de la población, se incide en la mitigación de los efectos del cambio climático y de la degradación del suelo.

En la medida que las políticas públicas, como el PSA, y el marco jurídico ambiental sean eficaces e incluyentes, se garantizará el reconocimiento pleno del valor económico, social y ecológico de los ecosistemas forestales, especialmente, su función dentro de programas más amplios orientados a la reducción de la pobreza.

Una última reflexión se refiere a la relevancia que tiene el fomento de la capacidad organizativa de los dueños o poseedores de los bosques, ya que esta les permitirá llevar a cabo la autogestión de sus recursos, tener mayor acceso a los apoyos gubernamentales y privados; por lo tanto, mejorar su calidad de vida y en consecuencia conservar sus bosques, revalorándolos a través de los beneficios que obtienen de ellos.

Marisela Cristina Zamora Martínez

FAO. En: [http://faostat3.fao.org/download/G2/\\*S](http://faostat3.fao.org/download/G2/*S) (29 de septiembre de 2015).  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/mex\\_mun2015/702825075613.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/mex_mun2015/702825075613.pdf)  
[http://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico/Diagnostico\\_2014/Diagnostico\\_2014\\_SEMARNAT\\_U036.pdf](http://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico/Diagnostico_2014/Diagnostico_2014_SEMARNAT_U036.pdf)  
[www.fao.org/publications/sofo/2016/es](http://www.fao.org/publications/sofo/2016/es)







Artículo / Article

## Factores de proporción y ecuaciones de diámetro normal a partir del tocón para *Pinus greggii* Engelm.

### Ratio factors and normal diameter equations from the stump diameter of *Pinus greggii* Engelm.

Jonathan Hernández Ramos<sup>1</sup>, Xavier García Cuevas<sup>1</sup>, José Jesús García Magaña<sup>2</sup>, Hipólito Jesús Muñoz Flores<sup>1</sup>, Juan Cosme Velarde Ramírez<sup>3</sup> y Edgar Hugo Olvera Delgadillo<sup>4</sup>

#### Resumen

Cuando se desconocen las dimensiones del diámetro normal ( $dn$ ) de los árboles para calcular el volumen, la relación funcional entre  $dn$  y diámetro de tocón ( $dt$ ) es muy útil. El objetivo del presente estudio consistió en generar ecuaciones y factores de proporción de  $dn$ - $dt$  para plantaciones de *Pinus greggii* en el estado de Hidalgo, México. Con datos de 621 árboles se ajustaron cuatro modelos para estimar la relación  $dn$ - $dt$  con el PROC MODEL del paquete estadístico SAS 9.1 y el procedimiento *gmm*. El mejor modelo fue seleccionado mediante el Coeficiente de Determinación Ajustado ( $R^2_{aj}$ ), la Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC), los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC), el análisis gráfico de los residuales y la prueba de normalidad. La capacidad predictiva se determinó con el Sesgo ( $E$ ), la Desviación Agregada ( $DA$ ) y la  $DA$  en porcentaje ( $DA\%$ ), además del comportamiento gráfico de los valores predichos contra los observados. La ecuación seleccionada incluyó la altura del tocón ( $ht$ ) y explicó 94.86 % de la varianza observada, sin violar los supuestos de normalidad de los datos, homocedasticidad de los residuos y la autocorrelación de los errores. El sesgo fue de -0.0352, la  $DA$  de -0.0353 y la  $DA\%$  de 0.2032 para la muestra. El factor de proporción promedio entre  $dt$  y  $dn$  fue de 0.7879. Esta ecuación y el factor de proporción son herramientas confiables para la estimación del  $dn$ , y es aplicable como base en la estimación de volumen, biomasa o carbono en plantaciones de *P. greggii*.

**Palabras clave:** Alometría, aprovechamientos, biomasa arbórea, corta clandestina, ecuaciones, volumen.

#### Abstract

When normal diameter ( $dn$ ) of trees for volume calculations are unknown, the functional relationship between  $dn$  and stump diameter ( $dt$ ) is very useful. The aim of this study was to generate equations and  $dn$ - $dt$  ratio factors for *Pinus greggii* plantations in the state of Hidalgo, Mexico. With the data from 621 trees, four models were fitted to estimate the  $dn$ - $dt$  relation to the PROC MODEL SAS 9.1 statistical package and the *gmm* procedure. The best model was selected by the fitted Coefficient of Determination ( $R^2_{aj}$ ), the Root Mean Square Error (REMC), the Akaike (AIC) and Bayesian (BIC) information criteria, the graphical analysis of the residuals and the normality test. Predictability was determined with the bias ( $E$ ), Aggregate Deviation ( $DA$ ) and  $DA$  percentage ( $DA\%$ ), in addition to the graphical behavior of the predicted values against the observed ones. The selected equation included stump height ( $ht$ ) and explained 94.86 % of the observed variance, without violating the assumptions of normality of the data, residual homoscedasticity and the autocorrelation of errors. For the sample, the bias was -0.0352, -0.0353 for  $DA$  and 0.2032 for  $DA\%$ . The average ratio factor between  $dt$  and  $dn$  was 0.7879. This equation and the ratio factor are reliable tools for estimating  $dn$ , and may be applied as the basis for estimating volume, biomass or carbon in *P. greggii* plantations.

**Key words:** Allometry, logging, tree biomass, illegal cutting, equations, volume.

Fecha de recepción/ Received date: 20 de julio de 2015; Fecha de aceptación/ Accepted date: 10 de marzo de 2016.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Correo-e: hernandezjonathan@inifap-gob.mx

<sup>2</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). México.

<sup>3</sup> Asesoría Técnica Forestal (ATF).

<sup>4</sup> Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). México.

## Introducción

Las diferentes tasas de crecimiento de los árboles en el bosque son las respuestas fisiológicas, demográficas y filogenéticas a las limitaciones de los factores bióticos y abióticos del entorno en que se desarrolla cada uno de ellos (Chave, 1999). Es indispensable conocer las relaciones estructurales entre componentes para entender las adaptaciones al ambiente que presentan los organismos, el bosque o un ecosistema en particular (King, 1996).

Las funciones alométricas como medio para representar la relación funcional entre dos o más variables de un individuo son útiles en la comprensión de la dinámica del crecimiento total de un árbol, con respecto alguna de sus partes o componentes (Núñez *et al.*, 2010; Gayon, 2000). El uso de esta herramienta en la biología vegetal ha sido para desarrollar las relaciones entre variables de tamaño, para su posterior aplicación al manejo forestal o en la comprensión del ecosistema (Niklas y Enquist, 2002).

Ejemplos de ese tipo de trabajos son las relaciones del diámetro normal ( $dn$ ) en función al volumen ( $V$ ), biomasa ( $B$ ), índice de área foliar ( $IAF$ ) o carbono ( $C$ ) (Martín *et al.*, 1998); las relaciones de  $dn$  con la altura total ( $H$ ) (Zeide y Vanderschaaf, 2002); las funciones de  $dn$ - $H$  para los estudios de crecimiento (Delgado *et al.*, 2005); o la relación funcional entre el diámetro de tocón ( $dt$ ) con el  $dn$  (Pompa *et al.*, 2011); la  $H$  y el  $V$  (Quiñonez-Barraza *et al.*, 2012; Martínez y Acosta, 2014); la  $B$  (Návar *et al.*, 2013) o el carbono.

Determinar la relación entre  $dt$  y  $dn$  puede ser referencia de predicciones en variables como la  $H$  que, posteriormente, es posible utilizarlas como base para realizar estimaciones de volumen (Aigbe *et al.*, 2012).

Debido a que no siempre se cuenta con las dimensiones del  $dn$  para hacer cálculos de volumen; por ejemplo, cuando ocurren aprovechamientos clandestinos; en la cuantificación de los aprovechamientos en grandes extensiones; en la evaluación de las prácticas silvícolas aplicadas en el bosque después del aprovechamiento; o simplemente por extravío de la información del inventario, cobra importancia conocer la relación alométrica y la función proporcional entre  $dn$  y el  $dt$ , ya que se usa para cuantificar el volumen maderable removido (Benítez *et al.*, 2004).

La relación alométrica y proporcional entre el diámetro del tocón y el diámetro normal son una herramienta cuantitativa de utilidad para los administradores de los recursos forestales y evaluadores de las prácticas de aprovechamientos aplicadas en los bosques; por ello, se planteó generar ecuaciones y factores de proporción que permitan predecir el  $dn$ , a partir del  $dt$  en plantaciones forestales de *Pinus greggii* Engelm., con fines de restauración, establecidas en Metztlán, Hidalgo.

## Introduction

The different growth rates of trees in the forest are the physiological, demographic and phylogenetic reactions to the limitations of the biotic and abiotic factors of their surroundings in which each one of them develops (Chave, 1999). It is essential to know the structural relationships between their components to understand the adaptations to the environment of organisms, a forest or a particular ecosystem (King, 1996).

Allometric functions as a means to represent the functional relationship between two or more variables of an individual are useful in understanding the dynamics of the overall growth of a tree, in regard to some of its parts or components (Núñez *et al.*, 2010; Gayon, 2000). The use of this tool in plant biology has been used to develop the relationships between variables in size, for subsequent application to forest management or understanding the ecosystem (Niklas and Enquist, 2002).

Examples of this kind of work are the relationships of the normal diameter ( $dn$ ) depending on the volume ( $V$ ), biomass ( $B$ ), leaf area index ( $LAI$ ) or carbon ( $C$ ) (Martín *et al.*, 1998);  $dn$  relations with the total height ( $H$ ) (Zeide and Vanderschaaf, 2002);  $dn$ - $H$  functions for growth studies (Delgado *et al.*, 2005); or the functional relationship between stump diameter ( $dt$ ) with  $dn$  (Pompa *et al.*, 2011); the  $H$  and  $V$  (Quiñonez-Barraza *et al.*, 2012; Martínez and Acosta, 2014);  $B$  (Návar *et al.*, 2013) or carbon.

To determine the relationship between  $dt$  and  $dn$  can be a reference to predictions in variables such as  $H$ , which then can be used as a basis for estimating volume (Aigbe *et al.*, 2012).

Since there are not always dimensions of  $dn$  for volume calculations; for example, when illegal exploitation occurs; in quantifying the uses on large areas; in the evaluation of silvicultural practices in the forest after harvesting; or simply when inventory information is misplaced, it becomes important to know the allometric relationship and proportional function between  $dn$  and  $dt$ , as it is used to quantify the removed wood volume (Benítez *et al.*, 2004).

The allometric and proportional relationship between the diameter of the stump and  $dn$  are a useful quantitative tool for managers of forest resources and evaluators of the harvesting practices applied in the forests; therefore, interest arose to generate ratio equations and factors to predict the  $dn$ , from  $dt$  in *Pinus greggii* Engelm forest plantations, for restoration purposes, established in Metztlán, Hidalgo state.



## Materiales y Métodos

Las plantaciones consideradas en el análisis se localizan en el ejido Fontezuelas municipio Metztlán, Hidalgo. El clima presente corresponde al templado semi-seco (García, 1988; Inegi, 1992; Hernández et al., 2014), a una altitud que varía entre los 2 000 y 2 500 m y se ubican entre las coordenadas 98°54' W y 20°29' N; están establecidas en suelos de tipo Feozem háplico y Regosol eútrico (Inegi, 1992).

Se procesó información proveniente de 621 árboles con categorías diamétricas en el  $dt$  de 5 a 45 cm y en el  $dn$  de 5 a 35 cm (Cuadro 1). El  $dn$  se midió con una cinta diamétrica (Forestry Suppliers P. O. BOX 8397) de cinco metros, 1.30 m, y el  $dt$  a una altura variable, en función de la técnica de corte empleada para árboles derribados (altura de tocón,  $h_t$ ), (Bava y López, 2006).

Cuadro 1. Estadísticos básicos de la muestra en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlán, Hidalgo.

Variable	Mínima	Máxima	Medio	CV
$dt$	5.0	46.0	19.48	55.342
$dn$	2.5	37.0	14.18	45.313
$ht$	9.35	31.0	28.64	9.860

Los modelos evaluados (Cuadro 2) fueron los propuestos por Quiñonez-Barraza et al. (2012) para *Pinus arizonica* Engelm., *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., *P. durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham, *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham y *Quercus sideroxyla* Bonpl.; así como los de Pompa et al. (2011) para *P. durangensis* para la estimación del  $dn$  a partir del  $dt$ , debido a que esta sección tiene una forma de tipo neiloide truncado.

Cuadro 2. Modelos para estimar el diámetro normal a partir del diámetro del tocón en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlán, Hidalgo.

Modelo	Expresión matemática
(1)	$d_n = b_0 + b_1(d_t) + \epsilon$
(2)	$d_n = b_0 d_t \left(\frac{1.3}{h_t}\right)^{b_1 + \epsilon}$
(3)	$d_n = b_0 + b_1(b_1 d_t) + \epsilon$
(4)	$d_n = b_0 + b_1(d_t)^2 + \epsilon$

$D_n$  = Diámetro normal;  $dt$  = Diámetro de tocón;  $h_t$  = Altura de tocón;  $b_0$  y  $b_1$  = Parámetros por estimar.

## Materials and Methods

The plantations considered in the analysis are located in the *Fontezuelas ejido* at *Metztlán* municipality, *Hidalgo*. The prevailing climate is temperate to semi-dry (García, 1988; Inegi, 1992; Hernández et al., 2014), at an altitude ranging from 2 000 to 2 500 m; they are located between 98°54' W and 20°29' N and are established on Haplic feozem and Eutric regosol soil types (Inegi, 1992).

Information was processed from 621 trees with diameter categories in  $dt$  of 5-45 cm and the  $dn$  of 5-35 cm (Table 1).  $dn$  was measured with a diameter tape (Forestry Suppliers P. O. BOX 8397) five meters, 1.30 m, and  $dt$  at a variable height, depending on the cutting technique used (tall stump,  $ht$ ) (Bava and López, 2006).

Table 1. Basic statistics of the sample in *Pinus greggii* Engelm. plantations at *Metztlán*, *Hidalgo*.

Variable	Minimum	Maximum	Mean	VC
$dt$	5.0	46.0	19.48	55.342
$dn$	2.5	37.0	14.18	45.313
$ht$	9.35	31.0	28.64	9.860

The assessed models (Table 2) were those proposed by Quiñonez-Barraza et al. (2012) for *Pinus arizonica* Engelm., *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., *P. durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham, *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham and *Quercus sideroxyla* Bonpl.; and those of Pompa et al. (2011) for *P. durangensis* to estimate  $dn$  from  $dt$ , as this section has a truncated neiloide shape type.

Table 2. Models for the estimation of normal diameter from the stump diameter in *Pinus greggii* Engelm. plantations in *Metztlán*, *Hidalgo*.

Model	Mathematical expression
(1)	$d_n = b_0 + b_1(d_t) + \epsilon$
(2)	$d_n = b_0 d_t \left(\frac{1.3}{h_t}\right)^{b_1 + \epsilon}$
(3)	$d_n = b_0 + b_1(b_1 d_t) + \epsilon$
(4)	$d_n = b_0 + b_1(d_t)^2 + \epsilon$

$D_n$  = Normal diameter;  $dt$  = Stump diameter;  $h_t$  = Stump height;  $b_0$  and  $b_1$  = Parameters for estimation.

El ajuste de los modelos se realizó con el paquete estadístico SAS, mediante el procedimiento MODEL y la técnica *gmm*; este ajuste mejora la eficiencia de la estimación de parámetros en la presencia de heterocedasticidad, debido a que emplea el método generalizado de momentos a través de la matriz de covarianza (SAS, 2015). Se usó el método de ajuste de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), tal como lo emplearon Diéguez *et al.* (2003) y Pompa *et al.* (2011).

La calidad de ajuste y la exactitud en la predicción de las ecuaciones se hizo con los estadísticos comúnmente utilizados en los estudios de modelación y biometría forestal (Castedo y Álvarez, 2000; Corral *et al.*, 2007): Coeficiente de Determinación Ajustado ( $R^2_{aj}$ ), la Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC), el Sesgo (E), la Desviación Agregada (DA) y la DA en porcentaje (DA %) (Prodan *et al.*, 1997). También se empleó el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información Bayesiano (BIC), que toman en cuenta la máxima verosimilitud y penalizan según el principio de parsimonia de acuerdo al número de parámetros del modelo (Posada y Rosero, 2007; Gómez *et al.*, 2013) con las siguientes ecuaciones:

$$AIC = 2 \log Lik + 2K \quad (5)$$

$$BIC = 2 \log Lik + \log(N)K \quad (6)$$

Donde:

$\log Lik$  = Logaritmo de máxima verosimilitud

$K$  = Término proporcional al número de parámetros del modelo

$N$  = Número total de datos

Se llevó a cabo un análisis gráfico de los valores estimados por cada modelo para verificar si se cumple la tendencia hacia una línea recta con respecto a los valores observados (Posada y Rosero, 2007; Augusto *et al.*, 2009), así como el de estos para identificar y corregir problemas de heterocedasticidad (Huang, 2002).

Para evaluar estadísticamente la normalidad de los datos procesados, se aplicó la prueba de *Shapiro-Wilk*, que verifica la estimación lineal insesgada de la desviación estándar dividida por la varianza de los errores con respecto a la muestra (Moliner, 2003).

Se calcularon los intervalos de confianza de los parámetros para conocer la variación de los valores esperados de cada uno de ellos (Cepeda *et al.*, 2008); así, se tomó el valor estimado del parámetro ( $b_j$ ), + o - el valor de  $t$  considerando los grados de libertad del modelo a 95 % de confiabilidad, multiplicado por el Error Estándar de Aproximación ( $E_{ea}$ ) en la siguiente forma:

The fitting of the models was made with the statistical SAS package through the MODEL procedure and the *gmm* technique; this fit improves the efficiency in the estimation of parameters in the presence of heterocedasticity, since it uses the Generalized Moments Method through the matrix of covariance (SAS, 2015). Ordinary Squared Minimums method (MCO) [for its acronym in Spanish] was used as Diéguez *et al.* (2003) and Pompa *et al.* (2011) did.

The quality of fitness and the accuracy in the prediction of the equations was achieved with the regular statistics used in forest modeling and biometry (Castedo and Álvarez, 2000; Corral *et al.*, 2007): the fitted Coefficient of Determination ( $R^2_{aj}$ ), the Root Mean Square Error (REMC), the Bias (E), Aggregate Deviation (DA) and DA percentage (DA %) (Prodan *et al.*, 1997). Also the Akaike (AIC) as well as the Bayesian (BIC) information criteria were used, which take into account the greatest verisimilitude and penalize according to the parsimony principle, according to the number of parameters of the model (Posada and Rosero, 2007; Gómez *et al.*, 2013) with the following equations:

$$AIC = 2 \log Lik + 2K \quad (5)$$

$$BIC = 2 \log Lik + \log(N)K \quad (6)$$

Where:

$\log Lik$  = Logarithm of greatest verisimilitude

$K$  = Proportional term to the number of parameters of the model

$N$  = Total data number

A graphic analysis was made with the estimated values by each model in order to confirm if the tendency towards a straight line in regard to the observed values is accomplished (Posada and Rosero, 2007; Augusto *et al.*, 2009), as well as their own graphic analysis to identify and correct heterocedasticity problems (Huang, 2002).

To statistically assess the normality of the processed data, a Shapiro-Wilk test was applied, since it verifies the unbiased linear estimation of the standard deviation divided into the variance of the errors in regard to the sample (Moliner, 2003).

A calculation of the confidence intervals of the parameters was made in order to know the variation of the expected values if each one of them (Cepeda *et al.*, 2008); thus, the estimated value of the parameter ( $b_j$ ), + or - the  $t$  value considering the degrees of freedom of the model at 95 % of confidence multiplied by the Approach Standard Error ( $E_{ea}$ ) as follows:

$$IC^+ = b_j + (t_{valor})(E_{ea}) \quad (7)$$

$$IC^- = b_j - (t_{valor})(E_{ea}) \quad (8)$$



$$IC^* = b_i + (t_{valor})(Eea) \quad (7)$$

$$IC = b_i - (t_{valor})(Eea) \quad (8)$$

Se graficaron las tendencias de los valores predichos, con respecto a los observados para mostrar la fidelidad o la desviación y el ajuste de ellos a la información utilizada. Igualmente, se determinó el factor de proporción promedio (*fp*) entre el *dt* y el *dn* de la población, así como de las estimaciones realizadas con el modelo de mejor ajuste.

### Resultados y Discusión

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros y los estadísticos de bondad de ajuste de los modelos evaluados para la estimación del *dn* a través del *dt* en árboles de *P. greggii*.

The tendencies of the predicted values were put in a graphic, in regard to those observed to show the fidelity or the deviation and the fit of them to the used information. Also, the average ratio factor (*fp*) between *dt* and *dn* of the population was determined, as well as the estimations made with the model of less fit.

### Results and Discussion

In Table 3 are gathered the parameters and the statistics of the goodness of fit of the assessed models for the estimation of *dn* through *dt* in *P. greggii* trees.



Cuadro 3. Valores de los estadísticos de bondad de ajuste y de los parámetros obtenidos en los modelos evaluados en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlán, Hidalgo.

Modelo	RMSE	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	AIC	BIC	Parámetro	Estimador	Eea	Valor t	Pr> t
(1)	1.5304	0.9484	507.8513	512.2382	b <sub>0</sub>	-2.3176	0.1921	-12.07	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	0.8812	0.0092	95.4	< 0.0001
(2)	1.5273	0.9486	505.4427	509.8296	b <sub>0</sub>	0.1236	0.0033	37.48	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	1.1469	0.0114	100.17	< 0.0001
(3)	1.5304	0.9484	507.8513	512.2382	b <sub>0</sub>	-2.3176	0.1921	-12.07	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	0.9387	0.0049	190.8	< 0.0001
(4)	1.95	0.9162	794.7229	799.1098	b <sub>0</sub>	7.2433	0.2924	24.77	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	0.0182	0.0005	34.51	< 0.0001

Eea = Error estándar aproximado.

Table 3. Values of the statistics for the goodness of fit and of the parameters obtained in the assessed models in *Pinus greggii* Engelm. plantations in Metztlán, Hidalgo.

Model	RMSE	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	AIC	BIC	Parameter	Estimator	Eea	t value	Pr> t
(1)	1.5304	0.9484	507.8513	512.2382	b <sub>0</sub>	-2.3176	0.1921	-12.07	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	0.8812	0.0092	95.4	< 0.0001
(2)	1.5273	0.9486	505.4427	509.8296	b <sub>0</sub>	0.1236	0.0033	37.48	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	1.1469	0.0114	100.17	< 0.0001
(3)	1.5304	0.9484	507.8513	512.2382	b <sub>0</sub>	-2.3176	0.1921	-12.07	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	0.9387	0.0049	190.8	< 0.0001
(4)	1.95	0.9162	794.7229	799.1098	b <sub>0</sub>	7.2433	0.2924	24.77	< 0.0001
					b <sub>1</sub>	0.0182	0.0005	34.51	< 0.0001

Eea = Approximate standard error.

Se observa que en los modelos (1) y (3), el parámetro  $b_0$  y sus estimadores de ajuste son idénticos, debido a la estructura matemática de las ecuaciones; el  $b_0$  indica el intercepto entre el  $dt$  y el  $dn$ . Además, se evidencia que los valores de los errores estándar aproximados del parámetro  $b_0$  en esos dos modelos son superiores en comparación con el valor del mismo parámetro del modelo (2), que tiene una interpretación diferente, por considerar la altura a la cual fue tomada la medición del  $dt$ .

Al comparar el valor del coeficiente de determinación ajustado, el modelo (2) tiene el mayor ajuste, ya que alcanza un valor de 0.9486; al respecto, Alder (1980) y Gujarati (2010) argumentan que son aceptables valores superiores a 0.7 y 0.8, respectivamente. En este contexto, se asume que todos los modelos son satisfactorios en sus estimaciones. Para este mismo modelo, la condición del  $R^2_{aj}$  coincide con el valor más bajo del REMC que evalúa la precisión de las estimaciones, como lo describen Pompa *et al.* (2011) al utilizar un modelo dendrométrico para la estimación del diámetro normal a partir de las dimensiones del tocón, en los que los mejores modelos son los que presentan valores más bajos.

Adicionalmente, con base en los valores de la máxima verosimilitud de información y el peso por el número de parámetros utilizados (AIC y BIC) se deduce y ratifica que el modelo con la mejor calidad de ajuste estadístico es el (2) por tener los valores más bajos en estos criterios, con respecto de los cuatro modelos utilizados; dicho criterio también lo siguieron Tamarit *et al.* (2013) y Quiñonez-Barraza *et al.* (2014) para la elección de las mejores ecuaciones en la estimación de volumen y ahusamiento.

El uso de esos criterios tiende a seleccionar los modelos más sencillos, debido a que penalizan el valor de acuerdo al principio de parsimonia (Gómez *et al.*, 2013). Sin embargo, si la diferencia numérica entre los modelos en los valores de AIC y BIC es muy estrecha, el complemento con los valores del RMSE y la  $R^2_{aj}$  será el criterio de decisión para la elección de alguno de ellos (Wintle *et al.* 2003; Gómez *et al.*, 2013).

En el Cuadro 4 se resumen los valores de los estadísticos que evalúan la capacidad predictiva del modelo (2), la desviación de sus estimaciones y los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk de normalidad de los errores.

It can be observed that in models (1) and (3) the  $b_0$  parameter and its estimators of fit are identical, from the mathematical structure of the equations,  $b_0$  points out to the interception between  $dt$  and  $dn$ . Also, it is evident that the values of the approximate standard errors of the  $b_0$  parameter in these two models are higher compared to the value of the same parameter of model (2), which has a different interpretation, as it considers the height at which the measurement of  $dt$  was taken.

When comparing the value of the adjusted coefficient of determination, model (2) has the highest setting, as it reaches a value of 0.9486; in this regard, Alder (1980) and Gujarati (2010) indicate that it is acceptable when exceeding 0.7 and 0.8, respectively. In this context, it is assumed that all models are satisfactory in their estimates. For this same model, the  $R^2_{aj}$  condition coincides with the lowest value of REMC which evaluates the accuracy of the estimates as described by Pompa *et al.* (2011) by using a dendrometric model for the estimation of the normal diameter, from the size of the stump, which the best models are those with lower values.

In addition, based on the values of the maximum verisimilitude information and weight by the number of parameters used (AIC and BIC) it can be deducted and confirmed that the model with the best quality of statistical fit is (2) for having the lower values on these criteria, in regard to the four models used; this criterion was also applied by Tamarit *et al.* (2013) and Quiñonez-Barraza *et al.* (2014) for the election of the best equations in estimating volume and taper.

The use of these criteria tends to select the simplest models, as they penalize the value according to the principle of parsimony (Gómez *et al.*, 2013). However, if the numerical difference between the models in the values of AIC and BIC is very narrow, the complement to the values of RMSE and  $R^2_{aj}$  will be the decision criteria for choosing any of them (Wintle *et al.* 2003; Gómez *et al.*, 2013).



Cuadro 4. Estadísticos de evaluación de la capacidad predictiva del modelo (2) en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlitlán, Hidalgo.

Modelo	Sesgo (E)	Diferencia Agregada	Diferencia Agregada %	Shapiro-Wilk (W)
(2)	0.0353	-0.0353	-0.2032	0.9977

Table 4. Statistics for the evaluation of the predictive ability of model (2) in *Pinus greggii* Engelm. plantations in *Metztlán, Hidalgo*.

Model	Bias (E)	Aggregated Difference	Aggregated Difference %	Shapiro-Wilk (W)
(2)	0.0353	-0.0353	-0.2032	0.9977

La desviación del modelo (2), respecto a los valores observados contra los predichos (E) es baja, al igual que los valores de la media de los residuales (DA). Esta situación es semejante a la descrita por Benítez *et al.* (2004) en un estudio de índice de sitio para *P. caribaea* Morelet, y a la experiencia de Barreto *et al.* (2011) quienes, al estimar el diámetro normal con base en las dimensiones del tocón en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* L., utilizaron la DA como indicador de las desviaciones de los modelos empleados. El valor negativo de la DA y de la DA %, se debe a que se tiene una ligera sobrestimación en los valores del *dn* predichos en función del *dt* para plantaciones de *P. greggii*.

La prueba de Shapiro-Wilk mostró normalidad de los errores, por presentar un valor de  $W=0.9977$  ( $p=0.0001$ ) cercano a 1, mientras que al analizar la dispersión de los residuales no evidenciaron problemas de heterocedasticidad, ya que al ajustar el modelo se corrigió con el procedimiento *gmm* de SAS (SAS, 2015).

En el Cuadro 5 se muestran los intervalos de confianza (IC) de los parámetros que se utilizarán para estimar el ancho de aplicabilidad de las estimaciones del modelo dentro del intervalo de la información usada y verificar los valores que se pueden esperar en los parámetros, como lo señalan Cepeda *et al.* (2008).

In Table 4 are summarized the values that assess the predictive ability of model (2), the deviation of their estimations and the results of the Shapiro-Wilk tests of normality of errors.

The deviation of model (2), in regard to the observed values against the predicted ones (E) is low, as well as the numbers of the mean of the residuals (DA). This situation is similar to that described by Benítez *et al.* (2004) in a study of site index for *P. caribaea* Morelet, and to the experience of Barreto *et al.* (2011) who, when estimating the normal diameter from the dimensions of the stump in *Casuarina equisetifolia* L. plantations, used the DA as an indicator of deviations from the models used. The negative value of DA and DA %, is because it has a slight overestimation in the predicted values of *dn* depending on *dt* for the *P. greggii* plantations.

The Shapiro-Wilk test showed normal errors, as it revealed a value of  $W = 0.9977$  ( $p = 0.0001$ ) close to 1, while analyzing the dispersion of the residuals showed no heteroscedasticity problems, as when the model was fit, it was corrected with the *gmm* of SAS procedure (SAS, 2015).

Table 5 shows the confidence intervals (CI) of the parameters to be used to estimate the width of applicability of the model estimates within the range of the information used and verify the values that can be expected in the parameters, as stated by Cepeda *et al.* (2008).

Cuadro 5. Intervalos de Confianza de los parámetros en el modelo (2) para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en *Metztlán, Hidalgo*.

Modelo	Parámetro	Estimación	Error estándar aproximado	IC <sup>+</sup>	IC <sup>-</sup>
(2)	$b_0$	0.1236	0.0033	0.133285	0.114013
	$b_1$	1.1469	0.0114	1.180243	1.113667

Table 5. Confidence Intervals of the parameters in model (2) in *Pinus greggii* Engelm. plantations in *Metztlán, Hidalgo*.

Model	Parameter	Estimation	Approximate standard error	IC <sup>+</sup>	IC <sup>-</sup>
(2)	$b_0$	0.1236	0.0033	0.133285	0.114013
	$b_1$	1.1469	0.0114	1.180243	1.113667

En la Figura 1, se observa la línea de tendencia de los valores estimados con el modelo (2) y los datos observados. La tendencia de las estimaciones hacia una línea recta (Diéguez *et al.*, 2003; Benítez *et al.*, 2004) y los valores de los estadísticos de bondad de ajuste del modelo, además de los resultados en las pruebas de exactitud del modelo (2) hacen confiable su aplicación dentro del intervalo de los datos utilizados para predecir el *dn*, a través

In Figure 1, the line of the tendency of the estimated values with model (2) and the observed data can be appreciated. The trend estimates to a straight line (Diéguez *et al.*, 2003; Benítez *et al.*, 2004) and the values of statistical goodness of fit of the model, in addition to the results of the accuracy test of model (2) make reliable its application within the range of the data used to predict *dn*, through the *dt* of *P. greggii* trees from

del  $dt$  en árboles de *P. greggii* provenientes de plantaciones con fines de restauración en Metztlán, Hidalgo. Sin embargo, como lo registran Benítez *et al.* (2004), los resultados obtenidos, y de acuerdo a la tendencia de la función, así como de la geometría del modelo, esta ecuación puede ser aplicable como referencia fuera del intervalo de datos usados en el ajuste, sin ser específicos a la muestra empleada.

plantations for restoration in Metztlán, Hidalgo. However, as recorded by Benítez *et al.* (2004), the results obtained, and according to the function trend as well as of the geometry of the model, this equation may be applicable as a reference outside the range of the data used in the fit, without being specific to the sample used.

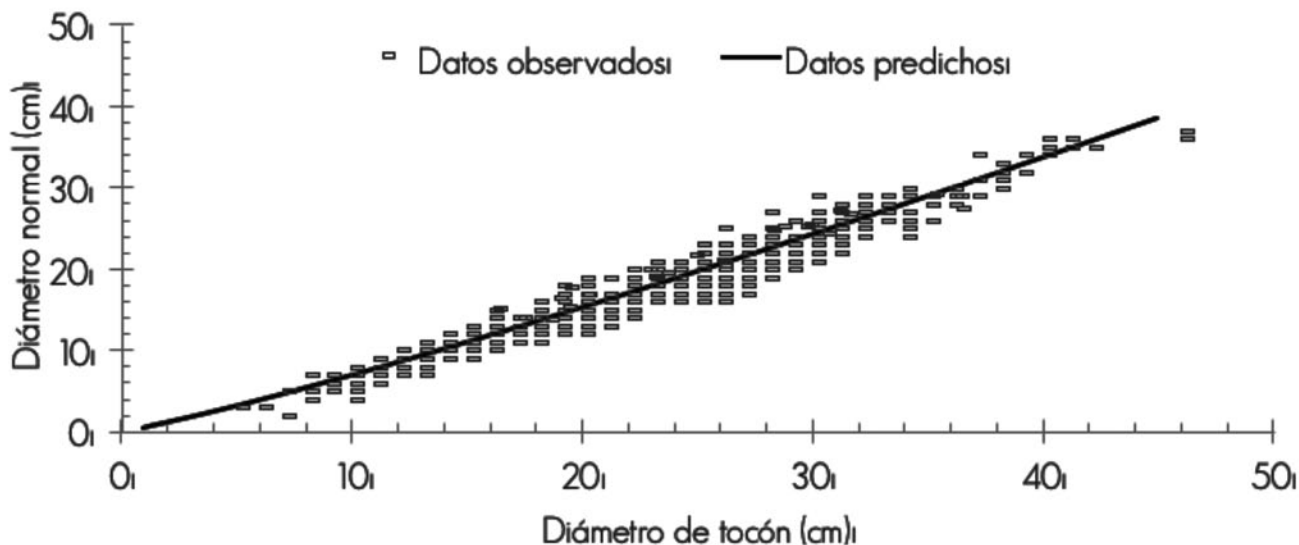


Figura 1. Comparativo gráfico de las estimaciones del  $dn$  en función del  $dt$  con el modelo (2) versus los observados para árboles provenientes de plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlán, Hidalgo.

Figure 1. Comparative graphic of the estimations of  $dn$  depending on  $dt$  with model (2) against those observed for trees from *Pinus greggii* Engelm. plantations in Metztlán, Hidalgo.

Al analizar los resultados por categoría diamétrica y determinar el factor de proporción ( $fp$ ) entre el  $dt$  y  $dn$ , se tiene que el  $fp$  promedio con las estimaciones del modelo es de 0.6822, valor conservador con respecto al obtenido para los datos observados, que fue de 0.7879. Las diferencias entre el empleo del modelo (2) y los factores de proporcionalidad al estimar el  $dn$ , mediante las dimensiones del tocón fueron inferiores a 1.4 cm del total de la muestra, situación que hace confiable a las estimaciones (Cuadro 6).

When analyzing the results by diametric class and determine the ratio factor ( $fp$ ) between  $dt$  and  $dn$ , the average  $fp$  with the model estimates is 0.6822, that is a conservative value compared to that obtained for the observed data, which was 0.7879. The differences between the use of the model (2) and the proportionality factors when estimating the  $dn$  by the dimensions of the stump were less than 1.4 cm of the total sample, a situation that makes reliable estimates (Table 6).





Cuadro 6. Estimación del  $dn$ , factores de proporción ( $dt/dn$ ) y diferencias entre los métodos para estimar el  $dn$  mediante las dimensiones del  $dt$  para árboles en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlán, Hidalgo.

$dt$ - Observado	$dn$ estimado con el modelo (2)	$fp$ - Datos estimados	$dn$ estimado con el $fp$ del modelo (2)	Diferencias entre estimaciones del $dn$ con el modelos (2) y $fp$	Estimación del $dn$ con el $fp$ promedio de 0.7879	Diferencias entre la estimación del $dn$ con el modelo (2) y el $fp$ promedio de la muestra
5	3.10	0.3853	1.93	1.17	3.94	0.84
10	6.86	0.5417	5.42	1.44	7.88	1.02
15	10.92	0.6260	9.39	1.53	11.82	0.90
20	15.18	0.6829	13.66	1.53	15.76	0.57
25	19.61	0.7254	18.13	1.48	19.70	0.08
30	24.18	0.7591	22.77	1.40	23.64	0.54
35	28.85	0.7869	27.54	1.31	27.58	1.27
40	33.63	0.8105	32.42	1.21	31.52	2.11
45	38.49	0.8309	37.39	1.10	35.46	3.03
Promedio	20.09	0.6832	18.74	1.35	19.70	1.15

Table 6. Estimation of  $dn$ , ratio factors ( $dt/dn$ ) and differences between the methods to estimate  $dn$  by means of the dimensions of  $dt$  for trees from *Pinus greggii* Engelm. plantations in Metztlán, Hidalgo.

Observed $dt$	Estimated $dn$ by model (2)	$fp$ - Estimated data	Estimated $dn$ with $fp$ by model (2)	Differences between estimations of $dn$ with models (2) and $fp$	Estimation of $dn$ with average $fp$ of 0.7879	Differences between the estimation of $dn$ with model (2) and the average $fp$ of the simple
5	3.10	0.3853	1.93	1.17	3.94	0.84
10	6.86	0.5417	5.42	1.44	7.88	1.02
15	10.92	0.6260	9.39	1.53	11.82	0.90
20	15.18	0.6829	13.66	1.53	15.76	0.57
25	19.61	0.7254	18.13	1.48	19.70	0.08
30	24.18	0.7591	22.77	1.40	23.64	0.54
35	28.85	0.7869	27.54	1.31	27.58	1.27
40	33.63	0.8105	32.42	1.21	31.52	2.11
45	38.49	0.8309	37.39	1.10	35.46	3.03
Average	20.09	0.6832	18.74	1.35	19.70	1.15

El uso del modelo (2) para la predicción del  $dn$  a partir del  $dt$  incluye como variable independiente la altura del tocón, como lo recomiendan Diéguez *et al.* (2003) al estimar el diámetro normal y del volumen del tronco con base en las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia, España, debido a que el fuste distorsiona su forma circular a medida que la altura aumenta. Corral *et al.* (2007) sugieren tomar en cuenta esta variable en el desarrollo de modelos cuando se conozca la altura del tocón, al utilizarlo para estimar el diámetro y volumen en las principales especies de pinos en Durango, México.

The use of model (2) for the prediction of  $dn$  from  $dt$  includes stump height as the independent variable, a situation recommend by Diéguez *et al.* (2003) to estimate the normal diameter and volume of the trunk based on the size of the stump for six commercial forest species in Galicia, Spain, because the bole distorts the circular shape as height increases. Corral *et al.* (2007) suggest to consider this variable in the development of models when the stump height is known, when used to estimate the diameter and volume in the main species of pine in Durango, Mexico.

Para ejemplificar la aplicación de este modelo, de manera práctica se plantea el supuesto de una tala clandestina en una plantación con características homogéneas, y coetánea de una superficie de 0.5 hectáreas y 300 árboles derribados, en la cual, de acuerdo a la altura de los árboles aledaños, se clasifica en un índice de sitio (IS) de 16 m (Hernández *et al.*, 2014) y el promedio de los diámetros de los tocones residuales es de 25 cm, con una altura del tocón aproximada de 0.31 m.

Por lo tanto, al aplicar la ecuación propuesta (2), se tiene:

$$d_n = 0.123649(25)\left(\frac{1.3}{0.31}\right)^{1.146955} = 18.89 \text{ cm}$$

El diámetro normal promedio estimado es de 18.89 cm. Con este valor de  $d_n$  estimado, y al aplicar la ecuación de volumen total para *P. greggii* propuesta por Muñoz *et al.* (2012) en esta región:

$$(V = 0.382849697 (d_n^2 H)^{0.866278861}) = 0.2356 \text{ m}^3$$

El volumen total promedio sería de 0.2356 m<sup>3</sup> por árbol, lo que arrojaría un aproximado del volumen extraído ilegalmente de 70.6776 m<sup>3</sup>. Con ese resultado, combinado con una distribución de productos maderables se podrán realizar valoraciones económicas para la cantidad de madera extraída.

Cabe resaltar que el procedimiento ideal sería aplicar el modelo a cada individuo, estimar el  $d_n$ , considerar la altura promedio y aplicar la ecuación de volumen total, todo ello para que finalmente se sumen todos los resultados y se obtenga una estimación con mayor precisión.

## Conclusiones

El ajuste del modelo (2) muestra una tendencia lineal entre las variables diámetro del tocón y diámetro normal, un buen ajuste estadístico, una predicción confiable de la variable dependiente y un bajo sesgo en las estimaciones. La inclusión de la altura de tocón ( $ht$ ) como variable independiente en los modelos de estimación del  $d_n$  a través del  $dt$ , mejora significativamente las predicciones realizadas.

Debido a las diferentes técnicas de derribo aplicadas en México y la topografía accidentada en las áreas de aprovechamiento y frentes de corta, se justifica la medición e inclusión de la altura del tocón en trabajos de inventarios forestales maderables.

Con la estimación confiable del diámetro normal en función del diámetro de tocón, es posible realizar la cuantificación y evaluación confiable por cortas o talas clandestinas, desastres naturales, la reconstrucción de la estructura del bosque antes

To illustrate the application of this model, in a practical manner, the assumption of illegal logging on a plantation with homogeneous characteristics and even-aged is proposed in an area of 0.5 hectares and 300 felled trees, in which, according to the height of the surrounding trees, is classified in a site index (SI) of 16 m (Hernández *et al.*, 2014) and the average of the diameters of the residual stumps is 25 cm, with a stump height around 0.31 m.

Therefore, by applying the proposed equation (2), there is:

$$d_n = 0.123649(25)\left(\frac{1.3}{0.31}\right)^{1.146955} = 18.89 \text{ cm}$$

The estimated average normal diameter is 18.89 cm. With this value of estimated  $d_n$  and when applying the total volume equation for *P. greggii* proposed by Muñoz *et al.* (2012):

$$(V = 0.382849697 (d_n^2 H)^{0.866278861}) = 0.2356 \text{ m}^3$$

The average total volume would be 0.2356 m<sup>3</sup> per tree, which would mean an approximate illegally extracted volume of 70.6776 m<sup>3</sup>. With this result, combined with a wood products distribution, economic assessments for the extracted amount of timber can be accomplished.


It is worth mentioning that the ideal procedure would be to apply the model to each individual, to estimate  $d_n$ , to consider the average height and to apply the equations of the total volume, all of which is done so that finally all the results are summed and a more accurate estimation is achieved.

## Conclusions

The fit of the model (2) shows a linear trend between stump diameter and normal diameter, a good statistical fit, a reliable prediction of the dependent variable and low bias in the estimates. The inclusion of stump height ( $ht$ ) as an independent variable in the estimation models of  $d_n$  through  $dt$ , significantly improves the predictions achieved.

Due to the different felling techniques applied in Mexico and the rugged terrain in the harvesting areas of development and cutting fronts, the measurement and inclusion of stump height in works of timber forest inventory is justified.

With the reliable estimate of the normal diameter from the diameter of the stump, it is possible to quantify and a good assessment for cuttings or illegal logging, natural disasters, reconstruction of forest structure before an intervention or evaluation of harvesting practices implemented when there is a loss of information. In addition, it can help to make estimates of the total height, volume, biomass and carbon in a more accurate way.

de una intervención o la evaluación de las prácticas de aprovechamiento aplicadas cuando ocurre una pérdida de información. Además, puede contribuir a realizar estimaciones de la altura total, volumen, biomasa o carbono de manera precisa. 

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribuciones por autor

Jonathan Hernández Ramos: apoyo de la investigación, análisis de los datos de campo, redacción, estructura y presentación de los resultados dentro del documento; Xavier García Cuevas: análisis de la información de campo, evaluador del análisis estadístico y ajuste de los modelos probados, y revisión del documento; José Jesús García Magaña: planeación, diseño y supervisor de trabajo de campo, revisor del documento y análisis de la aplicación de los resultados; Hipólito Jesús Muñoz Flores: planeación, diseño y supervisión de trabajo de campo, análisis de la aplicación de los resultados y revisión del documento; Juan Cosme Velarde Ramírez: evaluación de la aplicabilidad de la información obtenida en campo, evaluación y apoyo en el ajuste de las ecuaciones; y Edgar Hugo Olvera Delgadillo: diseño de la investigación, levantamiento de la información de campo, análisis de la aplicación de los resultados y revisión del documento.

## Referencias

- Aigbe, H. I., W. W. Modogu and B. A. Oyebade. 2012. Modeling volume from stump diameter of *Terminalia ivorensis* (A. CHEV) in Sokponba Forest Reserve, Edo State, Nigeria. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 7(3):146-151.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial en los trópicos. In: FAO (ed.). *Predicción del Rendimiento*. Montes Estudio 22/2. Vol. 2. Roma Italia. 118 p.
- Augusto, C. T., J. O. Vargas M. y M. Escalier H., 2009. Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles. Escuela de Ciencia Forestales de la Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. Documento Técnico Núm. 5. 27 p.
- Barreto-Medel, H., M. Frederic, G. Nepveu y C. D. Álvarez-Lazo. 2011. Curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de *Pinus caribea* Morelet var. *Caribea* Barret y Golfari de la empresa forestal integral MACURIJE (IFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Chapingo: Serie de Ciencias Forestales* 17(2): 245-252.
- Bava, J. O. y P. M. López B. 2006. Predicción del diámetro a la altura de pecho en función de las dimensiones del tocón de árboles de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego, Argentina. *Quebracho* 15:87-92.
- Benítez-Naranjo, J. Y., M. Rivero-Vega, A. Vidal-Corona, J. Rodríguez-Rodríguez y R. C. Álvarez-Rivera. 2004. Estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. en la provincia Camaquëy, Cuba. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 10(1):25-30.
- Castedo, F. y J. G. Álvarez. 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basado en una función de perfil del tronco. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 9 (2): 253-268.
- Cepeda-Cuervo, E., W. Aguilar, V. Cervantes, M. Corrales, I. Díaz y D. Rodríguez. 2008. Intervalos de confianza e intervalos de credibilidad para una proporción. *Revista Colombiana de Estadística* 31(2): 211-228.
- Chave, J. 1999. Study of structural, successional and spatial patterns in tropical rain forests using TROLL, a spatially explicit forest model. *Ecological Modelling* 124: 233-254.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

## Contribution by author

Jonathan Hernandez Ramos: support research, analysis of field data, writing, structure and presentation of the results within the document; Xavier García Cuevas: analysis of field data, statistical analysis and evaluation of fit of the tested models, and document review; José Jesús García Magaña: planning, design and field work supervisor, analysis of the application of results and review of the document; Hipólito Jesús Flores Muñoz: planning, design and supervision of fieldwork, analysis of the application of the results and document review; Juan Cosme Velarde Ramírez: assessment of the applicability of the information obtained in the field, evaluation and support in the fit of equations; Edgar Hugo Olvera Delgadillo: research design, field information survey, analysis of the application of the results and document review.

*End of the English version*



- Corral-Rivas, J. J., M. Barrio-Anta, O. A. Aguirre-Calderón and U. Diéguez-Aranda. 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (México). *Forestry* 80 (1): 29 - 40.
- Delgado, L. A., M. F. Acevedo, H. Castellanos, H. Ramírez y J. Serrano. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la Reserva Forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia* 30(5):275-283.
- Diéguez, A. U., M. Barrio A., F. Castedo D. y M. Balboa M. 2003. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12(2):131-139.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A. México, D.F., México. pp. 46-52.
- Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. *American Journal of Science* 40: 748-758.
- Gómez-Aparicio, L., J. M. Ávila y L. Cayuela. 2013. Métodos de máxima verosimilitud en ecología y su aplicación en modelos de vecindad. *Ecosistemas* 22(3):12-20.
- Gujarati, D. N. 2010. *Econometría*. 5ª edición. Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana. México, D.F., México 921 p.
- Hernández-Ramos, J., J. J. García-Magaña, E. H. Olvera-Delgadillo, J. C. Velarde-Ramírez, X. García-Cuevas y H. J. Muñoz-Flores. 2014. Índice de sitio para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm., en Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 29(2):167-176.
- Huang, S. 2002. Validating and localizing growth and yield models: procedures, problems and prospects. In: Amaro A., D. Y. Reed and P. Soares. (ed.). *Proceedings of IUFRO Workshop on Reality, Models and Parameter Estimation: the Forestry Scenario*. Sesimbra, Portugal. [http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/Forestry/R6915BTOR\\_Sesimbra.pdf](http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/Forestry/R6915BTOR_Sesimbra.pdf) (1 de septiembre de 2015).

- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (Inegi). 1992. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 140 p.
- King, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal Tropical Ecology* 12: 25-44.
- Martin, J. G., D. Kloeppel B., L. Schaefer T., L. Kimbler D. and G. McNulty S. 1998. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1648-1659.
- Martínez-López, L. y A. Acosta-Ramos. 2014. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina* en Ixtlán, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 20 (1):59-70.
- Moliner, M. L. 2003. ¿Y si los datos no siguen una distribución normal? Asociación de la Sociedad Española de Hipertensión. <http://www.seh-lilha.org/staf1.htm> (11 de septiembre de 2016).
- Muñoz, F. H. J., J. C. Velarde R., J. J. García M., J. T. Sáenz R., E. H. Olvera D. y J. Hernández R. 2012. Predicción de volúmenes de fuste total para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14): 11-22.
- Návar-Cháidez, J., F. J. Rodríguez-Flores y P. A. Domínguez-Caballero. 2013. Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: Aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana* 24(2): 347-356.
- Niklas, K. J. and J. Enquist B. 2002. On the vegetative biomass partitioning of seed plant leaves, stems, and roots. *The American Naturalist* 159: 482-497.
- Núñez, P., S. E. Calderón y S. Gil. 2010. Búsqueda de orden y armonía en la naturaleza, descubriendo leyes de escala en el aula. 2010. *Latin American Journal of Physics Education* 4(1):118-126.
- Pompa-García, M., H. M. De los Santos-Posadas, M. E. Zepeda-Bautista y J. J. Corral-Rivas. 2011. Un modelo dendrométrico para estimación del diámetro normal a partir de las dimensiones del tocón. *Agrociencia* 45(3):379-387.
- Prodan, M., R. Peters, R., F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal, Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA)- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). San José, Costa Rica. 561 p.
- Posada, S. L. y R. Rosero N. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20:141-148.
- Quiñonez-Barraza, G., F. Cruz. C., B. Vargas L. y F. J. Hernández. 2012. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(9): 23-39.
- Quiñonez-Barraza, G., H. M. De los Santos-Posadas, J. G. Álvarez-González y A. Velázquez-Martínez. 2014. Sistema compatible de ahumamiento y volumen comercial para las principales especies de *Pinus* en Durango, México. *Agrociencia* 48(5):553-567.
- Tamarit U., J. C., H. M. De los Santos P., A. Aldrete, J. R. Valdez-Lazalde, H. Ramírez M. y V. Guerra C. 2013. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Tectona grandis* L. f. mediante funciones compatibles de ahumamiento - volumen. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(21):58-74.
- Statistical Analysis Software (SAS). 2015. SAS/STATM User's guide, Release 9.2 SAS, Institute Inc. [http://support.sas.com/documentation/cdl/en/etsug/60372/HTML/default/viewer.htm#etsug\\_model\\_sect043.htm](http://support.sas.com/documentation/cdl/en/etsug/60372/HTML/default/viewer.htm#etsug_model_sect043.htm) (11 de septiembre de 2016).
- Wintle, B. A., M. A. McCarthy, C. T. Volinsky and R. P. Kavanagh. 2003. The use of Bayesian model averaging to better represent uncertainty in ecological models. *Conservation Biology* 17:1579-1590.
- Zeide, B. and C. Vanderschaaf. 2002. The effect of density on the height-diameter relationship. In: Outcalt, K. W. (ed.). Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. USDA. Ashville, NC, USA. Gen. Tech. Rep. SRS-48, pp. 463-466.







## Artículo / Article

# Precisión de los coeficientes y cocientes de forma en la estimación del volumen de *Pinus montezumae* Lamb.

## Accuracy of form coefficients and quotients in estimating the volume of *Pinus montezumae* Lamb.

Guadalupe Geraldine García Espinoza<sup>1</sup>, José Jesús García Magaña<sup>2</sup>,  
Jonathan Hernández Ramos<sup>3</sup>, Hipólito Jesús Muñoz Flores<sup>4</sup>, Xavier García Cuevas<sup>3</sup>  
y Adrián Hernández Ramos<sup>5</sup>

### Resumen

La determinación exacta del volumen es necesaria para la sostenibilidad de las masas forestales y fundamental para el manejo silvícola; además de que las variables empleadas para calcularlo cambian dinámicamente de dimensiones como producto de la manipulación de los bosques. El objetivo del estudio que se describe a continuación fue evaluar la precisión de siete coeficientes y cinco cocientes de forma para la estimación del volumen del tronco de árboles en pie de *Pinus montezumae*, en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Con el telerreliscopio de *Bitterlich* se midieron 245 árboles, se tomaron las alturas y los diámetros a distintas secciones desde la base, diámetro normal a 1.3 m y hasta la altura total. Con 161 muestras se generó una ecuación, cuyos volúmenes se compararon con los obtenidos al emplear coeficientes y cocientes de 84 árboles. Se calculó el sesgo y la diferencia agregada en porcentaje para ponderar la precisión de los métodos. De los coeficientes y cocientes de forma solo tres lograron lo requerido para la estimación confiable del volumen de árboles en pie: el coeficiente mórfico del tronco (0.52 %), el coeficiente mórfico del fuste a la altura total (0.85 %) y el coeficiente de *Pressler* (1.18 %). Los resultados indican que el uso de los coeficientes mórficos y los cocientes de forma dependen de la estructura del tronco, debido a que los cocientes estiman mejor las formas cónicas y neiloidicas, mientras que los coeficientes a los paraboloides.

**Palabras clave:** Cocientes de forma, coeficientes de forma, Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, modelos matemáticos, *Pinus montezumae* Lamb., volumen maderable.

### Abstract

Accurate determination of timber volume is necessary for the sustainable forest management because silvicultural treatments promote changes on their mensuration characteristics. The aim of this study was to evaluate the accuracy of seven form coefficients and five quotients to estimate the stem volume of standing trees of *Pinus montezumae* Lamb. It was carried out in forests of *Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro*; Michoacán where sections diameters and lengths of 245 trees were measured with a *Bitterlich* relaskope. Volumes of coefficients and quotients were compared to calculated values of one generated equation. Of all coefficients and quotients tested, only three forms achieved the precision required: the morphic coefficient of the bole (0.52 %), the morphic coefficient of the bole to the total height (0.85 %) and *Pressler* coefficient (1.18 %). Results shows that the use of morphic coefficients and form quotients depends on the conformation of the bole of the species as quotients make a better estimation of the conic and neiloidic shapes while coefficients do for the paraboloids.

**Key words:** Form quotients, form coefficients, *Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro*, mathematical models, *Pinus montezumae* Lamb., timber volume.

Fecha de recepción/Received date: 9 de noviembre de 2015; Fecha de aceptación/Accepted date: 6 de febrero de 2016.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Correo-e: lyera\_1623@hotmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Agrobiología Presidente Juárez-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

<sup>3</sup> Campo Experimental Chetumal-INIFAP, México.

<sup>4</sup> Campo Experimental Uruapan-INIFAP, México.

<sup>5</sup> Colegio de Postgraduados, México.

## Introducción

La precisión en el cálculo del volumen de madera en pie es indispensable para el aprovechamiento forestal sustentable, para lo cual se debe disponer de herramientas que permitan obtener tal información de un árbol o de la masa de forma rápida y confiable, mediante variables sencillas de medir como el diámetro normal ( $d_n$ ) o la altura total ( $h$ ) (Barrio *et al.*, 2004).

La evolución de los rodales en sus características dasométricas resultantes del manejo silvícola, modifica de manera proporcional la forma de los árboles, la calidad de la madera y la distribución de sus productos (Uranga *et al.*, 2015), que están intrínsecamente relacionadas con las condiciones de los sitios, la densidad y la posición social de cada individuo (Harold y Hocker, 1984). Por lo tanto, es importante la generación de nuevas tablas de volumen y factores de forma ( $ff$ ) para evitar errores en la estimación de las existencias maderables, lo que altera los programas anuales de corta y, en general, la planeación y ejecución del manejo de los bosques (Carrillo *et al.*, 2004).

Un coeficiente mórfico o factor de forma se define como el cociente entre el volumen real del tronco y el volumen de un modelo que se toma como referencia y se distingue con la letra  $f$ ; por su parte, un cociente de forma es la expresión entre dos diámetros medidos a alturas diferentes del tronco, un diámetro de referencia y otro a una altura superior, y se denotan con la letra  $k$  (Diéguez *et al.*, 2003; Prodan *et al.*, 1997).

En la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, desde 1983 se ha aplicado el manejo silvícola al bosque, mismo que junto con otros factores han modificado las características de las masas arboladas a lo largo del tiempo, lo que a su vez ha impactado en la forma de los árboles y la distribución de sus productos, como en casos observados por Van Laar y Akça (2007), Picard *et al.* (2012) y Uranga *et al.* (2015). Por lo citado, y debido a que autores como Santiago *et al.* (2013) señalan cambios en la producción y rendimiento de las masas forestales de acuerdo a la edad, se considera importante realizar nuevos estudios para calcular el volumen maderable con herramientas actualizadas. En virtud de la necesidad de contar con esta información, el objetivo del presente estudio fue evaluar la precisión de los coeficientes y cocientes de forma para la estimación del volumen del tronco de árboles en pie de *Pinus montezumae* Lamb., en bosques de la población referida.

## Introduction

The accuracy in calculating the volume of standing timber is essential for sustainable forestry, for which there must be tools to obtain such information from a tree or mass quickly and reliably, by measuring variables easy to get as the normal diameter ( $d_n$ ) or the total height ( $h$ ) (Barrio *et al.*, 2004).

The evolution of forest stands in their mensuration characteristics resulting from silvicultural management modifies in proportionally the shape of the trees, the wood quality and the distribution of its products (Uranga *et al.*, 2015), which are inherently related to site conditions, density and status of each individual (Harold and Hocker, 1984). Therefore, it is important to generate new volume tables and form factors (FF) to avoid errors in estimating timber stocks, disrupting the annual cutting programs and, in general, the planning and execution of forest management (Carrillo *et al.*, 2004).

A morphic coefficient or form factor is defined as the quotient between the actual volume of the trunk and the volume of a model that is taken as a reference and is highlighted with the letter  $f$ ; meanwhile a quotient so is the expression between two diameters measured at different heights of the trunk, one reference diameter and another at a higher height and are denoted with the letter  $k$  (Diéguez *et al.*, 2003; Prodan *et al.*, 1997).

In the *Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro*, Michoacán State, a silvicultural management of the forest has been applied since 1983, which, along with other factors, have changed the characteristics of tree stands over time, which in turn has impacted the shape of the trees and the distribution of its products as in situations observed by Van Laar and Akça (2007), Picard *et al.* (2012) and Uranga *et al.* (2015). As quoted before and, because authors like Santiago *et al.* (2013) indicate changes in the production and yield of forest stands according to age, it is considered important to carry out new studies to estimate the timber volume with updated tools. Under the need for this information, the objective of this study was to evaluate the accuracy of the coefficients and quotients as a means to make the calculations of the volume of the trunk of standing trees of *Pinus montezumae* Lamb., in forests of the population referred.



## Materiales y Métodos

### Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán que posee una superficie de 18 138 ha y se ubica entre los 19°34' y 19°25' norte y 102°17' y 102°00' oeste. El clima es templado húmedo de tipo C(w<sub>2</sub>), la temperatura media anual es de 18 °C y oscila entre -3 y 18 °C en el mes más frío. El promedio anual de precipitación es de 1 600 mm que se distribuye de junio a octubre. Los suelos son de origen volcánico y se clasifican en los tipos Andosol, Regosol y Feozems. La vegetación es propia del clima templado y en el componente arbóreo destacan *Pinus michoacana* Martínez, *P. montezumae*, *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. pseudostrobus* Lindl., *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. y *Quercus* spp. (Aguilar, 2008).

### Muestreo y toma de datos

Selección y tamaño de la muestra. Se eligieron árboles sanos, de fuste recto y limpio, que no estuvieran aislados ni a las orillas del rodal. Para conocer el intervalo de las categorías diamétricas existentes, se realizó un muestreo preliminar de la masa. En la literatura se sugiere utilizar de 23 a 229 árboles para obtener tablas locales y regionales o una ecuación de volumen, (Da Cunha y Guimarães, 2009; Honorato, 2011). En este estudio se seleccionaron entre 8 y 16 árboles de cada categoría diamétrica, que se denominaron "árboles tipo"; se trabajó con un total de 245 ejemplares, de los cuales se consideraron 161 para generar una ecuación de volumen y 84 muestras para calcular los coeficientes y cocientes de forma.

Medición de las variables. Los diámetros de la base, del tocón y a la altura de 1.3 m en el fuste se midieron con una forcípula (*Haglöf Mantax Blue* de 80 cm); la altura total y los diámetros a diferentes alturas, con el telerrelascopio de *Bitterlich*® (Pat. No. 172305). Los volúmenes por troza correspondientes a diferentes secciones del tronco se calcularon con la fórmula de *Smalian*, y la punta con la del cono (Cuadro 1). El volumen fustal (VFU), mediante la suma del volumen de todas las secciones del árbol.

## Materials and Methods

### Description of the study area

The area where the study was carried out belongs to the *Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro*, Michoacán State that has an area of 18 138 hectares and is located between 19°34' and 19°25' north and 102°17' and 102°00' west. The climate is of the temperate humid type C (w<sub>2</sub>), the average annual temperature is 18 °C and ranges from -3 to 18 °C in the coldest month. The average annual rainfall is 1 600 mm distributed from June to October. Soils are of volcanic origin and are classified into the Andosol, Regosol and Feozems types. Vegetation is proper to the temperate climate and the tree component includes *Pinus michoacana* Martínez, *P. montezumae*, *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. pseudostrobus* Lindl., *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. and *Quercus* spp. (Aguilar, 2008).

### Sampling and data collection

Choice and sample size. Healthy trees, with straight and clear bole were chosen, which were not isolated or on the edge of the stand. A preliminary sampling of the mass was performed to determine the range of the existing diametric categories. In literature it is suggested between 23 and 229 trees for local and regional tables or for an equation of volume (Da Cunha and Guimarães, 2009; Honorato, 2011). Between 8 and 16 trees in each diameter category were selected, which were referred to as "type trees"; a total of 245 trees were used, from which 161 were taken to generate an equation of volume and 84 samples to calculate the morphic coefficients and quotients.

Measurement of variables. The diameters of the base, stump height and 1.3 m in the shaft were measured with a caliper (*Haglöf Mantax Blue* 80 cm), the total height and diameters at different heights with a *Bitterlich* relascope™ (Pat. No. 172305). The volumes corresponding to different sections of the trunk were calculated with the *Smalian* formula and the tip with that of the cone (Table 1). The stem volume (VFU, from its acronym in Spanish), by adding the volume of all sections of the tree.



Cuadro 1. Expresiones para el cálculo del volumen de las secciones del tronco.

Sección	Ecuación
Volumen de tocón	$V_{\text{tocón}} = (ab_1) \cdot 0.30$
Volumen por troza	$V_{\text{sección}} = \left( \frac{ab_0 + ab_1}{2} \right) LS$
Volumen de punta	$V_{\text{punta}} = \left( \frac{(ab_n) LP}{3} \right)$

Donde:

- $ab_1$  = Área basal del tocón (m<sup>2</sup>)
- $ab_0$  = Área basal de la sección mayor (m<sup>2</sup>)
- $ab_1$  = Área basal de la sección menor (m<sup>2</sup>)
- $ab_n$  = Área de la base de la punta (m<sup>2</sup>)
- $LS$  = Longitud de troza o sección (m)
- $LP$  = Longitud de punta (m)

### Cálculo de los coeficientes mórficos (f) y cocientes de forma (k)

Para facilitar la identificación de las partes de los árboles se denominó "tronco" al eje central del árbol y "fuste" a la longitud del eje hasta la punta delgada de 10 cm (Diéguez *et al.*, 2003). Con el volumen de cada individuo se determinaron los coeficientes mórficos y los cocientes de forma, con las ecuaciones indicadas en el Cuadro 2.

### Análisis estadístico

Detección de datos atípicos. Con el paquete *Statgraphics Centurion*® y la opción "Mejorar-Análisis de regresión-Varios factores-Regresión múltiple" (Statpoint, 2005), se detectaron los datos atípicos que influyeron negativamente en el ajuste de las ecuaciones. Se eliminaron las observaciones con residuos estudentizados > 2 en valor absoluto, con la expresión siguiente:

$$RStudent = r_i / (s(i) \sqrt{1-h_i})$$

Si  $RStudent \leq 2$ , evaluar si es mayor a 2 y en su caso eliminar la observación.

Table 1. Expressions for calculating the volume of the trunk sections.

Section	Equation
Stump volume	$V_{\text{stump}} = (ab_1) \cdot 0.30$
Log volumen	$V_{\text{log}} = \left( \frac{ab_0 + ab_1}{2} \right) LS$
Tip volume	$V_{\text{tip}} = \left( \frac{(ab_n) LP}{3} \right)$

Where:

- $ab_1$  = Basal area of the stump (m<sup>2</sup>)
- $ab_0$  = Basal area of the largest section (m<sup>2</sup>)
- $ab_1$  = Basal area of the smallest section (m<sup>2</sup>)
- $ab_n$  = Area of the basis of the tip (m<sup>2</sup>)
- $LS$  = Length of the log or section (m)
- $LP$  = Length of the tip (m)

### Calculation of the morphic coefficients (f) and shape quotients (k)

In order to make the identification of the trees easier, the central axis was named "trunk" and "bole" the length of the axis up to the thin tip of 10 cm (Diéguez *et al.*, 2003). The calculation of the morphic coefficients and shape quotients was made with the volume of each tree with the equations shown in Table 2.

### Statistical analysis

Detecting outliers. With the *Statgraphics Centurion* package and the "Improve-Regression Analysis Multiple Regression -Several factors" (StatPoint, 2005), outliers that negatively influenced the adjustment equations were detected. The comments were removed with Studentized >2 residues in absolute value, with the following expression:

$$RStudent = r_i / (s(i) \sqrt{1-h_i})$$

If  $RStudent \leq 2$ , assess if it is greater than 2 and in such a case, eliminate observations.



Cuadro 2. Ecuaciones y notación de los coeficientes y cocientes de forma evaluados para estimar el volumen de árboles en pie de *Pinus montezumae* Lamb.

Coeficientes (f) y Cocientes de forma (k)	Ecuación	Notación
Coeficiente mórfico del tronco	$f = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h}$	$d$ = Diámetro normal a 1.3 sobre el nivel del suelo (m)
Coeficiente mórfico del fuste a la altura total	$f_x = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h}$	$d_0$ = Diámetro de la sección basal del árbol
Coeficiente mórfico del fuste a la altura del fuste	$f_{hx} = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h_x}$	$d_{0.1h}$ = Diámetro del tronco a un 10 % de la altura total
Coeficiente referido a la sección basal	$f_0 = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot h}$	$d_{0.3h}$ = Diámetro a 30 % de la altura total
Coeficiente mórfico de Hohendahl para el tronco	$f_{0.1h} = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{0.1h}^2 \cdot h}$	$d_{0.5h}$ = Diámetro a 50 % de la altura total
Coeficiente mórfico de Hohendahl para el fuste a la altura total	$f_{x0.1h} = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{0.1h}^2 \cdot h}$	$d_5$ = Diámetro a 5 m sobre el nivel del suelo
Coeficiente mórfico de Hohendahl para el fuste a la altura del fuste	$f_{x0.1hx} = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{0.1h}^2 \cdot h_x}$	$h$ = Altura total (m)
Coeficiente mórfico de Pressler	$f_P = \frac{\frac{2}{3} \cdot h_P}{h}$	$h_x$ = Altura del fuste en punta delgada (10 cm)
Cociente de forma normal de Schiffel	$K = \frac{d_{0.5h}}{d}$	$h_P$ = La altura de Pressler es la altura en la que se ubica el diámetro que corresponde a la mitad del diámetro normal
Cociente de forma normal de Pollanschütz	$K = \frac{d_{0.3h}}{d}$	$V_x$ = Volumen del fuste hasta un determinado diámetro en punta delgada $x$ (10 cm) (Prodan, 1997; Diéguez et al., 2003)
Cociente de forma absoluto de Johnson	$K_j = \frac{d_{0.5(h-1.3)}}{d}$	
Cociente de forma de Gierunzinski	$K_{GIC} = \frac{(d_{0.5})^2}{d}$	
Cociente de forma de Zimmerle	$K_z = \frac{d_5}{d}$	

Table 2. Equations and notation of the coefficients and quotients evaluated to estimate the volume of standing *Pinus montezumae* Lamb. trees.

Morphic coefficients (f) and quotients (k)	Equation	Notation
Morphic coefficient of the trunk	$f = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h}$	$d$ = Normal diameter at 1.3 over the ground (m) $d_0$ = Diameter of the basal section of the tree
Morphic coefficient of the bole at total height	$f_x = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h}$	$d_{0.1h}$ = Diameter of the trunk at 10 % of the total height
Morphic coefficient of the bole at the height of the bole	$f_{xhx} = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot hx}$	$d_{0.3h}$ = Diameter at 30 % of the total height $d_{0.5h}$ = Diameter at 50 % of the total height.
Referred coefficient to the basal section	$f_0 = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot h}$	$d_5$ = Diameter at 5 m over the level of the ground $h$ = Total height (m)
Hohendahl's morphic coefficient for the trunk	$f_{0.1h} = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{0.1h}^2 \cdot h}$	$hx$ = Height of the bole at the thin tip (10 cm)
Hohendahl's morphic coefficient for the bole at total height	$f_{x0.1h} = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{0.1h}^2 \cdot h}$	$hP$ = Pressler's height is the height of half of the normal diameter.
Hohendahl's morphic coefficient for the bole at the height of the bole	$f_{x0.1hx} = \frac{V_x}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{0.1h}^2 \cdot hx}$	$V_x$ = Volume of the bole up to certain diameter in an x thin tip (10 cm) (Prodan, 1997; Diéguez et al., 2003)
Pressler's morphic coefficient	$fP = \frac{\frac{2}{3} \cdot hP}{h}$	
Schiffel's coefficient of normal shape	$K = \frac{d_{0.5h}}{d}$	
Pollanschütz's quotient of normal shape	$K = \frac{d_{0.3h}}{d}$	
Johnson's quotient of absolute shape	$K_j = \frac{d_{0.5(h-1.3)}}{d}$	
Gierunzinski's quotient of shape	$K_{GIC} = \frac{(d_{0.5})^2}{d}$	
Zimmerle's quotient of shape	$K_z = \frac{d_5}{d}$	



Cuadro 3. Modelos matemáticos empleados para estimar el volumen de *Pinus montezumae* Lamb.

Modelo	Forma no lineal	Forma lineal
<i>Schumacher-Hall</i>	$VFU = ad^b h^c$	$\ln VFU = \ln a + b \ln d + c \ln h$
<i>Thornber</i>	$VFU = a (h/d)^b (d^2 h)$	$\ln VFU = \ln a + b \ln(h/d) + \ln(d^2 h)$
<i>Spurr con Variable Combinada Aritmética</i>	$VFU = a (d^2 h)^b$	$VFU = \ln a + b \ln(d^2 h)$
<i>Spurr con Variable Combinada Logarítmica</i>	$VFU = a (d^2 h)^b$	$VFU = \ln a + b \ln(d^2 h)$
<i>Korsun</i>	$VFU = a (d+1)^b h^c$	$VFU = \ln a + b \ln(d+1) + c \ln h$

Table 3. Mathematical models used to estimate the volume of *Pinus montezumae* Lamb.

Model	Non-linear form	Linear form
<i>Schumacher-Hall</i>	$VFU = ad^b h^c$	$\ln VFU = \ln a + b \ln d + c \ln h$
<i>Thornber</i>	$VFU = a (h/d)^b (d^2 h)$	$\ln VFU = \ln a + b \ln(h/d) + \ln(d^2 h)$
<i>Spurr with Arithmetic Combined Variable</i>	$VFU = a (d^2 h)^b$	$VFU = \ln a + b \ln(d^2 h)$
<i>Spurr Logarithmic Combined Variable</i>	$VFU = a (d^2 h)^b$	$VFU = \ln a + b \ln(d^2 h)$
<i>Korsun</i>	$VFU = a (d+1)^b h^c$	$VFU = \ln a + b \ln(d+1) + c \ln h$

Análisis de correlación y regresión. Se ajustaron modelos matemáticos para predecir el volumen de los árboles en pie, con el paquete estadístico SAS v. 9 (SAS, 2009). En el ajuste se emplearon los modelos de *Schumacher-Hall*, *Thornber*, *Spurr con Variable Combinada Aritmética*, *Spurr con Variable Combinada Logarítmica* y *Korsun* (Cuadro 3); se compararon los estadísticos: cuadrado medio del error (CME), Coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ajustado) y la significancia del modelo mediante F calculada y de los parámetros obtenidos. Además, se analizó de forma gráfica la dispersión de los residuales, la autocorrelación de los errores mediante la prueba de *Durbin-Watson* y la normalidad de los datos con la prueba de *Shapiro-Wilk*.

Correlation and regression analysis. Mathematical models were fitted to predict the volume of standing trees, with the SAS v. 9 statistical package (SAS, 2009). In the adjustment, the following models, *Schumacher-Hall*, *Thornber*, *Spurr with Arithmetic Combined Variable*, *Spurr with Logarithmic Combined Variable* and *Korsun* (Table 3) were used; these statistics were compared: mean error (CME) square, fitted coefficient of determination (fitted  $R^2$ ) and the significance of the model by calculated F and the parameters obtained. In addition, the dispersion of the residuals, the autocorrelation of errors by the *Durbin-Watson* and data normality with *Shapiro-Wilk* test were graphically analyzed.



Los volúmenes calculados mediante la ecuación de mejor ajuste se contrastaron con los volúmenes obtenidos con cada uno de los coeficientes y/o cocientes de forma, y se evaluaron mediante las desviaciones expresadas en términos de la Diferencia Agregada (DA) en porcentaje. La regla de decisión planteada fue: el volumen determinado por los coeficientes y/o cocientes de forma con DA cercano a 1 % se pueden utilizar de modo confiable; asimismo, se consideró el intervalo y la desviación estándar de las observaciones. Con base en los trabajos de Romahn *et al.* (1994) y Fonseca *et al.* (2009), la expresión para la Desviación Agregada es:

$$DA\% = \frac{(\sum V_c - \sum V_r)}{\sum V_c} \times 100$$

Donde:

- DA = Diferencia agregada en porcentaje
- $\sum V_c$  = Sumatoria de los volúmenes calculados o estimados
- $\sum V_r$  = Sumatoria de los volúmenes reales

## Resultados y Discusión

Tamaño de muestra. Para la ecuación de volumen, el tamaño final de la muestra después de eliminar los datos atípicos fue de 157 árboles y 84 para el cálculo de los coeficientes y cocientes de forma. Algunos autores emplean diferente número de muestras para la construcción de modelos de volumen, entre ellos García *et al.* (2012), quienes para *P. michoacana* y *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez emplearon 207 y 220 árboles, respectivamente; Lores *et al.* (2010) trabajaron con 23 muestras de *Calophyllum brasiliense* Cambess, y Montes de Oca *et al.* (2009) con 124 árboles de *Pinus duranguensis* Martínez. La muestra utilizada para generar, tanto la ecuación de volumen como los factores de forma cumple para obtener resultados confiables.

Análisis de regresión y correlación. Los modelos de Schumacher-Hall y Thornber presentaron valores bajos en el CME. El valor de probabilidad es significativo ( $Pr < 0.0001$ ) para todos los modelos, además la explicación de la muestra, por ellos, es superior a 99 %. El análisis de regresión y los indicadores estadísticos de bondad de ajuste se muestran en el Cuadro 4.

The volumes that were calculated with the best fit equation were compared with the volumes obtained with each of the morphic coefficients and / or quotients of shape, and evaluated by the deviations expressed in terms of the Aggregate Difference (DA, for its acronym in Spanish) as a percentage. The decision rule was: the volume that came from the form coefficients or quotients with DA close to 1 % can be used reliably; also the range and standard deviation of the observations was considered. Based on the works of Romahn *et al.* (1994) and Fonseca *et al.* (2009), the expression to calculate the Aggregate Deviation is:

$$DA\% = \frac{(\sum V_c - \sum V_r)}{\sum V_c} \times 100$$

Where:

- DA = Aggregate Difference in percentage
- $\sum V_c$  = Sum of the calculated or estimated volumes
- $\sum V_r$  = Sum of the real volumes

## Results and Discussion

Sample size. For the volume equation, the final size of the sample after removing outliers, trees was 157 and for calculating the morphic coefficients and quotients 84 were used. Some authors take different number of samples for building volume models, including García *et al.* (2012) who used 207 *P. michoacana* and 220 *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez; Lores *et al.* (2010) worked with 23 samples of *Calophyllum brasiliense* Cambess and Montes de Oca *et al.* (2009) with 124 trees of *Pinus duranguensis* Martínez. The sample used to generate both, the volume equation as well as the form factors, complies to support reliable results.

Regression analysis and correlation. The Schumacher-Hall and Thornber models had low values in the mean squared error (MSE) (CME, for its acronym in Spanish). The probability value is significant ( $Pr < 0.0001$ ) for all models as well as the explanation of the sample by them that exceeds 99 %. The results of the regression analysis and statistical indicators of goodness of fit are presented in Table 4.



Cuadro 4. Resumen de resultados de los estadísticos de cada modelo probado.

Modelo	GL	CME	F calculada	Probabilidad	R <sup>2</sup> Ajustado
Schumacher-Hall	156	0.00048738	236450	0.0001	0.9997
Thornber	156	0.00048738	236450	0.0001	0.9997
Korsun	156	0.00048801	236142	0.0001	0.9997
Spurr con Variable Combinada Logarítmica	156	0.00052355	440216	0.0001	0.9996
Spurr con Variable Combinada Aritmética	156	0.00342	202255	0.0001	0.9992

GL = Grados de libertad; CME = Cuadrado medio del error.

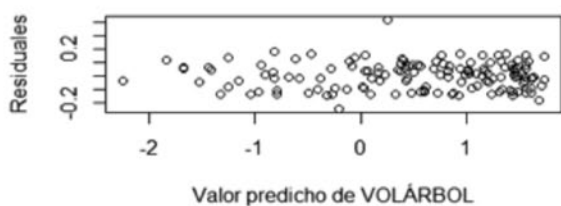
Table 4. Summary of statistical results of each tested model.

Model	GL	CME	Calculated F	Probability	Fitted R <sup>2</sup>
Schumacher-Hall	156	0.00048738	236450	0.0001	0.9997
Thornber	156	0.00048738	236450	0.0001	0.9997
Korsun	156	0.00048801	236142	0.0001	0.9997
Spurr with Logarithmic Combined Variable	156	0.00052355	440216	0.0001	0.9996
Spurr with Arithmetic Combined Variable	156	0.00342	202255	0.0001	0.9992

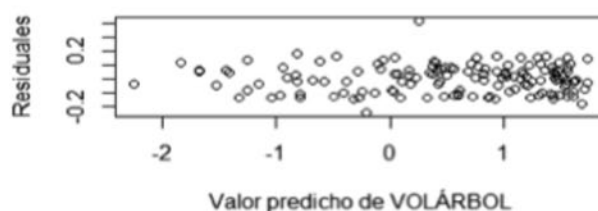
GL = Degrees of freedom; CME = Mean squared error.

Distribución gráfica de residuales. Se llevó a cabo el análisis de la distribución de los residuales de los mejores modelos, para determinar la no existencia de multicolinealidad; que los errores no estén correlacionados, que se distribuyan normalmente, y que el error tenga varianza uniforme (Alder, 1980; Velasco *et al.*, 2007; Da Cunha y Guimarães, 2009); además de examinar, visualmente, la forma de las relaciones y corroborar su homocedasticidad o heterocedasticidad (Prodan *et al.*, 1997). El análisis resultó sin tendencias (Figura 1).

Graphical distribution of residuals. The analysis of distribution of the residuals of the best models to determine the nonexistence of collinearity was performed, that the errors are uncorrelated, that they are normally distributed and that error has a uniform variance (Alder, 1980; Velasco *et al.*, 2007; Da Cunha and Guimarães, 2009); in addition to visually examine how relationships work and to corroborate their homocedasticity or heteroscedasticity (Prodan *et al.*, 1997); the analysis revealed no trends (Figure 1).



A) Modelo de Schumacher-Hall



B) Modelo de Thornber

Figura 1. Distribución de los residuales.

Figure 1. Distribution of residuals.

Los modelos de Schumacher-Hall y de Thornber revelaron resultados estadísticos y gráficas de residuales similares; se prefirió el primero por la parsimonia del mismo, mayor facilidad de cálculo y por ser el más empleado en bosques de coníferas.

The Schumacher-Hall and Thornber Models revealed statistical and graphical results of similar residuals; the first was preferred by the parsimony of it, easier calculations and for being the most used in coniferous forests.

Validación del modelo Schumacher-Hall. En el Cuadro 5 se reúnen los estadísticos de Durbin-Watson y de Shapiro-Wilk, así como la significancia de los parámetros  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  del ajuste estadístico.

Validation of the Schumacher-Hall model. In Table 5 are the results of the Durbin-Watson and Shapiro-Wilk statistics and the significance of the  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  and  $\beta_2$  parameters from the statistical fit.

Cuadro 5. Estadísticos de validación del modelo de Schumacher-Hall.

Durbin-Watson	Shapiro-Wilk	$\beta_0$			$\beta_1$			$\beta_2$		
		Coefficiente	Valor t	Probabilidad de t	Coefficiente	Valor t	Probabilidad de t	Coefficiente	Valor T	Probabilidad de t
1.956	0.995111	-9.74714	-615.31	<0.0001	1.96205	259.24	<0.0001	0.93483	96.82	<0.0001

Table 5. Validation statistics of the Schumacher-Hall model.

Durbin-Watson	Shapiro-Wilk	$\beta_0$			$\beta_1$			$\beta_2$		
		Coefficient	t Value	t Probability	Coefficient	t Value	t Probability	Coefficient	t Value	t Probability
1.956	0.995111	-9.74714	-615.31	<0.0001	1.96205	259.24	<0.0001	0.93483	96.82	<0.0001

El estadístico de *Durbin-Watson* (DW) señala que no existe autocorrelación de los errores, porque presenta un valor de 1.96, en el cual los residuos son independientes; el estadístico de *Shapiro-Wilk*, con 0.995111 indica que no se viola el supuesto de normalidad de los errores, ya que la probabilidad de rechazo es menor a 0.05 y es significativa (Martínez *et al.*, 2006; Velasco *et al.*, 2007; Da Cunha y Guimarães, 2009); por lo que se asume que la muestra procede de una población que sigue una distribución normal; en el Cuadro 2 se observa que los coeficientes  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son significativos ( $p > F = <0.0001$ ). La ecuación generada con el modelo de *Schumacher-Hall* fue la siguiente:

$$V=0.0000584616 D^{1.96205} H^{0.93483}$$

Evaluación de los coeficientes y cocientes de forma. Con el volumen de los 84 árboles destinados *ex-professo* para calcular los coeficientes y cocientes de interés, se obtuvo un promedio, cuyos resultados se listan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Valores promedio de los coeficientes y cocientes de forma.

Coefficientes o cocientes de forma	Intervalo	Promedios
Coefficiente mórfico del tronco	0.458-0.629	0.525
Coefficiente mórfico del fuste a la altura total	0.353-0.561	0.557
Coefficiente mórfico del fuste a la altura del fuste	0.456-0.627	0.601
Coefficiente mórfico referido a la sección basal	0.362-0.465	0.460
Coefficiente mórfico <i>Hohendahl</i> para el tronco	0.497-0.653	0.561
Coefficiente mórfico <i>Hohendahl</i> para el fuste a la altura total	0.330-0.634	0.587
Coefficiente mórfico de <i>Hohendahl</i> para el fuste a la altura del fuste	0.495-0.853	0.639
Coefficiente mórfico de <i>Pressler</i>	0.448-0.606	0.511
Cociente de forma de <i>Schiffel</i>	0.531-0.928	0.718

Continúa Cuadro 6...

The *Durbin-Watson* (DW) statistic points out that there is no autocorrelation of errors, because it has a value of 1.96 in which residues are independent; the *Shapiro-Wilk* statistic with 0.995111 indicates that the assumption of normality of errors is not violated because the probability of rejection is less than 0.05 and is significant (Martínez *et al.*, 2006; Velasco *et al.*, 2007; Da Cunha and Guimarães, 2009) so it is assumed that the sample comes from a population that follows a normal distribution; Table 2 shows that the coefficients  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  and  $\beta_2$  are significant ( $p > F = <0.0001$ ). The equation generated with the model of *Schumacher-Hall* was:

$$V=0.0000584616 D^{1.96205} H^{0.93483}$$

Assessment of the morphic coefficients and quotients. With the volume of the 84 trees set aside for in particular to make the calculation of the coefficients and quotients involved, an average resulted, which is ordered in Table 6.

Continúa Cuadro 6..

Coeficientes o cocientes de forma	Intervalo	Promedios
Cociente de forma de <i>Pollanschütz</i>	0.717-0.951	0.831
Cociente de forma de <i>Johnson</i>	0.551-0.964	0.736
Cociente de forma de <i>Zimmerle</i>	0.757-0.979	0.883
Cociente de forma de <i>Gieruszinski</i>	0.049-1.150	0.581

Table 6. Average values of the morphic coefficients and quotients.

Morphic coefficients and quotients	Range	Average
Morphic coefficient of the trunk	0.458-0.629	0.525
Morphic coefficient of the bole at total height	0.353-0.561	0.557
Morphic coefficient of the bole at the height of the bole	0.456-0.627	0.601
Referred coefficient to the basal section	0.362-0.465	0.460
Hohendahl's morphic coefficient for the trunk	0.497-0.653	0.561
Hohendahl's morphic coefficient for the bole at total height	0.330-0.634	0.587
Hohendahl's morphic coefficient for the bole at the height of the bole	0.495-0.853	0.639
Pressler's morphic coefficient	0.448-0.606	0.511
Schiffel's morphic quotient	0.531-0.928	0.718
Pollanschütz morphic quotient	0.717-0.951	0.831
Johnson's morphic quotient	0.551-0.964	0.736
Zimmerle's morphic quotient	0.757-0.979	0.883
Gieruszinski's morphic quotient	0.049-1.150	0.581

El valor del coeficiente mórfico del tronco varía entre 0 y 1, puesto que el volumen de cualquier tipo dendrométrico por sí solo, o de una combinación de varios, es siempre menor o igual que el volumen del cilindro (Diéguez et al., 2003). El valor obtenido en este estudio para *Pinus montezumae* fue de 0.525, sin embargo es superior al de Uranga et al. (2015), cuya cifra se ubicó en el intervalo de 0.44 a 0.50 para *P. patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en tres regiones de México.

El coeficiente mórfico del fuste a la altura total es el más utilizado, cuando se pretende estimar el volumen fustal; el inconveniente es que su valor no tiene límite superior marcado; es decir, puede ser > 1, porque se comparan los volúmenes de dos cuerpos de diferente altura, aunque en todo caso, siempre es < 1 para los tipos dendrométricos clásicos (Diéguez et al., 2003); para *P. montezumae* el valor promedio fue de 0.557.

Para el coeficiente mórfico del fuste a la altura del fuste, se tiene la ventaja de que se contrastan los volúmenes de dos cuerpos de igual altura, por lo cual el valor límite superior = 1 (Diéguez et al., 2003); el valor promedio en este estudio fue de 0.601.

The value of the morphic coefficient of the trunk varies between 0 and 1 as the volume of any dendrometric type alone, or a combination of several, is always less than or equal to the volume of the cylinder (Diéguez et al., 2003). The value obtained in this study was 0.525 for *Pinus montezumae*, however it is higher than that of Uranga et al. (2015) whose value varied between 0.44 and 0.50 for *P. patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. in three regions of Mexico.

The morphic coefficient of the bole at the total height is the most used when trying to estimate the stem volume; however, is that its value has no upper limit set, which is rather inconvenient; that is, it can be > 1, as the volumes of two bodies of different heights are compared, but in any case, it is always < 1 for classic dendrometric types (Diéguez et al., 2003); for *P. montezumae* the average value was 0.557.

For the morphic coefficient of the bole at the height of the bole, the advantage is that the volumes of two bodies of equal height, are compared, whereby the upper limit value = 1 (Diéguez et al., 2003); the average value in this study was 0.601.

The morphic coefficient referred to the basal section is rarely used due to irregularities at the trunk base. Those corresponding

El coeficiente mórfico referido a la sección basal apenas se utiliza, debido a las irregularidades propias de la base del tronco. Los correspondientes a las secciones fijas tienen el inconveniente de que para árboles de igual forma; esto es, para árboles que disminuyen en igual proporción a lo largo del eje longitudinal, pueden dar valores distintos y viceversa; para individuos con forma irregular es factible que tengan el mismo valor del coeficiente mórfico (Diéguez *et al.*, 2003). El promedio calculado para *P. montezumae* fue de 0.460.

Los factores de forma falsos no son cabalmente comparables, porque no permiten una representación directa de la forma geométrica del fuste debido a su referencia al  $d$ , y contienen un elemento distorsionante (Prodan *et al.*, 1997).

Dos árboles con la misma forma tienen igual coeficiente mórfico referido a una sección relativa (no fija); por lo tanto, son más descriptivos de su forma que los coeficientes mórficos artificiales. Los valores para los coeficientes de *Hohendahl* para los tipos dendrométricos clásicos fueron: cilindro (1), paraboloid (0.556), cono (0.411) y neiloide (0.343) (Diéguez *et al.*, 2003). Sobresale el método de *Hohendahl* porque conduce a un factor de forma natural, a través de la medición de dos diámetros del fuste siempre en términos relativos, o que permite ser comparable en cualquiera de las condiciones dimensionales del tronco. El resultado del promedio del coeficiente mórfico de *Hohendahl* para el tronco fue de 0.561, con el fuste a la altura total, 0.587 y el del fuste a la altura del mismo, 0.639; al contrastar estos tres valores con los sugeridos por el autor para los tipos dendrométricos mencionados anteriormente, la forma del tronco de *P. montezumae* se asemeja a un paraboloid.

Al aplicar la fórmula de *Pressler* para los tipos dendrométricos, los datos generados fueron los siguientes: paraboloid, 0.500; cono, 0.333 y neiloide, 0.247 (Diéguez *et al.*, 2003); el promedio en el presente trabajo es de 0.511, valor que confirma el tipo paraboloid del tronco de *P. montezumae*; en los primeros dos, se obtienen volúmenes exactos y en el caso del neiloide arroja valores ligeramente inferiores a los reales (98.6 %); sin embargo, se plantean dudas sobre su fiabilidad y aplicabilidad cuando se pasa del concepto de sólidos geométricos al de troncos reales de árboles (López, 2005).

El inconveniente de los cocientes de *Schiffel* y *Pollanchütz* es que carecen de un valor límite superior, por lo que es posible rebasar la cifra = 1, ya que, si la altura del árbol es inferior a 2.06 m o de 4.33 m respectivamente, la parte en la que se mide el diámetro del numerador está por debajo de la altura normal, y por lo tanto, el cociente puede ser > 1. La desventaja frente al factor de forma normal de *Schiffel* radica en que no aporta información sobre el volumen bajo el diámetro normal (Diéguez *et al.*, 2003). El promedio del cociente de forma de *Schiffel* obtenido para *P. montezumae* fue de 0.718. Los valores de los cocientes de forma de *Pollanchütz* para los tipos dendrométricos

to the fixed sections have the disadvantage that for trees of equal shape, that is, trees which decrease in the same proportion along the longitudinal axis, can give different values and vice versa, trees with different shape can have the same morphic coefficient value (Diéguez *et al.*, 2003). The calculated average for *P. montezumae* is 0.460.

False morphic factors are not fully comparable as they do not allow a direct representation of the geometrical shape of the bole due to its reference to  $d$ , and contain a distorting element (Prodan *et al.*, 1997).

Two trees with the same shape have equal referred morphic coefficient to a relative (not fixed) section; therefore, they are more descriptive of their form than artificial coefficients. The values for Hohendahl's coefficients for classic dendrometric types were: cylinder (1), paraboloid (0.556), cone (0.411) and neiloide (0.343) (Diéguez *et al.*, 2003). Hohendahl's method outstands because it leads to a shape factor naturally by measuring two diameters of the bole always in relative terms, or allowing be comparable in any of the dimensional conditions of the trunk. The result of the average Hohendahl's morphic coefficient to the trunk was 0.561, with the bole to total height, 0.587 and of the bole to the height of it, 0.639; when comparing these three values with those suggested by this author for the dendrometric types mentioned above, the shape of the trunk of *P. montezumae* resembles a paraboloid.

When applying Pressler's formula for the dendrometric types, the generated data were the following: paraboloid, 0.500; cone, 0.333 and neiloide, 0.247 (Diéguez *et al.*, 2003); the average obtained in this work is 0.511, a value that confirms the type of paraboloid trunk of *P. montezumae*; in the first two, exact volumes are obtained and in the case of neiloide, it reveals slightly lower values than the real ones (98.6 %); however, doubts about their reliability and applicability arise when passing from the concept of geometric solids to real logs tree (López, 2005).

The handicap of Schiffel and Pollanchütz quotients is that they do not have an upper limit value, being able to exceed the cipher = 1, because if the tree height is less than 2.06 m or 4.33 m respectively, the part where the diameter of the numerator is measured is below the normal height, and therefore, the ratio can be > 1. The disadvantage compared to the normal Schiffel's form factor is that it does not provide information on the volume under the normal diameter (Diéguez *et al.*, 2003); the average form quotient of Schiffel obtained for *P. montezumae* was 0.718. The values from Pollanchütz morphic quotients for the dendrometric types were: paraboloid, 0.882; cone, 0.788, and neiloide, 0.686; in this study the average was 0.831, confirming the paraboloid shape of the trees (Prodan *et al.*, 1997).



fueron: paraboloides, 0.882; cono, 0.788 y neiloide, 0.686; en el presente trabajo el promedio fue de 0.831, lo que confirma la forma del arbolado tipo paraboloides (Prodan *et al.*, 1997).

El cociente de forma de *Johnson* representa de manera más precisa la forma del tronco que el cociente de forma normal de *Schiffel*, el cual tiene un valor máximo de uno que se alcanza cuando la altura del árbol es de 1.30 m, y en la mayoría de las especies su valor varía entre 0.6 y 0.8. Los valores del cociente de forma de *Johnson* para los tipos dendrométricos son: paraboloides (0.707), neiloide (0.354), cono (0.500) (Diéguez *et al.*, 2003), el promedio obtenido fue de 0.736 para *P. montezumae* que está dentro del intervalo de dominio de este cociente. El promedio del cociente de forma de *Gieruszinski* es de 0.581 y resultó ser el de menor valor de todos los cocientes evaluados.

Con *P. montezumae* de la región, se pierde la sensibilidad de los cocientes de forma debido al paraboloidismo de los troncos, el cual es más acentuado en árboles jóvenes. Los cocientes de forma utilizados fueron los denominados "falsos", que están referidos a una sección fija, los valores estimados fueron variados, ya que estos no están a un porcentaje de su altura total o maderable, con ello, se pierde la relación diámetro-altura.

### Desviación agregada y Desviación estándar de los coeficientes mórnicos

Desviación agregada (DA) y Desviación Estándar. El criterio de la DA establece que entre dos estimaciones no se debe exceder  $\pm 1\%$  para mostrar una relación confiable (Romahn *et al.*, 1994; Prodan, 1997; Fonseca *et al.*, 2009), en el presente caso es entre los valores volumétricos estimados y los obtenidos con los coeficientes y cocientes de forma. La desviación estándar es el promedio de las desviaciones de las observaciones, respecto a su media expresados en las mismas unidades de la medición (Caballero, 1972); por lo que, el coeficiente o cociente de forma que registre el menor valor se ajustará más estrechamente al valor central y, por lo tanto, es más eficiente (cuadros 7 y 8).

Johnson's shape quotient represents more accurately the trunk form than the normal morphic quotient of Schiffel, which has a maximum value of one, which is reached when the tree has a height of 1.30 m and in most species its value varies between 0.6 and 0.8. Johnson's morphic quotient for the dendrometric types are: paraboloid (0.707), neiloide (0.354), cone (0.500) (Diéguez *et al.*, 2003), the average obtained was 0.736 for *P. montezumae* that is within domain range of this ratio. The average form quotient of Gieruszinski is 0.581 and found to be the lowest value of all the evaluated quotients.

With *P. montezumae* of the region, the sensitivity of the quotients is lost due to the paraboloidism of logs, which is more pronounced in young trees. The quotients so used were those called "false", which are referred to a fixed section; the values here obtained were varied as they are not at percentage of their total or timber height, thus the ratio diameter-height is lost.

### Aggregate Deviation and Standard Deviation of morphic coefficients

Deviation aggregate (DA) and Standard Deviation. The criterion of the DA states that between two estimates the difference should not exceed  $\pm 1\%$  to show a reliable relationship (Romahn *et al.*, 1994; Prodan, 1997; Fonseca *et al.*, 2009); in the present case, it refers to the estimated volume values and those obtained with the morphic coefficients and quotients. Standard deviation is the average deviations of the observations in regard to their mean expressed in the same units of measurement (Caballero, 1972) so that the form coefficient or quotient that records the lowest value is more closely aligned to the central value and therefore it is more efficient (tables 7 and 8).

With the morphic coefficient of the trunk (52 %) and the morphic coefficient of the bole to the total height (-0.85) se the percent premise of  $\pm 1\%$  was achieved, the obtained coefficient with the Pressler formula reached a value rather close to one (1.18 %) and the rest of the coefficients were between 6.98 % (morphic coefficient for the bole at the height of the bole) and 15.18 % (Hohendahl's morphic coefficient for the bole at the height of the bole).



Cuadro 7. Desviación Agregada (%) y Desviación Estándar de los coeficientes mórficos.

Coeficientes Mórficos	Desviación Agregada (%)	Desviación Estándar (m <sup>3</sup> )
Del tronco (normal)	0.52	2.2256
Del fuste a la altura del total	-0.85	2.2013
Del fuste a la altura del fuste	6.98	2.3245
Referido a una sección basal	-8.61	3.0903
<i>Hohendahl</i> para el tronco	9.39	2.4572
<i>Hohendahl</i> para el fuste a la altura total	8.06	2.4257
<i>Hohendahl</i> para el fuste a la altura del fuste	15.18	2.5631
<i>Pressler</i>	-1.18	2.2126

Table 7. Aggregated Deviation (%) and Standard Deviation of the morphic coefficients.

Morphic Coefficients	Aggregated Deviation (%)	Standard Deviation (m <sup>3</sup> )
Of the trunk (normal)	0.52	2.2256
Of the bole to total height	-0.85	2.2013
Of the bole to the height of the bole	6.98	2.3245
Referred to a basal section	-8.61	3.0903
Hohendahl for the trunk	9.39	2.4572
Hohendahl for the bole to total height	8.06	2.4257
Hohendahl for the bole to the height of the bole	15.18	2.5631
Pressler	-1.18	2.2126

Con el coeficiente mórfico del tronco (0.52 %) y el coeficiente mórfico del fuste a la altura total (-0.85) se logró la premisa porcentual de  $\pm 1\%$ ; el coeficiente obtenido con la fórmula de *Pressler* alcanzó un valor bastante aproximado a la unidad (1.18 %); y el resto de los coeficientes estuvieron entre 6.98 % (coeficiente mórfico para el fuste a la altura del fuste) y 15.18 % (coeficiente mórfico de *Hohendahl* para el fuste a la altura del fuste).

Los coeficientes con menor desviación estándar fueron el del fuste a la altura total (2.2013) y el de *Pressler* (2.2126); los más altos, el referido a la sección basal (3.0903) y el de *Hohendahl* del fuste a la altura del fuste (2.5631).

The coefficients that had the smallest standard deviation were that of the bole at total height (2.2013) and that of *Pressler* (2.2126); the highest, the referred to the basal section (3.0903) and *Hohendahl's* morphic coefficient for the bole at the height of the bole (2.5631).

#### Aggregate Deviation and Standard Deviation of morphic quotients

The values in DA obtained by the shape quotients were significantly higher than those from the form coefficients as their numbers varied from 28.22 % (*Schiffel*) to 43.42 % (*Zimmerle*).



## Desviación agregada (DA) y Desviación Estándar de los cocientes de forma

Los valores en DA obtenidos con los cocientes de forma fueron significativamente mayores que los mostrados con los coeficientes de forma ya que sus valores variaron de 28.22 % (*Schiffel*) a 43.42 % (*Zimmerle*).

Cuadro 8. Desviación Agregada y Desviación Estándar de los cocientes de forma.

Cocientes de forma	Desviación Agregada (%)	Desviación Estándar (m <sup>3</sup> )
<i>Schiffel</i>	28.22	3.1905
<i>Johnson</i>	28.40	3.1250
<i>Gieruszinski</i>	39.28	4.8438
<i>Pollanschütz</i>	37.72	3.6140
<i>Zimmerle</i>	43.42	4.0540

La desviación estándar de los cocientes de forma que presentaron menor porcentaje fueron el de *Johnson*, *Schiffel* y *Pollanschütz*; los mayores fueron el *Zimmerle* y *Gieruszinski*. Aun cuando los coeficientes y cocientes de forma que utilizan el fuste en punta delgada tienen valores similares a los sugeridos por sus autores, es probable que su precisión aumente si el diámetro en punta delgada también lo hace de 10 a 20 cm o más, lo que puede variar con el tipo dendrométrico que mejor represente al tronco de una especie en particular.

De todos los coeficientes y cocientes de forma, solamente tres lograron la precisión requerida para hacer estimaciones confiables del volumen de árboles en pie: el coeficiente mórfo del tronco y el coeficiente mórfo del fuste a la altura total, así como el coeficiente obtenido con la modificación en la fórmula de *Pressler*.

## Comparación de los volúmenes calculados con la ecuación de volumen y los coeficientes de forma

En la Figura 2, se presentan las gráficas que ilustran la relación entre los volúmenes obtenidos con el modelo de *Schumacher-Hall* y los generados con los mejores coeficientes de forma.

Table 8. Aggregated Deviation (%) and Standard Deviation of the morphic quotients.

Morphic quotients	Aggregate Deviation (%)	Standard Deviation (m <sup>3</sup> )
<i>Schiffel</i>	28.22	3.1905
<i>Johnson</i>	28.40	3.1250
<i>Gieruszinski</i>	39.28	4.8438
<i>Pollanschütz</i>	37.72	3.6140
<i>Zimmerle</i>	43.42	4.0540

The standard deviation of the morphic quotients that showed smaller percentage were *Johnson's*, *Schiffel's* and *Pollanschütz's*; they highest were those of *Zimmerle* and *Gieruszinski*. Even though the morphic coefficients and quotients that use the bole in thin tip are similar to those suggested by their authors, it is likely that its accuracy increases if the diameter in thin tip also makes it from 10 to 20 cm or more, which may vary with the dendrometric type that better assimilates the trunk of a particular species.

Of all the coefficients and quotients only three achieved the precision required to make reliable estimates of the volume of standing trees: the morphic coefficient of the trunk and the morphic coefficient of the bole to total height as well as the coefficient obtained with the adjustment in the *Pressler* formula.

## Comparison of the calculated volumes with the equation of volume and form coefficients

In Figure 2, the graphs illustrating the relationship between the volumes obtained with *Schumacher-Hall's* model are presented as well as those resulting from the best shape coefficients.

In the first three cases there is broad agreement between the estimated values from the volume equation and those obtained with the indicated coefficients, demonstrating the feasibility of using them reliably to estimate the volume of *P. montezumae* standing trees growing in the forest of the *Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán*. Values from *Hohendahl's* morphic coefficient for the trunk and the bole overestimate volumes from 20 cm and 50 cm diameter classes, respectively.



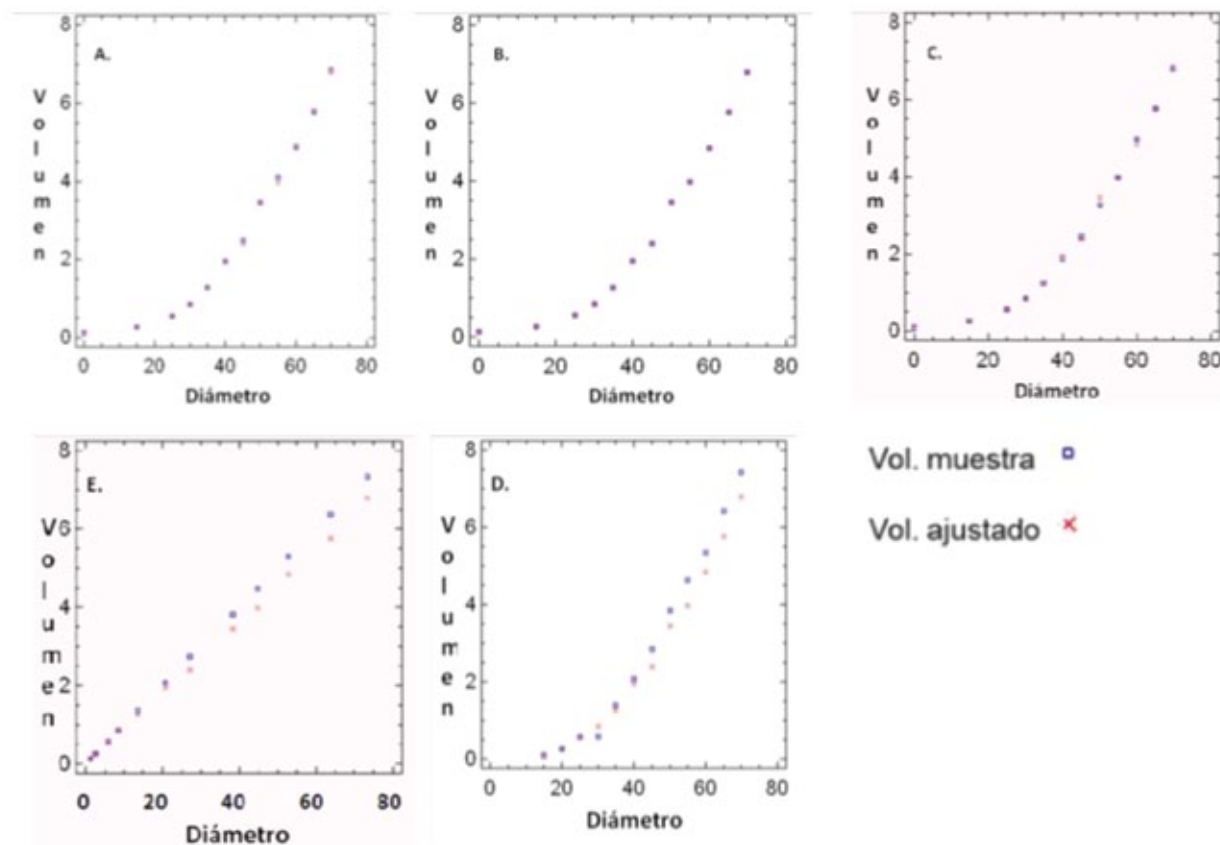


Figura 2. Comparación entre los volúmenes de los coeficientes y cocientes de forma y los de la ecuación de volumen. A. Coeficiente mórfico del tronco, B. Coeficiente mórfico a la altura total, C. Coeficiente mórfico de Pressler, D. Coeficiente mórfico de Hohendahl para el tronco y E. Coeficiente mórfico de Hohendahl para el fuste a la altura total.

Figure 2. Comparison between the volumes of the form coefficients and quotients and the volume equation. A. Morphic of the trunk, B. Morphic coefficient of the total height, C. Pressler's morphic coefficient, D. Hohendahl's morphic coefficient for the trunk and E. Hohendahl's morphic coefficient for the bole at the total height.

En los tres primeros casos existe una amplia coincidencia entre los valores estimados con la ecuación de volumen y los obtenidos con los coeficientes indicados, lo que demuestra la factibilidad de usarlos con confianza para la estimación del volumen de árboles en pie de *P. montezumae* que crecen en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Los valores de los coeficientes mórficos de Hohendahl para el tronco y para el fuste sobreestiman los volúmenes, a partir de la categoría diamétrica de 20 cm y de 50 cm, respectivamente.

## Conclusiones

Los coeficientes mórficos y los cocientes de forma son una herramienta indispensable para una estimación rápida y precisa del volumen de árboles en pie y el empleo de alguno de ellos depende de la estructura de los troncos de las especies bajo evaluación. Los cocientes estiman mejor

## Conclusions

Morphic coefficients and quotients are an essential tool for a quick and accurate estimate of the volume of standing trees and the use of one of them depends on the shape of the trunks of the species under evaluation; quotients provide a better estimation of the conic and neiloid shapes and coefficients associate in a closer way to the paraboloid. In addition, they are an alternative for building commercial volume tables for individuals of this species.

False morphic coefficients allow a more accurate estimation of volume from the paraboloidism of *Pinus montezumae*, while the real ones use the reference diameter in regard to the total height of the tree, which, in order to be more precise, require a sharper taper than that of the species.

las conformaciones cónicas y neiloidicas y los coeficientes se asocian mejor a las paraboloides. Además, representan una alternativa para la construcción de tablas o tarifas de volumen comercial en los individuos de esta especie.

Los coeficientes de forma falsos presentaron la ventaja de estimar con mayor precisión el volumen debido al paraboloidismo de los troncos de *Pinus montezumae*, mientras que los verdaderos utilizan un diámetro de referencia en relación con la altura total del árbol que para ser más precisos necesitan un ahusamiento más agudo que el que tiene *P. montezumae*.

Los valores promedio que se obtuvieron con los coeficientes mórficos de *Hohendahl* para el tronco y para el fuste a la altura total, se ubican dentro de los intervalos sugeridos por el mismo autor para el tipo dentométrico paraboloides (0.566); sin embargo, al compararlos con los volúmenes reales se reconoce una sobreestimación.

Los coeficientes mórficos del tronco, del fuste a la altura total y el coeficiente mórfico de *Pressler*, fueron los que presentaron menores desviaciones entre los volúmenes estimados y los calculados, por lo que su uso es confiable en la estimación volumétrica del tronco de árboles de *Pinus montezumae*.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que es posible la predicción de la forma y volumen del tronco de *Pinus montezumae*, mediante los coeficientes mórficos y cocientes de forma que resultó en una forma paraboloides. 🌲

## Agradecimientos

Los autores desean hacer patente su agradecimiento a las autoridades de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México por las facilidades prestadas para la realización del presente trabajo de investigación.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Guadalupe Geraldine García Espinoza: diseño de la investigación, toma de datos de campo, redacción y estructura del documento; José Jesús García Magaña: planeación, diseño y supervisión del trabajo de campo, redacción y estructura del documento, Jonathan Hernández Ramos: captura y análisis de la información y redacción del documento; Hipólito Jesús Muñoz Flores: capacitación en el manejo del Telerrelascopio de *Bitterlich* y revisión del documento; Xavier García Cuevas: asesoría estadística y revisión del documento; Adrián Hernández Ramos: procesamiento de los datos de campo y revisión del documento.

The average values from Hohendahl's morphic coefficient for the trunk and the bole at total height, are within the ranges suggested by this author for the paraboloid dendrometric type (0.566); however, when comparing them with the real volumes, an overestimation is found.

The morphic coefficients of the bole, of the bole at total height and Pressler's morphic coefficient were those with minor deviations between estimated and calculated volumes so its use is reliable in the volumetric estimation of tree trunks of *Pinus montezumae*.

From the results obtained it can be concluded that it is possible to predict the shape and volume of *Pinus montezumae* trunk by morphic coefficients and quotients resulting in a paraboloid shape. 🌲

## Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the authorities of the *Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México*, for the facilities provided to accomplish the actual research study.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

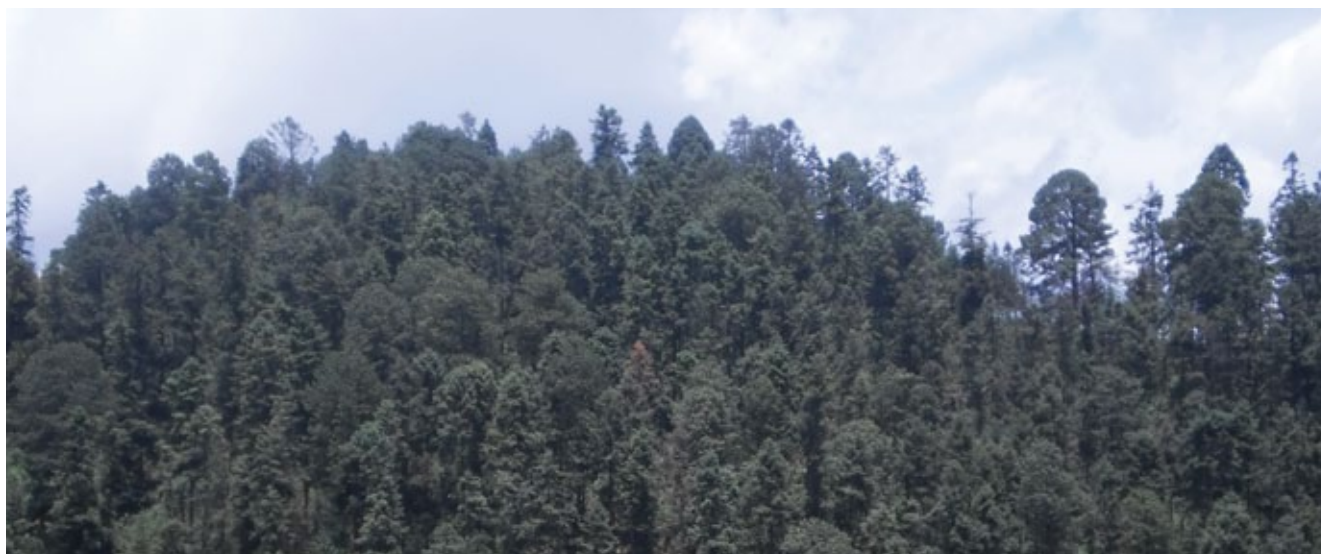
Guadalupe Geraldine García Espinoza: formulation of the research study, field data collection, planning, writing and structuring of the manuscript; José Jesús García Magaña: planning, design and supervision of field work, writing and structuring of the document; Johnathan Hernández Ramos: data taking and analysis and writing of the document; Hipólito Jesús Muñoz Flores: training in handling Bitterlich's Telerelascopio and review of the manuscript; Xavier García Cuevas: statistical advice and review of the manuscript; Adrián Hernández Ramos: field data analysis and review of the manuscript.

*End of the English version*



## Referencias

- Aguilar, S., D. 2008. Programa de manejo forestal persistente para el aprovechamiento de los recursos forestales maderables para el predio denominado Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. San Juan Parangaricutiro, Mich., México. 271 p.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. Estudio FAO: Montes. Roma, Italia. 80 p.
- Barrio A., M., G. J. Álvarez G. y I. J. Díaz-Maroto. 2004. Elaboración de una tarifa con clasificación de productos para *Quercus robur* L. en Galicia basada en un modelo de volumen porcentual. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 13(3): 506-517.
- Caballero, D. M. 1972. Tablas y Tarifas de volúmenes. SAG, SFF, Inventario Nacional Forestal. Nota Técnica Núm. 7. Chapingo, Edo. de Méx., México. 30 p.
- Carrillo A., F., M. Acosta M., G. Tenorio G. y F. Becerra L. 2004. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. INIFAP. Pachuca, Hgo., México. Folleto Técnico Núm 2. 15 p.
- Da Cunha T., A. y C. A. Guimarães F. 2009. Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. *Kuru. Revista Forestal* 6(16):1-15.
- Diéguez A., U., M. Barrio A., F. Castedo D., A. D. Ruiz G., M. F. Álvarez T., J. G. Álvarez G. y A. Rojo A. 2003. Dendrometría. Editorial Mundiprensa. México, D.F., México. 327 p.
- Fonseca G., W., F. Alice G. y J. M. Rey B. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Revista Bosque* 30(1):36-47.
- García M., J. J., J. C. Velarde R., J. Hernández R., X. García C., H. Jesús Muñoz F. y G. G. García E. 2012. Ecuaciones para determinar el volumen en pie para árboles de *Pinus michoacana* Mtz. y *Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez en dos municipios de Michoacán. *Revista Ciencia Nicolaita* 58(2013): 67-89.
- Harold, D. y J. Hocker. 1984. Introducción a la Biología Forestal. AGT Editor. México, D. F., México. 446 p.
- Honorato S., J. A. 2011. Modelos volumétricos fustales para *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. en plantaciones agroforestales de la sierra norte de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2 (6): 55-71.
- López P., C. 2005. Metodología para la elaboración de tarifas de cubicación específicas para cada área o masa forestal objeto de un inventario por muestreo. Mesa temática Núm. 5. Inventario y Ordenación de sistemas y recursos forestales. Comunicación IV Congreso Forestal Español. 26 al 30 de septiembre de 2005. Zaragoza, España. 7 p.
- Lores P., Y., E. Aldana P. y G. Padilla T. 2010. Factores diamétricos y volumétricos de formas y tabla de volumen de la especie *Calophyllum brasiliense* CAMB. var. *antillanum* (BRITT.) Standl. In: VI Simposio Internacional Sobre Manejo Sostenible de Recursos Forestales. 21 al 24 de abril de 2010. Pinar del Río, Cuba. 10 p.
- Martínez G., M. A., A. Sánchez V. y J. Faulin F. 2006. Bioestadística amigable. Editorial Díaz de Santos. 2ª. Edición. Madrid, España. 919 p.
- Montes de Oca C., E., S. Corral R. y J. A. Nájera L. 2009. Ajuste de ecuaciones de volumen en *Pinus duranguensis* en la Comunidad Las Flechas, Durango, México. *Inter Sedes* 19(17): 173-180.
- Picard, N., L. Saint-André y M. Henry. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Montpellier, Francia. 223 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Rea. 1997. Mensura Forestal. Editorial IICA y la GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.
- Romahn De La V., C. F., H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de Méx., México. 345 p.
- Santiago-García W., H. M. De los Santos P., G. Ángeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde y G. Ramírez-Valverde. 2013. Sistema compatible de crecimiento y rendimiento para rodales coetáneos de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(2): 163-172.
- Statistical Analysis Systems (SAS). 2009. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc. Raleigh, NC, USA. n/p.
- Statpoint. 2005. Statgraphics Centurion XVII. Version. Statpoint Inc. <http://www.statgraphics.com> (15 de enero de 2013).
- Uranga-Valencia L., P., H. M. De los Santos P., J. R. Valdez-Lazalde, J. López-Upton y H. Navarro-Garza. 2015. Volumen total y ahusamiento para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en tres condiciones de bosque. *Agrociencia* 49: 787-801.
- Van Laar, A. and A. Akça. 2007. Forest mesuration. Springer. Dordrecht, Netherlands. 384 p.
- Velasco B., E., S. Madrigal H., I. Vázquez C., F. Moreno S. y A. González H. 2007. Tablas de volumen con corteza para *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus* del Sur Occidente de Michoacán. *Ciencia Forestal en México* 32(101): 93-116.







Artículo / Article

## Recursos forestales no maderables en dos comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca

### Non-timber forest resources in two Zapotec communities of the Sierra Juárez of Oaxaca State

Joel Martínez López<sup>1</sup>, Alejandra Acosta Ramos<sup>1</sup>, Enrique Martínez y Ojeda<sup>1</sup>  
y Filemón Manzano Méndez<sup>2</sup>

#### Resumen

Los recursos forestales no maderables (RFNM) son la parte no leñosa de la vegetación forestal susceptible de uso, por las poblaciones rurales. En este trabajo se investigaron los principales RFNM, específicamente plantas, empleados en las poblaciones de Capulálpam y Jaltianguis, Oaxaca. Se entrevistaron 40 informantes clave, elegidos mediante la técnica de bola de nieve, a quienes se les preguntó en Español y en Zapoteco sobre los RFNM, los cuales se determinaron taxonómicamente. Se registraron 122 RFNM en Capulálpam y 128 en Jaltianguis, para un total de 166 especies, pertenecientes a 66 familias botánicas; se identificaron 31 % a nivel género, 67 % a especie y solo 2 % no se determinaron. Las familias mejor representadas fueron Asteraceae, Orchidaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Pinaceae y Cactaceae. En Capulálpam, 20 plantas se mencionaron por dos nombres locales, ocho son endémicas de México, dos endémicas de Oaxaca, ocho exóticas y dos cultivadas. En Jaltianguis, 34 se designan con dos nombres locales, ocho son endémicas de México, dos endémicas de Oaxaca, 13 exóticas y dos cultivadas. De la flora registrada en Jaltianguis, 67 % tienen nombres zapotecos. Esta información evidencia la gran cantidad de vegetales silvestres usados por las familias campesinas de la región y de las cuales no se tenían registros.

**Palabras clave:** Etnobotánica, Oaxaca, plantas útiles, productos forestales no maderables, Sierra Juárez, Zapoteco.

#### Abstract

Non-timber forest resources (NTFRs) are the non-woody part of the forest vegetation susceptible to be used by rural populations. This study researched the main NTFRs -specifically plants- used in the towns of *Capulálpam* and *Jaltianguis*, in the state of *Oaxaca*. 40 key informants selected using the snowball technique were asked about the Spanish and Zapotec names of the NTFRs, which were taxonomically determined. Of a total of 166 species, 122 NTFRs were registered in *Capulálpam*, and 128 in *Jaltianguis*; 66 botanical families were subsequently identified -31 % at gender level, and 67 % at species level-, and only 2 % remained undetermined. The best represented families were Asteraceae, Orchidaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Pinaceae and Cactaceae. In *Capulálpam*, 20 plants were mentioned by two local names; eight are endemic across Mexico, two are endemic in *Oaxaca*, 8 are exotic and 2 are cultivated. In *Jaltianguis*, 34 are designated by two local names, eight are endemic across Mexico, two are endemic in *Oaxaca*, 13 are exotic, and two are cultivated. 67 % of the flora registered in *Jaltianguis* have Zapotec names. This information evidences the large number of plants that are used by farming families in the region and of which there were no previous records.

**Key words:** Ethnobotany, *Oaxaca*, useful plants, Non-timber forest products, *Sierra Juárez*, Zapotec.

Fecha de recepción/Received date: 26 de octubre de 2015; Fecha de aceptación/Accepted date: 8 de junio de 2016.

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Ambientales-Universidad de la Sierra Juárez, México. Correo-e: mjoel@juppa.unsj.edu.mx

<sup>2</sup> Colegio de Profesionales Forestales de Oaxaca, A.C. y consultor forestal Conafor, México.

## Introducción

Los bosques, además de ser fuente de productos maderables y servicios ambientales, generan recursos que son recolectados para uso artesanal, doméstico, industrial, y medicinal (Gutiérrez, 1989), que tienen gran valor social y cultural para las comunidades rurales (Campos, 1998; Conforte, 2000). A la parte no maderable del bosque, referida a los materiales biológicos de la naturaleza excepto madera (Semarnat, 2003; Zorondo, 2007), se le conoce con diversos términos, entre ellos Productos Forestales Alternativos, Recursos Biológicos Forestales, Bienes y Servicios No Madereros, Productos Silvestres, Productos Naturales y Recursos Forestales No Maderables (RFNM) (Chandrasekharan, 1995; FAO, 1999; Wunder y Angelsen, 2003). Estos se recolectan desde tiempos ancestrales por las comunidades rurales y contribuyen significativamente a su bienestar y estilo de vida (Chandrasekharan *et al.*, 1996; Ulujobi, 2012).

A nivel mundial, se estima que varios miles de especies se obtienen de la naturaleza para una variedad de propósitos (Myers, 1988), en particular para la subsistencia de los pobladores rurales y, en menor medida, para su aprovechamiento comercial. Por lo general, permanecen en el sector informal debido a que su venta no se registra de forma constante y rigurosa (FAO, 1995).

En México, las familias campesinas combinan la agricultura, la ganadería, pequeños oficios y la migración con la recolecta de RFNM, para obtener ingresos, aunque reducidos, sí contribuyen a la dieta diaria (Pulido *et al.*, 2010). En el estado de Oaxaca, por su diversidad en ecosistemas, existe una gran tradición etnobotánica que incluye el conocimiento, el uso y el manejo de una gran cantidad de especies vegetales, mediante complejas formas de interacción entre las comunidades locales y su entorno.

Se estima que en la entidad hay 2 800 especies útiles de plantas vasculares; aunque su documentación es limitada, a pesar de la riqueza de usos de la flora local y de las diferentes formas de interacción entre las poblaciones humanas y las plantas (Caballero *et al.*, 2004).

Con la finalidad de registrar los RFNM, específicamente plantas silvestres, en dos comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca se generó un listado de especies útiles, se investigaron sus nombres vernáculos en zapoteco, que forman parte del conocimiento tradicional y se hizo su determinación taxonómica.

## Introduction

Forests not only are a source of timber products and environmental services but also generate resources that are gathered for artisanal, domestic, industrial and medicinal uses (Gutiérrez, 1989) and have a high social and cultural value for rural communities (Campos, 1998; Conforte, 2000). The non-timber part of the forest, which refers to the biological materials of nature with the exception of wood (Semarnat, 2003; Zorondo, 2007), are known by various terms, including Alternative Forest Products, Biological Forest Resources, Non-Timber Goods and Services, Wild Products, Natural Products and Non-Timber Forest Resources (NTFRs) (Chandrasekharan, 1995; FAO, 1999; Wunder and Angelsen, 2003). These resources have been collected from ancient times by rural communities and have contributed significantly to their lifestyle and well-being (Chandrasekharan *et al.*, 1996; Ulujobi, 2012).

Thousands of species worldwide are estimated to be obtained from nature for a variety of purposes (Myers, 1988), particularly for the livelihood of rural populations and, to a lesser extent, for commercial exploitation. In general, they remain in the informal sector because their sale is not registered in a constant, rigorous way (FAO, 1995).

In Mexico, the farming families combine agriculture, livestock breeding, small trades and migration with the collection of NTFRs in order to obtain an income, which, although limited, contributes to the everyday diet (Pulido *et al.*, 2010). Due to the diversity of its ecosystems, the state of Oaxaca has a great ethnobotanical tradition that includes the knowledge, use and management of a large number of vegetal species, through complex forms of interactions between the local communities and their environment.

According to the estimates, there are 2 800 useful species of vascular plants; however, these are scarcely documented, despite the wealth of uses of the local flora and of the various forms of interaction between human populations and plants (Caballero *et al.*, 2004).

In order to create a record of these NTFRs -i.e. these wild plants- in two Zapotec communities of the Sierra Juárez of Oaxaca, a list of useful species was generated; their vernacular names in Zapotec, which are part of the traditional knowledge, were researched, and the plants were taxonomically determined.



## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El trabajo se realizó en Capulálpam de Méndez (Capulálpam) y Santa María Jaltianguis (Jaltianguis), poblaciones zapotecas regidas por el sistema de usos y costumbres con reconocimiento oficial. Capulálpam posee una superficie de 3 850 hectáreas, se ubica en las coordenadas 17°17'02" a 17°20'53" latitud norte y 96°21'14" a 96°28'06" longitud oeste, a una altitud promedio de 2 040 m, con 1 467 habitantes (Inegi, 2011a) y el sector agrícola, pecuario y forestal es el de mayor importancia (Inegi, 2011b). Jaltianguis se ubica en las coordenadas 17°18'32.4" a 17°24'43.2" latitud y de 96°29'35.9" a 96°34' 8.8" longitud, con una superficie de 5 555,7875 hectáreas, a una altitud promedio de 2 040 m, con 575 habitantes, la mayoría de las personas hablan Zapoteco (Inegi, 2011a) y el sector primario es el más relevante (Inegi, 2011b).

Se eligieron informantes clave, mediante la técnica de bola de nieve; la muestra se restringió a personas con alto conocimiento sobre plantas silvestres (por recomendación de los pobladores), principalmente, personas mayores. Se aplicaron 25 entrevistas en Capulálpam y 15 en Jaltianguis, a hombres y mujeres de diferente edad, escolaridad, ocupación y competencia lingüística. El número de RFNM mencionados por el método de listado libre se ordenó ascendientemente y graficó para conocer la curva acumulativa de especies (número de informantes - número de especies), que se hizo asintótica en los últimos entrevistados, lo que evidenció que estos no aportaron nuevos nombres de plantas silvestres. Los datos fueron colectados de enero 2014 a junio 2015.

### Procedimiento de la toma de información

Se registraron los nombres en Español de las plantas silvestres útiles y se investigaron sus nombres en Zapoteco. Los usos fueron agrupados en las siguientes categorías: medicinales, comestibles, ornamentales y forrajeras (Cárdenas *et al.*, 2002), rituales, artesanales, elaboración de utensilios, combustibles, saponíferas y otros usos. En los recorridos de campo se colectaron muestras botánicas y se hicieron registros fotográficos de los ejemplares mencionados. La determinación taxonómica se realizó con apoyo de técnicos de la UZACHI (Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra de Juárez), investigadores de la Universidad de la Sierra Juárez, del Instituto Tecnológico de Oaxaca y de la Universidad Nacional Autónoma de México; se complementó con trabajo de herbario en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, lugar donde se depositaron los ejemplares, y con la consulta de bibliografía especializada.

## Materials and Methods

### Study area

The research was carried out in *Capulálpam de Méndez (Capulálpam)* and *Santa María Jaltianguis (Jaltianguis)*, Zapotec towns ruled by the law of usages and customs with official recognition. *Capulálpam* has a surface area of 3 850 hectares, is located at the coordinates 17°17'02" to 17°20'53" N and 96°21'14" to 96°28'06" W, or at an average altitude of 2 040 masl, and has 1 467 inhabitants (Inegi, 2011a); its main sector is agriculture, livestock and forestry (Inegi, 2011b). *Jaltianguis* is located at the coordinates 17°18'32.4" to 17°24'43.2" N and de 96°29'35.9" to 96°34'8.8" W, at an average altitude of 2 040 masl, has a surface area of 5 555,7875 hectares and a population of 575 inhabitants, most of whom speak Zapotec (Inegi, 2011a), and the primary sector is prevalent in it (Inegi, 2011b).

Key informants were selected using the snowball technique, which restricted the sample to individuals with a wide knowledge of wild plants (according to recommendations by the population), most of whom are elderly. 25 interviews were applied in *Capulálpam*, and 15 in *Jaltianguis*, to men and women who differed in age, schooling, occupation and linguistic competence. The numbers of NTFR species listed according to the free list method were arranged in ascending order and charted in order to determine the cumulative species curve (number of informants - number of species), which became an asymptote as a result of the input of the last interviewees; this tendency shows that these no longer contributed new names of wild plants. The data were collected from January 2014 to June 2015.

### Information collection procedure

The names of useful wild plants in Spanish were recorded, and their Zapotec names were researched. The uses were grouped according to the following categories: medicinal, edible, ornamental and forage (Cárdenas *et al.*, 2002), ritual, artisanal, saponiferous, fuels, utensils and other uses. In the course of the field trips, botanical samples and photographic records of the listed species were collected. The taxonomical determination was carried out with the support of technicians from UZACHI (*Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra de Juárez*) (the Union of Zapotec-Chinantec Forest Producer Communities of the *Sierra Juárez*) and researchers at the *Universidad de la Sierra Juárez*, of the *Instituto Tecnológico de Oaxaca* and of *Universidad Nacional Autónoma de México* and complemented with herbarium work at the *Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca*, where the specimens were deposited- and with specialized bibliographical consultation.

## Resultados

En Capulálpam se registraron 122 especies, con 177 usos agrupados en ocho categorías; las de mayor importancia, en cuanto al número de especies, fueron medicinal (42 %), comestible (21 %) y ornamental (19 %); seguidas de aquéllas empleadas en ritos (9 %), artesanías (3 %), forraje (3 %), otros usos (2 %) y para combustible (1 %). La mayor parte de las plantas tienen un solo uso (64 %), con dos 28 %, tres (5 %) y cuatro (3 %).

En Jaltianguis, se identificaron 128 plantas silvestres con 192 usos, agrupados en 10 categorías; la que integró el mayor número de especies fue la medicinal (43 %), seguida de las comestibles (19 %), ornamentales (14 %), rituales (10 %), forrajeras (5 %), artesanales (4 %), otros usos (2 %), saponíferas (2 %), combustible (0.5 %) y para utensilios (0.5 %).

En cuanto al número de usos por especie, la mayoría de ellas tienen uno (62 %), dos usos (31 %), tres (5 %) y cuatro (2 %).

De forma conjunta, se obtuvieron 166 plantas silvestres y se detectó que 84 especies (51 % del total) fueron mencionadas en las dos localidades. El listado florístico se muestra en el Cuadro 1, con los nombres vernáculos y en Zapoteco.

Con respecto a los nombres zapotecos, en Capulálpam, no se registraron, mientras que en Jaltianguis, 67 % de las plantas conservan su nombre zapoteco, aunque un grupo reducido de la población puede escribirlo.

Cuadro 1. Listado florístico de los principales recursos forestales no maderables útiles en Capulálpam de Méndez (C) y Santa María Jaltianguis (J).

Table 1. Floristic list of the main useful non-timber forest resources in *Capulálpam de Méndez* (C) and *Santa María Jaltianguis* (J).

Familia	Nombre científico <sup>1</sup>	Nombre vernáculo	Pob.	Nombre zapoteco
Agavaceae	<i>Agave</i> sp. 1	Magüey de tierra caliente	C, J	Tuáh velaa
Agavaceae	<i>Agave</i> sp. 2	Magüey de pulque	C	
Agavaceae	<i>Agave</i> sp. 3	Magüey de tierra caliente	C	
Agavaceae	<i>Agave</i> sp. 4	Magüey mediano	C	
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	J	
Annonaceae	<i>Annona cherimola</i> Mill.	Anonal	C, J	Yaa nuna
Apiaceae	<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville	Costillita	C, J	Gualit-tzäh
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> (L.) Kunth	Cacalosuchil	J	Shiarügüiah
Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch	Hoja de posada	J	
Asteraceae	<i>Ageratina petiolaris</i> (Moc. & Sessé ex DC.) R.M. King & H.Rob	Hoja de ángel	C, J	Ladh shianideeh
Asteraceae	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	Chamizo para barrer	C, J	Idiüh
Asteraceae	<i>Baccharis salicina</i> Torr. & A. Gray	Chamizo de cuete	C, J	Laidaana shoo
Asteraceae	<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H.Rob. & Brettell	Chamizo de cuaresma	C, J	Laidaana shiitzih
Asteraceae	<i>Calendula officinalis</i> L.	Mercadera	C	

Continúa Cuadro 1...

## Results

In *Capulálpam* 122 species were registered, with 177 uses grouped into eight categories; the main species in terms of their number were medicinal (42 %), edible (21 %) and ornamental (19 %), followed by the species used in rituals (9 %), crafts (3 %), forage (3 %), fuel (1 %) and other uses (2 %). Most plants had a single use (64 %); others had two-fold (28 %), three-fold (5 %) and four-fold (3 %) uses.

128 wild plants were identified in *Jaltianguis*, with 192 uses grouped into 10 categories; the group with the largest number of species was medicinal (43 %), followed by edible (19 %), ornamental (14 %), ritual (10 %), forage (5 %), artisanal (4 %), saponiferous (2 %), fuel (0.5 %), utensils (0.5 %) and other uses (2 %).

In regard to the number of uses per species, 62 % have a single use, 31 % have two uses, 5 % have three, and 2 % have four.

As a whole, 166 wild plants were obtained, of which 84 species (51 %) were mentioned in both locations. The floristic list, with the vernacular and Zapotec names, is shown in Table 1.

The Zapotec names of the species were not mentioned in *Capulálpam*, whereas in *Jaltianguis* 67 % of the plants preserve their Zapotec names, although only a limited group of inhabitants can write them.

## Continúa Cuadro 1...

Familia	Nombre científico <sup>1</sup>	Nombre vernáculo	Pob.	Nombre zapoteco
Asteraceae	<i>Cirsium</i> sp.	Cardosanto	C	
Asteraceae	<i>Conyza filaginoides</i> (DC.) Hieron	Simonillo	C, J	
Asteraceae	<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) RMKing & HRob	Chutsi	J	Chuutzi
Asteraceae	<i>Galeana pratensis</i> (Kunth) Rydb	Piojito	C, J	Chutchía
Asteraceae	<i>Gnaphalium</i> sp.	Gordolobo	C, J	
Asteraceae	<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.	Árnica	C, J	
Asteraceae	<i>Montanoa</i> sp. 1	Árnica de monte	C, J	
Asteraceae	<i>Montanoa</i> sp. 2	Flor blanca	C, J	Laáh shia shuayádi
Asteraceae	<i>Montanoa</i> sp. 3	Cuanasana	J	
Asteraceae	<i>Pinaropappus roseus</i> (Less.) Less.	Espule	C	
Asteraceae	<i>Porophyllum linaria</i> (Cav.) DC	Chepiche	C, J	Láatzéni
Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> (L.) L.	Endivia	C, J	Cuanabetooh
Asteraceae	<i>Tagetes foetidissima</i> Hort. ex DC	Cempoasuchil	C, J	Shiacuáh
Asteraceae	<i>Tagetes lucida</i> Cav.	Pericón	C, J	Shia qesh-shúh
Asteraceae	<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	Anís de campo	C, J	Shia-anis
Asteraceae	<i>Taraxacum campylodes</i> G.E. Haglund	Diente de león	C, J	
Asteraceae	<i>Tithonia tubaeformis</i> (Jacq.) Cass	Achual	C	
Asteraceae	<i>Tridax coronopifolia</i> (Kunth) Hemsl.	Hierba de conejo	C, J	
Asteraceae	<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Sch. Bip	Santa María	J	
Begoniaceae	<i>Begonia</i> sp. 1	Begonia roja	C	
Begoniaceae	<i>Begonia</i> sp. 2	Begonia rosa	C	
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Palo de águila	C, J	Yaagüéla
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Trovador	C, J	Guachup-píh
Boraginaceae	<i>Borago officinalis</i> L.	Borraja	J	
Boraginaceae	<i>Tournefortia</i> sp.	Hierba de cáncer	C, J	
Brassicaceae	<i>Brassica rapa</i> L.	Mostaza	C, J	Cuana
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	Pierna de vieja	C, J	
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	Berro de arroyo	C, J	Berru
Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i> sp. 1	Magueyito blanco	C, J	Benáh
Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i> sp. 2	Magueyito rojo	C, J	Benáh
Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i> sp. 3	Magueyito verde	J	Benáh
Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	Pasle	C, J	Cuch-chi
Burseraceae	<i>Bursera</i> sp.	Copal	J	Yaalah
Cactaceae	<i>Disocactus ackermannii</i> (Haw.) Ralf Bauer	Junco flor roja	C	
Cactaceae	<i>Epiphyllum</i> sp.	Junco flor blanca	C	
Cactaceae	<i>Hylocereus</i> sp.	Pitaya	J	
Cactaceae	<i>Mammillaria</i> sp.	Biznaga	J	
Cactaceae	<i>Opuntia</i> sp.	Nopal de zorra	J	Beshaa veedah
Caprifoliaceae	<i>Sambucus canadensis</i> L.	Sauco	C, J	Shia sauco

Continúa Cuadro 1...

Continúa Cuadro 1...

Familia	Nombre científico <sup>1</sup>	Nombre vernáculo	Pob.	Nombre zapoteco
Chenopodiaceae	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	Epazote montés	C, J	Bét-te
Chrysobalanaceae	<i>Licania arborea</i> Seem	Pipe	C	
Cornaceae	<i>Cornus excelsa</i> Kunth	Galindapaz	J	Yaagüia
Crassulaceae	<i>Sedum dendroideum</i> DC. Moc. & Sessé ex DC	Siempre viva	J	
Cucurbitaceae	<i>Microsechium</i> sp.	Amole	J	Yááh
Cupressaceae	<i>Taxodium huegelii</i> C. Lawson	Sabino	C	
Equisetaceae	<i>Equisetum myriochaetum</i> Schlttdl. & Cham	Carricillo	C, J	Éd-tdéh
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	C, J	Yaayaana
Ericaceae	<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth.	Pingüita	C, J	Yaa bech-chúh
Euphorbiaceae	<i>Cnidocolus multilobus</i> (Pax.) I.M. Johnst	Mala Mujer	C, J	Rubayih
Fagaceae	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino de cucharita	C, J	Yaa duugah
Fagaceae	<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	Encino de hoja delgada	C, J	Yaa diáh
Fagaceae	<i>Quercus</i> sp.	Encino blanco	C	
Geraniaceae	<i>Geranium seemanii</i> Peyr	Hoja de aguja	C, J	Digatsáa
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	San Pablo	J	Laa-danaopasma
Lamiaceae	<i>Clinopodium macrostemum</i> (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	Hierba de borracho	C, J	Xhúshia
Lamiaceae	<i>Lepechinia</i> sp.	Beltrónica	J	Itziáh
Lamiaceae	<i>Manihot</i> sp.	Mano de león	C, J	
Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i> L.	Marrubio	J	
Lamiaceae	<i>Mentha canadensis</i> L.	Poleo	C, J	Betzitih
Lamiaceae	<i>Mentha x rotundifolia</i> (L.) Huds	Mastranza	J	
Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Romero silvestre	C, J	Rumeru
Lamiaceae	<i>Salvia</i> sp.	Flor de terciopelo	J	Algodoncillu-laa
Lamiaceae	<i>Stachys coccinea</i> Ortega	Mirto de monte	C	
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth.	Laurel	C, J	Letdáh
Leguminosae	<i>Acacia pennatula</i> (Schlttdl. & Cham.) Benth	Espino	C	
Leguminosae	<i>Acacia</i> sp.	Yayage	C, J	Yaa-yagué
Leguminosae	<i>Crotalaria pumila</i> Ortega	Chepil	C, J	Yeedia
Leguminosae	<i>Erythrina americana</i> Mill	Zompancle	C, J	Yaa betútza
Leguminosae	<i>Leucaena</i> sp.	Guajal	C, J	Yaa láah
Leguminosae	<i>Mimosa albida</i> Willd	Vergonzosa	C, J	Yaa-guaquetih
Leguminosae	<i>Phaseolus coccineus</i> L.	Satope	C, J	Datup-pih
Leguminosae	<i>Phaseolus</i> sp.	Salaya	C	
Loranthaceae	<i>Psittacanthus</i> sp.	Liria	C, J	Tdehquih
Lythraceae	<i>Cuphea</i> sp.	Flor de chuparrosa	J	Shiashtut-tzih
Lythraceae	<i>Heimia salicifolia</i> (Kunth) Link	Hierba de cuerdas	J	Cuana biini
Malvaceae	<i>Anoda</i> sp.	Violeta moradita	J	
Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.	Malva	C, J	Shia rushúvitsa
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvarisco	C, J	Yaguaati
Meteoriaceae	<i>Papillaria</i> sp.	Musgo	C, J	Yát-tzi

Continúa Cuadro 1...



## Continúa Cuadro 1...

Familia	Nombre científico <sup>1</sup>	Nombre vernáculo	Pob.	Nombre zapoteco
Moraceae	<i>Morus celtidifolia</i> Kunth	Moral	J	Yaa vel-la seda
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba silvestre	C	
Nolinaceae	<i>Dasyllirion serratifolium</i> (Karw. ex Schult. & Schult.f.) Zucc	Cucharilla	J	Biúh
Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh	Fresno	J	Yaayeláh
Orchidaceae	<i>Arpophyllum spicatum</i> Lex	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Barkeria melanocaulon</i> A.Rich. & Galeotti	Orquídea	J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Deiregyne eriophora</i> (B.L.Rob. & Greenm.) Garay	Orquídea	J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Dichaea glauca</i> (Sw.) Lindl	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Encyclia microbulbon</i> (Hook.) Schltr	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Epidendrum propinquum</i> A.Rich. & Galeotti	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Epidendrum</i> sp. 1	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Epidendrum</i> sp. 2	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Epidendrum</i> sp. 3	Orquídea	J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Euchile karwinskii</i> (Mart.) Christenson	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Govenia utriculata</i> (Sw.) Lindl.	Orquídea	J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Isochilus oaxacanus</i> Salazar & Soto Arenas	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Laelia anceps</i> Lindl.	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Laelia furfuracea</i> Lindl.	Orquídea	J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Oncidium</i> sp.	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Prosthechea michuacana</i> (Lex.) W.E. Higgins	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Prosthechea tripunctata</i> (Lindl.) W.E. Higgins	Orquídea	J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Prosthechea varicosa</i> (Bateman ex Lindl.) W.E. Higgins	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Prosthechea vitellina</i> (Lindl.) W.E. Higgins	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Rhynchostele aptera</i> (Lex.) Soto Arenas & Salazar	Orquídea	C, J	Shia tziilah
Orchidaceae	<i>Rhynchostele cervantesii</i> subsp. membranacea (Lindl.) Soto Arenas & Salazar	Orquídea	C	
Orchidaceae	<i>Rhynchostele maculata</i> (Lex.) Soto Arenas & Salazar	Orquídea	C	
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	Trébol	J	Béeh
Papaveraceae	<i>Argemone mexicana</i> L.	Chicalote	C, J	Becutoóh
Passifloraceae	<i>Passiflora subpeltata</i> Ortega	Granadita de culebra	C, J	Granadita-que bel-la
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Parlanchina	J	Lác-cah
Pinaceae	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	Flor de cruz	C, J	Shiacruuci
Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schldl.	Ocotal	J	Yaayeritoóh
Pinaceae	<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	Ocotal	J	Turi yayeri
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw	Ocotal	J	Yaa yéeri
Pinaceae	<i>Pinus</i> sp. 1	Ocote	C	
Pinaceae	<i>Pinus</i> sp. 2	Ocote	C	
Pinaceae	<i>Pinus</i> sp. 3	Ocote	C	
Piperaceae	<i>Peperomia rotundifolia</i> (L.) Kunth.	Gucje de ardilla	C, J	Laáh veriida
Piperaceae	<i>Piper auritum</i> Kunth	Hierba santa	C, J	Lashúah

Continúa Cuadro 1...

Continúa Cuadro 1...

Familia	Nombre científico <sup>1</sup>	Nombre vernáculo	Pob.	Nombre zapoteco
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	Lantén	J	
Poaceae	<i>Arundo donax</i> L.	Carrizo	C, J	Laa
Polemoniaceae	<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand	Espinosillo	C	
Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i> L.	Lengua de perro	C, J	Lutzih békúh
Polygonaceae	<i>Rumex</i> sp.	Lengua de vaca	C, J	
Polypodiaceae	<i>Polypodium guttatum</i> Maxon	Camote de encino	C, J	Lac-cu yadiáh
Polytrichaceae	<i>Polytrichum</i> sp.	Pastito	C, J	Pastu toóh
Portulacaceae	<i>Portulaca</i> sp.	Verdolaga	C, J	
Pteridaceae	<i>Adiantum</i> sp.	Hierba de corazón	J	
Rosaceae	<i>Cercocarpus macrophyllus</i> C.K.Schneid.	Palo bendito	J	Yaalash-shia
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capuli</i> (Cav. Ex Spreng.) McVaugh	Cerezal	C, J	Yaa idáh
Rosaceae	<i>Rubus adenotrichus</i> Schldl.	Zarzamora	C, J	Diigah tzáh
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.	Zarzaparrilla	C, J	Diigah tzáh
Rubiaceae	<i>Bouvardia</i> sp.	Azucena	J	Shiazucena
Rubiaceae	<i>Spermacoce</i> sp.	Riñonina	C, J	
Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i> Llave	Zapote dormilón	C	
Salicaceae	<i>Salix bonplandiana</i> Kunth	Laurel blanco	C, J	Letdáh shoo
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Chapulisle	C, J	Yaalúdu
Scrophulariaceae	<i>Bacopa</i> sp.	Itamorreal	C, J	
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i> sp.	Doradilla	C, J	Laah shquíruh
Solanaceae	<i>Cestrum nocturnum</i> L.	Huele de noche	C	
Solanaceae	<i>Datura stramonium</i> L.	Toloache	C, J	Etzéh lootón
Solanaceae	<i>Solanum nigrescens</i> M.Martens & Galeotti	Cuatomatillo	C, J	Besh-shí biúh
Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum majus</i> L.	Mastuerzo	C	
Urticaceae	<i>Parietaria pensylvanica</i> Muhl. ex Willd.	Paletaria	C, J	Xhusha vedínah
Urticaceae	<i>Urtica chamaedryoides</i> Pursh	Chichicastle	J	Laayi
Verbenaceae	<i>Aloysia</i> sp.	Cedrón	J	Laáh-cedrón
Verbenaceae	<i>Lippia</i> sp.	Pitiona	C	
Verbenaceae	<i>Phyla scaberrima</i> (Juss. Ex Pers.) Moldenke	Hoja dulce	C	
Verbenaceae	<i>Verbena carolina</i> L.	Verbena	J	Laáhverbena
Vitaceae	<i>Vitis tiliifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Schult.	Uva silvestre	C, J	Betzúlih
	No identificada 1	Hoja de golpe	C	
	No identificada 2	Hoja guinda	C	
	No identificada 3	Hormiguillo	C	

<sup>1</sup> Los nombres científicos y familias botánicas corresponden a los nombres aceptados científicamente de acuerdo a: <http://www.theplantlist.org/> (30 de septiembre de 2015).

<sup>1</sup> The scientific names and the botanical families correspond to the scientifically accepted names according to: <http://www.theplantlist.org/> (September 30, 2015).

C = Capuláipam de Méndez; J = Santa María Jaltilanguis.



Del listado florístico para Capulálpam, solo 2 % (3) de las plantas no se determinaron y se registran, únicamente, por su nombre vernáculo (hoja de golpe, hoja guinda y hormiguillo); 29 % (35) se identificó a nivel género; y 69 % (84) hasta especie.

En el caso de Jaltianguis, 26 % (33) se identificaron a nivel género y 74 % (95) a especie. Del listado para las dos comunidades, 30 % (50) a género y 68 % (113) a especie.

De la flora de Capulálpam, 20 RFNM fueron mencionados con dos o más nombres vernáculos distintos, mientras que en Jaltianguis 34 RFNM fueron nombrados de dos o más formas (Cuadro 2).

Only 2 % (3) of the plants included in the floristic list of *Capulálpam* remain undetermined and are registered exclusively by their vernacular names (*hoja de golpe*, *hoja guinda* and *hormiguillo*); 29 % (35) were identified at genus level, and 69 % (84), at species level.

Of the list of plants of *Jaltianguis*, 26 % (33) were identified at genus level, and 74 % (95), at species level. Of the list of plants found in both communities, 30 % (50) were identified by genus, and 68 % (113) by species.

20 NTFRs belonging to the flora of *Capulálpam* were mentioned by two or more different vernacular names, while 34 NTFRs of *Jaltianguis* were given two or more names (Table 2).

Cuadro 2. Recursos forestales no maderables citados con dos o más nombres vernáculos en Capulálpam de Méndez (C) y Santa María Jaltianguis (J), Oaxaca.

Table 2. Non-timber forest resources cited under two or more vernacular names in *Capulálpam de Méndez* and *Santa María Jaltianguis*, Oaxaca.

Nombre científico	Nombres vernáculos	Localidad
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	Flor de cruz, oyamel	J
<i>Acacia</i> sp.	Lloyagué, maderita, palo azul	C, J
<i>Agave</i> sp. 1	Magüey de tierra caliente, magüey de flor chica, tobalá	C, J
<i>Agave</i> sp. 3	Magüey de tierra caliente, magüey de flor grande	C
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aguilar, palo de águila	C, J
<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	Pingüita, pingüica	J
<i>Argemone mexicana</i> L.	Chicalote, ortiga	J
<i>Bursera</i> sp.	Copal, cuachalala	J
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell	Chamizo de cuaresma, chamizo blanco	J
<i>Casimiroa edulis</i> LaLlave	Zapote dormilón, zapote blanco	C
<i>Cercocarpus macrophyllus</i> C.K. Schneid.	Palo bendito, ramoncillo	J
<i>Cirsium</i> sp.	Cardosanto, cardo de santo	C
<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Chapulisle, cacho de venado	C, J
<i>Equisetum myriochaetum</i> Schldl. & Cham	Carricillo, cola de caballo	C, J
<i>Erythrina americana</i> Mill	Zompantle, dormilona	C
<i>Geranium seemannii</i> Peyr	Alfilerillo, hoja de aguja	C
<i>Lepechinia</i> sp.	Beltrónica, bretónica	J
<i>Lepidium virginicum</i> L.	Pierna de vieja, sopitas	J
<i>Licania arborea</i> Seem	Pipe, cacahuananche	C
<i>Manihot</i> sp.	Mano de león, saramuya	C, J
<i>Mimosa albida</i> Willd	Vergonzosa, uña de gato	J
<i>Montanoa</i> sp. 1	Árnica de monte, toquilla	C, J
<i>Montanoa</i> sp. 2	Flor blanca, quematrapo	J

Continúa Cuadro 2...

Continúa Cuadro 2..

Nombre científico	Nombres vernáculos	Localidad
<i>Papillaria</i> sp.	Musgo, musgo amarillo	J
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Parlanchina, perlachina	J
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld	Ocotal, pino	J
<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	Ocotal, pino	J
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Ocotal, pino	J
<i>Polytrichum</i> sp.	Musgo verde, tapete, pastito	C, J
<i>Prunus serótina</i> Ehrh.	Capulín, cerezal	C, J
<i>Plumeria rubra</i> (L.) Kunth	Cacalosúchil, flor de mayo	J
<i>Psittacanthus</i> sp.	Liria, muérdago	J
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	Anís, anís de monte	C
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino de cucharita, encino negro	C
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth	Laurel blanco, sauce	J
<i>Sambucus canadensis</i> L.	Sauco, sauce	J
<i>Selaginella</i> sp.	Rompe piedra, doradilla, planta de ombligo	C, J
<i>Solanum nigrescens</i> M.Martens & Galeotti	Cuatomatillo, tonchiche	J
<i>Tagetes foetidissima</i> Hort. ex DC	Cempoasúchil, flor de todosantos	J
<i>Tillandsia</i> sp.	Magueyito verde, maguey de flor amarilla	J
<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	Pasle, musgo blanco	J
<i>Tournefortia</i> sp.	Hoja de cáncer, cancerina	C
<i>Vitis tiliifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Schult.	Uva silvestre, beetzuli	J
No identificada 1	Hoja de golpe, hoja de zopilote.	C

### Determinación taxonómica y clasificación de los RFNM

La determinación de grupos taxonómicos, en Capulálpam, se registraron 50 familias botánicas, de ellas sobresalen: Asteraceae (21), Orchidaceae (16), Leguminosae (8) y Lamiaceae (5); el resto agruparon cuatro especies o menos. El listado de Jaltianguis integró 60 familias botánicas. El mayor número de especies correspondió a las Asteraceae (20), seguida de Orchidaceae (14), Lamiaceae (8) y Leguminosae (6). Las familias restantes incluyeron cuatro especies o menos. Los RFNM citados en las dos localidades pertenecen a 66 familias botánicas (Cuadro 3).

### Taxonomical determination and classification of NTFRs

Determination of taxonomical groups: 50 botanical families were found in *Capulálpam*, the best represented of which were Asteraceae (21), Orchidaceae (16), Leguminosae (8) and Lamiaceae (5), with the largest number of species; the rest of the families include 4 species or less. The list for *Jaltianguis* grouped 60 botanical families. The largest number of species belonged to the Asteraceae family (20), followed by Orchidaceae (14), Lamiaceae (8) and Leguminosae (6); the rest of the families include 4 species or less. The NTFRs cited in the two locations were grouped in 66 botanical families (Table 3).



Cuadro 3. Familias botánicas y número de especies de los recursos forestales no maderables útiles en Capulálpam de Méndez y Santa María Jaltianguis, Oaxaca.

Table 3. Botanical families and number of species of useful non-timber forest resources in *Capulálpam de Méndez* and *Santa María Jaltianguis, Oaxaca*.

Familias botánicas	Núm. especies	Familias representadas por una especie
Asteraceae	24	Anacardiaceae, Annonaceae, Apiaceae, Apocynaceae, Araliaceae, Betulaceae, Bignoniaceae, Burseraceae, Caprifoliaceae, Chenopodiaceae, Chrysobalanaceae, Cornaceae, Crassulaceae, Cucurbitaceae, Cupressaceae, Equisetaceae, Euphorbiaceae, Geraniaceae, Hydrophyllaceae, Lauraceae, Loranthaceae, Meteoriaceae, Moraceae, Myrtaceae, Nolinaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Papaveraceae, Passifloraceae, Phytolaccaceae, Plantaginaceae, Poaceae, Polemoniaceae, Polypodiaceae, Polytrichaceae, Portulacaceae, Pteridaceae, Rutaceae, Salicaceae, Sapindaceae, Scrophulariaceae, Selaginellaceae, Tropaeolaceae y Vitaceae.
Orchidaceae	22	
Lamiaceae y Leguminosae	9	
Pinaceae	7	
Cactaceae	5	
Agavaceae, Bromeliaceae, Rosaceae y Verbenaceae	4	
Brassicaceae, Fagaceae, Malvaceae y Solanaceae	3	
Begoniaceae, Boraginaceae, Ericaceae, Lythraceae, Piperaceae, Polygonaceae, Rubiaceae y Urticaceae	2	

El total de especies de RFNM, se clasificaron de acuerdo a García y Meave (2012) en las categorías: nativas, endémicas de México, endémicas de Oaxaca, exóticas y cultivadas. En la población de Capulálpam, se registraron ocho especies endémicas de México, dos endémicas de Oaxaca, dos cultivadas, ocho especies exóticas y el resto correspondió a nativas; en Jaltianguis, ocho especies endémicas de México, dos endémicas de Oaxaca, 13 exóticas, dos cultivadas y el resto fueron especies nativas (Cuadro 4).

All species of NTFRs were classified according to García and Meave (2012) into these categories: native, endemic across Mexico, endemic in Oaxaca, exotic and cultivated. Table 4 shows them arranged according to this classification.



Cuadro 4. Recursos forestales no maderables endémicos, cultivados y exóticos registrados en Capulálpam de Méndez y Santa María Jaltianguis, Oaxaca.

Table 4. Endemic, cultivated and exotic non-timber forest resources registered in *Capulálpam de Méndez* and *Santa María Jaltianguis, Oaxaca*.

Endémicas de México	Endémicas de Oaxaca	Cultivadas	Exóticas
<i>Arpophyllum spicatum</i> Lex	<i>Barkeria melanocaulon</i> A.Rich. & Galeotti	<i>Annona cherimola</i> Mill.	<i>Borago officinalis</i> L.
<i>Disocactus ackermannii</i> (Haw.) Ralf Bauer	<i>Laelia furfurácea</i> Lindl.	<i>Psidium guajava</i> L.	<i>Brassica rapa</i> L.
<i>Encyclia microbulbon</i> (Hook.) Schltr	<i>Isochilus oaxacanus</i> Salazar & Soto Arenas		<i>Calendula officinalis</i> L.
<i>Govenia utriculata</i> (Sw.) Lindl.	<i>Rhynchostele cervantesii</i> (Lex.) Soto Arenas & Salazar		<i>Marrubium vulgare</i> L.
<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.			<i>Mentha canadensis</i> L.
<i>Laelia anceps</i> Lindl.			<i>Mentha x rotundifolia</i> (L.) Huds
<i>Polypodium guttatum</i> Maxon			<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.
<i>Porophyllum linaria</i> (Cav.) DC			<i>Plantago major</i> L.
<i>Rhynchostele áptera</i> (Lex.) Soto Arenas & Salazar			<i>Rosmarinus officinalis</i> L.
			<i>Rumex crispus</i> L.
			<i>Schinus molle</i> L.
			<i>Sonchus oleraceus</i> (L.) L.
			<i>Taraxacum campylodes</i> G.E. Haglund
			<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth

Fuente: García y Meave, 2012.  
Source: García and Meave, 2012.

## Discusión

El listado florístico de 122 plantas silvestres de Capulálpam y 128 de Jaltianguis no ha sido citado para comunidades de la región Sierra Juárez. Acosta y Martínez (2013) documentaron 48 RFNM, en Santa María Yavesía y 39 en Santa Catarina Lachatao; cantidades inferiores a las obtenidas en este estudio. Por lo anterior, es necesario continuar con los esfuerzos, no solo para conocer y documentar la flora útil, sino la flora en general. Esto alentaría hacer estudios comparativos y permitiría visualizar prioridades de conservación de algunos recursos que son referidos como escasos o en peligro, debido a diferentes actividades humanas.

Al restar las plantas exóticas y cultivadas que crecen de forma silvestre en las localidades de estudio, el registro para la primera población fue de 112 (91 %) y para la segunda fue de 113 (88 %) plantas silvestres, consideradas desde el punto de vista de la planeación del manejo forestal como RFNM.

En cuanto a las categorías de uso de los RFNM registrados, el mayor porcentaje correspondió a la medicinal, con 42 % en Capulálpam y 43 % en Jaltianguis; lo que coincide con los resultados de Loredo *et al.* (2002), Monroy y Ayala (2003), Padilla (2007), Luna y Rendón (2008), y Molina *et al.* (2012).

Con respecto al 51 % de especies compartidas por las dos comunidades, si bien, ambas se localizan en la misma región, por la ubicación geográfica se observan cambios en las condiciones ambientales de cada localidad, que permiten una diferencia en la diversidad de especies.

El conocimiento y registro de los nombres comunes, locales o vernáculos para una misma planta, presenta variaciones en distintas localidades aun cuando se trata de la misma región, puesto que se documentó el uso de dos nombres para una misma especie (*Equisetum myriochaetum* Schldl. *et* Cham.) y un solo nombre para referirse a distintas especies (pino).

El conocimiento ancestral, en específico del uso de la lengua materna, disminuye drásticamente con el paso del tiempo y por la implementación de programas de desarrollo económico y político. En Capulálpam, reconocido como Pueblo Mágico, no se mencionaron nombres de plantas en lengua zapoteca; en Jaltianguis se registraron 86 nombres. Estos datos son superiores al estudio de plantas medicinales de Cervantes y Valdés (1990), quienes citan 101 especies, de las que solo 22 se denominaron en lengua indígena. De igual manera, en la presente investigación se consigna un mismo nombre zapoteco para taxa diferentes; por ejemplo, para el maguey blanco, maguey de flor roja y maguey verde (bromelias) se emplea el término *Benáh*, con el de *Shia-tziilah* se refieren al grupo de orquídeas y con de *Diígah tzáh* a la zarzamora y zarzaparrilla.

## Discussion

The floristic list of 122 wild plants of Capulálpam and 128 of Jaltianguis has not been cited for the communities of the Sierra Juárez region. Acosta and Martínez (2013) registered 48 NTFRs in Santa María Yavesía, and 39 in Santa Catarina Lachatao; both figures are below those obtained in this study. Thus, further efforts to identify and document the useful flora, and the flora in general, must be pursued. This would encourage comparative studies and would allow visualizing conservation priorities for certain resources that are considered to be scarce or endangered as a consequence of various human activities.

Excluding the exotic and cultivated plants that grow wild in the locations of the study, the number of wild plant species regarded as NTFRs from the point of view of forest management planning that were identified in the first location is 112 (91 %); 113 species (88 %) were found in the second location.

As for the categories of use of the registered NTFRs, the highest percentage for the category of medicinal wild plants was 42 % in Capulálpam and 43 % in Jaltianguis, which coincides with the findings of Loredo *et al.* (2002), Monroy and Ayala (2003), Padilla (2007), Luna and Rendón (2008) and Molina *et al.* (2012).

In regard to the 51 % species shared between the two communities, although both are located in the same region, due to their geographical location each community has different environmental conditions and, therefore, different diversities of species.

The plant may be known and registered under several common, local or vernacular names, with variations according to the different locations even when they are all within the same region; thus, sometimes two different names were used for the same species (e.g. *Equisetum myriochaetum* Schldl. *et* Cham.), and others, a single name was found to refer to several species (e.g. pine).

On the other hand, ancestral knowledge, specifically of the use of the native language, diminishes drastically with the passage of time and with the implementation of economic and political development programs; for this reason, in Capulálpam, recognized as a "Magic Town" (Pueblo Mágico), the names of the plants in the Zapotec language were not mentioned, whereas 86 names in this language were documented in Jaltianguis. Still, these records surpass those of the study of medicinal plants by Cervantes and Valdés (1990), who cite 101 species, of which only 22 are mentioned by their indigenous names. Likewise, in the present study one same name in Zapotec is recorded for different taxa; for example, the term *Benáh* is used equally for the white maguey, the red-flower maguey and the green maguey (bromeliads), the term *Shia-Tziilah* refers to the group of

Lo anterior sugiere la relevancia de implementar investigaciones para indagar los sistemas de clasificación local, a fin de tener una identificación botánica precisa y asegurar que se trata de la misma entidad taxonómica (Martínez *et al.*, 2015). En consonancia con lo que Berlin (1992) llama *Taxa Folk*, que corresponde a una forma de estructurar un sistema de clasificación tradicional que incluye animales y plantas.

Los 166 RFNM registrados en las dos localidades, se agruparon en 66 familias botánicas, las de mayor riqueza específica fueron Asteraceae (25), Orchidaceae (22), Lamiaceae y Leguminosae (9), Pinaceae (7), Cactaceae (5), y Agavaceae, Bromeliaceae, Rosaceae y Verbenaceae (4). Resultados que concuerdan con la diversidad florística que consigna García (2012) para Oaxaca, quien ubica a la familia Asteraceae como la más diversa, con 856 especies. A nivel regional, hay coincidencia con Torres *et al.* (2009), autores que señalan a las familias Asteraceae y Orchidaceae con la mayor riqueza, 174 y 104 taxa, respectivamente.

Para otras regiones del estado, los valores también son similares. Padilla (2007) documenta en San Pablo Etla, 107 especies útiles, pertenecientes a 36 familias, de ellas Asteraceae es la mejor representada con 18 especies (22 %). En la Sierra Sur, Luna y Rendón (2008) identifican 555 especies, pertenecientes a 301 géneros y 113 familias, de las cuales 20 incluyen a 50 % de los taxa útiles; las familias sobresalientes fueron Fabaceae, Asteraceae y Solanaceae. En la región mixteca del estado de Oaxaca, Tapia (2011) cita 223 especies, agrupadas en 79 familias botánicas, sobresalen: Asteraceae (10.7 %) y Cactaceae (5.8 %).

Estudios realizados en otros estados del país con diferentes enfoques señalan a la familia Asteraceae como la más numerosa. Loredó *et al.* (2002), en Michoacán, registraron 199 especies útiles agrupadas en 153 géneros y 68 familias; indican que 44 % está representado por ocho familias: Asteraceae con 25 especies, Lamiaceae con 17, Fagaceae con 11, Rosaceae y Solanaceae con 10, Fabaceae con nueve, Apiaceae con siete y Brassicaceae con seis.

En el estado de Morelos, Monroy y Ayala (2003), citaron 77 especies (4 especies no se identificaron por su nombre científico), agrupadas en 42 familias, entre las que sobresalen, Fabaceae con 10 especies y Asteraceae con ocho. Hernández *et al.* (2005), registraron para Zapotitlán de las Salinas, Puebla, 44 especies pertenecientes a 26 familias y 41 géneros de uso medicinal, y la familia Asteraceae presentó el mayor número de las especies utilizadas (20.5 %). Canales *et al.* (2006), registraron para San Rafael, Coxcatlán, Puebla, 46 especies medicinales en 28 familias y 46 géneros, siendo Asteraceae la familia con el mayor número de registros. Lira y Blanckaert (2006), en su estudio etnobotánico de malezas útiles en Santa María Tecomavaca, documentaron 37 familias, 94 géneros y

orchids, and *Diigah tzáh* is used for both the blackberry and the sarsaparilla.

This suggests the relevance of implementing research on the local classification systems in order to attain a precise botanical identification and to ensure that reference is being made to the same taxonomical entity (Martínez *et al.*, 2015). This agrees with what Berlin (1992) calls *Folk Taxa* –a way of structuring a traditional classification system that includes animals and plants.

The NTFRs registered in the two locations were grouped into 66 botanical families; those with the largest wealth of species were Asteraceae (25), Orchidaceae (22), Lamiaceae and Leguminosae (9), Pinaceae (7), Cactaceae (5) and the Agavaceae, Bromeliaceae, Rosaceae and Verbenaceae families (4). These results agree with the floristic diversity recorded by García (2012) for Oaxaca, who describes the Asteraceae family as the most diverse, with 856 species. At regional level, there is a coincidence with Torres *et al.* (2009), authors who point at the Asteraceae and Orchidaceae families as those with the largest wealth of species, comprising 174 and 104 taxa, respectively.

These values are similar for other regions of the state. Padilla (2007) documents 107 useful species belonging to 36 families –the best represented of which is Asteraceae, with 18 species (22 %)- in *San Pablo Etla*. In the Southern *Sierra*, Luna and Rendón (2008) registered 555 species belonging to 301 genera and 113 families, 20 of which include 50 % of the useful species; the most prevalent families were Fabaceae, Asteraceae and Solanaceae. In the *Mixtec* region of the state of Oaxaca, Tapia (2011) reported 223 species grouped into 79 botanical families, of which Asteraceae (10.7 %) and Cactaceae (5.8 %) are the most prevalent.

Studies carried out in other states of the country with different approaches report the Asteraceae family as the most numerous. Loredó *et al.* (2002), in *Michoacán*, registered 199 useful species grouped into 153 genera and 68 families, 44 % of which consist of: Asteraceae, with 25 species; Lamiaceae, with 17; Fabaceae, with 11; Rosaceae and Solanaceae, with 10; Fabaceae, with 9, Apiaceae, with 7, and Brassicaceae, with 6.

In the state of Morelos, Monroy and Ayala (2003) reported 77 species (4 species were not identified by their scientific name), grouped into 42 families, the most outstanding of which were Fabaceae, with 10 species, and Asteraceae, with eight. Hernández *et al.* (2005) registered 44 species with medicinal use, belonging to 26 families and 41 genera, in *Zapotitlán de las Salinas, Puebla*, and found that the Asteraceae family had the largest number of utilized species (20.5 %). Canales *et al.* (2006) registered 46 medicinal species in 28 families and 46 genera in *Coxcatlán, Puebla*; the Asteraceae family had

142 especies, las familias más numerosas fueron Poaceae con 22 especies, Asteraceae con 17, Malvaceae con 13, Solanaceae con 12, Fabaceae con 11 y Euphorbiaceae con 10.

En Los Altos de Chiapas, Nepomuceno y Ishiki, (2010) reconocieron 68 especies útiles, pertenecientes a 30 familias y 56 géneros; las familias botánicas mejor representadas fueron Asteraceae con nueve especies, Leguminosae con ocho y Verbenaceae con seis. Molina *et al.* (2012), en Hidalgo, determinaron 69 familias, 148 géneros y 222 especies de plantas; Asteraceae y Labiatae presentaron mayor número de taxa. Gómez (2012), para una aldea en Tabasco, cita 112 plantas medicinales agrupadas en 57 familias, entre las que sobresalen: Asteraceae con 10 especies y Lamiaceae con siete.

White *et al.* (2013), en el Estado de México registraron 165 especies correspondientes a 147 géneros y 70 familias; Asteraceae (18) fue la más representativa, seguida de Lamiaceae con 10 especies. Villarreal *et al.* (2014) en Malpasito-Huimanguillo, Tabasco identificaron 128 plantas medicinales, distribuidas en 63 familias, de ellas, las mejor representadas fueron Asteraceae con 10 especies, Fabaceae y Lamiaceae con siete.

Suárez y Villaseñor (2011) indican que Asteraceae destaca por su endemismo, ya que 502 especies son endémicas de México y 133 de Oaxaca. Con respecto a la presencia de plantas exóticas silvestres, los datos son reducidos; García y Meave (2012) señalan 308 especies para el estado.

## Conclusiones

El listado florístico de 166 especies de RFNM en dos comunidades de la Sierra Juárez constituye uno de los más altos registros de la flora silvestre útil.

Es evidente el vínculo de saberes entre comunidades, al compartir 51% de las especies registradas, así como el conocimiento tradicional de usos de la flora silvestre, con una mayor proporción de plantas medicinales.

El registro de 67% de plantas con nombre indígena evidencia la resistencia a la pérdida local del uso de la lengua materna.

Resalta la importancia de los estudios sobre la nomenclatura tradicional, por la presencia de un número considerable de plantas mencionadas con nombres vernáculos.

El listado florístico de 166 RFNM fueron agrupados en 66 familias botánicas, las de mayor número de especies fueron Asteraceae, Orchidaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Pinaceae y Cactaceae.

Dentro de las especies de plantas útiles, ocho son endémicas de México, dos endémicas de Oaxaca, 13 exóticas y dos cultivadas. 

the largest number of recorded species. Lira and Blancaert (2006), in their ethnobotanic study of useful shrubs in *Santa María Tecomavaca*, registered 37 families, 94 genera and 142 species; the most numerous families were Poaceae, with 22 species; Asteraceae, with 17; Malvaceae with 13; Solanaceae, with 12; Fabaceae, with 11, and Euphorbiaceae, with 10.

In *Los Altos de Chiapas*, Nepomuceno and Ishiki (2010) recognized 68 useful species belonging to 30 families and 56 genera; the botanical families with the largest number of species reported were Asteraceae, with nine species; Leguminosae, with eight, and Verbenaceae, with six. In *Hidalgo*, Molina *et al.* (2012) determined 69 plant families, 148 genera and 222 species; the best represented families were Asteraceae and Labiatae. Gómez (2012) cites 112 medicinal plants, grouped into 57 families, in a village in *Tabasco*, the most outstanding families being Asteraceae, with 10 species, and Lamiaceae, with 7.

White *et al.* (2013), in *Estado de México* registered 165 species corresponding to 147 genera and 70 families; Asteraceae (18) was the most representative family, followed by Lamiaceae, with 10 species. Villarreal *et al.* (2014), in *Malpasito-Huimanguillo, Tabasco*, identified 128 medicinal plants, distributed in 63 families, of which the best represented were Asteraceae, with 10 species, and Fabaceae and Lamiaceae, with seven.

According to Suárez and Villaseñor (2011), the Asteraceae family stands out for its endemism, as 502 species are endemic across Mexico, and 133, in Oaxaca. There are limited data on the presence of exotic wild plants, of which García and Meave (2012) registered 308 species in the state.

## Conclusions

The floristic list of 166 species of NTFRs in two communities of the *Sierra Juárez* is one of the highest records of useful wild plants.

The interconnection of knowledge between the two communities is evident in it, as they share 51% of the listed species and traditional lore regarding the uses of wild plants, mostly of medicinal plants.

The fact that 67% of the plants were registered under an indigenous name shows local resistance to relinquish the use of the native language.

Furthermore, it highlights the importance of carrying out studies on the traditional nomenclature, given the presence of a significant number of plants that are mentioned under several vernacular names each.

The floristic list of NTFRs includes 166 species grouped into 66 botanical families; the families with the largest number



## Agradecimientos

Al Conacyt por la beca otorgada para estudios doctorales. A las personas entrevistadas en las comunidades de estudio por su valiosa colaboración y apoyo. A la señora L. Bernardina Hernández Santiago y señor Salvador García Hernández por su apoyo para nombrar a las plantas en la lengua zapoteca y al profesor José Francisco García por la escritura de los nombres en zapoteco (todos ellos de Santa María Jaltinguis).

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.


## Contribución por autor

Joel Martínez López: elaboración del resumen, la introducción y el marco metodológico, trabajo de campo y de herbario, redacción de los resultados, discusión y conclusiones; Alejandra Acosta Ramos: apoyo de trabajo en campo, identificación de especies de la familia Orchidaceae, elaboración de los cuadros 2, 3 y 4, apoyo en la introducción y discusión; Enrique Martínez y Ojeda: realización del *Abstract* y apoyo de trabajo en herbario; Filemón Manzano Méndez: trabajo en campo, apoyo en los apartados de áreas de estudio, métodos y discusión.

## Referencias

- Acosta R. A. y J. Martínez L. 2013. Uso tradicional de productos forestales no maderables en dos comunidades forestales de la Sierra Juárez, Oaxaca, México. *In: Memoria del XV Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Ciencias Agronómicas*. 24 al 26 de abril de 2013. Texcoco, Edo. de Méx., México. pp. 386-387.
- Berlin, B. 1992. *Ethnobiological classification. Principles of categorization of plants and animals in traditional societies*. Princeton University Press. Princeton, NJ, USA. 335 p.
- Caballero, J., L. Cortes, M. A. Martínez A. y R. Lira S. 2004. Uso y manejo tradicional de la diversidad vegetal. *In: García M., A. J., M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas*. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. México, D.F., México. pp. 541-564.
- Campos, J. 1998. *Productos forestales no madereros en Chile*. Santiago Chile. Organización Mundial para Alimentación y la Agricultura (FAO). Serie Forestal Núm. 10. Santiago, Chile. 65 p.
- Canales M., M., T. Hernández D., J. Caballero N., A. Romo de Vivar R., A. Durán D. y R. Lira S. 2006. Análisis cuantitativo del conocimiento tradicional de las plantas medicinales en San Rafael, Coxcatlán, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana* 75: 21-43.
- Cárdenas L., D., C. Marín C., S. Suárez S., C. Guerrero y P. Nofuya. 2002. Plantas útiles en dos comunidades del departamento del Putumayo. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - Sinchi. Bogotá, Colombia. 148 p.
- Cervantes S., L. y J. Valdés G. 1990. Plantas medicinales del distrito de Ocotlán, Oaxaca. *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Botánica* 60(1): 85-103.
- Chandrasekharan, C. 1995. Terminology, definition and classification of forest products other than wood. *In: FAO* (ed.). *Report of the International expert consultation on non-wood forest products*. Rome, Italy. Non-wood forest products 3: 345-380.
- Chandrasekharan, C., T. Frisk y J. C. Roasio. 1996. Desarrollo de los productos no madereros en América Latina y el Caribe. FAO, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/docrep/t2360s/t2360s00.htm> (15 de junio de 2015).

of species were Asteraceae, Orchidaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Pinacaceae and Cactaceae.

Eight species of useful plants are endemic across Mexico, two are endemic to Oaxaca, 13 are exotic, and two are cultivated. 

## Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to Conacyt for the scholarship granted for PhD studies. To all interviewees in the communities of study, for their valuable collaboration and support. Likewise, to Ms. L. Bernardina Hernández Santiago and to Mr. Salvador García Hernández, for their support in providing the names of the plants in the Zapotec language, and to Professor José Francisco García, for writing the names in Zapotec -all three of whom are members of the community of Jaltinguis.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

Joel Martínez López: writing of the Abstract, Introduction, Results, Discussion and Conclusions, as well as support in the methodological framework, field and herbarium work; Alejandra Acosta Ramos: support in field work, identification of species of the Orchidaceae family, construction of tables 2, 3 and 4, collaboration in writing of the Introduction and Discussion sections; Enrique Martínez y Ojeda: writing of the Abstract and help in the herbarium work; Filemón Manzano Méndez: field work, support in the study area section as well as in regard to methodology and discussion.

*End of the English version*



- Conforte, D. 2000. Acceso de pequeños productores a mercados dinámicos de productos forestales no maderables: experiencias y lecciones. <http://www.eldis.org/assets/Docs/30477.html> (15 de mayo de 2015).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1995. Non-wood forest products for rural income and sustainable forestry. FAO: Non-Wood Forest Products 7. <http://www.fao.org/docrep/V9480E/V9480E00.htm> (30 de junio de 2015).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1999. Towards a harmonized definition of non-wood forest products. FAO, Unasylva- No. 198, Vol. 50. <http://www.fao.org/docrep/x2450e/x2450e0d.htm> (25 de junio de 2015).
- García M., A. J. 2012. Introducción. *In: García M., A. J. (ed. y comp.) y J. A. Meave C. (ed. asociado)*. *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas (colecciones y lista de especies)*. UNAM-CONABIO-IEEDS. México, D.F., México. pp. 13-34.
- García M., A. J. y J. A. Meave C. (eds.). 2012. *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas (colecciones y lista de especies)*. Segunda edición. UNAM-CONABIO-IEEDS. México, D.F., México 351 p.
- Gómez Á., R. 2012. Plantas medicinales en una aldea del estado de Tabasco, México. *Revista Fiotecnia Mexicana* (35)1: 43-49.
- Gutiérrez P., A. 1989. *Conservacionismo y desarrollo del recurso forestal: texto guía forestal*. Editorial Trillas. México, D.F., México. 205 p.

- Hernández T., M. Canales, J. Caballero, A. Durán y R. Lira. 2005. Análisis cuantitativo del conocimiento tradicional sobre plantas utilizadas para el tratamiento de enfermedades gastrointestinales en Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Interciencia* 30(9): 7-27.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2011a. Censo General de Población y Vivienda 2010. México. Inegi. <http://www.censo2010.org.mx/> (26 de marzo de 2015).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2011b. Información nacional, por entidad federativa y municipios. Oaxaca, México. Inegi. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=20> (26 de marzo de 2015).
- Lira S., R. y I. Blanckaert. 2006. Estudio etnobotánico de las malezas útiles presentes en diferentes agroecosistemas en el municipio de Santa María Tecomavaca, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-Conabio. Proyecto Núm. BE010. México, D.F., México. 15 p.
- Loredo M., O. L., J. M. Rodríguez Ch. y M. G. Ramos E. 2002. Aprovechamiento de recursos vegetales en una localidad de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Michoacán, México. *Etnobiología* 2: 32-60.
- Luna J., A. de L. y B. Rendón A. 2008. Recursos vegetales útiles en diez comunidades de la Sierra Madre del sur, Oaxaca, México. *Polibotánica* 26: 93-424.
- Martínez L., J., E. Martínez y O., J. J. Blancas V. y A. Acosta R. 2015. Valor cultural de los recursos forestales no maderables en Capulálpam de Méndez, Oaxaca. *Cathedra et Scientia. International Journal* 1(2): 81-98.
- Molina M., J. L., R. Galván V., A. Patiño S. y R. Fernández N. 2012. Plantas medicinales y listado florístico preliminar del municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Polibotánica* 34: 259-291.
- Monroy, R. y I. Ayala. 2003. Importancia del conocimiento etnobotánico frente al proceso de urbanización. *Etnobiología* 3: 79-92.
- Myers, N. 1988. Tropical forest: Much more than Stocks of Wood. *Journal of Tropical Ecology* 4:209-21.
- Nepomuceno S., A. E. y M. Ishiki I. 2010. Las plantas empleadas para el tratamiento de las infecciones respiratorias en Los Altos de Chiapas. *Etnobiología* 8: 11-30.
- Padilla G., E. 2007. Estudio ecológico y etnobotánico de la vegetación del municipio de San Pablo Etla. Oaxaca. Tesis de Maestría. CIDIR-IPN, Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., México. 162 p.
- Pulido, M. T., M. S. González, P. Hersch, C. Illsley, C. López y F. Ramírez. 2010. Productos forestales no maderables: consideraciones sobre su dimensión económica. In: Moreno, Á., M. T. Pulido, R. Mariaca, R. Valadez, P. Mejía y T. V. Gutiérrez. (eds.). *Sistemas biocognitivos tradicionales: paradigmas en la conservación biológica y el fortalecimiento cultural*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Asociación Etnobiológica Mexicana y Sociedad Latinoamericana de Etnobiología. México, D.F., México, pp. 214-218.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México, D.F., México. 78 p.
- Suárez M., M. E. y J. L. Villaseñor. 2011. Las compuestas endémicas de Oaxaca, México, diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 88:55-66.
- Tapia P., D. 2011. Valor cultural de las plantas de Tonalá, Huajuapán, Oaxaca. Tesis de Maestría. CIDIR-IPN, Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., México. 89 p.
- Torres C., R., D. H. Lorence, M. P. Ramírez De A. y R.E. Villa A. 2009. Listados Florísticos de México. XXV. Flora de la Sierra de Juárez, Oaxaca: distrito de Ixtlán y áreas adyacentes (Sierra Norte Oaxaca). IB-UNAM. México, D.F., México. 90 p.
- Ulujobi, O., J. 2012. Harvesting practices, utilization and conservation of NTFP's in Ekiti, State, Nigeria. *International Journal of Academic Research* 4(1):134-140.
- Villarreal I., E. C., E. García L., P. A. López, D. J. Palma L., L. del C. Lagunes E., C. F. Ortiz G. y A. Oranday C. 2014. Plantas útiles en la medicina tradicional de Malpasito-Huimanguillo, Tabasco, México. *Polibotánica* 37: 109-134.
- White O., L., J. I. Juan P., C. Chávez M. y J.G. Gutiérrez C. 2013. Flora medicinal en San Nicolás, Municipio de Malinalco, Estado de México. *Polibotánica* 35: 173-206.
- Wunder, S. and A. Angelsen. 2003. Exploring the forest-poverty link: key concepts, issues and research implications. CIFOR Occasional Paper Num. 40. Bogor, Indonesia. 58 p.
- Zorondo R., F. 2007. ¿Quiénes recolectan los productos forestales no maderables?: una aproximación para identificar a individuos recolectores en una comunidad indígena de la India. *Periferia: revista de recerca i formació en antropologia*. <http://www.raco.cat/index.php/Periferia/article/view/146573/198393> (10 de octubre de 2015).





Artículo / Article

## Importancia ecológica de los gatuños (*Mimosa* spp.) en el Parque Nacional Sierra de Órganos

## Ecological relevance of catclaw (*Mimosa* spp.) at the Sierra de Órganos National Park

Ricardo Ismael Mata-Páez<sup>1</sup>, Pedro Antonio Domínguez-Calleros<sup>1</sup>, José Rodolfo Goche-Télles<sup>1</sup> y Manuel Antonio Díaz-Vásquez<sup>1</sup>

### Resumen

Los integrantes florísticos de la familia *Leguminosae* son de suma importancia para la recuperación de sitios degradados. El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar silvícola y ecológicamente las plantas de gatuños presentes en el Parque Nacional Sierra de Órganos (PNSO), lo cual permitirá realizar un adecuado manejo de su población y determinar su importancia en el proceso de sucesión vegetal. Se rodalizaron las principales poblaciones de gatuños y se ubicaron sitios circulares de 500 m<sup>2</sup>, con una intensidad de muestreo de 5 %. Se utilizaron los índices de *Füldner* y *Gadow* y *Pommerening* para determinar la distribución espacial de las especies presentes. En 53 sitios de muestreo se registró una densidad aproximada de 3 120 plantas ha<sup>-1</sup>, de las cuales 79 % corresponde a "gatuños", localizados entre los 2 279 y 2 357 msnm; de ellas, 30 % se encontraron en exposiciones este. Su altura y diámetro promedio fue de 106.62 cm y 2.11 cm, respectivamente. El índice de *Füldner* y *Gadow* tuvo un valor de 0.264 y el de *Pommerening* de 1.282. Se asocia principalmente con los géneros *Opuntia*, *Acacia* y *Pinus*. Los gatuños en el PNSO no son plantas invasoras, ya que solo cubren 4.76 % de la superficie total, forman manchones compactos y delimitados, además ocupan zonas donde otro tipo de vegetación no sobreviviría con facilidad, como son laderas, orillas de los arroyos intermitentes y áreas que estuvieron sometidas a sobre pastoreo, en las que cumplen un rol de protectoras y formadoras de suelo.

**Palabras clave:** Área Natural Protegida, distribución espacial, formadores de suelo, *Mimosa* spp., plantas invasoras, sitios degradados.

### Abstract

Flora members of the *Leguminosae* family are crucial to the recuperation of degraded sites. The objective of this research was to characterize the catclaw plants present at the Sierra de Órganos National Park (*Parque Nacional Sierra de Órganos*, PNSO) both silviculturally and ecologically, which allows an adequate management of their population and makes it possible to determine their relevance in the vegetal succession process. The main catclaw populations were arranged in stands, and circular 500 m<sup>2</sup> sites were established, with a sampling density of 5 %. The indices developed by Von Gadow and Földner and by Pommerening were used to determine the spatial distribution of this species. An approximate density of 3 120 plants ha<sup>-1</sup> was registered in 53 sampling sites; 79 % of these plants are catclaws, located within a range of 2 279 to 2 357 masl; 30 % of these were found at eastern exposures. Their average height and diameter were 106.62 cm and 2.11 cm, respectively. The index of Von Gadow and Földner had a value of 0.264, and Pommerening's index, of 1.282. This specie is mainly associated with the *Opuntia*, *Acacia* and *Pinus* genera. Catclaws at PNSO are non-invasive plants, as they cover only 4.76 % of the total surface area; they form compact, defined patches, and they occupy areas where other types of vegetation would not easily survive, such as mountainsides, the banks of intermittent streams and areas that have been subjected to overgrazing, where they fulfill a protective and soil-forming role.

**Key words:** Natural Protected Area, spatial distribution, soil-forming, *Mimosa* spp., invasive plants, degraded sites.

Fecha de recepción/Received date: 21 de octubre de 2015; Fecha de aceptación/Accepted date: 30 de mayo de 2015.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Correo-e: pdomingc@hotmail.com

## Introducción

Los ecosistemas áridos y semiáridos cubren más de 50 % de la superficie de México, los cuales son, especialmente, propensos a los disturbios naturales o a los causados por el hombre como el desmonte, la expansión de la frontera agrícola, la extracción de especies útiles y el sobrepastoreo (Flores *et al.*, 2006; Montañaño *et al.*, 2006). Investigadores señalan que en México, 50 000 ha de vegetación semiárida se modifican cada año, lo que ocasiona alteraciones y deterioro de los recursos y valores presentes en estos ecosistemas (Flores *et al.*, 2006; Montañaño *et al.*, 2006).

Además del cambio en la arquitectura y composición de las especies vegetales, el ecosistema presenta modificaciones en los ciclos biogeoquímicos; pérdida del hábitat de diversos taxa animales y microorganismos; aumento de la erosión, disminución de la fertilidad y la alteración del flujo y del tiempo de retención del agua en el suelo (Flores *et al.*, 2006). Tres cuartas partes del territorio del estado de Zacatecas (56 463 km<sup>2</sup>) corresponde a zonas áridas o matorrales, de estas 14 % ofrece condiciones favorables para la agricultura, 79 % para la ganadería y 7 % están cubiertas de bosques maderables y no maderables (Inafed, 2014).

El género *Mimosa* se distribuye en el continente Americano, desde el sur de Estados Unidos de América (USDA, 2014; TNP, 2014) hasta Argentina, también se registra en África, Asia y Oceanía (Camargo *et al.*, 2001). En México, está representado por aproximadamente de 104 a 110 especies (Camargo *et al.*, 2001) presentes en las regiones tropicales, subtropicales áridas y semiáridas.

Son un componente importante del matorral xerófilo del Altiplano Mexicano, ocupan grandes extensiones del centro del país, principalmente en San Luis Potosí, norte-centro de Jalisco, Aguascalientes, norte de Guanajuato y sur de Zacatecas; como especie dominante en manchones de hasta 8 000 individuos ha<sup>-1</sup>. Se le denomina gatuño, garabatillo, garruño, uña de gato, etcétera, según la zona donde crece (Pavón *et al.*, 2011).

En el Parque Nacional Sierra de Órganos (PNSO) se desarrollan dos especies: *Mimosa dysocarpa* Benth. y *Mimosa aculeaticarpa* Ortega, la segunda es la que tiene una mayor distribución dentro del parque (Enríquez *et al.* 2003). Ambas son invasoras de tierras de cultivo y de ganadería, en general, los agricultores o ganaderos las consideran un estorbo y un problema en los terrenos donde desarrollan sus actividades.

Sin embargo, las plantas invasoras son aquellas especies introducidas capaces de producir descendencia, a menudo en gran número y a considerable distancia de los progenitores; por lo tanto, tienen la capacidad potencial de extenderse en un amplio territorio (Richardson *et al.*, 2000). Además, la IUCN

## Introduction

Arid and semi-arid ecosystems cover more than 50 % of the surface area of Mexico; they are especially prone to natural or anthropogenic disturbances, such as clearing, the expansion of the agricultural frontier, the extraction of useful species, and overgrazing (Flores *et al.*, 2006; Montañaño *et al.*, 2006). Researchers point out that 50 000 hectares of semi-arid vegetation are modified each year in Mexico, which causes disturbances and deterioration of the resources and values present in those ecosystems (Flores *et al.*, 2006; Montañaño *et al.*, 2006).

Besides the change in the architecture and composition of the vegetal species, the ecosystem has modifications in the biogeochemical cycles, resulting in the loss of the habitat of various animal taxa and microorganisms; increased erosion, reduced fertility, and disturbances in the flow of water and its retention time in the soil (Flores *et al.*, 2006). Three fourths of the territory of the state of Zacatecas (56 463 km<sup>2</sup>) correspond to arid zones or shrubs; of these, 14 % offer favorable conditions for agriculture; 79 %, for livestock breeding, and 7% are covered with timber and non-timber forests (Inafed, 2014).

The *Mimosa* genus is distributed through the American continent, from the south of the United States of America (USDA, 2014; TNP, 2014) to Argentina; it is also found in Africa, Asia and Oceania (Camargo *et al.*, 2001). In Mexico it is represented by approximately 104 to 110 species (Camargo *et al.*, 2001) present in tropical, subtropical arid and semi-arid regions.

These species are an important component of the xerophile shrubs of the *Altiplanicie Mexicana*; they occupy large areas of central Mexico, particularly in San Luis Potosí, north-central Jalisco, Aguascalientes, northern Guanajuato and southern Zacatecas; as a dominant species, it is found in patches of up to 8 000 individuals ha<sup>-1</sup>. It is known as *gatuño*, *garabatillo*, *garruño*, *uña de gato* (catclaw), etc., according to the area where it grows (Pavón *et al.*, 2001).

Two species -*Mimosa dysocarpa* Benth. and *Mimosa aculeaticarpa* Ortega- grow at the Sierra de Órganos National Park (PNSO). The latter species has a broader distribution within the park (Enríquez *et al.*, 2003). Both are considered to be invasive of agricultural lands and pastures; in general, farmers and livestock breeders consider them to be a nuisance and a problem in the plots where they carry out their activities.

However, invasive plants are those introduced species that can produce offspring, often in large numbers and at a considerable distance of their progenitors; therefore, they have the potential to extend across a large territory (Richardson *et al.*, 2000). Furthermore, the IUCN (2000) regards these plants as likely to produce negative impacts for biodiversity.

(2000) indica que dichas plantas deben producir impactos negativos para la biodiversidad.

Las leguminosas (*Mimosae*), como los gatuños desempeñan papeles importantes en el ecosistema, ya que son formadoras y retenedoras de suelo, fijadoras de nitrógeno, piezas clave en la sucesión ecológica en ecosistemas degradados (Miranda et al., 2004) e incluso se desempeñan como plantas nodrizas (Flores et al., 2006; Pavón et al., 2011).

En el PNSO, desde el año 2008, a excepción del ecoturismo, están prohibidas las actividades productivas, que aunado a los trabajos de restauración de suelos y de reforestación, en algunas áreas, han favorecido la recuperación del ecosistema.

El objetivo de este trabajo fue rodalizar y caracterizar silvícolamente las principales poblaciones de gatuños, mediante los índices de *Gadow* y *Fuldner* para la mezcla de especies y de *Pommerening* para determinar la estructura dimensional. Se espera que los resultados contribuyan a fortalecer las bases que determinen su importancia en el proceso de sucesión vegetal en el área y el cumplimiento de los objetivos del parque.

## Materiales y Métodos

El Parque Nacional Sierra de Órganos comprende una superficie de 1 124.65 ha, se ubica en el occidente del estado de Zacatecas, en el municipio Sombrerete. Forma parte de la Sierra de Santa Lucía, un ramal de la Sierra Madre Occidental en los límites con la Altiplanicie Mexicana, entre 23°44'58" y 23°48'29" norte y 103°45'51" y 103°49'36" oeste. Sus extremos altitudinales 2 170 y 2 560 m (Conanp, 2014; Enríquez et al., 2003).

Las poblaciones de *Mimosa* presentes en el PNSO se distribuyen en manchones, que son fácilmente visibles, por su color gris rojizo en temporada de lluvias y gris en la época.

Se rodalizaron las principales poblaciones de gatuño del PNSO, mediante un GPS Garmin Dakota® para la georreferenciación de los sitios (Figura 1).

Con base en la superficie de los rodales, se realizó un muestreo de 5 % (Graciano, 2001). Se establecieron 53 sitios circulares de muestreo (SM) de 500 m<sup>2</sup>. Se registró el género y los parámetros dasométricos altura, el diámetro basal y la cobertura de copa.

La frecuencia relativa (FR) y la densidad absoluta se calcularon utilizando las fórmulas que sugieren Zarco et al. (2010):

$$FR = \frac{\text{Frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta de todas las especies}} (100)$$

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

Legumes (*Mimosae*) such as catclaw play important roles in the ecosystem, as they form and retain the soils, fix nitrogen, are key pieces in the ecological succession and in degraded ecosystems (Miranda et al., 2004), and even act as nurse plants (Flores et al., 2006; Pavón et al., 2011).

At PNSO, all productive activities except ecotourism are forbidden since 2008; this, along with the soil restoration work, has favored the ecosystem's recovery.

The purpose of this work was to propose a forestry arrangement of the main catclaw populations in stands using the index of *Fuldner* and *Gadow* for the mixture of species, and *Pommerening*' index to determine the dimensional structure. The results are expected to contribute to strengthen the bases that determine the relevance of the species in the vegetal succession process in the area, as well as the fulfillment of the goals of the Park.

## Materials and Methods

The *Sierra de Órganos* National Park has a surface area of 1 124.65 hectares; it is located in the west of the state of Zacatecas, in the municipality of Sombrerete. It is part of the *Sierra Santa Lucía*, a branch of the *Sierra Madre Occidental*, bordering with the *Altiplanicie Mexicana*, between the coordinates 23°44'58" and 23°48'29" north, and 103°45'51" and 103°49'36" west, and reaching altitudes of 2 170 to 2 560 masl (Conap, 2014; Enríquez et al., 2003).

The *Mimosa* populations present at PNSO are distributed in patches that are easily identifiable by their reddish gray hue during the rainy season, and gray during the dry season.

The main catclaw populations were arranged in stands using a Garmin Dakota® GPS to georeference the sites (Figure 1).

Based on the surface area of the stands, a 5 percent sampling was carried out (Graciano, 2001). Fifty-three 500 m<sup>2</sup> circular sites (SM) were established. The registered dasometric parameters were genus, height, diameter of the base and crown cover.

The relative frequency (RF) and the absolute density were estimate using the formulas suggested by Zarco et al. (2010):

$$RF = \frac{\text{Absolute frequency for each species}}{\text{Absolute frequency for all the species}} (100)$$

$$\text{Absolute density} = \frac{\text{Number of individuals of a species}}{\text{Sampled area}}$$



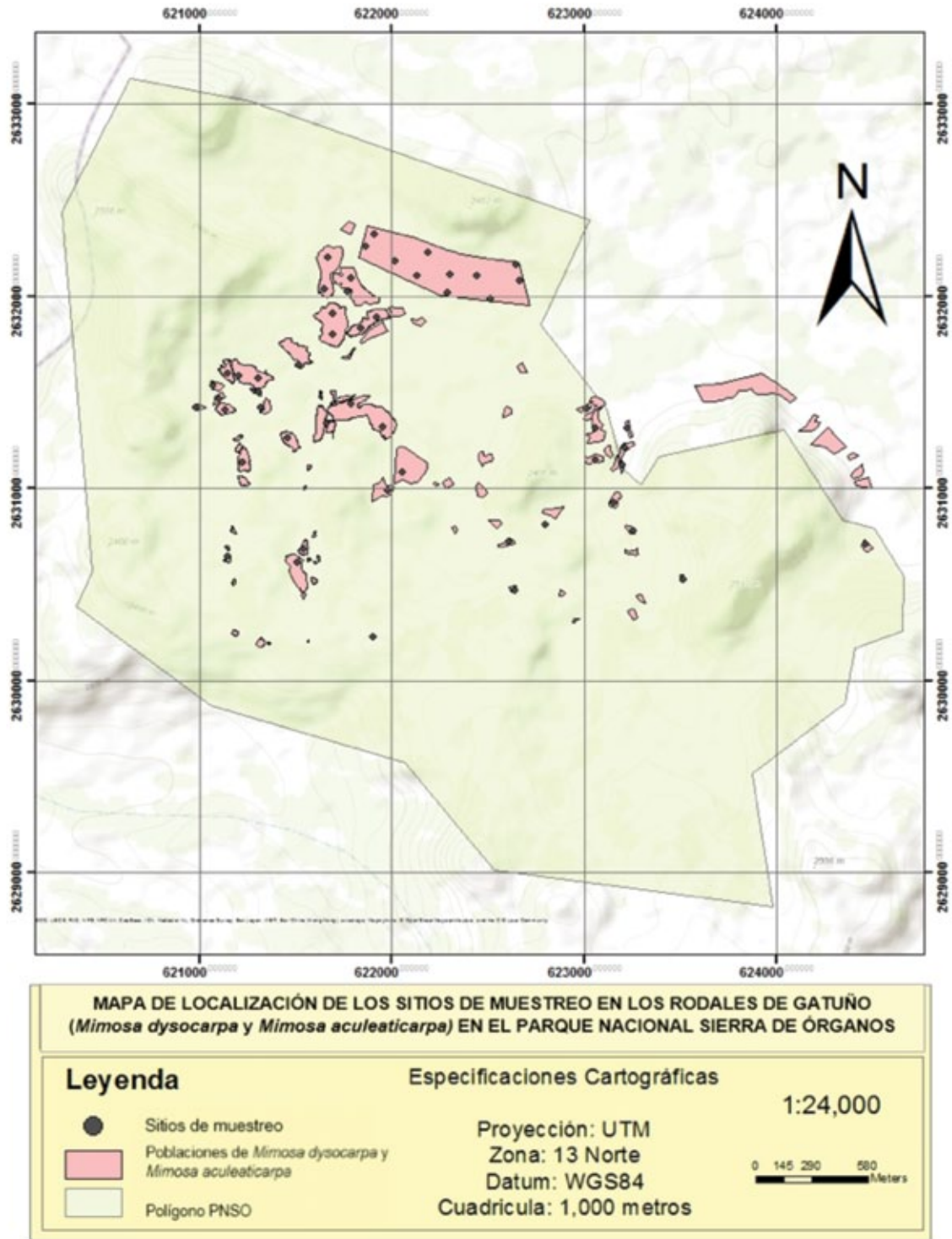


Figura 1. Localización de las poblaciones de gatuño y los sitios de muestreo en el PNSO.  
Figure 1. Location of the catclaw populations and the sampling sites at PNSO.

Dentro de cada sitio se seleccionó el gatuño más alto, el cual fue tomado como centro para el cálculo de los índices de Földner y Gadow (1994) y el de Pommerening (2002):

$$\text{Índice de mezcla de Földner y Gadow: } M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

$$\text{Índice de distancias de Pommerening: } D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_j$$

Donde:

$V_j$  = Variable binaria discreta que asume el valor de 0 cuando el  $j$ -ésimo árbol es de la misma especie que el arbusto de referencia  $i$ , y el valor de 1 si es de diferente especie

$S_j$  = Distancia del  $i$ -ésimo árbol a su vecino más próximo  
4 = Número de vecinos

Se determinaron las condiciones de cobertura del suelo en cada sitio. Para ello se trazaron 100 puntos equidistantes entre sí, 50 en dirección N-S y 50 en dirección E-O; en ellos se registró la cobertura cada 0.5 m y se consideraron las variables "hojarasca", "suelo desnudo" y "roca".

La base de datos se capturó en formatos específicos según el caso, y para su análisis estadístico se utilizó el programa Excel®.

## Resultados y Discusión

Dentro del PNSO se delimitaron 84 rodales, la mayoría se localizaron en las partes bajas del parque, en un intervalo de altitud entre los 2 279 y 2 357 m. Estos se caracterizan por estar, sobre todo, en zonas abiertas, muchas veces en laderas poco pronunciadas o cerca de los arroyos intermitentes y caminos del parque. El área total ocupada por los rodales de gatuños fue de 53.651 ha, representan 4.76 % de la superficie total del PNSO.

Enríquez *et al.* (2003) hicieron un estudio de la flora y vegetación del PNSO, registraron que la unidad de vegetación *Mimosa-Opuntia* se ubica en manchones dispersos, en suelos erosionados y sobre sustratos en rocas sedimentarias, lo que coincide con lo observado en este trabajo. Sin embargo, documentan una superficie mayor (78.19 ha) a la calculada en la presente investigación. Lo anterior puede responder a la diferencia en las metodologías utilizadas, o a que cuando se realizó el trabajo de Enríquez *et al.* (2003), el parque estaba más deteriorado, ya que aún no se prohibía por completo el pastoreo en los espacios ocupado por los gatuños.

The tallest catclaw in each site was selected as the center for estimating the indices of Földner and Gadow (1994) and of Pommerening (2002):

$$\text{Mixture index of Földner and Gadow: } M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

$$\text{Distance index of Pommerening: } D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_j$$

Where:

$V_j$  = Discrete binary variable takes on a "0" value when the  $j$ th tree belongs to the same species as the reference shrub  $i$ , and a "1" value when it belongs to a different species

$S_j$  = Distance between the  $j$ th tree and its nearest neighbor  
4 = Number of neighbors

The conditions of the soil cover were determined in each site. For this purpose, 100 mutually equidistant points were drawn -50 from north to south, and 50 from east to west. In these, the cover for every 0.5 m was determined, taking into account the dead leaves", "naked soil" and "rock" variables.

The database was captured in specific formats according to the case, and the Excel® software was used for the statistical analysis of the data.

## Results and Discussion

84 stands were delimited within the PNSO; most were located in the lower parts of the Park, at an altitude range between 2 279 and 2 357 masl. These sites are characterized by being located, above all, in open areas, often in mild slopes or close to the intermittent streams and roads of the Park. The total surface area occupied by catclaw stands was 53.651has, i.e. 4.76 % of the total surface area of the PNSO.

Enríquez *et al.* (2003) carried out a study of the flora and vegetation of the PNSO; they noted that the *Mimosa-Opuntia* vegetation unit is found in scattered patches on eroded soils and on sedimentary rock substrates, as was also observed in the present work. However, they document a larger surface area (78.19 has) than estimated by our research. This may be due to the different methodologies utilized, or to the fact that, when Enríquez *et al.* (2003) carried out their work, the Park was more damaged, as grazing had not yet been totally forbidden in the areas occupied by the catclaws.



Los rodales delimitados se ubicaron en distintas exposiciones, aunque prefieren las áridas del este, ya que 30 % de los gatuños crecen en esa exposición, esto coincide con lo consignado por Enríquez *et al.* (2003).

En el Cuadro 1 se resumen las características dasométricas de los géneros identificados. Destacan por su altura y diámetro *Juniperus* (cedros), *Pinus* (pinos) y *Yucca* (palmas). Los gatuños ocuparon la parte media del dosel, cuyas altura y diámetro promedio fueron de 103.63 y 2.11 cm, respectivamente, con individuos desde 15 cm hasta 4 m. Los valores concuerdan con los que se indican para el tipo de vegetación *Mimosa-Opuntia* (Enríquez *et al.*, 2003), la altura promedio señalada por esos investigadores varía de 1 a 1.5 m.

Sobresalieron por su frecuencia (%): *Mimosa*, *Opuntia*, *Acacia*. Resultados que pueden indicar la presencia de nodricismo por parte de los gatuños hacia los nopales, ya que la mayoría de estos últimos eran muy jóvenes. Jiménez-Sierra y Jiménez-González (2002) consignan una mayor abundancia de regeneración de cactáceas y agaves debajo de las copas de árboles y arbustos, ya que la protección que brindan sus copas favorece ciertos factores necesarios durante las primeras etapas de regeneración. Bravo *et al.* (2007) estudiaron la relación entre el tamaño de las espinas de *Neobuxbaumia tetetzo* (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Backeb. estando bajo el dosel de *Mimosa luisana* Brandegee, a diferentes distancias del centro del mismo, y obtuvieron que el tamaño de la planta difiere en función de cercanía o lejanía de *Mimosa luisana*.

The delimited stands were located at various exposures; however, they prefer the arid lands facing east, as 30 % of catclaw plants grow at this exposure, as pointed out by Enríquez *et al.* (2003).

Table 1 summarizes the dasometric characteristics of the identified genera. The *Juniperus* (cedars), *Pinus* (pines), and *Yucca* (palm trees) stand out for their height and diameter. The catclaws are located in the middle part of the canopy, with an average height of 103.63 cm and a diameter of 2.11 cm, with individuals of heights ranging between 15 cm and 4 m. These values agree with those indicated for the *Mimosa-Opuntia* vegetation type (Enríquez *et al.*, 2003), the average height pointed out by these researchers ranges between 1 and 1.5 m.

*Mimosa*, *Opuntia* and *Acacia* stood out for their frequency (%). These results may indicate that catclaws act as nurses for the nopal cacti, as most of the latter were very young. Jiménez-Sierra and Jiménez-González (2002) register a more abundant regeneration of *cactaceae* and agaves beneath the crowns of the trees and bushes, as the protection provided by their crowns favors certain necessary factors during the first stages of regeneration. Bravo *et al.* (2007) studied the relationship between the size of the prickles of *Neobuxbaumia tetetzo* (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Backeb. beneath the canopy of *Mimosa luisana* Brandegee at different distances from its center, and estimated that the size of the plants differs according to their distance from *Mimosa luisana*.

Cuadro 1. Géneros de las plantas leñosas, sus parámetros dasométricos, ecológicos, cobertura de copa y su cobertura (%) en los sitios de muestreo en el PNSO.

Género	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Frecuencia (%)	Densidad (plantas ha <sup>-1</sup> )	Cobertura de copa (m <sup>2</sup> )	Cobertura (%)
<i>Mimosa</i>	103.6	2.11	79.25	2472.83	143.670	71.521
<i>Acacia</i>	129.5	4.28	4.18	130.57	14.550	7.243
<i>Agave</i>	30.0	43.5	0.02	0.75	0.006	0.003
<i>Arctostaphylos</i>	110.3	3.46	0.15	4.53	0.404	0.201
<i>Juniperus</i>	309.4	12.32	0.81	25.28	10.427	5.191
<i>Opuntia</i>	56.6	8.47	11.04	344.53	5.777	2.876
<i>Pinus</i>	277.4	9.15	1.93	60.38	21.533	10.719
<i>Pinus RF*</i>	120.2	3.81	1.14	35.47	1.064	0.530
<i>Quercus</i>	121.9	3.58	0.59	18.49	1.849	0.920
<i>Yucca</i>	202.2	19.91	0.17	5.28	0.262	0.130
<i>Forestiera</i>	177.5	6.15	0.16	4.91	1.024	0.510
<i>Eynsenhardtia</i>	196.7	4.21	0.04	1.13	0.223	0.111

Continúa Cuadro 1...



Continúa Cuadro 1...

Género	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Frecuencia (%)	Densidad (plantas ha <sup>-1</sup> )	Cobertura de copa (m <sup>2</sup> )	Cobertura (%)
<i>Echinocereus</i>	13.3	12.88	0.05	1.51	0.002	0.001
<i>Mammillaria</i>	14.6	15.5	0.34	10.57	0.016	0.008
<i>Buddleja</i>	93.0	1.48	0.13	4.15	0.074	0.037
Total			100.00	3120.38	200.878	100.000

\* *Pinus* RF = Ejemplares que fueron reforestados.

Table 1. Genera of woody plants, their dasometric and ecological parameters, crown covers and their cover (%) in the sampling sites at PNSO.

Genus	Height (cm)	Diameter (cm)	Frequency (%)	Density (plants ha <sup>-1</sup> )	Crown cover (m <sup>2</sup> )	Cover (%)
<i>Mimosa</i>	103.6	2.11	79.25	2472.83	143.670	71.521
<i>Acacia</i>	129.5	4.28	4.18	130.57	14.550	7.243
<i>Agave</i>	30.0	43.5	0.02	0.75	0.006	0.003
<i>Actostaphylos</i>	110.3	3.46	0.15	4.53	0.404	0.201
<i>Juniperus</i>	309.4	12.32	0.81	25.28	10.427	5.191
<i>Opuntia</i>	56.6	8.47	11.04	344.53	5.777	2.876
<i>Pinus</i>	277.4	9.15	1.93	60.38	21.533	10.719
<i>Pinus</i> RF*	120.2	3.81	1.14	35.47	1.064	0.530
<i>Quercus</i>	121.9	3.58	0.59	18.49	1.849	0.920
<i>Yucca</i>	202.2	19.91	0.17	5.28	0.262	0.130
<i>Forestiera</i>	177.5	6.15	0.16	4.91	1.024	0.510
<i>Eynsenhardtia</i>	196.7	4.21	0.04	1.13	0.223	0.111
<i>Echinocereus</i>	13.3	12.88	0.05	1.51	0.002	0.001
<i>Mammillaria</i>	14.6	15.5	0.34	10.57	0.016	0.008
<i>Buddleja</i>	93.0	1.48	0.13	4.15	0.074	0.037
Total			100.00	3120.38	200.878	100.000

\* *Pinus* FR= Reforested specimens.

Se calculó una densidad aproximada de 3 120 plantas ha<sup>-1</sup>, de las cuales 79 % correspondió a gatuños, elementos propios de sitios de condiciones edáficas difíciles.

Granados y Tapia (1990) citan que la sombra producida por la cobertura de copa de los árboles y arbustos modifica el microclima del suelo favoreciendo el establecimiento de plántulas de especies vegetales anuales o perennes. Lo anterior demuestra la importancia de la cobertura.

An approximate density of 3 120 plants ha<sup>-1</sup> was estimated, of which 79 % corresponded to catclaws, growing in sites with difficult edaphic conditions.

According to Granados and Tapia (1990), the shade produced by the crown cover of trees and shrubs modifies the soil microclimates, which in turn favors the establishment of plantlets of annual or perennial vegetal species. This proves the importance of the cover.



En el Cuadro 1 se muestra la cobertura del dosel en los sitios de muestreo, se estimó que 40.1 % del área estaba cubierto por algún género de plantas leñosas, y correspondió a los gatuños y a los pinos los mayores valores. El porcentaje de cobertura por género, en orden decreciente, fue gatuños, pinos, huizaches y cedros.

Se obtuvo, en promedio, 0.264 para el índice de *Füldner* y *Gadow*, el cual toma valores cercanos a 1 cuando los vecinos son de diferentes géneros al gatuño central, en ese caso implica que los rodales son regulares, con pocos géneros presentes.

El valor promedio del índice de *Pommerening* fue 1.282; por lo tanto, los rodales son poco espaciados. En el Cuadro 2 se observa que las distancias promedio al centro (gatuño) de los vecinos varían de 89.5 cm, que corresponde a *Mammillaria* spp., a 220 cm para *Forestiera*. Sobresale *Opuntia* con 120.3 cm, los cuales, como se ha mencionado anteriormente fueron, en su mayoría, individuos jóvenes, hecho que concuerda con lo documentado por *Bravo et al.* (2007), quienes señalan un posible efecto de nodricismo.

Cuadro 2. Distancia al centro de los géneros de vecinos cercanos.

Género	Distancia al centro (cm)
<i>Mimosa</i>	137.5
<i>Acacia</i>	147.5
<i>Juniperus</i>	102.5
<i>Opuntia</i>	120.3
<i>Pinus</i>	122.0
<i>Quercus</i>	190.5
<i>Forestiera</i>	220.0
<i>Mammillaria</i>	89.5
Promedio	141.224

Las coberturas promedio del suelo fueron de 65.2 % para "hojarasca", 32.9 % para "suelo desnudo" y 1.8 % para "roca". Destacan que el suelo, en su mayoría, está cubierto, protegido de la lluvia y del viento por las hojas y ramas caídas; además de, los doseles de las plantas presentes, principalmente, de gatuños.

Resultados similares citan *Montaño et al.* (2006), quienes evaluaron la relación de la presencia de *Prosopis* con las propiedades del suelo en dos sitios del Valle del Mezquital, México, a lo largo de 10 años; en los sitios que registraron una mayor cobertura, la diversidad y la cantidad de materia orgánica fueron superiores. Esto demuestra que las aportaciones de materia orgánica por parte de su tipo de

Table 1 shows the canopy cover in the sampling sites; 40.1 % of the area was estimated to be covered by some kind of woody plants, and the highest values corresponded to catclaws and pines. The percentage of cover per genus, in descending order, comprised catclaws, pines, *huizaches* and cedar trees.

An average value of 0.264 was estimated for the index of *Füldner* and *Gadow*, which takes on values close to 1 when the neighbors belong to genera other than the central catclaw; in this case, this value indicates that the stands are even, with the presence of few genera.

The average value for *Pommerening's* index was 1.282, which implies that there is little space between the stands. Table 2 shows that the average distances between the neighbors and the center (catclaw) range from 89.5 cm for *Mammillaria* spp. to 220 cm for *Forestiera*. *Opuntia* stands out with 120.3 cm, mostly with young specimens, as mentioned above, as cited by *Bravo et al.* (2007), who point out a potential nursing effect.

Table 2. Distance between the near neighbors and the center of the genera.

Genus	Distance to the center (cm)
<i>Mimosa</i>	137.5
<i>Acacia</i>	147.5
<i>Juniperus</i>	102.5
<i>Opuntia</i>	120.3
<i>Pinus</i>	122.0
<i>Quercus</i>	190.5
<i>Forestiera</i>	220.0
<i>Mammillaria</i>	89.5
Average	141.224

The average soil covers consisted of 65.2 % "dead leaves", 32.9 % "naked soil", and 1.8 % "rock". Notably, most of the soil is covered, protected from the rain and from the wind by the fallen leaves and branches, as well as by the canopies of the occurring plants, especially of catclaws.

Similar results are documented by *Montaño et al.* (2006), who assessed the relationship between the presence of *Prosopis* and the properties of the soil in two sites at *Valle del Mezquital*, Mexico, through a period of 10 years; in the sites with the largest cover, the diversity and amount of organic matter were larger. This shows that the contributions of organic matter by their type of plants enrich the soil and favor the establishment of other vegetals.

plantas enriquecen el suelo y favorecen el establecimiento de otros vegetales.

La correlación entre la cobertura de suelo "hojarasca" y el porcentaje de cobertura aérea se muestra en la Figura 2. El bajo valor de R, puede deberse a que en algunos sitios existió una gran densidad de plantas en una parte de la superficie de los 500 m<sup>2</sup> y desde ahí se esparcen hacia toda la superficie.

The correlation between the "dead leaves" soil coverage and the percentage of the aerial cover is shown in Figure 2. The low value of R may be due to the fact that a high density of plants exists in certain sites within a portion of the 500 m<sup>2</sup> surface area, from where they spread to the rest of this area.

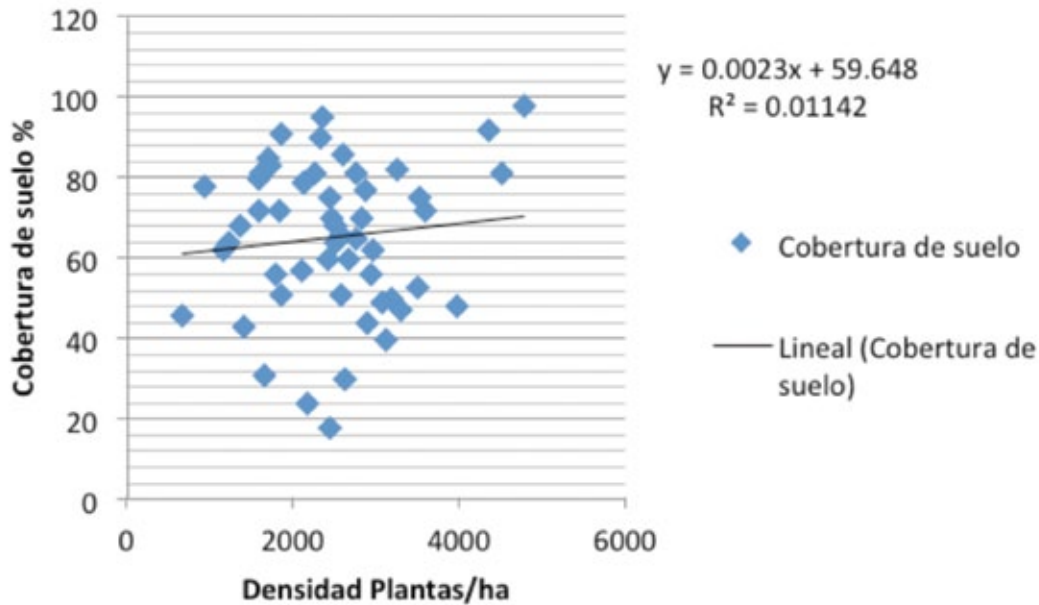


Figura 2. Correlación entre la cobertura del suelo y la cobertura aérea.  
Figure 2. Correlation between the soil cover and the surface area cover.

Flores *et al.* (2006) estudiaron la relación entre la presencia de *Mimosa monansistra* y la producción de materia seca, así como con la cantidad y profundidad de infiltración de agua en dos puntos, bajo y fuera de la leguminosa. Registran que, efectivamente, la presencia del gatuño influye de manera positiva en la producción de biomasa de las herbáceas bajo de su dosel, y en la cantidad de agua infiltrada en el periodo de tiempo establecido y su profundidad.

## Conclusiones

Las poblaciones de gatuño se localizan, mayormente, en las zonas bajas del parque entre los 2 200 y 2 360 msnm en zonas abiertas; hasta 30 % del total de las plantas se ubican en exposición este. Los rodales delimitados son regulares y con poco espaciamiento, con una densidad promedio de 3 120 plantas ha<sup>-1</sup>, de las cuales 79 % corresponde

Flores *et al.* (2006) studied the relationship between the presence of *Mimosa monansistra* and dry matter production, the amount and depth of water infiltration at two points: beneath and outside the canopy of the leguminous plant. According to them, the presence of catclaw does indeed exert a positive influence on the biomass production of herbaceous plants under their canopy, as well as on the amount of water infiltrated during the established period, as well as on its depth.

## Conclusions

The catclaw populations are located mostly in the lower areas of the Park, at altitudes ranging between 2 200 and 2 360 masl in open areas; up to 30 % of the plants are located at an eastern exposure. The delimited stands are even, with little spacing between them and with an average density of 3 120 plants ha<sup>-1</sup>, of which 79 % are *Mimosa*. In average, 40.1 %

a *Mimosa*. En promedio 40.1 % de la superficie de los rodales está cubierto por plantas. La altura y diámetro promedio de *Mimosa* fueron de 103.63 cm y 2.11 cm, respectivamente.

En los sitios de muestreo se identifican 15 géneros, destacan *Opuntia*, *Acacia* y *Pinus*. En el caso de los nopales jóvenes, se presume la existencia de algún grado de nodricismo por parte de *Mimosa* spp.

*Mimosa dysocarpa* y *Mimosa aculeaticarpa* en el PNSO, no son plantas invasoras ya que no son exóticas, solo cubren 4.7 % de la superficie total, forman manchones compactos y delimitados, además de ocupar zonas donde otro tipo de vegetación no podría sobrevivir, como laderas, orillas de los arroyos intermitentes y zonas que estuvieron sometidas a sobrepastoreo, donde cumplen un rol de protectoras y formadoras de suelo y, por consiguiente, no son dañinas para la biodiversidad. 🍂

## Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo, así como a los técnicos operativos y vigilantes ambientales del PNSO por su ayuda en la realización de los muestreos. La publicación de este documento fue posible gracias al apoyo del CAEC-88 Industria Forestal y Medio Ambiente de la UJED, con recursos del PROFOCIE 2015.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Ricardo Ismael Mata-Páez: desarrollo del manuscrito; Pedro Antonio Domínguez-Calleros: desarrollo y revisión del manuscrito; José Rodolfo Goche-Télles: elaboración de las gráficas y figuras; así como apoyo en el análisis estadístico; Manuel Antonio Díaz-Vásquez: elaboración de las gráficas y figuras; así como apoyo en el análisis estadístico.

## Referencias

- Bravo, M., A. Espinosa, I. Castellanos y Z. Cano. 2007. Tamaño de *Neobuxbaumia tetetzo* y longitud de sus espinas apicales en un gradiente de luz bajo *Mimosa luisana*, un arbusto nodriza. *Acta Botánica Mexicana* (79): 69-80.
- Camargo R., S. L., R. Grether, A. Martínez B., A., V. García G. y S. Barrios Del R. 2001. Especies Útiles del Género (Fabaceae- Mimosoideae) en México. *Mimosa Boletín de la Sociedad Botánica de México* (68):33-44.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). 2014. Parque Nacional Sierra de Órganos. [https://simec.conanp.gob.mx/Info\\_completa\\_ext.php?id\\_direccion=29](https://simec.conanp.gob.mx/Info_completa_ext.php?id_direccion=29) (26 de enero de 2015).
- Enríquez, E., S. Koch y M. S. González. 2003. Flora y vegetación de la sierra de órganos, municipio de sombrerete, Zacatecas, México. *Acta Botánica Mexicana* (64): 45-89.
- Flores, E., J. Frías, P. Jurado, V. Olalde, J. Figueroa, A. Valdivia y J. Sosa. 2006. Influencia del Gatúño *Mimosa monancistra* Benth., en la Producción de Materia seca e infiltración de agua en pastizales semiáridos del centro de México. *Investigación y Ciencia* 14(35):4-24.

of the surface area of the stands is covered with plants. The average height and diameter of mimosas were 103.63 cm and 2.11 cm, respectively.

15 genera were identified, among which *Opuntia*, *Acacia* and *Pinus* turned out to be prominent. In the case of young nopal cacti, there may be some degree of nursing by the mimosas.

It was determined that *Mimosa dysocarpa* and *Mimosa aculeaticarpa* at PNSO are non-invasive plants; because they are not exotic plants, they cover only 4.7 % of the total surface area of PNSO and form well-defined compact patches, besides occupying areas where other types of vegetation find it hard to survive, such as mountainsides, the banks of intermittent streams and areas subjected to overgrazing, where they fulfill a soil-forming and soil-protecting role: therefore, they are not harmful to biodiversity. 🍂

## Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas* for the facilities provided for this work, as well as to the operations technicians and environmental monitors of PNSO for their help during the sampling process. The publication of this paper was made possible thanks to the support of CAEC-88 *Industria Forestal y Medio Ambiente* of UJED, with resources from the 2015 PROFICIE Program.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

## Contribution by author

Ricardo Ismael Mata-Páez: development of the manuscript; Pedro Antonio Domínguez-Calleros: development and revision of the manuscript; José Rodolfo Goche-Télles: elaboration of graphs and figures, as well as support in statistical analysis; Manuel Antonio Díaz-Vásquez: elaboration of graphs and figures, as well as support in statistical analysis.

*End of the English version*

- Fuldner, K. and K. Gadow. 1994. How to define a thinning in a mixed deciduous beechforest. In: Pinto da Costa, M. and T. Preuhlsler. (eds.). *Mixed Stands: Research Plots, Measurements, Results and Models*. Lousa-Coimbra, Portugal. Instituto Superior de Agronomía. Lisboa, Portugal. pp. 25-29.
- Granados, S. y V. Tapia. 1990. Comunidades vegetales. Colección Cuadernos Universitarios. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. Serie de Agronomía Núm. 19. 235 p.
- Graciano J., J. 2001. Técnicas de evaluación dasométrica y ecológica de los bosques de coníferas bajo manejo de la Sierra Madre Occidental del centro sur de Durango, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L., México, pp. 5-8.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el desarrollo municipal (Inafed). 2014. Enciclopedia de los municipios y las delegaciones de México, Zacatecas. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM32zacatecas/mediofisico.html> (27 de enero de 2015).

- International Union for the Conservation of Nature (IUCN). 2000. Guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. [http://www.iucn.org/pdf/guidelines\\_iucn.pdf](http://www.iucn.org/pdf/guidelines_iucn.pdf) (17 de enero de 2015).
- Jiménez, C. y C. Jiménez. 2002. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas y agaves en una zona semiárida. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 48(1):1-14.
- Miranda, J., F. Padilla y F. Pugnaire. 2004. Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas, Asociación Española de Ecología Terrestre* 13(1):55-58.
- Montaño, N., R. García, G. Ochoa y A. Monroy. 2006. Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana* 24(2):193-205.
- Pavón, N., J. Ballato y C. Pérez. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae- Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(2):653-661.
- Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75 (3): 305- 324.
- Richardson, D. M., P. Pyšek, M. Rejmánek, M. G. Barbour, F. D. Panetta and J. C. West. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* (6):93- 107.
- Texas Native Plants Database (TNPd). 2014. Velvet Pod Mimosa, Gatuno, Velvet pod Catclaw, *Mimosa dysocarpa*. <http://aggie-horticulture.tamu.edu/ornamentals/nativeshrubs /mimosadysocarpa.htm> (15 de enero de 2015).
- United States Department of Agriculture (USDA). *Mimosa dysocarpa*. 2014. <http://plants.usda.gov /core/profile?symbol=MIDY> (17 de enero de 2015).
- Zarco E., V. M., J. I. Valdez H., G. Ángeles P. y O. Castillo A. 2010. Estructura y Diversidad de la Vegetación Arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 26 (1):1-17.









Artículo / Article

## Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo

### State of the essential chemical elements in the soils of natural, agroforestry and monoculture systems

Paul René Fernández Ojeda<sup>1</sup>, David Cristóbal Acevedo<sup>2</sup>, Antonio Villanueva Morales<sup>1</sup>  
y Miguel Uribe Gómez<sup>1</sup>

#### Resumen

Los sistemas agroforestales son una alternativa para la producción agrícola y forestal ante la pérdida de recursos naturales, que resulta de la necesidad de producir alimentos, que propicia el aumento de la frontera agrícola, y reduce los periodos de barbecho. En dos sistemas agroforestales, un monocultivo de café y un bosque de niebla en el municipio de Huatusco, Veracruz, se recolectó un total de 36 muestras a las profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm, en ellas se determinó: densidad aparente (DAP), capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), materia orgánica (MO), N inorgánico, N total, P, bases intercambiables, pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Respecto al monocultivo, los suelos de cafetales y del bosque evidenciaron una disminución de la DAP y de la acidez del suelo; un aumento de las concentraciones de MO, N y de la CC, así como del PMP. El valor de la CIC fue muy alto en todos los suelos y en los que se tuvo mayor concentración de MO, se incrementó. P y K fueron menores en el bosque en comparación con los cafetales, en oposición al N. La humedad aprovechable fue alta en todos los sitios y la DAP tuvo un comportamiento inverso a la MO. La concentración de los elementos en los suelos estudiados demostró que hay una buena disponibilidad de nutrimentos. Los sistemas agroforestales ofrecieron condiciones edáficas similares a las del bosque y una mejor fertilidad, con respecto al monocultivo.

**Palabras clave:** Acidez del suelo, cafetal, capacidad de intercambio, fertilidad, materia orgánica, nitrógeno.

#### Abstract

Agroforestry systems are an alternative for agricultural and forest production in the face of the loss of natural resources, developed as a result of the need to produce food and favoring the expansion of the agricultural frontier and reduction of the fallow periods. A total of 36 samples were collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm from two agroforestry systems -a coffee monoculture and a montane cloud forest- in the municipality of *Huatusco, Veracruz*. The values determined in these samples were apparent density (DAP), field capacity (FC), permanent wilting point (PWP), organic matter (OM), inorganic N, total N, P, exchangeable bases, pH and cation exchange capacity (CEC). The soils of the coffee monoculture and the montane cloud forest showed a decrease in PB and in acidity, and an increase in OM and N concentrations, as well as CEC and PWP. The value of the FC was very high in all soil types and increased in those areas with the highest OM concentrations. Unlike N, P and K were found to be lower in the montane cloud forest than in the coffee plantations. The usable humidity rate was high in all the sites, and the behavior of the DAP was the opposite of that of OM. The concentration of the elements in the studied soils showed that there may be a good availability of nutrients. The agroforestry systems offered similar edaphic conditions to those of the forest and evidenced a better fertility than the monoculture.

**Key words:** Soil acidity, coffee plantation, exchange capacity, fertility, organic matter, nitrogen.

Fecha de recepción/Received date: 23 de septiembre de 2015; Fecha de aceptación/Accepted date: 12 de abril de 2016.

<sup>1</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México

<sup>2</sup> Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México. Correo-e: cristobalacevdo@yahoo.com.mx

## Introducción

El aprovechamiento integral de los recursos se sustenta en el principio de que la naturaleza debe ser entendida como un todo, que los componentes agua, suelo, aire, plantas, animales y hombre interaccionan entre sí y que las modificaciones a uno de ellos repercuten directa o indirectamente en el resto. Otro principio, se refiere a que se debe aumentar la diversidad de componentes de la unidad y condiciones de producción, así como las plantas y los animales; el último principio argumenta que el suelo, el agua y el aire se tienen que conservar limpios y enfatizar su mejoramiento o reciclaje con prácticas diversas (Nair, 1997). La pérdida de recursos naturales surge por la necesidad de producir alimentos para satisfacer la demanda de la población, lo que aumenta la frontera agrícola y reduce los periodos de barbecho (Young, 1990).

El suelo es muy importante para el ser humano para efectos de la producción agropecuaria, pues su estado determina las actividades por realizar y las acciones correctivas para alcanzar los niveles deseados de rendimiento. Los suelos que se desarrollan bajo una vegetación natural funcionan como sistemas en equilibrio, activos y estables, que además brindan servicios ambientales (Fisher y Binkley, 2000). Por el contrario, los de uso agrícola presentan, generalmente, algún proceso de degradación y contienen menos materia orgánica, nitrógeno total y bases intercambiables, así como una capacidad de intercambio catiónico inferior (Geissert *et al.*, 2000). La estabilidad de la estructura es diferente y se remueve el material edáfico como resultado de la erosión provocada por la labranza, la escorrentía superficial y la deflación eólica (Meza y Geissert, 2006).

Diversas propiedades físicas y químicas le confieren al suelo la calidad necesaria para albergar la vida y mantener la capacidad productiva de tierras agrícolas; funciones que se son afectadas negativamente por fenómenos de degradación como la erosión y la reducción de componentes básicos como la fertilidad y la biodiversidad (UNCCD, 1996).

A menudo, los suelos agrícolas ofrecen servicios ambientales de baja calidad y se requiere de esfuerzos técnicos y económicos para conservar o restaurar sus funciones ecológicas. Los sistemas agroforestales, como los de café bajo sombra, reúnen condiciones intermedias con respecto a los anteriores, pues están más perturbados que los bosques, pero menos que los cultivos anuales.

Según Nair (1993), las zonas arbóreas producen la biomasa que mantiene y mejora los niveles de materia orgánica; algunas especies son fijadoras de nitrógeno, mientras que otras protegen contra la erosión generada por el agua y el viento; con ello, se reduce la pérdida de nutrimentos, a la vez que favorecen un aumento de la fertilidad del suelo, a partir de que pueden tomar

## Introduction

The comprehensive utilization of resources is based on the principle that nature must be understood as a whole; that the water, earth, air, plants, animal and human components interact between one another and that modifications in any one of them have direct or indirect impacts on the rest. Another principle is that the diversity of components of the unit, of the conditions of production and of animals and plants must be increased, and according to the latter principle, the earth, water and air must be kept clean, and their enhancement or recycling through various practices must be emphasized (Nair, 1997). Natural resources are lost as a consequence of the need to produce food in order to meet the demand of the population, which leads to the expansion of the agricultural frontier and the reduction of the fallow periods (Young, 1990).

The soil is very important to human beings for purposes of agricultural production, as its state determines the activities that need to be carried out and the corrections required to attain the desired levels of output. The soils that develop beneath natural vegetation function as active, stable balanced systems and provide environmental services (Fisher and Binkley 2000). On the other hand, agricultural soils usually show a degradation process and contain less organic matter, total nitrogen and exchangeable bases, as well as a lower cationic exchange capacity (Geissert *et al.*, 2000). Their structural stability is different, and the edaphic material is removed as a result of the erosion caused by tillage, surface runoff and wind deflation (Meza and Geissert, 2006).

Various physical and chemical properties lend the soil the necessary qualities to hold life and maintain the productive capacity of agricultural land -which functions are negatively affected by degradation phenomena such as erosion and the decrease of basic components like fertility and biodiversity (UNCCD, 1996).

Agricultural soils often provide low-quality environmental services, and technical and economic efforts are required to preserve or restore their ecological functions. Agroforestry systems, such as coffee plantations under shade, meet intermediate conditions compared to agricultural soils, being more disrupted than the forests, but less so than annual crops.

According to Nair (1993), the woodlands produce biomass, which maintains and enhances the levels of organic matter; certain species fix nitrogen, while others protect against water- and wind-related erosion, which reduces the loss of nutrients; at the same time, they favor an increase in soil fertility, apart from the fact that they can take nutrients from the deepest layers of the soil. Furthermore, they can enhance various physical properties, generate a favorable micro-climate beneath the tree canopy, and promote increased activity by the microorganisms in charge of breaking up organic matter.



nutrimentos de las capas más profundas del mismo. Además, mejoran diferentes propiedades físicas, generan un microclima favorable bajo el dosel de los árboles y propician un incremento en la actividad realizada por los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica.

No obstante, también existen efectos adversos por una mala planeación agroforestal, como son la competencia por el agua y nutrimentos, inhibición del crecimiento debido al exceso de sombra, y dificultad para practicar cosechas mecanizadas de cultivos (Mahecha, 2003).

En este estudio se trabajó con cuatro sistemas: uno natural, dos alternativas agroforestales y un monocultivo, pues impactan de manera diferente al recurso suelo, debido a las cubiertas vegetales en cada uno de ellos. Dichos efectos se reflejan en las propiedades físicas y químicas del sustrato, para contrastar la capacidad de la agroforestería con el bosque y el monocultivo en mantener o incrementar la fertilidad y aumentar la eficiencia en la captura del carbono y fijación del nitrógeno. Por ello, se propuso comprobar o refutar las afirmaciones en torno a la agroforestería, además de conocer la variación de los elementos esenciales conforme aumenta la profundidad del suelo en tales sistemas.

Con base en todo lo anterior, el objetivo consistió en determinar el estado de la textura, la densidad aparente (DAP), la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitamiento permanente (PMP), materia orgánica (MO), N inorgánico (amonio, nitratos), N total, P, bases intercambiables, pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los sistemas bosque natural, dos agroforestales con café y el monocultivo de café, para establecer la eficiencia nutrimental de sus suelos, en el municipio Huatusco, Veracruz.

## Materiales y Métodos

Se seleccionaron suelos en el sistema tradicional (café con árboles de uso múltiple), sistema comercial (policultivo café-macadamia-aguacate), cultivo de café pleno sol (monocultivo) y en sistema bosque de niebla o mesófilo de montaña, en el municipio Huatusco, Veracruz, que se ubica a 19° 10' 25" norte y 96° 57' 43" oeste, a una altitud de 1 345 m, en la zona centro del estado. El suelo son de los tipos Cambisol y Luvisol. El primero se caracteriza por presentar en el subsuelo aspecto de roca y susceptibilidad a la erosión; en el segundo se acumula la arcilla en el subsuelo y es particularmente propenso a la erosión. El clima es cálido-húmedo con una temperatura promedio de 19.1 °C; precipitación media anual de 1 825 mm (Cano *et al.*, 1998). A continuación se describe cada sistema.

Sistema de producción café tradicional (SPCT). Consiste en una plantación tradicional de café bajo sombra en cuya composición existe una gran diversidad de árboles nativos o de vegetación natural, así como de *Persea schiedeana* Nees.

However, adverse effects are also generated through poor agroforestry planning, such as competition for water and nutrients, inhibition of growth due to excess shade, and difficulty to practice mechanical harvesting (Mahecha, 2003).

This study utilized four systems: a natural system, two agroforestry alternatives, and a monoculture, each of which has a different impact on the soil as a result of its particular vegetal cover. These effects are reflected in the physical and chemical properties of the substrate, so that the capacity of agroforestry to maintain or increase fertility and enhance efficiency in carbon sequestration and nitrogen fixation contrasts with that of the montane cloud forest. Therefore, this research sought to prove or disprove the claims in regard to agroforestry, as well as to gain knowledge of how the essential elements vary with increasing soil depths in these systems.

Based on all of the above, the objective of this study was to determine the state of the texture, apparent density (DAP), field capacity (FC), and permanent wilting point (PWP), organic matter (OM), inorganic N (ammonium, nitrates), total N, P, exchangeable bases, pH and Cationic Exchange Capacity (CEC) of the natural forest systems, two agroforestry systems with coffee trees, and a coffee monoculture, in order to establish the nutritional efficiency of their soils, in the municipality of Huatusco, Veracruz.

## Materials and Methods

Soils in the traditional system (coffee and multiple-use trees), commercial system (coffee-macadamia-avocado polyculture), sun coffee plantations (monoculture), and in the montane cloud forest or mountain mesophile system, in the municipality of Huatusco, located at the center of the state of Veracruz, at the geographical coordinates 19° 10' 25" N and 96° 57' 43" W, and at an altitude of 1 345 masl. The soil types are Cambisole and Luvisole. The former is characterized by a rocky subsoil and susceptibility to erosion; the latter has a clayey subsoil and is particularly prone to erosion. The climate is warm humid, with an average temperature of 19.1 °C; its mean annual precipitation is 1 825 mm (Cano *et al.*, 1998). Below is a description of each system.

Traditional coffee production system (TCPS). It consists of a traditional coffee plantation in the shade, which comprises a wide variety of native trees or natural vegetation, as well as *Persea schiedeana* Nees. (chinene), *Inga* spp. (inga) y *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. (grevillea). The coffee trees are distributed in a 2 x 2 m topological arrangement and have a vegetal cover with a mean carbon sequestration of 53.56 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Coffee-Macadamia-Avocado production system (CMAPS). This polyculture commercial system is characterized by the

(chinene), *Inga* spp. (inga) y *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. (grevillea). Los cafetos se distribuyen en un arreglo topológico de 2 x 2 m. Poseen una cubierta vegetal con un valor medio de captura de carbono de 53.56 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Sistema de producción Café-Macadamia-Aguacate (SPCMA). El sistema de policultivo comercial se distingue por la producción de café con especies asociadas orientadas a la comercialización, como una estrategia de diversificación productiva. Está compuesto por café (*Coffea* spp.), macadamia (*Macadamia tenuifolia* F. Muell.) y aguacate (*Persea americana* Mill.). Su cubierta vegetal tiene un valor medio de captura de carbono de 17.10 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Sistema de café a pleno sol (SCPS). Como bien lo expresa el nombre, se refiere al café sin sombra; se busca maximizar la producción de café como monocultivo pues es poco común en el país, ya que casi representa 10 %. Posee una cubierta vegetal con un valor medio de captura de carbono de 9.18 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Sistema bosque de niebla natural o mesófilo de montaña (Bosque). Esta asociación corresponde al bosque mesófilo que en la zona está sumamente perturbado por la introducción de la ganadería extensiva y el cultivo de café. La comunidad vegetal tiene tres estratos: el superior, de 28 a 30 m de altura; el intermedio entre los 18 y 20 m y el inferior de 4 a 6 m conformado por una sola especie. Los géneros predominantes son *Liquidambar*, *Quercus*, *Meliosoma*, *Cornus*, *Ilex* y *Clethra*. El área se ubica sobre tres condiciones de microrrelieve: vega de río, ladera y meseta (Pérez, 2004). Posee una cubierta vegetal con un valor medio de captura de carbono de 421.01 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Se seleccionaron cuatro sistemas, los cuales fueron considerados como niveles de un primer factor de tratamientos. Dentro de cada uno de los sistemas se eligieron aleatoriamente tres sitios, se realizaron muestreos a tres profundidades diferentes: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, donde se evaluaron las propiedades del suelo. Los sistemas fueron: bosque de niebla o mesófilo de montaña (Bosque), sistema de producción café-macadamia-aguacate (SPCMA), sistema de producción café tradicional (SPCT), y sistema de café a pleno sol (SCPS).

Para conocer la eficiencia nutrimental en los suelos, se evaluarán las siguientes variables dependientes: textura, densidad aparente (DAP), capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), materia orgánica (mo), nitrógeno inorgánico (amonio, nitratos), nitrógeno total, fósforo, bases intercambiables, microelementos, potencial de hidrógeno y capacidad de intercambio catiónico.

Las determinaciones de los parámetros físicos del suelo se hicieron con el propósito de caracterizar cada uno de

los sistemas de producción de café con especies asociadas orientadas a la comercialización, como una estrategia de diversificación productiva. Está compuesto por café (*Coffea* spp.), macadamia (*Macadamia tenuifolia* F. Muell.) y aguacate (*Persea americana* Mill.). Su cubierta vegetal tiene un valor medio de captura de carbono de 17.10 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Sistema de producción de café a pleno sol (SCPS). Como bien lo expresa el nombre, se refiere al café sin sombra; se busca maximizar la producción de café como monocultivo pues es poco común en el país, ya que casi representa 10 %. Posee una cubierta vegetal con un valor medio de captura de carbono de 9.18 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Sistema bosque de niebla natural o mesófilo de montaña (Bosque). Esta asociación corresponde al bosque mesófilo que en la zona está sumamente perturbado por la introducción de la ganadería extensiva y el cultivo de café. La comunidad vegetal tiene tres estratos: el superior, de 28 a 30 m de altura; el intermedio entre los 18 y 20 m y el inferior de 4 a 6 m conformado por una sola especie. Los géneros predominantes son *Liquidambar*, *Quercus*, *Meliosoma*, *Cornus*, *Ilex* y *Clethra*. El área incluye tres condiciones de microrrelieve: vega de río, ladera y meseta (Pérez, 2004). Posee una cubierta vegetal con un valor medio de captura de carbono de 421.01 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

Se seleccionaron cuatro sistemas, los cuales fueron considerados como niveles de un primer factor de tratamientos. Dentro de cada uno de los sistemas se eligieron aleatoriamente tres sitios, se realizaron muestreos a tres profundidades diferentes: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, donde se evaluaron las propiedades del suelo. Los sistemas fueron: bosque de niebla o mesófilo de montaña (Bosque), sistema de producción café-macadamia-aguacate (SPCMA), sistema de producción café tradicional (SPCT), y sistema de café a pleno sol (SCPS).

Para conocer la eficiencia nutrimental en los suelos, se evaluarán las siguientes variables dependientes: textura, densidad aparente (DAP), capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), materia orgánica (OM), nitrógeno inorgánico (amonio, nitratos), nitrógeno total, fósforo, bases intercambiables, microelementos, potencial de hidrógeno y capacidad de intercambio catiónico.

Las determinaciones de los parámetros físicos del suelo se hicieron con el propósito de caracterizar cada uno de los sistemas de producción de café con especies asociadas orientadas a la comercialización, como una estrategia de diversificación productiva. Está compuesto por café (*Coffea* spp.), macadamia (*Macadamia tenuifolia* F. Muell.) y aguacate (*Persea americana* Mill.). Su cubierta vegetal tiene un valor medio de captura de carbono de 17.10 Mg ha<sup>-1</sup> (Hernández, 2013).

los sistemas; se llevaron a cabo de octubre a diciembre de 2014, en el Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo los estándares y metodologías de la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002). Así, la densidad aparente (DAP) se calculó con el uso de cilindro; la capacidad de campo (CC), mediante retención de agua a 33 kPa; el punto de marchitez permanente (PMP) a 1 500 kPa, con olla y membranas de presión, y la textura, mediante pipeta, con destrucción de materia orgánica y dispersión con hexametáfosfato de sodio.

Las evaluaciones de los parámetros químicos del suelo se ejecutaron con la finalidad de describir a cada uno de los sistemas y establecer las condiciones nutrimentales disponibles para las plantas; se realizaron en noviembre de 2014 en el Laboratorio Central de la Universidad Autónoma Chapingo, igualmente, bajo los criterios establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002). Las muestras analizadas se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm para calcular: potasio (K) intercambiable, extraído con acetato de amonio 1.0 n pH 7.0 por espectrofotometría de emisión de flama; calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables, obtenidos con acetato de amonio 1.0 n pH 7.0 por espectrofotometría de absorción atómica; materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (1934); nitrógeno total (N tot), por arrastre de vapor: Kjeldahl; nitrógeno inorgánico (N min), con cloruro de potasio 2N por arrastre de vapor, fósforo disponible (P), con Bray p<sup>-1</sup>; capacidad de intercambio catiónico (CIC), con acetato de amonio 1.0N, pH 7.0 por arrastre de vapor; pH, potenciométrico en relación muestra agua 1:2 y el agua aprovechable (CC - PMP).

Los datos fueron analizados conforme a un experimento factorial de dos factores 4 x 3, correspondiente a cuatro sistemas y tres profundidades de suelo. Se consideraron tres repeticiones por cada una de las 12 combinaciones de tratamientos. El modelo estadístico correspondiente es:

$$Y_{ijt} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijt}$$

Donde:

- $\epsilon_{ijt} \sim N(0, \delta^2)$ ,
- $\epsilon_{ijt}$  = Mutuamente independientes
- $t = 1, \dots$
- $rij; i = 1, \dots$
- $\alpha; j = 1, \dots, b$
- $Y_{ijt}$  = Valor de la respuesta en la replicación  $t^{\text{ésimo}}$  del tratamiento con el  $i^{\text{ésimo}}$  sistema de producción y la  $j^{\text{ésimo}}$  profundidad del suelo
- $\mu$  = Constante (media general)
- $\alpha_i$  = Efecto del sistema  $i^{\text{ésimo}}$
- $\beta_j$  = Efecto de la profundidad  $j^{\text{ésimo}}$
- $(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción para el  $i^{\text{ésimo}}$  sistema y la  $j^{\text{ésimo}}$  profundidad
- $\epsilon_{ijt}$  = Errores aleatorios

The purpose of the assessment of the chemical parameters of the soil was to describe each system and establish the nutritional conditions available to the plants; these assessments were carried out in November, 2014, at the *Laboratorio Central of the Universidad Autónoma Chapingo*, also according to the criteria established by the Mexican Official Norm NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002). The analyzed samples were air-dried and sifted through a 2 mm sieve in order to determine the values of: exchangeable potassium (K), extracted with ammonium acetate (1.0N pH 7.0), using flame emission spectrophotometry; exchangeable calcium (Ca) and magnesium (Mg) obtained with ammonium acetate (1.0N pH 7.0), using atomic absorption spectrophotometry; organic matter (OM), using the Walkley and Black method (1934); total nitrogen (N tot), estimated through steam distillation: Kjeldahl; inorganic nitrogen (N min), with potassium chloride (2N), using steam distillation; available phosphorus (P), with Bray p<sup>-1</sup>; cationic exchange capacity (CEC), with ammonium acetate (1.0 n pH 7.0), using steam distillation; pH, through potentiometric titration in a 1:2 sample/water ratio, and available water (FC - PWP).

The data were analyzed according to a 4 x 3 factorial experiment with two factors, corresponding to four systems and three soil depths. Three repetitions for each of the 12 combinations of treatments were considered. The corresponding statistical model is the following:

$$Y_{ijt} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijt}$$

Where:

- $\epsilon_{ijt} \sim N(0, \delta^2)$ ,
- $\epsilon_{ijt}$  = Mutually independent
- $t = 1, \dots$
- $rij; i = 1, \dots$
- $\alpha; j = 1, \dots, b$
- $Y_{ijt}$  = Response value in the  $t^{\text{th}}$  replication of the treatment with the  $i^{\text{th}}$  production system and at the  $j^{\text{th}}$  soil depth
- $\mu$  = Constant (overall average)
- $\alpha_i$  = Effect of the  $i^{\text{th}}$  system
- $\beta_j$  = Effect of the  $j^{\text{th}}$  depth
- $(\alpha\beta)_{ij}$  = Effect of the interaction for the  $i^{\text{th}}$  system and the  $j^{\text{th}}$  depth
- $\epsilon_{ijt}$  = Random errors

The collected data were averaged by site and by soil depth; all the assessed characteristics were analyzed using the SAS 9.1 statistical software (2002). Variance analyses and multiple mean comparison tests were carried out using Tukey's method (Steel and Torrie, 1998) in order to determine significant differences between the four production systems and between the three different soil depths, as well as the potential interactions between these two factors.

Los datos obtenidos se promediaron por sitio y por profundidad del suelo; todas las características evaluadas se analizaron mediante el programa estadístico SAS 9.1 (2002). Se efectuaron análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de medias por el método de *Tukey* (Steel y Torrie, 1998) para determinar diferencias significativas entre los cuatro sistemas de producción y entre las tres diferentes profundidades de suelo, además de las posibles interacciones entre estos dos factores.

## Resultados y Discusión

### Propiedades físicas

Las concentraciones de los distintos parámetros físicos fueron significativamente diferentes en los sistemas estudiados. Las pruebas de comparación de medias para las propiedades físicas de suelos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias de parámetros físicos del suelo en los sistemas estudiados en Huatusco, Veracruz, México.

Sistema	Bosque	SPCT	SPCMA	SCPS	PROF	00-10	10-20	20-30
N	9	9	9	9	N	12	12	12
Dap	0.80c	0.95b	1.03ab	1.05a	DAP	0.98a	0.97a	0.97a
CC	54.85a	54.13a	45.16b	44.68b	CC	51.46a	51.46a	48.60a
PMP	42.87a	42.38a	32.38b	30.85b	PMP	39.10a	36.25a	36.25a

Bosque = Bosque de niebla natural o mesófilo de montaña; SPCT = Sistema de producción café tradicional; SPCMA = Sistema de producción Café-Macadamia-Aguacate; SCPS = Sistema de café a pleno sol; PROF = Profundidad de suelo; N = Número de muestras; DAP = Densidad aparente; CC (%) = Capacidad de campo; PMP (%) = Punto de marchitamiento permanente; medias con la misma letra no son significativamente diferentes (*Tukey*,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Table 1. Mean comparison test of soil physical parameters in the studied systems in Huatusco, Veracruz, Mexico.

System	Forest	TCPS	CMAPS	SCPS	SD	00-10	10-20	20-30
N	9	9	9	9	N	12	12	12
DAP	0.80c	0.95b	1.03ab	1.05a	DAP	0.98a	0.97a	0.97a
FC	54.85a	54.13a	45.16b	44.68b	FC	51.46a	51.46a	48.60a
PWP	42.87a	42.38a	32.38b	30.85b	PWP	39.10a	36.25a	36.25a

Forest = Montane cloud forest; TCPS = Traditional coffee production system; CMAPS = Coffee-Macadamia-Avocado production system; SCPS = Sun coffee system; SD = Soil depth; N = Number of samples; DAP = Apparent density; FC (%) = Field capacity; PWP (%) = Permanent wilting point; means with the same letter are not significantly different (*Tukey*,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Las clases texturales de los suelos para bosque fueron franco-arenosa y en cafetales, de franca a franco-arcillosa; a todas las profundidades presentaron una textura franca con variaciones. Asimismo, son ácidos y pobres en bases intercambiables, a pesar de tener una capa superficial rica en materia orgánica.

Los análisis de varianza mostraron que para la densidad aparente (DAP), se verificaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P < 0.0001$  en los cuatro sistemas evaluados. El sistema con una menor densidad aparente fue el Bosque, seguido por

## Results and Discussion

### Physical properties

Concentrations of the various physical parameters were significantly different in the studied systems. The mean comparison tests for the physical properties of the soils are shown in Table 1.

The soil texture classes were loamy-sandy in the forest, and loamy to loamy-clayey in the coffee plantations; at all depths they had a loamy texture with variations. Furthermore, they are acidic and their concentrations of exchangeable bases are low, despite having a surface layer rich in organic matter.

The variance analyses showed the presence of statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ) for apparent density (DAP), with  $P < 0.0001$  in the four evaluated systems. The system with the

lowest apparent density was the Forest, followed by the TCPS and the SCPS. CMAPS was the system with the highest apparent density. This accounts for the fact that the Forest and the TCPS had the highest concentrations of organic matter. As is well known, systems with the highest content of carbon and organic matter have lower values of apparent density (Monroy, 2009). The vegetal cover is scarcer in the SCPS than in the CMAPS, the TCPS and the Forest, which favored a lower contribution of organic matter, and a higher oxidation thereof, since this component is closely related to apparent density and porous space. In the presence of higher contents of organic

el SPCT y el SCPS. El que reúne los valores más altos de densidad aparente fue el SPCMA. Lo anterior se explica porque el Bosque y el SPCT presentaron las máximas concentraciones de materia orgánica. Los sistemas con mayor contenido de carbono y materia orgánica tienen valores menores de densidad aparente (Monroy, 2009). La cubierta vegetal en el SCPS es más escasa, en comparación con SPCMA, SPCT y Bosque, lo que favoreció un aporte menor de materia orgánica y su mayor oxidación, pues este componente guarda una estrecha relación con la densidad aparente y el espacio poroso. Al existir mayores contenidos de materia orgánica, los suelos presentan menores densidades y, por consiguiente, condiciones físicas favorables, en comparación con densidades altas (Cavazos y Rodríguez, 1992; Carter, 2002).

A medida que se incrementó la profundidad, la densidad aparente aumentó para el Bosque, SPCMA y SPCT, lo que responde al bajo contenido de materia orgánica a mayor profundidad, donde existe menor agregación y más compactación. Sin embargo, en el caso del SCPS este comportamiento fue inverso.

De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, y a los valores de densidad aparente el Bosque y el SPCT se clasificaron dentro de suelos orgánicos y volcánicos, mientras que el SPCMA y el SCPS en los suelos minerales. Los sistemas estudiados no reflejaron cambios en la densidad aparente y las pequeñas diferencias no son atribuidas a estos; pudieran depender de la textura, los contenidos de materia orgánica y el estado de compactación del suelo (Alvarado, 2007). En el Bosque y SPCT las condiciones estructurales son mejores, debido a la relación entre la materia orgánica y la densidad aparente.

Los análisis de varianza evidenciaron que en los cuatro sistemas evaluados hay diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), para el CC o capacidad de campo, con  $P = 0.0003$  y para el PMP, el punto de marchitez permanente, con  $P < 0.0001$ ; los valores más altos se ubicaron en el Bosque, al que le sigue SPCT y SPCMA, y lo contrario ocurre en el SCPS.

En el caso del efecto de la profundidad sobre estas variables, a medida que se incrementaba, ambas disminuían para el Bosque, SPCMA y SPCT. En el SCPS su comportamiento fue variable.

Respecto a la humedad aprovechable (HA) o agua realmente disponible, en el SCPS se registraron valores superiores, mientras que en el Bosque fueron más bajos, ya que alcanzó cifras de 11.01 a 13.22 % en suelos agroforestales, de 11.37 a 12.98 % en bosque y de 13.42 a 14.17 % en café a pleno sol. Los datos de punto de marchitez permanente, considerablemente elevados, indican que una cantidad apreciable de agua

matter, the soils have lower densities and, consequently, favorable physical conditions, compared to higher densities (Cavazos and Rodríguez, 1992; Carter, 2002).

The apparent density increased in direct proportion to soil depth in the Forest, CMAPS and TCPS, due to the low content of organic matter at greater depths, where there is less aggregation and more compacting. However, the SCPS showed the opposite behavior.

According to the NOM-021-RECNAT-2000 norm, which establishes the specifications for fertility, salinity and soil classification, as well as the apparent density values, the Forest and the TCPS were classified among the organic and volcanic soils, while the CMAPS and the SCPS were classified among the mineral soils. The studied systems did not reflect changes in the apparent density, and the small differences cannot be ascribed to these; they may depend on the texture, the organic matter contents and the state of compacting of the soil (Alvarado, 2007). The structural conditions are better in the Forest and the TCPS, thanks to the relationship between organic matter and apparent density.

The variance analyses showed significant statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ) for the FC, or field capacity, with  $P = 0.0003$ , and for the PWP, the permanent wilting point, PWP, with  $P < 0.0001$ ; the highest values were found in the Forest, followed by the TCPS and CMAPS; instead, the SCPS had the lowest values.

As depth increased, these variables diminished in the Forest, CMAPS and TCPS. Their behavior varied in the SCPS.

As for the usable humidity (UH) or actually available water, the highest values were registered in the SCPS, while the Forest had lower values, of 11.01 to 13.22 % in the agroforestry soils, 11.37 to 12.98 % in the forest, and 13.42 to 14.17 % in sun coffee plantations. The significantly high values for the permanent wilting point indicate that a considerable amount of water is retained under strong tension in the soil and cannot be absorbed by the plants.

## Chemical properties

The concentrations of the various chemical elements differed significantly among the studied systems. Table 2 shows the mean comparison tests for the chemical properties of the soils.



es retenida bajo fuerte tensión en el suelo y no la pueden absorber las plantas.

### Propiedades químicas

Las concentraciones de los distintos elementos químicos fueron significativamente diferentes en los sistemas estudiados. Las pruebas de comparación de medias para las propiedades químicas de suelos se presentan en el Cuadro 2.

The chemical properties of the soil were analyzed in order to characterize the nutritional condition at various depths in each of the systems.

No direct relationship was verified between the hydrogen potential (pH) and the soil depth. The variance analysis showed significant statistical differences between the four evaluated systems ( $\alpha < 0.05$ ), with  $P < 0.0001$ ). The system with the lowest pH was the Forest, followed by the TCPS, and the CMAPS had

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias de parámetros químicos del suelo en los sistemas estudiados en Huatusco, Veracruz, México.

Sistema	Bosque	SPCT	SPCMA	SCPS	PROF	00-10	10-20	20-30
N	9	9	9	9	N	12	12	12
pH	5.17d	5.45c	6.14a	5.80b	pH	5.69a	5.64a	5.59a
CIC	46.68a	43.11a	42.52a	41.70a	CIC	48.41a	42.42b	39.67b
MO	14.41a	11.35b	5.34c	4.63c	MO	11.92a	8.50b	6.38b
N tot	0.72a	0.56b	0.26c	0.23c	N tot	0.59a	0.42b	0.31b
N min	32.17a	23.01b	20.24b	19.11b	N min	26.61a	23.62a	20.66a
P	5.74b	7.74b	5.97b	23.52a	P	16.97a	8.65a	6.60a
K	160.00b	296.6ab	263.1ab	366.44a	K	379.67a	237.50b	197.50b
Ca	290.0c	728.4b	1926.9a	1955.0a	Ca	1524.00a	1143.33b	1007.92b
Mg	94.89c	204.67c	1269.00a	867.44b	Mg	667.58a	583.33a	576.08a

Bosque = Bosque de niebla natural o mesófilo de montaña; SPCT = Sistema de producción café tradicional; SPCMA = Sistema de producción Café-Macadamia-Aguacate; SCPS = Sistema de café a pleno sol; PROF = Profundidad de suelo; N = Número de muestras; pH = Potencial de hidrógeno; CIC (Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) = Capacidad de intercambio catiónico; MO (%) = Materia orgánica; N tot (%) = Nitrógeno total; N min (mg kg<sup>-1</sup>) = Nitrógeno mineral; P (mg kg<sup>-1</sup>) = Fosforo; K (mg kg<sup>-1</sup>) = Potasio; Ca (mg kg<sup>-1</sup>) = Calcio; medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Table 2. Mean comparison test for chemical soil parameters in the systems studied in Huatusco, Veracruz, Mexico.

System	Forest	TCPS	CMAPS	SCPS	SD	00-10	10-20	20-30
N	9	9	9	9	N	12	12	12
pH	5.17d	5.45c	6.14a	5.80b	pH	5.69a	5.64a	5.59a
CEC	46.68a	43.11a	42.52a	41.70a	CEC	48.41a	42.42b	39.67b
OM	14.41a	11.35b	5.34c	4.63c	OM	11.92a	8.50b	6.38b
Tot N	0.72a	0.56b	0.26c	0.23c	Tot N	0.59a	0.42b	0.31b
Min N	32.17a	23.01b	20.24b	19.11b	Min N	26.61a	23.62a	20.66a
P	5.74b	7.74b	5.97b	23.52a	P	16.97a	8.65a	6.60a
K	160.00b	296.6ab	263.1ab	366.44a	K	379.67a	237.50b	197.50b
Ca	290.0c	728.4b	1926.9a	1955.0a	Ca	1524.00a	1143.33b	1007.92b
Mg	94.89c	204.67c	1269.00a	867.44b	Mg	667.58a	583.33a	576.08a

Forest = Montane cloud forest; TCPS = Traditional coffee production system; CMAPS = Coffee-Macadamia-Avocado production system; SCPS = Sun coffee system; SD = Soil depth; N = Number of samples; pH = Hydrogen potential; CEC (Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) = Cationic exchange capacity; OM (%) = Organic matter; tot N (%) = Total nitrogen; N min (mg kg<sup>-1</sup>) = Mineral nitrogen; P (mg kg<sup>-1</sup>) = Phosphorus; K (mg kg<sup>-1</sup>) = Potassium; Ca (mg kg<sup>-1</sup>) = Calcium. Measures with the same letter are not significantly different (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

El análisis de las propiedades químicas del suelo fue realizado con el fin de caracterizar la condición nutrimental en las diferentes profundidades de cada uno de los sistemas.

Para el potencial de hidrógeno (pH), no se verificó una relación directa con la profundidad del suelo. El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas significativas en los cuatro sistemas evaluados, ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P < 0.0001$ . El sistema con un menor pH fue el Bosque, seguido por el SPCT y el SCPS, y SPCMA tuvo las cifras más altas; este parámetro se comportó de manera similar a la densidad aparente del suelo.

Brady y Weil (1999) refieren que la capacidad para absorber los elementos minerales de la vegetación influye de forma importante en las características de los suelos en donde se desarrolla, y que el pH afecta directamente la asimilación de los nutrimentos.

La acidez se relacionó con la baja saturación del complejo de adsorción en bases intercambiables, principalmente en calcio, pero también en potasio y magnesio. Los valores más bajos obtenidos en este estudio se explican por las diferencias en los contenidos de materia orgánica, ya que esta acidifica el suelo (Ortiz y Ortiz, 1990), como lo demuestran el Bosque y el SPCT, en el presente estudio. A partir de la NOM-021-RECNAT-2000, y a los valores de pH, todos los suelos de los sistemas se clasifican como moderadamente ácidos.

Para la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el análisis de varianza supone diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P = 0.0303$  en los cuatro sistemas. El intervalo en el presente estudio fue de 41.70 a 46.68 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, que son muy altos, pero que disminuyeron conforme aumentó la profundidad del suelo. El que resultó con la menor capacidad fue el SCPS, al que siguieron el SPCMA y el SCPT; el de Bosque registró los valores más destacados. En consecuencia, se concluye que el ambiente químico natural de los suelos estudiados demuestra ser propicio para una buena disponibilidad de diversos nutrimentos para las plantas. La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica (Osman, 2013). En general, entre más arcilla y materia orgánica haya en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor (Essington, 2004; Roy *et al.*, 2006). En este caso en los suelos donde había una concentración de materia orgánica importante, que fueron el Bosque y el SPCT la variable sobresalió.

Lo mismo sucedió con la profundidad, pues a medida que aumentó, la materia orgánica disminuyó y, por consiguiente, la capacidad de intercambio catiónico. En general, en casi todos los suelos la CIC se eleva cuando el pH se basicifica, pero en el estudio involucrado no sucedió así. Con base en la NOM-021-RECNAT-2000 y a los valores de CIC, todos los sistemas se clasificaron como "de muy alta".

the highest values; this parameter behaved similarly to the apparent density of the soil.

According to Brady and Weil (1999), the capacity of the vegetation to absorb mineral elements exerts an important influence on the characteristics of the soils where it develops, and the pH affects the assimilation of nutrients directly.

Acidity was associated with a low saturation of the adsorption complex in exchangeable bases, mainly in calcium, but also in potassium and magnesium. The lowest values obtained in the present study are accounted for by the differences in the contents of organic matter, since this acidifies the soil (Ortiz and Ortiz, 1990), as shown in the Forest and the TCPS. Based on the norm NOM-021-RECNAT-2000 and on the pH values, all the soils of the systems are classified as moderately acidic.

For the cationic exchange capacity (CEC), the variance analysis assumes significant statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ), with  $P = 0.0303$  in the four systems. The interval in the present study was 41.70 to 46.68 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, both of which are extremely high values, but diminished as the soil depth increased. The system with the lowest capacity was SCPS, followed by the CMAPS and the TCPS; the Forest had the highest values. Therefore, it may be concluded that the natural chemical environment of the studied soils has been proven to favor a good availability of various nutrients for the plants. The CEC depends on the texture of the soil and on its content of organic matter (Osman, 2013). In general, the more clay and organic matter there is in the soil, the higher the exchange capacity (Essington, 2004; Roy *et al.*, 2006). This variable was prominent in soils with a major organic matter concentration, namely those of the Forest and the TCPS.

The same is true of the soil depth, and therefore of the cationic exchange capacity, since lower organic matter concentrations were found as the soil depth increased. In general, the CEC increases in almost every soil type when the pH becomes alkaline; however, this was not the case in the study involved. Based on the norm NOM-021-RECNAT-2000 and on the CEC values, all the systems were classified as "extremely high".



En términos de materia orgánica (MO), el análisis de varianza reveló diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P < 0.0001$ , en los cuatro sistemas evaluados. El que tuvo un menor porcentaje fue el SCPS, luego el SPCMA y el SPCT. Por el contrario, en el Bosque se obtuvieron los porcentajes superiores de esta variable, misma que se asocia con la cubierta vegetal. A medida que se avanza en profundidad, la materia orgánica disminuyó para todos los sistemas, lo que se explica porque el mayor aporte para dicha variable ocurre en la superficie (Soto *et al.*, 2007). Al respecto, se confirma la presencia de hojarasca procedente del dosel, y también refleja las prácticas de manejo de todos los sistemas, incluso el SCPS, que no han sido tan intensos como para afectar los contenidos de materia orgánica. Al aplicar la NOM-021-RECNAT-2000 a los resultados obtenidos, el SCPS y el SPCMA tuvieron un porcentaje bajo de MO, mientras que para Bosque y el SPCT ocurre lo contrario. Se identificó que a mayor intensidad de uso del suelo, la materia orgánica disminuye. La perturbación de los suelos de los bosques provoca una reducción en sus contenidos orgánicos, ya que la cobertura vegetal tiende a eliminarse, y por lo tanto, se favorece un ascenso en la temperatura y, con ello, la actividad microbiana así como una rápida mineralización del sustrato, lo que eventualmente conduce a su pérdida.

Para el nitrógeno total resultaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P < 0.001$ , en los cuatro sistemas evaluados. El sistema con el menor porcentaje de nitrógeno total fue el SCPS al que continúan en ese sentido el SPCMA y el SPCT, y lo opuesto se verificó con el Bosque, por el comportamiento de la materia orgánica. A medida que se incrementa la profundidad, el nitrógeno total disminuye considerablemente. El nitrógeno mineral tiene una mayor dinámica que el nitrógeno total, por lo que su manifestación en ocasiones difiere. Sin embargo, en el caso del suelo de Bosque coincidió que el nitrógeno mineral fue más alto que en el suelo de los otros sistemas al igual que el nitrógeno total. Esto se debió a que quien dirige las concentraciones de nitrógeno total y mineral en sistemas no tan perturbados es el contenido de materia orgánica. De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, y a los valores de nitrógeno total el SCPS reúne un porcentaje de nitrógeno total alto, mientras que el de Bosque, el de SPCMA y el de SPCT fue muy alto.

Para el nitrógeno mineral, hubo diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P = 0.0011$ , en los cuatro sistemas evaluados, según el análisis de varianza. El sistema con porcentaje de nitrógeno mineral menor fue el SPCMA, al que continuaron el SCPS y el SPCT. El sistema con los valores más altos de nitrógeno mineral fue el Bosque. Se aprecia que a medida que la profundidad se incrementó el nitrógeno mineral disminuyó para el Bosque y SPCT. En SCPS y el SPCMA el comportamiento de este componente no siguió un patrón definido. En la profundidad 0-10 cm los resultados sugieren la existencia de una relación

As for the organic matter (OM), the variance analysis revealed significant statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ), with  $P < 0.0001$ , in the four assessed systems. The one with the lowest percentage was the SCPS, followed by the CMAPS and the TCPS. In contrast, the Forest registered the highest percentages for this variable, which is associated with the vegetal cover. As the soil depth increased, the organic matter diminished in all systems, since the largest input for this variable occurs at surface level (Soto *et al.*, 2007). In this case, the presence of dead leaves fallen from the canopy is confirmed, reflecting the management practices used in all the systems, the SCPS included, which have not been intense enough to affect the organic matter contents. When the NOM-021-RECNAT-2000 norm was applied to the results obtained for this variable, the SCPS and the CMAPS had a low percentage of OM, unlike the Forest and the TCSP. Organic matter diminishes with a more intense use of the soil. Forest soil disturbance reduces the organic matter contents, since the vegetal cover tends to be removed, which favors an increase in temperature and, consequently, in microbial activity, as well as a rapid mineralization of the substrate, that eventually cause its loss.

Significant statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ), with  $P < 0.001$ , were found for total nitrogen in the four evaluated systems. The system with the lowest percentage of total nitrogen was SCPS, followed by CMAPS and TCPS; the opposite is true for the Forest, due to the behavior of organic matter. As the soil depth increases, the total nitrogen diminishes considerably. The mineral nitrogen has a greater dynamic range than the total nitrogen, and therefore its manifestation varies sometimes. However, mineral nitrogen -like total nitrogen- was higher in the Forest soil than in the other systems. This is because the concentrations of mineral and total nitrogen in less disturbed systems are determined by the organic matter. According to the NOM-021-RECNAT-2000 and to the total nitrogen values, the SCPS was shown to contain a high percentage of total nitrogen, while the percentages contained in the Forest, CMAPS and TCPS were rated as extremely high.

There were statistically significant differences ( $\alpha < 0.05$ ), with  $P = 0.0011$ , in the mineral nitrogen concentrations of the four assessed systems, according to the variance analysis. The system with the lowest percentage of mineral nitrogen was CMAPS, followed by the SCPS and TCPS. The system with the highest values for mineral nitrogen was the Forest. The concentrations of mineral nitrogen were observed to decrease as the soil depth increased in the Forest and the TCPS. In the SCPS and the CMAPS, the behavior of this component did not follow a clear pattern. At the depth of 0-10 cm, the results suggest the existence of an association with the organic matter and total nitrogen contents. Based on the NOM-021-RECNAT-2000, the SCPS had a low content of mineral nitrogen, while the Forest, the CMAPS and the TCPS had a medium content.



con los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total. A partir de la NOM-021-RECNAT-2000, el SCPS tuvo un contenido de nitrógeno mineral bajo, mientras que el Bosque, el SPCMA y el SPCT, medio.

Existen diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ), con  $P = 0.0054$  para el fósforo (P) en los cuatro sistemas evaluados. El sistema con una menor concentración de este elemento fue el Bosque, seguido del SPCMA y el SPCT, en contraste con el SCPS. Como en otros casos, se verifica una reacción opuesta del mismo con respecto a la profundidad para el SPCMA y el SCPS, pero para el Bosque y el SPCT, no se definió un patrón regular. Los contenidos de fósforo en todos los sistemas se clasificaron como bajos. Alvarado (2007) detectó que los contenidos de fósforo varían considerablemente de acuerdo a las condiciones climáticas en que se toman las muestras en campo. SCPS tuvo un contenido de fósforo medio, Bosque, el SPCMA y el SPCT bajo. No se estableció ninguna relación entre P y las variables de materia orgánica, densidad aparente, pH y nitrógeno. En el sistema de café a pleno sol los valores de fósforo fueron altos, debido a que en Veracruz el cafetal es intensivamente manejado, lo que incluye la aplicación de fertilizantes de forma regular, y se propician así, cambios importantes en el contenido de nutrimentos (Geissert e Ibáñez, 2008).

También se confirmaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ) para las bases intercambiables (K, Ca, Mg); para el potasio con  $P = 0.0029$ , para el calcio y magnesio con  $P < 0.0001$ , en los cuatro sistemas evaluados. El Bosque registró la menor concentración de las tres. El sistema con los valores más altos de potasio y de calcio fue el SCPS, mientras que el SPCMA tuvo los de magnesio. El efecto de la profundidad sobre ambos elementos es inverso en todos los sistemas, sin un patrón definido y el magnesio, en particular, se verificó en el Bosque y el SPCT.

Vergara (2003) refiere que los iones intercambiables potasio, calcio y magnesio tienen una estrecha relación con el pH. En el presente estudio, dicha relación se confirma a partir de los datos del Bosque y el SPCT con los valores más bajos de pH, pero también de bases intercambiables. Estos últimos indican una pérdida de nutrimentos, arrastrados por la gran cantidad de agua de lluvia que provoca lixiviación (Geissert e Ibáñez, 2008). De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, y a los valores de potasio se identificó un contenido de potasio medio en el Bosque ( $0.41 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) mientras que el SPCMA ( $0.67 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), el SPCT ( $0.76 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) y el SCPS ( $0.93 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) se registraron cifras altas. En el Bosque ( $0.74 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) se obtuvo un contenido de calcio muy bajo, mientras que el SPCT ( $1.86 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) y el SPCMA ( $4.94 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) fue bajo y el SCPS ( $5.01 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) medio. El contenido de magnesio en el Bosque ( $0.24 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) fue muy bajo, el SPCT ( $0.52 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) bajo, el SPCMA ( $2.22 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) medio y el SCPS ( $3.25 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), alto.

There are significant statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ), with  $P = 0.0054$ , for phosphorus (P) in the four evaluated systems. The system with the lowest concentration of this element was the Forest, followed by the CMAPS and TCPS, in contrast with the SCPS. As in other cases, there is an opposite reaction of this system in regard to soil depth to that occurring in the CMAPS and SCPS; however, no regular pattern was determined for the Forest of the TCPS. The phosphorus contents in all systems were classified as low. Alvarado (2007) detected considerable variation in the phosphorus contents according to the climatic conditions in which the samples are collected in field. The SCPS had a medium content of phosphorus, while the Forest, the CMAPS and the TCPS had a low content. No relationship was established between P and the organic matter variables, apparent density, pH and nitrogen. In the sun coffee system, the values for phosphorus were high because coffee plantations in Veracruz receive extensive management, including regular application of fertilizers, which results in important changes in the content of nutrients (Geissert and Ibáñez, 2008).

Significant statistical differences ( $\alpha < 0.05$ ) were also confirmed for exchangeable bases (K, Ca, Mg) -with  $P = 0.0029$  for potassium and  $P < 0.0001$  for calcium and magnesium- in the four assessed systems. The Forest registered the lowest concentration of all three. The system with the highest values for potassium and calcium was the SCPS, while the CMAPS had the highest values for magnesium. The effect of the soil depth on both elements was shown to be the reverse in all systems without a definite pattern, and magnesium concentrations particularly were verified in the Forest and the TCPS.

According to Vergara (2003), there is a close relationship between the exchangeable potassium, calcium and magnesium ions and the pH. In this study, this association is confirmed based on the data for the Forest and the TCPS with the lowest pH, but also with the lowest concentrations of exchangeable bases. These are indicative of a loss of nutrients, which are swept along by huge amounts of rain water that cause lixiviation (Geissert and Ibáñez, 2008). According to the NOM-021-RECNAT-2000 and to the values of potassium, a mean content of potassium was identified in the Forest ( $0.41 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), while the CMAPS ( $0.67 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), the TCPS ( $0.76 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) and the SCPS ( $0.93 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) had high concentrations. The calcium content was extremely low in the Forest ( $0.74 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), low in the TCPS ( $1.86 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) and the CMAPS ( $4.94 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), and medium in the SCPS ( $5.01 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ). The content of magnesium in the Forest ( $0.24 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) was also extremely low; it was low in the TCPS ( $0.52 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), medium in the CMAPS ( $2.22 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), and high in the SCPS ( $3.25 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ).



## Conclusiones

El suelo del sistema con café a pleno sol registró densidades aparentes y texturas similares a los sistemas natural y agroforestal con café, y una menor capacidad de retención de agua expresada por valores reducidos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; en contraste, el del Bosque los valores más altos de dichos parámetros; los valores intermedios correspondieron a los suelos de los sistemas agroforestales de producción café tradicional y de producción Café-Macadamia-Aguacate.

El pH del suelo bajo los sistemas de Bosque, sistemas agroforestales y monocultivo de café fue ácido, condición que se acentuó a medida que se incrementó la materia orgánica. En donde los suelos la concentraron en abundancia como resultado de una amplia cubierta vegetal, la capacidad de intercambio catiónico fue superior, pero se reduce con la profundidad.

El nitrógeno total en los sistemas estudiados resultó de alto a muy alto, lo que responde de manera directa con la presencia de la materia orgánica; el nitrógeno total se comportó de forma diferente.

De manera general, se concluye que el Bosque fue el mejor de los sistemas estudiados, seguido por el de producción café tradicional y el de producción Café-Macadamia-Aguacate; en contraste, sistema de café a pleno sol fue el más deficiente. SPCT y SPCMA propiciaron una mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, con respecto al sistema de café a pleno sol. El establecimiento del monocultivo de café favoreció una disminución de la concentración de materia orgánica y de nitrógeno, menor capacidad de retención de agua, y un aumento en las bases intercambiables.

## Agradecimientos

Paul René Fernández Ojeda y David Cristóbal Acevedo agradecen a Conacyt, México por la beca otorgada al primer autor. Los autores reconocen el apoyo logístico y de infraestructura para la realización de este trabajo a la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Suelos de la misma. Asimismo expresan agradecimiento al Programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de la División de Ciencias Forestales por el financiamiento para la realización de esta investigación.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Paul René Fernández Ojeda: muestreo, preparación de muestras sistematización de datos y discusión de resultados; David Cristóbal Acevedo: apoyo al muestreo preparación de muestras y revisión de resultados de los análisis de laboratorio; Antonio Villanueva Morales análisis estadístico de los datos; Miguel Uribe Gómez: redacción y discusión de resultados.

## Conclusions

The soil of the sun coffee production system had similar apparent densities and textures to those of the natural and agroforestry systems with coffee trees, as well as a lower water retention capacity expressed in low field capacity and permanent wilting point; in contrast, the Forest had the highest values for these parameters; intermediate values correspond to the soils of the agroforestry and the traditional coffee and Coffee-Macadamia-Avocado production systems.

The pH of the soil under the Forest, the agroforestry systems and the coffee monocultures was found to be acidic, a condition that increased with higher contents of organic matter. In those soils where this was abundant on the surface layers as a result of a broad vegetal cover, the cationic exchange capacity was found to be greater. However, organic matter becomes less abundant at greater soil depths.

Total nitrogen in the studied systems was found to range between high and extremely high, in direct proportion to the presence of organic matter; the behavior of mineral nitrogen varied.

In general, we conclude that the Forest was the best of the four studied systems, followed by the traditional coffee and Coffee-Macadamia-Avocado production systems; conversely, the sun coffee system proved to be the most deficient. The TCPS and CMAPS enhanced the physical and chemical properties of the soil, compared to the sun coffee system. The establishment of the coffee monoculture favored a reduction of organic matter and nitrogen concentrations, as well as a lower water retention capacity and an increase in the content of exchangeable bases.

## Acknowledgements

Paul René Fernández Ojeda and David Cristóbal Acevedo are grateful to Conacyt, Mexico, for the award granted to the first author. The authors wish to express their gratitude for the support received from the *Universidad Autónoma Chapingo* and its Department of Soils in terms of logistics and infrastructure, as well as to the Forestry Master's Program of the Forestry Division, for the funding of this research.

## Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

## Contribution by author

Paul René Fernández Ojeda: sampling, sample preparation, data systematization, and discussion of the results; David Cristóbal Acevedo: assistance in sample preparation and review of the results of the laboratory tests; Antonio Villanueva Morales: statistical analysis of the data; Miguel Uribe Gómez; drafting of the paper and discussion of the results.

*End of the English version*

## Referencias

- Alvarado R., J. C. 2007. Sistemas de producción de café y su impacto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en Nueva Palestina, Jaltengo, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. 102 p.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soil. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 639 p.
- Cano, V. N. y H. J. Arcos. 1998 Monografía de Huatusco. Graphic´s Huatusco, Veracruz. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Monografia-De-Huatusco/2883190.html> (10 de agosto de 2015).
- Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94 (1): 38-47.
- Cavazos, T. y O. Rodríguez. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Editorial Trillas- Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar. Ciudad Juárez, Chih., México. 99 p.
- Essington, M. E. 2004. Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 534 p.
- Fisher, R. F. and D. Binkley. 2000. Ecology and management of forest soils. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, USA. 490 p.
- Geissert, D., R. Martínez y E. Meza. 2000. Propiedades físicas y químicas de suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 2(1): 31-34.
- Geissert K., D. y A. Ibáñez G. 2008. Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. In: Manson, R. H., V. Hernández O., S. Gallina y K. Mehlreter (eds.). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A. C. e Instituto Nacional de Ecología (Ine-Semarnat). México, D. F., México. 348 p.
- Hernández, C., H. 2013. Carbono acumulado en dos sistemas agroforestales y en un sistema de bosque de niebla. Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Chapingo, Edo. de Méx., México. 98 p.
- Mahecha, L. 2003. Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16(1):11-18.
- Meza, E. y D. Geisser. 2006. Estabilidad de estructura en andosoles de uso forestal y cultivados. *Terra Latinoamericana* 24 (2): 163-170.
- Monroy, A. 2009. Impacto de sistemas agroforestales sobre el suelo y potencial de regeneración de la vegetación en Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 122 p.
- Nair, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 499 p.
- Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 543 p.
- Ortiz, B. y C. Ortiz. 1990. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 394 p.
- Osman, K. T. 2013. Soils, principles, properties and management. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 271 p.
- Pérez J., R. 2004. Colecciones *ex situ* de la Universidad Autónoma Chapingo en Huatusco, Ver. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 40-84.
- Roy, R. N., A. Finck, G. J. Blair and H. L. S. Tandon. 2006. Plant nutrition for food security, a guide for integrated nutrient management. FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin. Núm. 16. Rome, Italy. 349 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. The SAS System for Windows version 9.0 (versión en Español). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. estudios, muestreo y análisis. NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial de la Federación (2ª sección) (31 de diciembre de 2002). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documents/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf> (10 de agosto de 2015).
- Soto P., L., V. Villalvazo, G. Jiménez F., N. Ramírez M., G. Montoya and F. Sinclair. 2007. The role of coffee knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16:419-436.
- Steel, R. y J. Torrie. 1998. Bioestadística: Principios y procedimientos. Mc Graw-Hill. México, D. F., México. 622 p.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 1996. United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, particularly in Africa. <http://www.unccd.int/lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/conv-eng.pdf> (10 de agosto de 2015).
- Vergara S., M. A. 2003. Identificación y selección de indicadores de calidad del suelo y sustentabilidad en sistemas naturales y agrícolas de ladera en Oaxaca. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 215 p.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-37.
- Young, A. 1990. Agroforestry for soil conservation. CAB International. Wallingford, U K. 276 p.







Artículo / Article

## Insectos barrenadores del xilema en especies forestales comerciales en Costa Rica

### Xylem insect borers in commercial forest species in Costa Rica

Marcela Arguedas Gamboa<sup>1</sup> y María Rodríguez Solís<sup>1</sup>

#### Resumen

Insectos de varias familias producen daños a la madera de árboles en pie, lo que causa importantes pérdidas económicas en proyectos de reforestación comercial. Desde 1984, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica se ha elaborado el diagnóstico nacional de plagas forestales. Al respecto, en este estudio se sistematiza la información referente a los barrenadores del xilema. Las muestras dañadas se recolectaron y llevaron al laboratorio de Sanidad Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para obtener los adultos en forma directa o mediante crianza; los cuales fueron identificados en instituciones por especialistas en taxonomía de insectos. Se registraron daños en 41 especies arbóreas, algunas de ellas son de gran importancia en los programas de reforestación comercial en Costa Rica como: *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Tectona grandis*, *Terminalia* spp. y *Vochysia guatemalensis*. Asimismo, se identificaron 84 especies de insectos barrenadores comprendidas en 12 familias entomológicas: 36 % Cerambycidae, 29 % Curculionidae: Scolitinae, 10 % Hepialidae y 25 % otras. Sin embargo, no se informa de mortalidad causada por estos barrenadores, pero sí que afectan drásticamente la calidad de la madera, y por tal razón, deben ser considerados como plagas de gran impacto en la actividad forestal del país.

**Palabras clave:** Cerambycidae, Hepialidae, insectos barrenadores, plantaciones forestales, Scolitinae, xilema.

#### Abstract

Several insect families cause damage to the wood of standing trees, causing significant economic losses in commercial reforestation projects. Since 1984, the Costa Rica Institute of Technology has developed a national diagnosis of forest pests; in this study information concerning xylem borers of tree species is systematized. Damaged samples are collected and taken to the laboratory *Sanidad Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica* for adults directly or through their breeding form, which were identified in institutions specialized in insect taxonomy. Damage was recorded on 41 tree species, some of them of great importance in the programs of commercial reforestation in Costa Rica such as *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Tectona grandis*, *Terminalia* spp. and *Vochysia guatemalensis*. Also other effects caused by 84 taxa of insect borers included in 12 entomological families were identified: 36 % Cerambycidae, 29 % Curculionidae, 10 % Scolitinae, 25 % Hepialidae and on others. However, mortality has not been reported from the activity of these borers, but they do drastically affect the quality of wood, and for that reason, should be considered as pests of great impact on forestry in the country.

**Key words:** Cerambycidae, Hepialidae, borers, forest plantations, Scolitinae, xylem.



## Introducción

Insectos de varias familias producen daños a la madera de árboles en pie, lo que provoca importantes pérdidas económicas en proyectos de reforestación comercial (Arguedas, 2004a; Evans *et al.*, 2007). Estos organismos obtienen sustento y refugio en la madera o la usan solo como un lugar para vivir y raramente causan la muerte del árbol, su alimentación produce una seria degradación a la madera; además, los orificios de salida pueden servir como puntos de infección de entrada de patógenos y hongos causantes de pudriciones (Cibrián *et al.*, 1995; Wagner *et al.*, 2008). Algunas especies arbóreas responden al ataque de ese tipo de insectos con abultamientos, quebraduras en el sitio del ataque o rebrotes; sin embargo, el mayor daño resulta de las galerías construidas en la albura y el duramen. Desde 1984, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica se ha elaborado el diagnóstico nacional de plagas forestales; en este estudio se sistematiza la información referente a los barrenadores del xilema.

## Materiales y Métodos

El estudio se realizó en toda la superficie terrestre de Costa Rica, correspondiente a 51 100 km<sup>2</sup> (Hammel *et al.*, 2004). Costa Rica se ubica a 08°02'26" y 11°13'12" de latitud norte y 82°33'48" y 85°57'57" de longitud oeste (IGN, 2005) entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio; se encuentra en la región del Neotrópico, por lo que presenta un clima Tropical con precipitaciones y temperaturas medias anuales que oscilan de 1 500 mm a 4 000 mm y de 8 °C a 32 °C, respectivamente (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2014).

El material se obtuvo de plantaciones forestales, proyectos agroforestales y de arbolado urbano. La forma de muestreo dependió del tamaño de los agentes causales, para aquellos muy pequeños como los de la familia Curculionidae, los adultos se recolectaron directamente de cortes transversales del fuste; para los insectos grandes, de las partes del fuste afectadas y se criaron en el Laboratorio de Sanidad Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en cámaras de crianza, o se colocaron trampas en los orificios de salida de las galerías, para atrapar los adultos cuando emergieron. Las cámaras y las trampas se construyeron con cedazo metálico. Al menos, se obtuvieron 30 individuos adultos por especie, los cuales se montaron según las normas internacionales (Elzinga, 2004; Chacón y Montero, 2007), y se entregaron para su identificación a especialistas del Instituto Nacional de Biodiversidad (InBIO) y del Museo Nacional de Costa Rica. La información generada en el periodo de 1984 al 2015 se sistematizó por familia entomológica y especie forestal.

## Introduction

Several insect families damage the wood of standing trees, causing significant economic losses in commercial reforestation projects (Arguedas, 2004a; Evans *et al.*, 2007). These organisms obtain sustenance and shelter in wood, or use it only as a place to live and rarely induce tree death; feeding causes serious degradation of wood; in addition, the outlets can serve as entry points for infection-causing pathogens and fungal decay (Cibrián *et al.*, 1995; Wagner *et al.*, 2008). Some tree species respond to attack by insects such as bulges, cracks on the site of the attack or flare-ups; however, the greatest damage results from the galleries built in the sapwood and heartwood. Since 1984, the *Instituto Tecnológico de Costa Rica* has developed a national diagnosis of forest pests; in this study information concerning xylem borers is systematized.

## Materials and Methods

The study was conducted in all the land area of Costa Rica, corresponding to 51 100 km<sup>2</sup> (Hammel *et al.*, 2004). Costa Rica is located at 08°02'26" and 11°13'12" north and 82°33'48" and 85°57'57" west (IGN, 2005) between the Tropic of Cancer and the Tropic of Capricorn; it is in the Neotropics, which has a tropical climate with rainfall and average annual temperatures ranging from 1 500 mm to 4 000 mm and from 8 °C to 32 °C, respectively (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2014).

The material was obtained from forest plantations, agroforestry projects and urban trees. The form of sampling depended on the size of the causal agents; for those very small as Curculionidae, adults were collected directly from the trunk cross cuts; for large ones, from the affected parts of the trunk and they were raised in the *Laboratorio de Sanidad Forestal* of the *Instituto Tecnológico de Costa Rica* in brood chambers or traps which were placed in the outlets of the galleries, to catch adults when they emerged. Cameras and traps were constructed with metal sieve. At least 30 adult individuals per species were obtained and which were set up according to international standards (Elzinga, 2004; Chacón and Montero, 2007); they were delivered to specialists from the *Instituto Nacional de Biodiversidad* (InBIO) and of the *Museo Nacional de Costa Rica* for identification. The information generated in the period 1984 to 2015 was systematized by family and entomological forest species.



## Resultados

Durante los 21 años que comprendió la investigación, se registraron daños en 41 especies forestales, producidos por 84 taxa de insectos barrenadores (Cuadro 1), pertenecientes a 12 familias (Figura 1).

## Results

During the 21 years included in this research, damages were recorded in 41 forest species, caused by 84 taxa of borer insects (Table 1), which belong to 12 families (Figure 1).

Cuadro 1. Especies insectiles barrenadoras por hospedero, Costa Rica (1984-2015).

Hospedero	Agente causal		
	Especie	Familia (Orden)	Referencias(s)
<i>Acacia mangium</i> Willd.	<i>Platypus</i> sp.	Platypodidae (Col.)	6, 10, 18, 22
	<i>Coptotermes testaceus</i> Linnaeus	Rhinotermitidae (Iso.)	6, 12
<i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dugand	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	2, 3, 6, 7, 10, 22
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	<i>Phassus triangularis</i> Edwards	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 21
<i>Artocarpus communis</i> J.R. Forst. & G. Forst.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	<i>Brasilianus mexicanus</i> Thomson	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 22, 24
	<i>Trachyderes succincta</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6
<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	2, 6, 10, 18
	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	2, 5, 6, 7, 16, 23
	<i>Steirastoma histrionicum</i> White	Cerambycidae (Col.)	2, 3, 6, 7, 10, 15, 16, 18, 20, 22
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Caryocar costaricense</i> Donn. Sm.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Castilla elástica</i> Sessé	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst.&G. Forst.	<i>Apate monachus</i> Fabricius	Bostrichidae (Col.)	6
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	2, 5, 6, 7, 16, 23
<i>Chorisia speciosa</i> A. St.-Hil.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	<i>Antodice cretata</i> Bates	Cerambycidae (Col.)	6, 10
	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	3, 5, 6, 7, 10, 14, 22
	Sp. no identificada 1	Cerambycidae (Col.)	6, 10, 14
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	<i>Derobrachus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6, 9, 10
	<i>Platypus</i> sp.	Platypodidae (Col.)	6, 9, 10, 18, 22
<i>Dalbergia retusa</i> Hemsl.	Sp. no identificada 1	Cerambycidae (Col.)	6
<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	<i>Placosternus crinicornis</i> Chevrolat	Cerambycidae (Col.)	6, 10, 22
<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier) Record & Mell	Sp. no identificada 1	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Ficus</i> sp.	<i>Polygrammodes rufinalis</i> Hampson	Crambidae (Lep.)	6, 10
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	<i>Phassus triangularis</i> Edwards	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 22
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	4, 5, 6, 7, 10, 15, 17, 18, 20, 22, 25
	<i>Coptotermes testaceus</i> Linnaeus	Rhinotermitidae (Iso.)	6, 12
	<i>Xylocopa</i> sp.	Apidae (Hym.)	
	Sp. no identificada 1	Cossidae (Lep.)	4, 6, 17
	Sp. no identificada 1	Curculionidae: Scol (Col.)	4, 6, 10, 17
<i>Guaiacum sanctum</i> L.	<i>Neoclytus cassicus</i> Chevrolat	Cerambycidae (Col.)	

Continúa Cuadro 1...

Continúa Cuadro 1..

		Agente causal	
Hospedero	Especie	Familia (Orden)	Referencias(s)
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 18
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	Sp. no identificada 1	Cerambycidae (Col.)	6, 1
	<i>Pantophthalmus</i> sp.	Pantophthalmidae (Dip.)	13
<i>Juglans olanchana</i> Standl. & L.O. Williams	Sp. no identificada 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 18, 22
<i>Lonchocarpus spruceanus</i> Benth.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	<i>Chrysobothris</i> sp.	Buprestidae (Col.)	6, 10, 18, 22
	<i>Neoclytus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6, 10, 18, 22
	Sp. no identificada 1	Cossidae (Lep.)	6, 10, 18
	Sp. no identificada 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 18
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	6, 23
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	6, 23
<i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd.) Kuntze	<i>Amphicranus micans</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Coptoborus vespatorius</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Teloplatus excisus</i> Chapuis	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Xyleborinus</i> sp.	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	Sp. no identificada 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Persea americana</i> Mill.	<i>Copturomimus persea</i> Gunther	Curculionidae: Scol (Col.)
<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	<i>Anellus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	2, 6, 10, 16, 22
	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 22
<i>Stryphnodendron microstachyum</i> Poepp.	<i>Ambrosiodmus hagedorni</i> Iglesias	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	<i>Amphicranus spectabilis</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	<i>Coptoborus pseudotenuis</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	<i>Coptoborus vespatorius</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	1
	<i>Theoborus pristis</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Theoborus solitariceps</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xyleborus affinis</i> Eichhoff	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xyleborus declivis</i> Eichhoff	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xyleborus horridatus</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xylosandrus morigerus</i> Blandford	Curculionidae: Scol (Col.)	
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	
<i>Tectona grandis</i> L. f.	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	
	<i>Chrysobothris femorata</i> Olivier	Buprestidae (Col.)	12
	<i>Euplatypus parallelus</i> Fabricius	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 11, 12, 18
	<i>Hypothenemus</i> sp.	Curculionidae (Col.)	12
	<i>Coptotermes testaceus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 10, 11, 12, 15, 18, 18, 22
	<i>Oberea tripunctata</i> Swederus	Rhinotermitidae (Iso.)	6, 12
	<i>Plagiohammus spinipennis</i> Thomson	Cerambycidae (Col.)	12

Continúa Cuadro 1..



## Continúa Cuadro 1...

Hospedero	Agente causal		
	Especie	Familia (Orden)	Referencias(s)
	<i>Plagiohammus rubefactus</i> Bates	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 11, 12, 15, 16, 18, 18, 19, 20, 22
	<i>Scolytus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	12
	<i>Xyleborus affinis</i> Eichhoff	Curculionidae (Col.)	12
	<i>Xylosandrus crassiusculus</i> s Motschulsky	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 11, 12, 18
	<i>Cossula</i> sp.	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 11, 12, 18
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	<i>Cossula</i> sp.	Cossidae (Lep.)	6, 7, 8, 10, 21
<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	<i>Platypus parallelus</i> Fabricius	Cossidae (Lep.)	6, 7, 8, 10, 21
	<i>Scolytus</i> sp.	Platypodidae (Col.)	5, 6, 10, 22
	Sp. no identificada 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10
	<i>Cossula</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	<i>Phassus</i> sp.	Cossidae (Lep.)	6, 7, 8, 10, 21
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	<i>Xyleborus vochysiae</i> Kirkendall	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 31
<i>Vochysia ferruginea</i> Mart.	<i>Lagocheirus araneiformis</i> Linnaeus	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 8, 10, 25
<i>Vochysia guatemalensis</i> Donn. Sm.	<i>Xyleborus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6
	<i>Platypus</i> sp.	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10

a. Las abreviaturas corresponden a los siguientes órdenes: Col (Coleoptera), Dip (Diptera), Hym (Hymenoptera), Iso (Isoptera), Lep (Lepidoptera).

b. Cuando no se especifica referencia, son registros realizados posteriormente a los estudios citados en las mismas.

c. Referencias: 1 = Arguedas, 1996; 2 = Arguedas, 2001; 3 = Arguedas, 2004a; 4 = Arguedas, 2004b; 5 = Arguedas, 2006; 6 = Arguedas, 2007; 7 = Arguedas, 2008a; 8 = Arguedas, 2008b; 9 = Arguedas, 2008c; 10 = Arguedas et al., 1997; 11 = Arguedas et al., 2004; 12 = Arguedas et al., 2013; 13 = Arguedas et al., 2015; 14 = Arguedas y Chaverri, 1999; 15 = Arguedas y Quirós, 1995; 16 = Arguedas y Quirós, 1997; 17 = Arias y Arguedas, 2004; 18 = CATIE, 1991a; 19 = CATIE, 1991b; 20 = Ford, 1981; 21 = Ford, 1986; 22 = Hilde et al., 1991; 23 = Janzen 1991; 24 = Macías et al., 2004; 25 = Macías et al., 2005.

Table 1. Borer insect species by host, Costa Rica (1984-2015).

Host	Causing agent		
	Species	Family (Order)	References
<i>Acacia mangium</i> Willd.	<i>Platypus</i> sp.	Platypodidae (Col.)	6,10, 18, 22
	<i>Coptotermes testaceus</i> Linnaeus	Rhinotermitidae (Iso.)	6, 12
<i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dugand	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	2, 3, 6, 7, 10, 22
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	<i>Phassus triangularis</i> Edwards	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 21
<i>Artocarpus communis</i> J.R. Forst. & G. Forst.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	<i>Brasilianus mexicanus</i> Thomson	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 22, 24
	<i>Trachyderes succincta</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6
<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand	<i>Aeptyus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	2, 6, 10, 18
	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	2, 5, 6, 7, 16, 23
	<i>Steirastoma histrionicum</i> White	Cerambycidae (Col.)	2, 3, 6, 7, 10, 15, 16, 18, 20, 22
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Caryocar costaricense</i> Donn. Sm.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Castilla elástica</i> Sessé	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst.&G. Forst.	<i>Apate monachus</i> Fabricius	Bostrichidae (Col.)	6
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	2, 5, 6, 7, 16, 23
<i>Chorisia speciosa</i> A. St.-Hil.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	<i>Antodice cretata</i> Bates	Cerambycidae (Col.)	6, 10

Continue Table 1...

Continue Table 1...

Host	Causing agent		
	Species	Family (Order)	References
	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	3, 5, 6, 7, 10, 14, 22
	Sp unidentified 1	Cerambycidae (Col.)	6, 10, 14
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	<i>Derobrachus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6, 9, 10
	<i>Platypus</i> sp.	Platypodidae (Col.)	6, 9, 10, 18, 22
<i>Dalbergia retusa</i> Hemsl.	Sp unidentified 1	Cerambycidae (Col.)	6
<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	<i>Placosternus crinicornis</i> Chevrolat	Cerambycidae (Col.)	6, 10, 22
<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier) Record & Mell	Sp unidentified 1	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Ficus</i> sp.	<i>Polygrammodes rufinalis</i> Hampson	Crambidae (Lep.)	6, 10
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	<i>Phassus triangularis</i> Edwards	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 22
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	4, 5, 6, 7, 10, 15, 17, 18, 20, 22, 25
	<i>Coptotermes testaceus</i> Linnaeus	Rhinotermitidae (Iso.)	6, 12
	<i>Xylocopa</i> sp.	Apidae (Hym.)	
	Sp unidentified 1	Cossidae (Lep.)	4, 6, 17
	Sp unidentified 1	Curculionidae: Scol (Col.)	4, 6, 10, 17
<i>Guaiacum sanctum</i> L.	<i>Neoclytus cassicus</i> Chevrolat	Cerambycidae (Col.)	
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
	<i>Aepytus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 18
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	Sp unidentified 1	Cerambycidae (Col.)	6, 1
	<i>Pantophthalmus</i> sp.	Pantophthalmidae (Dip.)	13
<i>Juglans olanchana</i> Standl. & L.O. Williams	Sp unidentified 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 18, 22
<i>Lonchocarpus spruceanus</i> Benth.	<i>Acrocinus longimanus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	<i>Chrysobothris</i> sp.	Buprestidae (Col.)	6, 10, 18, 22
	<i>Neoclytus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6, 10, 18, 22
	Sp unidentified 1	Cossidae (Lep.)	6, 10, 18
	Sp unidentified 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 18
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	6, 23
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	<i>Euchroma gigantea</i> Linnaeus	Buprestidae (Col.)	6, 23
<i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd.) Kuntze	<i>Amphicranus micans</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Coptoborus vespatorius</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Teloplatypus excisus</i> Chapuis	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
	<i>Xyleborinus</i> sp.	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	Sp unidentified 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 22
<i>Persea americana</i> Mill.	<i>Copturomimus persea</i> Gunther	Curculionidae: Scol (Col.)	6
<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	<i>Aneflus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	2, 6, 10, 16, 22
	<i>Oncideres punctata</i> Dillon & Dillon	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 22
<i>Stryphnodendron microstachyum</i> Poepp.	<i>Ambrosiodmus hagedorni</i> Iglesias	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	<i>Amphicranus spectabilis</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	<i>Coptoborus pseudotenus</i> Shedl	Curculionidae: Scol (Col.)	6
	<i>Coptoborus vespatorius</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	1

Continue Table 1...

Continue Table 1...

Host	Causing agent		
	Species	Family (Order)	References
	<i>Theoborus pritis</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Theoborus solitariceps</i> Schedl	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xyleborus affinis</i> Eichhoff	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xyleborus declivis</i> Eichhoff	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xyleborus horridatus</i> Wood	Curculionidae: Scol (Col.)	
	<i>Xylosandrus morigerus</i> Blandford	Curculionidae: Scol (Col.)	
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	<i>Aeptyus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	
<i>Tectona grandis</i> L. f.	<i>Aeptyus</i> sp.	Hepialidae (Lep.)	
	<i>Chrysobothris femorata</i> Olivier	Buprestidae (Col.)	12
	<i>Euplatypus parallelus</i> Fabricius	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 11, 12, 18
	<i>Hypothenemus</i> sp.	Curculionidae (Col.)	12
	<i>Coptotermes testaceus</i> Linnaeus	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 10, 11, 12, 15, 18, 18, 22
	<i>Oberea tripunctata</i> Swederus	Rhinotermitidae (Iso.)	6, 12
	<i>Plagiohammus spinipennis</i> Thomson	Cerambycidae (Col.)	12
	<i>Plagiohammus rubefactus</i> Bates	Cerambycidae (Col.)	3, 6, 7, 10, 11, 12, 15, 16, 18, 18, 19, 20, 22
	<i>Scolytus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	12
	<i>Xyleborus affinis</i> Eichhoff	Curculionidae (Col.)	12
	<i>Xylosandrus crassiusculus</i> s. Motschulsky	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 11, 12, 18
	<i>Cossula</i> sp.	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10, 11, 12, 18
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	<i>Cossula</i> sp.	Cossidae (Lep.)	6, 7, 8, 10, 21
<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	<i>Platypus parallelus</i> Fabricius	Cossidae (Lep.)	6, 7, 8, 10, 21
	<i>Scolytus</i> sp.	Platypodidae (Col.)	5, 6, 10, 22
	Sp unidentified 1	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10
	<i>Cossula</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6, 10
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	<i>Phassus</i> sp.	Cossidae (Lep.)	6, 7, 8, 10, 21
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	<i>Xyleborus vochysiae</i> Kirkendall	Hepialidae (Lep.)	6, 10, 31
<i>Vochysia ferruginea</i> Mart.	<i>Lagocheirus araneiformis</i> Linnaeus	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 8, 10, 25
<i>Vochysia guatemalensis</i> Donn. Sm.	<i>Xyleborus</i> sp.	Cerambycidae (Col.)	6
	<i>Platypus</i> sp.	Curculionidae: Scol (Col.)	6, 10

a. The abbreviations refer to the following orders: Col (Coleoptera), Dip (Diptera), Hym (Hymenoptera), Iso (Isoptera), Lep (Lepidoptera).

b. When no reference is stated, they are records made after the studies quoted in them.

c. References: 1 = Arguedas, 1996; 2 = Arguedas, 2001; 3 = Arguedas, 2004a; 4 = Arguedas, 2004b; 5 = Arguedas, 2006; 6 = Arguedas, 2007; 7 = Arguedas, 2008a; 8 = Arguedas, 2008b; 9 = Arguedas, 2008c; 10 = Arguedas *et al.*, 1997; 11 = Arguedas *et al.*, 2004; 12 = Arguedas *et al.*, 2013; 13 = Arguedas *et al.*, 2015; 14 = Arguedas and Chaverri, 1999; 15 = Arguedas y Quirós, 1995; 16 = Arguedas and Quirós, 1997; 17 = Arias and Arguedas, 2004; 18 = CATIE, 1991a; 19 = CATIE, 1991b; 20 = Ford, 1981; 21 = Ford, 1986; 22 = Hilje *et al.*, 1991; 23 = Janzen 1991; 24 = Macías *et al.*, 2004; 25 = Macías *et al.*, 2005.



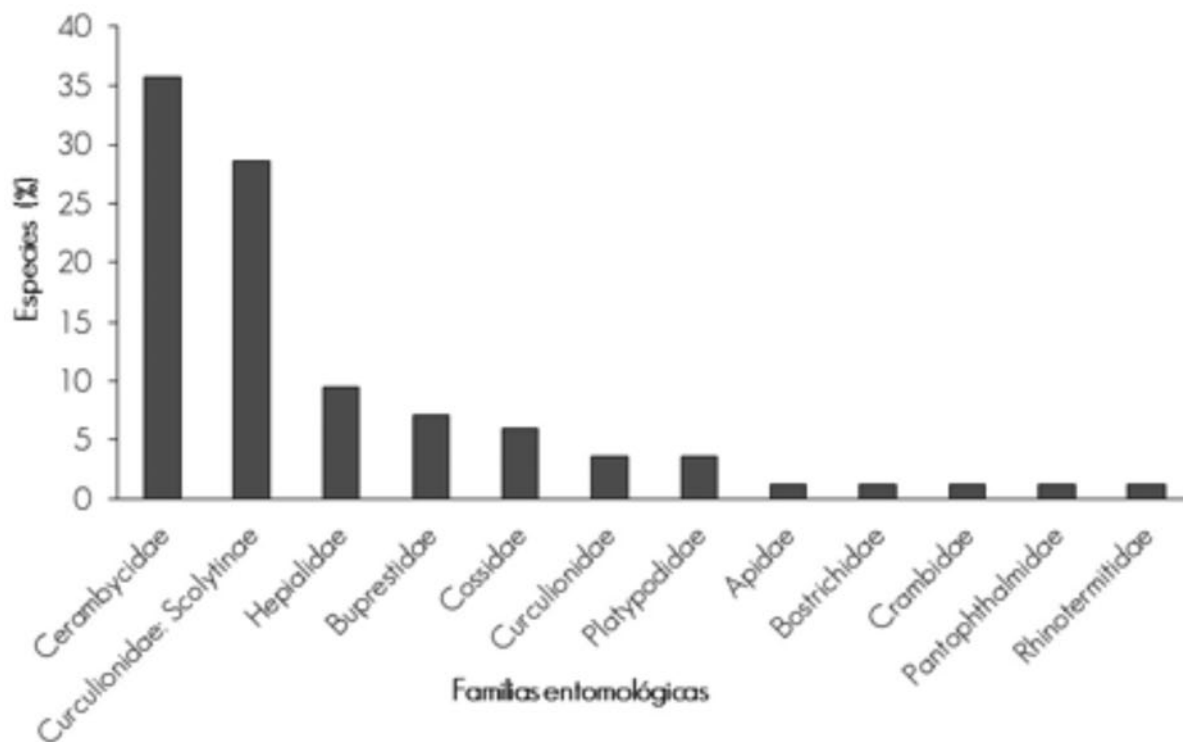


Figura 1. Especies insectiles barrenadoras de xilema por familia, Costa Rica (1984-2015).  
 Figure 1. Borer insect species by family, Costa Rica (1984-2015).

La familia Cerambycidae ocupó 36 % de los taxa. Los cerambícidos tienen gran importancia en el campo forestal, debido a que en sus diferentes estadios pueden construir galerías en la madera de árboles en pie o recién cortada; por ejemplo: *Steirastoma histrionicum* White, en *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand; *Brasilianus mexicanus* Thomson, en *Astronium graveolens* Jacq.; *Plagiohammus spenipennis* Thomson y *Neoclytus cacicus* Chevrolat, en *Tectona grandis* Lf. A nivel mundial, las especies de esta familia se consideran plagas barrenadoras de las más dañinas (Grégoire y Evans 2007; Evans *et al.*, 2007; Slipinski y Escalona, 2013).

Curculionidae (29 %) estuvo representada por la subfamilia Scolytinae, insectos que producen picaduras y manchas en la madera: *Xyleborus vohysiae* Kirkendall, en *Vochysia ferruginea* Mart. (Espinoza y Arguedas, 2005; Kirkendall, 2006); y 10 % correspondió a Hepialidae: *Aepytus* sp., en *Gmelina arborea* Roxb. y *Bombacopsis quinata*, y *Phassus triangularis* Edwards, en *Alnus acuminata* Kunth y *Fraxinus uhdei*. (Wenz.) Lingelsh. Los hepialídeos causan daños de gran impacto; sin embargo, de los registrados en Costa Rica se tiene muy poca información.

Otros barrenadores con importancia económica alta son *Cossula* sp. (familia Cossidae), en *Terminalia* spp., *Euchroma gigantea* Linnaeus (familia Buprestidae), en *Bombacopsis quinata*; *Coptotermes*

The Cerambycidae family grouped 36 % of the taxa. They are very important in forestry because they can build galleries in wood or standing trees freshly cut at their different stages; for example: *Steirastoma histrionicum* White, in *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand; *Brasilianus mexicanus* Thomson, in *Astronium graveolens* Jacq.; *Plagiohammus spenipennis* Thomson and *Neoclytus cacicus* Chevrolat, in *Tectona grandis* Lf. The species of this family are considered one of the most harmful in the world (Grégoire and Evans, 2007; Evans *et al.*, 2007; Slipinski and Escalona, 2013).

Curculionidae (29 %) was represented by the Scolytinae subfamily, insects that cause biting and stains on wood: *Xyleborus vohysiae* Kirkendall, in *Vochysia ferruginea* Mart. (Espinoza and Arguedas, 2005; Kirkendall, 2006); and 10 % were Hepialidae: *Aepytus* sp., in *Gmelina arborea* Roxb. and *Bombacopsis quinata*, and *Phassus triangularis* Edwards, in *Alnus acuminata* Kunth and *Fraxinus uhdei*. (Wenz.) Lingelsh. Los hepialídeos causan daños de gran impacto; sin embargo, de los registrados en Costa Rica se tiene muy poca información. Hepialidae cause damage of great impact; however, very little information is registered in Costa Rica.

Other borers with high economic importance are *Cossula* sp. (Cossidae Family), in *Terminalia* spp., *Euchroma gigantea* Linnaeus (Buprestidae Family), in *Bombacopsis quinata*; *Coptotermes*

*testaceus* Linnaeus (Familia Rhinotermitidae), en *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*; así como, la mosca barrenadora de la madera, *Pantophthalmus* sp. (Familia Pantophthalmidae), en *Hieronyma alchorneoides* Allemão, consignada en el 2014 (Arguedas et al., 2015) (Figura 2).

*testaceus* Linnaeus (Rhinotermitidae Family), in *Gmelina arborea* and *Tectona grandis*; as well, the wood borer fly, *Pantophthalmus* sp. (Pantophthalmidae Family), in *Hieronyma alchorneoides* Allemão, recorded in 2014 (Arguedas et al., 2015) (Figure 2).



A. *Brasiliatus mexicanus* en *Astronium graveolens*; *Plagiohammus spenipennis*; B. *Neodytus caciús*; C. *Tectona grandis*; D. *Aepytus* sp. en *Gmelina arborea*; E. *Phassus triangularis* en *Fraxinus uhdei*; F. *Euchroma gigantea* en *Bombacopsis quinata*; G. *Coptotermes testaceus* en *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*; H. *Cossula* sp. en especies de *Terminalia*; I. *Pantophthalmus* sp. en *Hieronyma alchorneoides*.

A. *Brasiliatus mexicanus* en *Astronium graveolens*; *Plagiohammus spenipennis*; B. *Neodytus caciús*; C. *Tectona grandis*; D. *Aepytus* sp. en *Gmelina arborea*; E. *Phassus triangularis* en *Fraxinus uhdei*; F. *Euchroma gigantea* en *Bombacopsis quinata*; G. *Coptotermes testaceus* en *Gmelina arborea* and *Tectona grandis*; H. *Cossula* sp. in *Terminalia*; species; *Pantophthalmus* sp. on *Hieronyma alchorneoides*.

Figura 2. Principales insectos barrenadores del xilema en especies forestales de Costa Rica.  
Figure 2. Main xylem borer insect species in Costa Rica.

El impacto económico de cada especie barrenadora se determina con base en los siguientes factores: a) importancia económica del hospedero; b) condición del hospedero; c) ámbito de hospederos; d) estado de desarrollo del hospedero al momento del ataque; e) parte específica del árbol dañada; y f) severidad del daño (modificado de Wagner *et al.*, 2008).

## Conclusión

Se identificaron 84 especies insectiles barrenadoras del xilema en 41 especies forestales, entre las cuales sobresalen por su importancia en los programas de reforestación comercial en Costa Rica: *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Tectona grandis*, *Terminalia* spp. y *Vochysia guatemalensis*. A la fecha no se tienen registros de mortalidad causada por estos insectos; sin embargo, al afectar drásticamente la calidad de la madera deben ser considerados como plagas de gran impacto en la actividad forestal de Costa Rica.

## Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el tiempo y recursos asignados a las investigadoras para la realización de este trabajo.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Marcela Arguedas Gamboa: recolecciones de materiales de campo y crianza de especímenes de 1984 al 2013, así como estructuración y elaboración del manuscrito; María Rodríguez Solís: recolecciones de materiales de campo y crianza de especímenes del 2013 al 2015, sistematización de los datos y elaboración del manuscrito.

## Referencias

- Arguedas, M. 1996. Comportamiento de poblaciones de insectos herbívoros y patógenos en plantaciones forestales nativas. Informe final. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 236 p.
- Arguedas, M. 2001. Diagnóstico de plagas en especies nativas del bosque seco tropical en Costa Rica. La investigación en relación con el manejo de las especies forestales nativas del bosque seco tropical en la Estación Experimental Forestal Horizontes. INSEFOR-ACEN-Corredor Biológico Mesoamericano. San José, Costa Rica. 49 p.
- Arguedas, M. 2004a. Escarabajos barrenadores de la madera: reconocimiento de daños y manejo. Soluciones tecnológicas. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 1(1): 1-3.
- Arguedas, M. 2004b. Problemas fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 1(2): 1-9.
- Arguedas, M. 2006. Clasificación de tipos de daños producidos por insectos forestales. Segunda parte. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 3(9): 1-7.

The economic impact of each borer species is based on the following factors: a) economic importance of the host; b) condition of the host; c) field of hosts; d) development of the host state at the time of the attack; e) specific part of the damaged tree; and f) severity of damage (modified from Wagner *et al.*, 2008).

## Conclusion

In 41 forest species, 84 xylem borer insect species were identified; from which, according to their importance in commercial reforestation programs in Costa Rica, the following are outstanding: *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Tectona grandis*, *Terminalia* spp. and *Vochysia guatemalensis*. There are no records of mortality caused by these insects up to date; however, they drastically affect the quality of wood and, thus, they should be considered as pests of great impact on forestry in Costa Rica.

## Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to the Vice-Rector of Investigación y Extensión and to the Escuela de Ingeniería Forestal of the Instituto Tecnológico de Costa Rica for the time and resources allocated to the researchers to carry out this work.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

Marcela Arguedas Gamboa: collection of field materials and breeding of specimens from 1984 to 2013, as well as structuring and writing of the manuscript; María Rodríguez Solís: collection of field materials and breeding of specimens from 2013 to 2015, systematization of data and writing of the manuscript

*End of the English version*

- Arguedas, M. 2007. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. Kurú: Revista Forestal 4 (11-12): 1-69.
- Arguedas, M. 2008a. Diagnóstico de plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. Ciencia e Investigación Forestal 1(14): 67-179.
- Arguedas, M. 2008b. Clasificación de síntomas de enfermedades forestales. Primera parte. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 5(14): 1-6.
- Arguedas, M. 2008c. Clasificación de síntomas de enfermedades forestales. Segunda parte. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 5(15): 1-7.
- Arguedas, M., L. Hilje, L. Quirós, P. Chaverri, F. Scorza y C. Araya. 1997. Catálogo de plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. PIPROF-Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 67 p.
- Arguedas, M., P. Chaverri y J. M. Verjans. 2004. Problemas fitosanitarios en teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente 41: 131-136.
- Arguedas, M., P. Cannon, M. Wingfield y F. Montenegro. 2013. Principales riesgos fitosanitarios en las plantaciones de teca. In: de Camino, R. y J. P. Morales (ed.). Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. FAO-CATIE. Cartago, Costa Rica. pp. 134-155.

- Arguedas, M., M. Rodríguez-Solis y V. Martínez. 2015. Mosca barrenadora de la madera (*Pantophthalmus* sp.) en *Hieronyma alchorneoides* Allemão en Costa Rica. Primer registro. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 12(29): 69-73.
- Arguedas, M. y P. Chaverri. 1999. Problemas fitosanitarios en *Cordia alliodora* (laurel) en Costa Rica. Tecnología en Marcha 13(2): 18-24.
- Arguedas, M. y L. Quirós. 1995. Experiencias en el manejo de plagas forestales en Costa Rica. In: García J., G. Fuentes y J. Monge-Nájera (ed.). Opciones al uso unilateral de plaguicidas en Costa Rica. EUNED. San José, Costa Rica. Vol. 2. pp. 13-24.
- Arguedas, M. y L. Quirós. 1997. Experiencias y perspectivas del manejo de plagas forestales en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas 45: 34-42.
- Arias, D. y M. Arguedas G. 2004. Manejo de plantaciones. In: Rojas, F., D. Arias, R. Moya, A. Meza, O. Murillo y M. Arguedas (ed.). Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. FONAFIFO. San José, Costa Rica. pp. 50-83.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1991a. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Guía de Campo. Serie Técnica. CATIE. Cartago, Costa Rica. Informe Técnico Núm. 4. 260 p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1991b. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Manual de Consulta. Serie Técnica. CATIE. Informe Técnico Núm. 3. Cartago, Costa Rica. 187 p.
- Cibrián, D., J. T. Méndez, R. Campos, H. O. Yates III y J. E. Flores. 1995. Insectos forestales de México/Forest Insects of México. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 456 p.
- Chacón, I. A. y J. Montero. 2007. Mariposas de Costa Rica / Butterflies and moths of Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad. Ed. INBio. Heredia, Costa Rica. 624 p.
- Elzinga, R. J. 2004. Fundamentals of entomology. 6th edition. Ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 512 p.
- Espinoza, D. y M. Arguedas. 2005. Evaluación de factores que favorecen el ataque de *Scolytodes alni* (Curculionidae, Scolytinae) en plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata* Kunth) en Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 2(5): 1-11.
- Evans, H. F., L. G. Moraal and J. A. Pajares. 2007. In: Lieutier, F., R. D. Keith, A. Battisti, J. C. Grégoire and H. F. Evans (eds). Biology, ecology and economy importance of Buprestidae and Cerambycidae. Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe. Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp. 447-474.
- Ford, L. 1981. Reconocimiento de las plagas de plantaciones forestales en Costa Rica. Serie técnica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Informe técnico Núm. 7. pp. 1-53.
- Ford, L. 1986. El taladrador de Terminalia. Turrialba Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas 36(2): 248-251.
- Grégoire, J. C. and H. F. Evans. 2007. Damage and Control of BAWBILT Organisms an Overview. In: Lieutier, F., R. D. Keith, A. Battisti, J. C. Grégoire and H. F. Evans (eds). Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe. Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp. 19-37.
- Kirkendall, L. R. 2006. A new host-specific Ambrosia Beetle, *Xyleborus vochysiae* (Curculionidae: Scolytinae), from Central America Breeding in Live Trees. Annals of the Entomological Society of America 99 (2): 211-217.
- Hammel, B. E., M. H. Grayum, C. Herrera y N. Zamora. 2004. Manual de plantas de Costa Rica. Vol. I. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, MO, USA. 299 p.
- Hilje, L., L. Quirós y F. Scarza. 1991. El status actual de las plagas forestales en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas 20 (21): 18-22.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2005. División territorial administrativa de la república de Costa Rica. Comisión Nacional de División Territorial Administrativa. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica. 254 p.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica. 2014. Atlas digital de Costa Rica. In: Ortiz, E. (ed). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. s/p.
- Janzen, D. H. 1991. Historia natural de Costa Rica. EUJCR. San José, Costa Rica. 822 p.
- Macías, J., M. Arguedas, J. C. Zanuncio y L. Hilje. 2004. Plagas forestales neotropicales. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología 72 (14): 98-99.
- Macías J., M. Arguedas, J. C., Zanuncio y L. Hilje. 2005. Plagas forestales neotropicales. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología 74 (16): 99-100.
- Slipinski, A. and H. Escalona. 2013. Australian longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae) Volume 1. Introduction and Subfamily Lamiinae. CSIRO Publishing. Victoria, Australia. 504 p.
- Wagner, W., J. R. Cobbinah and P. P. Bosu. 2008. Forest Entomology in West Tropical Africa: Forest Insects of Ghana. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 244 p.









Artículo / Article

## Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango

### Modeling of biomass and aboveground arboreal carbon in forests of the state of *Durango*

René Alejandro Martínez Barrón<sup>1</sup>, Oscar Alberto Aguirre Calderón<sup>1</sup>, Benedicto Vargas Larreta<sup>2</sup>, Javier Jiménez Pérez<sup>1</sup>, Eduardo Javier Treviño Garza<sup>1</sup> y José Israel Yerena Yamalle<sup>1</sup>

#### Resumen

Los ecosistemas forestales son particularmente importantes como reservorio de carbono, porque los árboles retienen altas cantidades de ese elemento por unidad de área, en comparación con otros tipos de vegetación. En este contexto, se trabajó en bosques del estado de Durango con el propósito de cuantificar los almacenes de carbono en diferentes sistemas evaluados, de 5 a 60 años; modelar espacialmente la biomasa y carbono arbóreo aéreo, mediante el uso de imágenes de satélite; generar mapas de biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y carbono arbóreo aéreo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de las áreas de seleccionadas. El estudio presenta las relaciones entre los datos espectrales obtenidos con el sensor *Landsat TM* (*Thematic Mapper*) y las variables de biomasa y carbono porque los datos obtenidos por medio de la percepción remota pueden ser útiles para la estimación indirecta del valor de la biomasa/carbono. Para las relaciones y estimaciones se utilizó el método de regresión lineal múltiple. Los resultados indican una buena correlación entre las variables forestales y los índices espectrales relacionados con la humedad de la vegetación. Los modelos generados para la estimación de biomasa y cuantificación de carbono arbóreo aéreo presentaron los mejores ajustes y menores errores; para la primera, la raíz del error medio cuadrático fue de  $\text{RMSE} = 54.74 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $B = 334.69 - 112.83(B2) + 107.13(B3) + 8250.39(\text{NDVI}) - 8265.91(\text{NDVI41}) + 6548.72(\text{NDVI43})$ ; y para carbono un  $\text{RMSE} = 26.87 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $C = 164.71 - 55.23(B2) + 52.54(B3) + 4052.05(\text{NDVI}) - 4059.76(\text{NDVI41}) + 3215.18(\text{NDVI43})$ . Se concluye que las imágenes *Landsat TM* proveen información valiosa para la estimación de biomasa y cuantificación de carbono arbóreo aéreo.

**Palabras clave:** Biomasa forestal, carbón arbóreo aéreo, datos espectrales, *Landsat TM*, reflectancias, satélite *SPOT*.

#### Abstract

Forest ecosystems are particularly important as carbon reservoirs, since the trees retain large amounts of this element per surface area unit, compared to other types of vegetation. Within this context, the carbon reservoirs in various evaluated systems in the state of *Durango*, aged 5 to 60 years, were quantified; the biomass and aboveground arboreal carbon were spatially modeled using satellite imagery, and biomass ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) and aboveground arboreal carbon ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) maps of the selected area were generated. This study presents the relationships between biomass and carbon in forests obtained from the spectral data analysis by the *Landsat TM* (*Thematic Mapper*), in the State of *Durango*, Mexico. The multiple linear regression method was utilized to determine relationships and estimations. The results showed a good correlation between forest variables and spectral indices related to vegetation moisture. The generated models used for quantifying the biomass and aboveground carbon were those with the best fit and fewest errors. For the biomass, the root mean square error was  $\text{RMSE} = 54.74 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $B = 334.69 - 112.83(B2) + 107.13(B3) + 8250.39(\text{NDVI}) - 8265.91(\text{NDVI41}) + 6548.72(\text{NDVI43})$ , and for carbon,  $\text{RMSE} = 26.87 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $C = 164.71 - 55.23(B2) + 52.54(B3) + 4052.05(\text{NDVI}) - 4059.76(\text{NDVI41}) + 3215.18(\text{NDVI43})$ . *Landsat TM* images provide valuable information to estimate the biomass and quantify the aboveground arboreal carbon.

**Key words:** Forest biomass, aboveground arboreal carbon, spectral data, *Landsat TM*, reflectances, *SPOT* satellite.

Fecha de recepción/Received date: 15 de diciembre de 2015; Fecha de aceptación/Accepted date: 10 de abril de 2016.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. Correo-e: mtzbar09@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México.

## Introducción

Uno de los depósitos más importantes del carbono en la biosfera se concentra en los ecosistemas terrestres: en la materia orgánica vegetal viva, en la necromasa y en la materia orgánica del suelo (Ruiz *et al.*, 2014). Entre los ecosistemas terrestres, los forestales son, especialmente, notables como reservorio de carbono, porque los árboles retienen grandes cantidades de este elemento por unidad de área en comparación con otros tipos de vegetación (IPCC, 2001).

Así, el nivel de biomasa es un indicador del potencial de carbono, y ha recibido mucha atención desde los acuerdos obtenidos en el Protocolo de Kyoto. Sin embargo, existe incertidumbre acerca de las estimaciones de los bosques como depósitos del mismo (Houghton, 2005); por lo que el uso de técnicas de percepción remota se ha identificado como una herramienta valiosa de apoyo para las estimaciones sobre el particular, y en la cuantificación de las existencias de biomasa aérea y de los cambios asociados (Rosenqvist *et al.*, 2003; Tomppo *et al.*, 2002). Por lo tanto, los datos así obtenidos pueden ser útiles para la estimación indirecta del valor de la biomasa/carbono, información que debe ser complementada con datos de campo, con mediciones de las variables dasométricas que se utilizan en ecuaciones empíricas de biomasa (Zianis y Mencuccini, 2004).

El empleo de datos por percepción remota tiene ventajas, debido a que cubren un área grande y proporcionan formas de observación sistemática (Rosenqvist *et al.*, 2003). Con la realización de los análisis multitemporales correctos es posible establecer labores de predicción, prevención, determinación de escenarios futuros, monitoreo de ciertos elementos del medio natural, así como la estimación del cambio producido en las diferentes clases de uso y de ocupación de la tierra (Bedón y Pinto, 2007). Las técnicas basadas en la percepción remota adquieren un elevado potencial para este tipo de tareas, dada la periodicidad en la obtención de los datos y la variedad creciente en la resolución espacial de las imágenes disponibles, lo cual permite la identificación de los cambios desde diferentes escalas de trabajo.

El presente estudio trata sobre la modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo forestal en bosques del estado de Durango, mediante la utilización de imágenes de satélite *Landsat TM* y parámetros dasométricos forestales. Los objetivos del estudio consistieron en cuantificar los almacenes de carbono en diferentes sistemas forestales evaluados, de 5 a 60 años; modelar espacialmente la biomasa y carbono arbóreo aéreo con el uso de imágenes de satélite; además de generar mapas de biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y carbono arbóreo aéreo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de las áreas de estudio.

## Introduction

One of the most important carbon deposits in the biosphere is concentrated in the terrestrial ecosystems: in the living organic matter, in the necromass and in the organic matter of the soil (Ruiz *et al.*, 2014). Among the terrestrial ecosystems, the forest systems are particularly noteworthy as carbon reservoirs because the trees retain large amounts of this element per surface area unit, compared to other types of vegetation (IPCC, 2001).

Thus, the biomass level is an indicator of the carbon potential, and has received much attention since the agreements reached in the Kyoto Protocol. However, there is uncertainty as to the estimates of the forests as carbon deposits (Houghton, 2005); therefore, the use of remote perception techniques has been identified as a valuable tool to support estimations in this regard and to quantify the aerial biomass stock and the associated changes (Rosenqvist *et al.*, 2003; Tomppo *et al.*, 2002). Thus, the data obtained through this means can be useful for the indirect estimation of the biomass carbon ratio—a datum that must be complemented with field data and with measurements of the dasometric variables used in empirical biomass equations (Zianis and Mencuccini, 2004).

The use of remote perception data offers certain advantages, since these can cover a large area and provide systematic observation forms (Rosenqvist *et al.*, 2003). By carrying out the right multitemporal analyses, it is possible to establish tasks for the prediction, prevention and determination of future scenarios, monitoring of certain elements of the natural environment, and estimation of the change produced in the various types of land use and occupation (Bedón and Pinto, 2007). Techniques based on remote perception acquire a high potential for this kind of tasks, given the regularity in the collection of the data and the growing variety in the spatial resolution of the available images, which allows identification of the changes from different work scales.

This study describes the modeling of forest biomass and aboveground arboreal carbon in the forests of the state of Durango, using images from the *Landsat TM* satellite and forest dasometric parameters. The objectives of the study were the quantification of the carbon stores in various evaluated forest systems aged 5 to 60 years; spatial modeling of the biomass and aboveground arboreal carbon through the use of satellite imagery, and generation of biomass ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) and aboveground arboreal carbon ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) maps of the study zones.



## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El área de estudio comprende bosques de clima templado del municipio Pueblo Nuevo, específicamente, en los ejidos El Brillante, La Ciudad, La Victoria y La Campana del estado de Durango, México (Figura 1). Pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y a la subprovincia denominada Gran Meseta y Cañones Duranguenses. Sus elevaciones varían de los 1 400 a los 2 600 msnm. El clima es semihúmedo templado o semifrío, que se torna templado o semiseco en el lado oriental de la Sierra. La temperatura media anual oscila entre 20 y 22 °C, mientras que la precipitación media anual de 800 mm a 1 200 mm. Por su situación geográfica, reúne diversas condiciones de vegetación, desde masas puras de encino hasta bosques mezclados de pino-encino (Ucodefo 6, 1997).

## Materials and Methods

### Study area

The study area comprises temperate forests of the municipality of *Pueblo Nuevo*, specifically in the *El Brillante*, *La Ciudad*, *La Victoria* and *La Campana* ejidos, in the state of *Durango*, Mexico (Figure 1). It is located in the physiographic province of the *Western Sierra Madre* and in the subprovince known as the *Grand Plateau and the Durango Canyons*. Its altitudes vary between 1 400 and 2 600 masl. The climate is semi-humid temperate or semi-cold, becoming temperate or semi-dry on the eastern side of the *Sierra*. The mean annual temperature ranges between 20 °C and 22 °C, and the mean annual precipitation, between 800 msm and 1 200 mm. Because of its geographical location, it includes various vegetation conditions, among them pure oak and pine-oak forests (Ucodefo 6, 1997).

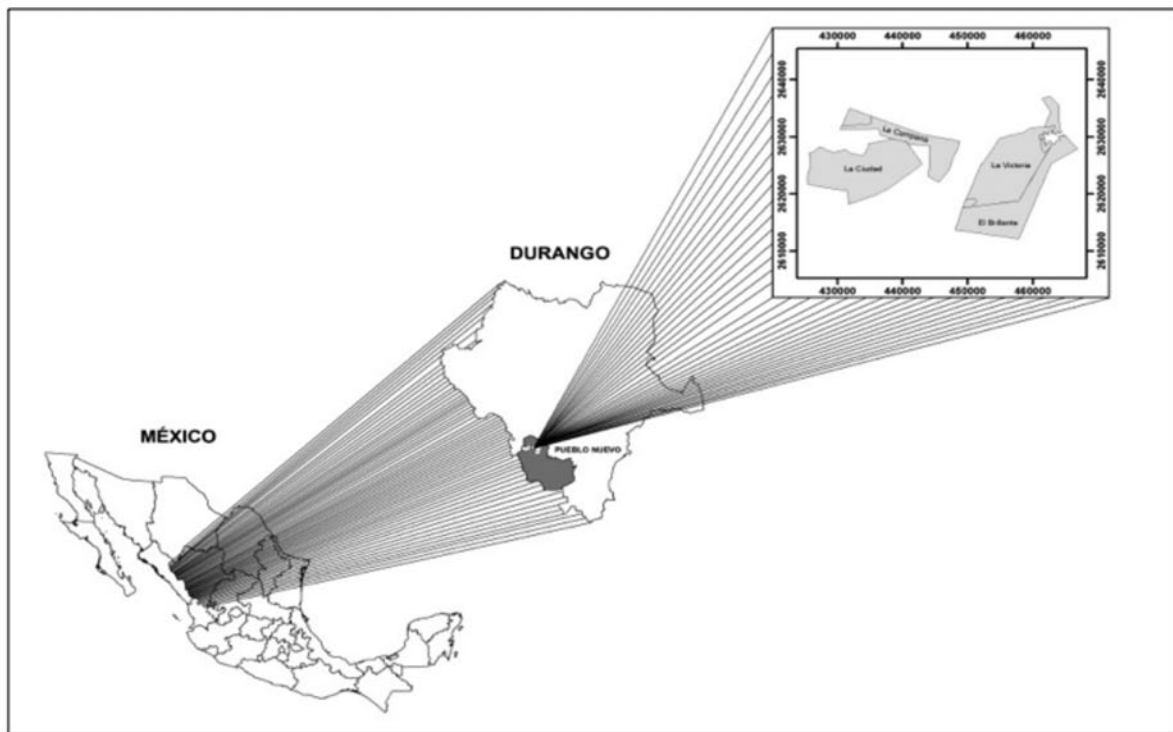


Figura 1. Ubicación geográfica.  
Figure 1. Geographical location.

### Trabajo de campo

La cuantificación de los almacenes de carbono se derivó de datos dasométricos de 39 sitios cuadrangulares de 50 x 50 m de la Red de Sitios Permanentes de Investigación Forestal, establecidos por la Universidad Juárez del Estado de Durango y el Instituto Tecnológico de El Salto (Corral *et al.*, 2009). La estimación

### Field work

The carbon reservoirs were quantified based on the dasometric data of thirty-nine 50 x 50 m quadrangular sites belonging to the Network of Permanent Forest Research Plots established by the *Universidad Juárez del Estado de Durango* and the *Instituto Tecnológico de El Salto* (Corral *et al.*, 2009). The

de biomasa en cada sitio de muestreo se realizó por medio de ecuaciones alométricas previamente generadas para las especies más importantes (producción de biomasa) del estado de Durango, y se aplicaron a los datos dasométricos obtenidos en los sitios de muestreo. Los resultados de biomasa se convirtieron a cantidad de carbono almacenado, mediante la multiplicación de biomasa por el factor de carbono total específico para cada especie. Dichos porcentajes se distribuyen entre valores de 0.43 y 0.51. Los modelos fueron validados a partir de los datos de 10 sitios permanentes de muestreo establecidos en el ejido La Campana, debido a que esta área tiene condiciones ecológicas y silvícolas similares a los ejidos El Brillante, La Ciudad y La Victoria.

La determinación de biomasa y contenido de carbono total en cada sitio de muestreo se hizo con la sumatoria de la cantidad de ambos por árbol. Asimismo, los resultados de dichas variables procedentes de los 39 sitios fueron extrapolados a toneladas por hectárea, con la finalidad de facilitar la generación y construcción de los modelos para predecir su estimación, a través de la percepción remota.

#### Datos espectrales Landsat TM (*Thematic Mapper*)

La imagen de satélite se basó en la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2013), y se tomó el 19 de junio de 2011, con una resolución espacial de 30 m. Está ortorrectificada; es decir, representa los objetos del terreno en sus verdaderas coordenadas. Este sensor opera con siete bandas espectrales, que fueron elegidas especialmente para el monitoreo de la vegetación a excepción de la banda 7, que se agregó para aplicaciones geológicas (Cuadro 1).

biomass of each sampling site was estimated using allometric equations previously generated for the main species (biomass production) of the state of Durango, which were applied to the dasometric data collected at the sampling sites. The biomass results were converted to stored amounts of carbon by multiplying the biomass by the specific total carbon factor for each species. The values of these percentages range between 0.43 and 0.51. The models were validated using 10 permanent sampling sites established in the *La Campana ejido* because the ecological and silvicultural conditions of this area resemble those of the *El Brillante, La Ciudad and La Victoria ejidos*.

The biomass and total carbon contents in each sampling site were determined by adding the amounts for both factors per tree. Furthermore, the results of these variables from the 39 sites were extrapolated to tons per hectare in order to facilitate the generation and construction of the models so as to predict their estimation through remote perception.

#### Landsat TM (*Thematic Mapper*) spectral data

The satellite image was based on the United States Geological Service (USGS, 2013) and was taken on June 19, 2011, with a spatial resolution of 30 m. It has been orthorectified, i.e. it represents the objects in the site at their actual coordinates. This sensor operates with seven spectral bands especially selected to monitor the vegetation, with the exception of band 7, which was added for geological applications (Table 1).



Cuadro 1. Características de las bandas y principales aplicaciones que componen el satélite *Landsat TM*.

Bandas espectrales	Longitud de onda (µm)	Aplicaciones
B1: Azul	0.45 a 0.52	Fue diseñada para diferenciar cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo las coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.
B2: Verde	0.52 a 0.60	Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiación) verde. Es útil también para diferenciar tipos de rocas.
B3: Rojo	0.63 a 0.69	Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. Es útil para detectar tipos de rocas.
B4: IRC	0.76 a 0.90	Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.
B5: IRM	1.55 a 1.75	Indica el contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.
B6: IRT	10.40 a 12.50	El infrarrojo termal es útil en el análisis del estrés de la vegetación, en la decadencia de la humedad del suelo y en el mapeo termal.
B7: IRM	2.08 a 2.35	Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxidos (OH) y la absorción del agua.

Bi = Bandas espectrales; IRC = Infrarrojo cercano; IRM = Infrarrojo medio; IRT = Infrarrojo termal; µm = Micras.

Table 1. Characteristics of the bands and main applications of the Landsat TM.

Spectral bands	Wave length ( $\mu\text{m}$ )	Applications
B1: Blue	0.45 to 0.52	It was designed to differentiate water bodies; it is useful for mapping coasts, for differentiating between the soil and the vegetation and to classify different forest covers, e.g. conifers and broadleaves. It is also useful to differentiate between the various types of rocks present on the land area.
B2: Green	0.52 to 0.60	Specially designed to evaluate the vigor of the healthy vegetation, measuring its green reflectance (or radiation) peak. It is also useful for differentiating between rock types.
B3: Red	0.63 to 0.69	This is a chlorophyll absorption band, very useful for classifying the vegetal cover. It is also useful for detecting between rock types.
B4: CIR	0.76 to 0.90	It is useful for determining the content of biomass, delimiting water bodies and classifying rocks.
B5: MIR	1.55 to 1.75	Indicates the moisture content of the vegetation and the soil. It also serves to discriminate between snow and clouds.
B6: TIR	10.40 to 12.50	Thermal infrared is useful in the analysis of vegetation stress, the decay of the soil moisture and thermal mapping.
B7: MIR	2.08 to 2.35	Especially selected for its potential to discriminate rocks and for hydrothermal mapping. It measures the amount of hydroxides (OH) and water absorption.

Bi = Spectral bands; CIR = Close infrared; MIR = Medium infrared; TIR = Thermal infrared;  $\mu\text{m}$  = Microns.

Los datos espectrales fueron extraídos de las coordenadas UTM centrales de los sitios de muestreo, los cuales fueron identificados por los píxeles de las imágenes. Los datos espectrales consistieron en las reflectancias obtenidas de cuatro bandas individuales de la imagen y de cuatro transformaciones matemáticas aplicadas a la reflectancia: 1) Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), compuesto por las bandas espectrales infrarrojo cercano (IRC) y rojo (R), calculado como  $\text{NDVI} = (\text{IRC}-\text{R})/(\text{IRC}+\text{R})$  (Rouse *et al.*, 1974); 2) NDVI41, compuesto por las bandas espectrales infrarrojo medio (IRM) y verde (V), calculado como  $\text{NDVI41} = (\text{IRM}-\text{V})/(\text{IRM}+\text{V})$ ; 3) NDVI42, calculado como  $\text{NDVI42} = (\text{IRM}-\text{R})/(\text{IRM}+\text{R})$ , se compone por las bandas espectrales infrarrojo medio y rojo; 4) NDVI43, calculado como  $\text{NDVI43} = (\text{IRM}-\text{IRC})/(\text{IRM}+\text{IRC})$ , el índice es conocido como de estrés hídrico (Rock *et al.*, 1986), y se integra por las bandas espectrales infrarrojo medio e infrarrojo cercano. Los índices se construyeron con el fin de resaltar algunas características de la vegetación, la cual está en función, principalmente, de la clorofila, de la estructura celular y del contenido de agua de la vegetación (Chuvieco, 1998; Soria y Granados, 2005; Aguirre *et al.*, 2009); y son más sensibles en alguna parte del espectro electromagnético, además se detectan mejor en bandas específicas (Cohen y Goward, 2004).

### Relación entre datos de campo y datos espectrales

Se aplicó un análisis de correlación entre las variables forestales de interés y los datos espectrales con el fin de

The spectral data were taken from the central UTM coordinates of the sampling sites, which were identified by the pixels of the images. The spectral data consisted in the reflectances obtained from four individual bands of the image and four mathematical transformations applied to the reflectance: 1) Normalized difference vegetation index (NDVI) =  $\text{CIR}-\text{R}/(\text{CIR}+\text{R})$  (Rouse *et al.*, 1974); 2) NDVI41, consisting of the medium infrared (MIR) and green (G) spectral bands; calculated as  $\text{NDVI} = (\text{MIR}-\text{G})/(\text{MIR}+\text{G})$ ; 3) NDVI42, calculated as  $\text{NDVI42} = (\text{MIR}-\text{R})/(\text{MIR}+\text{R})$ ; it is made up of the medium infrared and red spectral bands; 4) NDVI43, calculated as  $\text{NDVI43} = (\text{MIR}-\text{CIR})/(\text{MIR}+\text{CIR})$ ; this index is known as hydric stress (Rock *et al.*, 1986), and consists of the medium infrared and close infrared spectral bands. These indices were built in order to highlight certain characteristics of the vegetation, mainly in terms of chlorophyll, the cell structure, and the water content of the vegetation (Chuvieco, 1998; Soria and Granados, 2005; Aguirre *et al.*, 2009); they are most sensitive at a given portion of the electromagnetic spectrum and can be best detected in specific bands (Cohen and Goward, 2004).



averiguar el comportamiento y relación entre ellos. Se empleó el procedimiento estadístico de regresión por pasos (*Stepwise*), con el objetivo de seleccionar un modelo de regresión lineal múltiple que estime la biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y el carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) con un mínimo de variables. Como indicadores estadísticos de bondad de ajuste se consideraron el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y un nivel de significancia menor a 0.05 para cada variable. Una vez desarrollados los mejores modelos de regresión, se estimó la biomasa y el carbono para los sitios de muestreo que corresponden a los datos espectrales, a partir de lo cual se generaron mapas de biomasa y carbono arbóreo aéreo para las localidades de estudio.

### Validación

Con apoyo en la metodología antes descrita, se procesaron datos dasométricos y coordenadas UTM centrales de 10 sitios de muestreo, distintos a los 39 empleados para la construcción de los modelos, los cuales se ubicaron dentro del ejido La Campana; los resultados obtenidos de la aplicación de los modelos de regresión, predichos, fueron comparados con los datos de campo, observados, estimados por medio de ecuaciones alométricas y factores de carbono.

## Resultados y Discusión

### Relación entre las variables forestales y los datos espectrales

Las variables forestales biomasa y carbono mostraron una correlación negativa con los datos espectrales (Cuadro 2). De acuerdo con Hall *et al.* (2006) y Aguirre *et al.* (2009), lo anterior se explica por la disminución del albedo en zonas con vegetación densa y cerrada. Aunque se presentó poca correlación entre la biomasa y el carbono con las reflectancias de las bandas 1, 2, 4 y el índice de vegetación NDVI42; el índice de vegetación NDVI43 tuvo la correlación más alta, con un valor de -0.62 para biomasa y -0.63 para carbono. Aguirre *et al.* (2009) registraron un valor de correlación de -0.80 entre el NDVI43 y el carbono arbóreo aéreo. Los resultados obtenidos corroboraron lo señalado por Gong *et al.* (2003) y Aguirre *et al.* (2009), respecto a que la densidad de los bosques de coníferas (hoja acicular) tienen una mejor explicación por índices que son sensibles a la humedad, que por aquéllos que son sensibles a la clorofila. El signo negativo indica que la densidad forestal es inversamente proporcional al estrés hídrico de la vegetación (NDVI43). Por lo tanto, el NDVI presenta buenas correlaciones con las variables forestales de

### Relationship between field data and spectral data

An analysis of the correlation between the forest variables of interest and the spectral data was performed in order to determine the behavior and relationship between them. The stepwise statistical procedure was applied in order to select a multiple linear regression model by which to estimate the biomass ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) and carbon ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) with a minimum of variables. The coefficient or determination ( $R^2$ ), the root mean square error (RMSE), and a significance level below 0.05 for each variable were used as statistical indicators of the goodness of fit. Once the best regression models were developed, the biomass and the carbon were estimated for the sampling sites corresponding with the spectral data, and, based on them, biomass maps and aboveground arboreal carbon maps were generated for the studied locations.

### Validation

With the support of the methodology described above, the dasometric data and central UTM coordinates of 10 sampling sites other than the 39 used for building the models -located within the *La Campana ejido*- were processed. The results obtained through the application of the predicted regression models were compared to the observed field data, estimated by means of allometric equations and carbon factors.

## Results and Discussion

### Relationship between the forest variables and the spectral data

The forest variables biomass and carbon showed a negative correlation with the spectral data (Table 2). According to Hall *et al.* (2006) and Aguirre *et al.* (2009), this is accounted for by the decreased albedo in areas with dense, closed vegetation. Although little correlation was found between the biomass and the carbon with the reflectances of bands 1, 2, 4, and the NDVI42 vegetation index, the NDVI43 vegetation index had the highest correlation, with a value of -0.62 for biomass and -0.63 for carbon. Aguirre *et al.* (2009) recorded a correlation value of -0.80 between the NDVI43 and the aboveground arboreal carbon. The results obtained confirmed the findings of Gong *et al.* (2003) and Aguirre *et al.* (2009): that the density of conifer forests (with needle leaves) is better accounted for by moisture sensitive indices than by chlorophyll sensitive indices. The negative sign indicates that the forest density is inversely proportional to the hydric stress of the vegetation (NDVI43). Therefore, the NDVI has good correlations with the forest



interés, debido a la reflectividad ocasionada por la clorofila de la vegetación. En concordancia con Chuvieco (1998) y Soria y Granados (2005), cuando la vegetación es sometida a un tipo de estrés (plagas, sequía, etcétera), su reflectancia en NDVI será inferior y, por lo tanto, un área con vegetación sana presentará un mayor contraste entre las bandas que componen este índice (infrarrojo cercano y rojo).

variables of interest, due to the reflectivity caused by the vegetation's chlorophyll. As observed by Chuvieco (1998) and Soria and Granados (2005), when the vegetation suffers from any type of stress (pests, drought, etc.), its reflectance in NDVI is lower, and therefore, an area with healthy vegetation will have a higher contrast between the bands that make up this index (close infrared and red).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre las variables forestales y los datos espectrales.

Variable	B1	B2	B3	B4	B5	B7	NDVI	NDVI41	NDVI42	NDVI43
B	-0.24	-0.30	-0.42	-0.06	-0.54	-0.53	0.47	-0.47	-0.26	-0.62
Nivel de significancia	0.1358	0.0636	0.0073	0.7230	0.0004	0.0005	0.0024	0.0023	0.1092	<0.0001
C	-0.25	-0.30	-0.43	-0.06	-0.55	-0.54	0.48	-0.48	-0.26	-0.63
Nivel de significancia	0.1290	0.0597	0.0064	0.7156	0.0003	0.0004	0.0021	0.0020	0.1063	<0.0001

B = Biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>); C = Carbono (Mg ha<sup>-1</sup>); B<sub>i</sub> = Reflectancia por banda espectral; NDVI = Índice de vegetación de diferencia normalizada.

Table 2. Coefficients of correlation between the forest variables and the spectral data.

Variable	B1	B2	B3	B4	B5	B7	NDVI	NDVI41	NDVI42	NDVI43
B	-0.24	-0.30	-0.42	-0.06	-0.54	-0.53	0.47	-0.47	-0.26	-0.62
Significance level	0.1358	0.0636	0.0073	0.7230	0.0004	0.0005	0.0024	0.0023	0.1092	<0.0001
C	-0.25	-0.30	-0.43	-0.06	-0.55	-0.54	0.48	-0.48	-0.26	-0.63
Significance level	0.1290	0.0597	0.0064	0.7156	0.0003	0.0004	0.0021	0.0020	0.1063	<0.0001

B = Biomass (Mg ha<sup>-1</sup>); C = Carbon (Mg ha<sup>-1</sup>); B<sub>i</sub> = Reflectance by spectral band; NDVI = Normalized difference vegetation index.

## Modelos seleccionados

Los índices de vegetación basados en la reflectancia de las bandas verde, rojo, infrarrojo cercano y medio, fueron las que describieron de manera satisfactoria el comportamiento de la biomasa y el carbono, debido a la fuerte absorción de energía causada por la presencia del vigor de la vegetación sana, la absorción de la clorofila y la humedad presente en la vegetación (Soria y Granados, 2005). Los modelos seleccionados, mediante el procedimiento de regresión (*Stepwise*) para estimar biomasa y carbono a partir de datos espectrales se presentan en el Cuadro 3.

## Selected models

Vegetation indices based on the reflectance of the green, red, and close and medium infrared best described the behavior of the biomass and carbon, due to the strong absorption of energy caused by the presence of vigorous, healthy vegetation, chlorophyll absorption, and vegetation moisture (Soria and Granados, 2005). Table 3 shows the models selected with the stepwise regression procedure for estimating biomass and carbon based on spectral data.

Cuadro 3. Modelos de regresión seleccionados.

Modelos	RMSE	R <sup>2</sup>	Nivel de significancia
B = 334.69 - 112.83(B2) + 107.13(B3) + 8 250.39(NDVI) - 8 265.91(NDVI41) + 6 548.72(NDVI43)	54.74	0.6241	<0.0001
C = 164.71 - 55.23(B2) + 52.54(B3) + 4 052.05(NDVI) - 4 059.76(NDVI41) + 3 215.18(NDVI43)	26.87	0.6298	<0.0001

B = Biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>); C = Carbono (Mg ha<sup>-1</sup>); B2 = Reflectancia en banda verde; B3 = Reflectancia en banda rojo; NDVI = Índice de vegetación de diferencia normalizada.

Table 3. Selected regression models.

Models	RMSE	R <sup>2</sup>	Significance level
B = 334.69 - 112.83(B2) + 107.13(B3) + 8 250.39(NDVI) - 8 265.91(NDVI41) + 6 548.72(NDVI43)	54.74	0.6241	<0.0001
C = 164.71 - 55.23(B2) + 52.54(B3) + 4 052.05(NDVI) - 4 059.76(NDVI41) + 3 215.18(NDVI43)	26.87	0.6298	<0.0001

B = Biomass (Mg ha<sup>-1</sup>); C = Carbon (Mg ha<sup>-1</sup>); B2 = Reflectance in the green band; B3 = Reflectance in the red band; NDVI = Normalized difference vegetation index.

En diversos estudios se han utilizado datos espectrales para la estimación de variables forestales, que han presentado niveles de precisión (RMSE) y coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) muy variados. Aguirre *et al.* (2009) calcularon 22.24 Mg ha<sup>-1</sup> de RMSE para carbono en un bosque de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en la región central de México con datos del sensor SPOT 5 HRG; realizaron estimaciones con regresión lineal múltiple y el procedimiento no paramétrico del vecino más cercano (*k-nn*), cuyo valor de R<sup>2</sup> fue 0.70 para el modelo de regresión seleccionado para cuantificar carbono con un nivel de confiabilidad de 99 %.

Por su parte, Labrecque *et al.* (2006) determinaron valores de RMSE de 59, 59 y 58 (Mg ha<sup>-1</sup>) para bosques de coníferas, caducifolios y mixtos, respectivamente, para mapear biomasa forestal en una región piloto situada al oeste de Canadá, a través de imágenes Landsat TM. Escandón *et al.* (1999) usaron el mismo sensor, pero con un enfoque diferente, y evaluaron dos métodos para estimar biomasa arbórea. El primer método consistió en una clasificación supervisada multispectral con seis bandas; utilizaron tipos de vegetación identificados a partir de la composición de la biomasa de los géneros dominantes y de la altura promedio estimada del dosel. En el segundo método trabajaron con índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de las bandas TM4/TM3; TM4/TM5 y TM4/TM7; posteriormente, aplicaron un modelo de regresión que relaciona la biomasa promedio con los valores o niveles digitales (ND) con los NDVI. Resultó que el modelo exponencial fue el de mejor ajuste para los tres NDVI; sus valores para los NDVI fueron TM4/TM3 (R<sup>2</sup>= 0.61), TM4/TM5 (R<sup>2</sup>=0.67) y TM4/TM7 (R<sup>2</sup>= 0.68). Comparativamente, los citados por Aguirre *et al.* (2009) son más similares a los del presente estudio y se consideran como aceptables para este tipo de investigaciones.

Las diferencias identificadas respecto a las experiencias previamente citadas pueden deberse a los satélites, por efecto de la resolución espacial que ofrecen el LANDSAT y el SPOT (Aguirre *et al.*, 2009) y a la resolución espectral (Soria y Granados, 2005).

Various studies have utilized spectral data to estimate the forest variables that have shown a wide variety of precision levels (RMSE) and determination coefficients (R<sup>2</sup>). Aguirre *et al.* (2009) calculated a carbon RMSE of 22.24 Mg ha<sup>-1</sup> in a *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. forest in central Mexico, using data from the SPOT 5 HRG sensor; they made estimates using multiple linear regression and the non-parametric *k*-nearest neighbor procedure (*k-nn*). Furthermore, 0.70 was the value of R<sup>2</sup> for the regression model selected to quantify carbon with a confidence level of 99 %.

On their part, Labrecque *et al.* (2006) determined RMSE values of 59, 59 and 58 (Mg ha<sup>-1</sup>) for conifer, deciduous and mixed forests, respectively, in order to map the forest biomass in a pilot region in western Canada using Landsat TM imagery. Escandón *et al.* (1999) utilized the same sensor, but with a different approach, and evaluated two methods to estimate the arboreal biomass. The former method consisted in a six-band supervised multispectral classification; it used vegetation types identified by the makeup of the biomass of the dominant genera and by the estimated average height of the canopy. The latter method used normalized difference vegetation indices (NDVI) of bands TM4/TM3; TM4/TM5 and TM4/TM7; subsequently, they applied a regression model that related the average biomass with digital values or levels (DL) to the NDVIs. The exponential model turned out to have the best fit for the three NDVIs; the values obtained for the NDVIs were TM4/TM3 (R<sup>2</sup>= 0.61), TM4/TM5 (R<sup>2</sup>= 0.67) and TM4/TM7 (R<sup>2</sup>= 0.68). Comparatively, the values obtained by Aguirre *et al.* (2009) are closer to those of the present study and are considered to be acceptable for this type of research.

The identified differences with respect to the previously cited experiences may be accounted for by the different spatial (Aguirre *et al.*, 2009) and spectral resolutions (Soria and Granados, 2005) provided by the LANDSAT and SPOT satellites.





## Comparación de las estimaciones biomasa-carbono con los modelos seleccionados

En la Figura 2 se muestra la relación de los valores de biomasa y de carbono observados en campo y los predichos con los modelos de regresión desarrollados, como una forma viable de ser utilizados para un bosque. La variable empleada fue el índice de estrés hídrico (NDVI43) debido a que fue el que resultó altamente significativo ( $p \leq 0.0001$ ) y presentó mayor correlación con las variables de interés. Se advierte una relación proporcional inversa, ya que al disminuir el valor del índice de estrés hídrico (NDVI43), aumentan los de biomasa y carbono, lo que refleja el potencial de captura de carbono que hay en este tipo de vegetación.

## Comparison between the biomass-carbon estimates with the selected models

Figure 2 shows the relationship between the regression models developed as viable for use in forests. The utilized variable was the hydric stress index (NDVI43) because it proved to be highly significant ( $p \leq 0.0001$ ) and had the highest correlation with the variables of interest. An inversely proportional relation was identified, i.e. the values for biomass and carbon were observed to increase with lower hydric stress indices (NDVI43), reflecting the carbon capture potential of this type of vegetation.

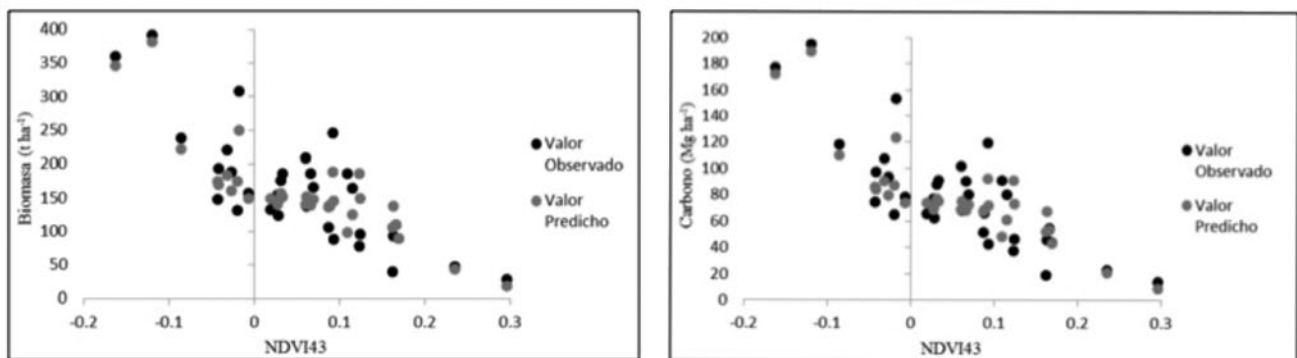


Figura 2. Valores de biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) observados y predichos construido con el NDVI43.  
Figure 2. Observed and predicted biomass ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) and carbon ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) values, built with the NDVI43.

## Aplicación y validación de los modelos

Los modelos seleccionados fueron aplicados a las reflectancias de las bandas e índices de vegetación correspondientes. Al extrapolarlos al área de estudio, se obtuvo la cantidad de biomasa y el contenido de carbono arbóreo aéreo.

En el Cuadro 4 se consigna la comparación de las estimaciones de biomasa y carbono arbóreo aéreo total en campo y las derivadas de los modelos de regresión generados.

## Application and validation of the models

The selected models were applied to the reflectances of the bands and to the corresponding vegetation indices, and the biomass and aboveground arboreal carbon content were estimated by extrapolating them to the study area.

Table 4 shows the comparison between the values estimated for in-field biomass and carbon and those derived from the generated regression models.

The availability of data from remote sensors with an enhanced spectral resolution can improve these assessments (Thenkabail *et al.*, 2004). Within this context, the obtained results coincide with the findings of Fernández *et al.* (2005), according to whom, despite certain limitations, the images from this source are valid for estimating forest parameters at a regional scale.



Cuadro 4. Biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>) y contenido de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>), estimados en campo vs. modelos generados.

Número de parcela	Datos de campo		Modelos	
	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono
1	129.61	64.19	149.88	74.16
2	176.06	87.86	151.43	74.91
3	82.21	41.06	147.35	72.72
4	97.51	48.47	121.74	59.52
5	114.60	56.62	145.79	72.32
6	77.47	38.69	146.02	71.94
7	75.43	37.79	150.90	74.33
8	155.49	75.00	201.96	98.94
9	165.15	81.47	158.35	78.35
10	85.96	42.33	156.70	77.39

Table 4. Biomass (Mg ha<sup>-1</sup>) and carbon contents (Mg ha<sup>-1</sup>), estimated in field vs. with the generated models.

Plot number	Field data		Models	
	Biomass	Carbon	Biomass	Carbon
1	129.61	64.19	149.88	74.16
2	176.06	87.86	151.43	74.91
3	82.21	41.06	147.35	72.72
4	97.51	48.47	121.74	59.52
5	114.60	56.62	145.79	72.32
6	77.47	38.69	146.02	71.94
7	75.43	37.79	150.90	74.33
8	155.49	75.00	201.96	98.94
9	165.15	81.47	158.35	78.35
10	85.96	42.33	156.70	77.39

Las valoraciones anteriores se pueden mejorar, si se cuenta con datos de sensores remotos con una resolución espectral mejorada (Thenkabail *et al.*, 2004). Al respecto, los resultados obtenidos coinciden con las conclusiones de Fernández *et al.* (2005), quienes afirman que, a pesar de ciertas limitaciones, las imágenes de esta procedencia son válidas para la estimación de parámetros forestales a una escala regional.

### Generation of biomass and aboveground arboreal carbon maps

Based on the analysis of the maximum biomass and carbon values of the sampling sites, numbers were determined for the pixels of the 400 Mg ha<sup>-1</sup> images of the biomass and for those of the 200 Mg ha<sup>-1</sup> images of the carbon content. In order to facilitate the interpretation of both maps, the data were grouped into classes and intervals (Table 5).



## Generación de mapas de biomasa y carbono arbóreo aéreo

Con base en el análisis del valor máximo de biomasa y carbono de los sitios de muestreo, se determinaron cifras para los píxeles de las imágenes de 400 Mg ha<sup>-1</sup> para la biomasa y de 200 Mg ha<sup>-1</sup> para el contenido de carbono. Para facilitar la interpretación de ambos mapas, los datos se agruparon en clases e intervalos (Cuadro 5).

Figures 3 and 4 show the generated maps of the biomass in the *ejidos* *El Brillante* and *La Campana* and the total carbon content of the plots in the *ejidos* *La Ciudad* and *La Victoria*.



Cuadro 5. Clases e intervalos de valores utilizados para la generación de los mapas.

Clases	Intervalo de valores de la cantidad de Biomasa por categoría (Mg ha <sup>-1</sup> )	Intervalo de valores de contenido de Carbono por categoría (Mg ha <sup>-1</sup> )
1	0 - 50	0 - 40
2	51 - 100	41 - 80
3	101 - 150	81 - 120
4	151 - 200	121 - 160
5	201 - 300	161 - 200
6	301 - 400	

Table 5. Classes and ranges of values used to generate maps.

Classes	Interval of values for the amount of Biomass by category (Mg ha <sup>-1</sup> )	Interval of values for the Carbon content by category (Mg ha <sup>-1</sup> )
1	0 - 50	0 - 40
2	51 - 100	41 - 80
3	101 - 150	81 - 120
4	151 - 200	121 - 160
5	201 - 300	161 - 200
6	301 - 400	

Las figuras 3 y 4 exhiben los mapas generados de la biomasa para los *ejidos* *El Brillante* y *La Campana* y contenido de carbono total para los predios de los *ejidos* *La Ciudad* y *La Victoria*.

Los diferentes colores representan los valores de biomasa y contenido de carbono arbóreo aéreo en toneladas por hectárea para los *ejidos* evaluados en los mapas generados para las regiones forestales. Por ejemplo, al tomar como parámetro el mapa de carbono para el *ejido* *La Victoria*, cada color se refiere al contenido de carbono en las áreas boscosas con un valor máximo de 200 toneladas.

Asimismo, este tipo de mapas puede ser usado para la atención de las causas de la pérdida de bosques y del carbono forestal, al fortalecer el manejo de los bosques y la conservación de su biodiversidad.

In the maps generated for the forest regions of the study area, the various colors represent the different values of the biomass and aboveground arboreal carbon contents present in the assessed *ejidos*, in tons per hectare. For example, when taking the carbon map for *ejido* *La Victoria* as a parameter, each color refers to the carbon contents in this plot, with a maximum value of up to 200 tons in the forest areas.

Furthermore, this type of maps can prove useful to those who work with the natural resources, as a contribution to raising awareness of the causes of the loss of forests and forest carbon through the enhancement of forest management and the preservation of the forest's biodiversity.



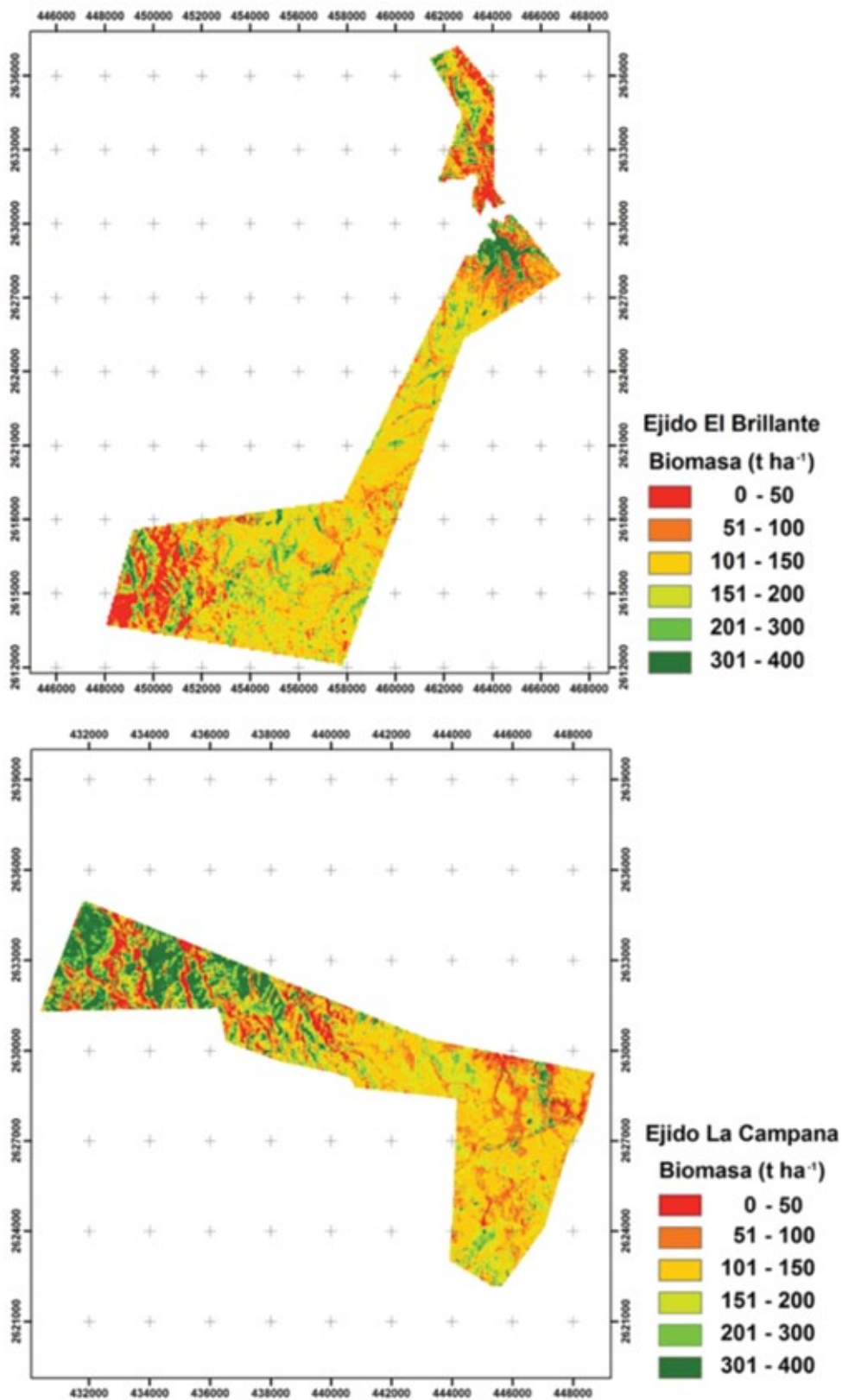


Figura 3. Mapas de biomasa total (Mg ha<sup>-1</sup>).  
Figure 3. Total biomass maps (Mg ha<sup>-1</sup>).

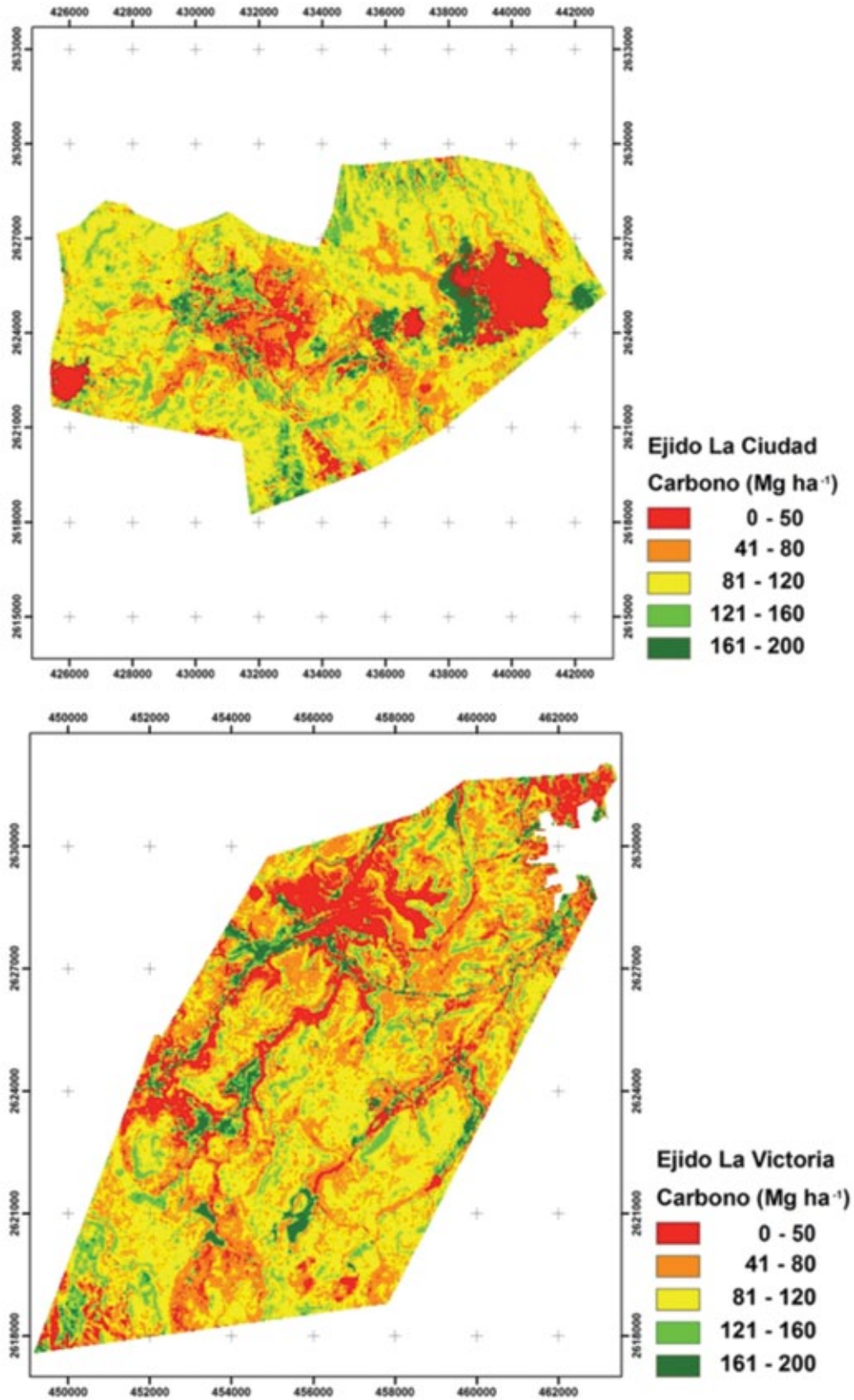


Figura 4. Mapas de carbono arbóreo aéreo total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).  
Figure 4. Total aboveground arboreal carbon maps ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

## Conclusiones

Las variables extraídas de las bandas espectrales seleccionadas del sensor *Landsat TM* mostraron las correlaciones más altas con los parámetros forestales de interés, al haber alcanzado el valor máximo del índice de estrés hídrico (NDVI43), lo que confirma la importancia de los índices espectrales relacionados con la humedad para predecir componentes forestales. Los modelos de regresión generados permiten realizar estimaciones confiables, aunque el éxito de los resultados dependerá de la incidencia de la resolución tanto espectral como espacial, así como de la calidad de los datos de campo. En este caso, el sensor *Landsat TM* cuenta con una resolución espacial de 30 m, en comparación con otro tipo de satélites que tienen una resolución espacial menor de 10 m como el satélite *SPOT*; por lo tanto, la selección del satélite y la obtención de mejores resultados estarán en función del nivel de detalle y de los objetivos planteados.

Las imágenes procedentes de sensores remotos proveen información valiosa que puede ser relacionada con datos de campo para desarrollar nuevas metodologías para la estimación de variables forestales a escalas regionales, concretamente, biomasa y carbono arbóreo aéreo: con base en el papel de los bosques en el secuestro y emisiones de carbono.

## Agradecimientos

Se agradece al Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del estado de Durango por el apoyo financiero otorgado para la realización de este trabajo, a través del proyecto: "Estimación del potencial de los bosques de Durango para la mitigación del cambio climático" clave DGO-2011-C01-165681.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

René Alejandro Martínez Barrón: encargado de la redacción, estructura y diseño del manuscrito; Oscar Alberto Aguirre Calderón: revisión y corrección del artículo para su publicación; Benedicto Vargas Larreta: revisión y corrección del artículo para su publicación; Javier Jiménez Pérez: revisión y corrección del artículo para su publicación; Eduardo Javier Treviño Garza: interpretación de los resultados y corrección del artículo; José Israel Yerena Yamallel: interpretación de los resultados y corrección del artículo.

## Referencias

Aguirre S., C. A., J. R. Valdez L., G. Ángeles P., H. M. de los Santos P., R. Haapanen y A. I. Aguirre S. 2009. Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de *Pinus patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia* 43: 209-220.

## Conclusions

The variables estimated based on the selected spectral bands of the *Landsat TM* sensor showed the highest correlations with the forest parameters of interest, among which the hydric stress index attained the highest value (NDVI43); this confirms the importance of the spectral indices related to moisture in the prediction of forest components. The generated regression models allow reliable estimations, although the success of the results will depend on the incidence of both the spectral and the spatial resolution, as well as on the quality of the field data. In this case, the *Landsat TM* sensor has a spatial resolution of 30 m, compared to other satellites, which have a resolution of less than 10 m, like *SPOT*. Therefore, the selection of the satellite and the achievement of the best results will be determined by the level of detail and by the set objectives.

The images from remote sensors provide valuable information that can be related to the field data in order to develop new methodologies by which to estimate the forest variables -specifically biomass and aboveground arboreal carbon- at a regional scale, based on the role of forests in carbon sequestration and emissions.

## Acknowledgements

We wish to express our gratitude to the Mixed Fund of Conacyt and the State Government of *Durango* for the financial support provided for this research through the project "Estimation of the potential of the forests of *Durango* for climate change mitigation", code DGO-2011-C01-165681.

## Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## Contribution by author

René Alejandro Martínez Barrón: drafting, structuring and design of the manuscript; Oscar Alberto Aguirre Calderón: revision and editing of the article for publication; Benedicto Vargas Larreta: revision and editing of the article for publication; Eduardo Javier Jiménez Pérez: revision and editing of the article for publication; Eduardo Javier Treviño Garza: interpretation of the results and editing of the article; José Israel Yerena Yamallel: interpretation of the results and editing of the article.

*End of the English version*





- Bedón F., P. P. y S. Pinto A. A. 2007. Evaluación de técnicas de detección de cambios del uso de la tierra a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el Cantón Daule. [www.repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5114/2/T-ESPE033066-A.pdf](http://www.repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5114/2/T-ESPE033066-A.pdf) (2 de junio de 2014).
- Chuvieco, E. 1998. El factor de temporalidad en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección* 10: 1-9.
- Cohen, W. B. and S. Goward. 2004. Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience* 54 (6): 535-545.
- Corral R., J. J., L. B. Vargas, C. Wehenkel, O. Aguirre C., J. Álvarez G. y A. Rojo A. 2009. Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del estado de Durango. Editorial UJED. Durango, Dgo., México. 81 p.
- Escandón C., J., B. H. J. de Jong, S. Ochoa G., I. March M. y M. A. Castillo. 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos *Landsat TM* en Jusnajib La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas* 40: 71-84.
- Fernández M., A. C. Quintano, O. Fernández M., J. R. Dos Santos and F. D. Maldonado. 2005. Spectral Mixture Modeling to estimate wood volume in the north of Spain from optical satellite data. *Ambiência* 1 (2): 213-222.
- Gong, P., R. Pu, G. S. Biging and M. R. Larrieu. 2003. Estimation of forest leaf area index using vegetation indexes derived from Hyperion hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41: 1355-1362.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report.* Cambridge University Press. Cambridge, UK. 398 p.
- Hall, R. J., R. S. Skakun, E. J. Arsenault and B. S. Case. 2006. Modeling forest stand structure attributes using *Landsat ETM+* data. Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management* 225: 378-390.
- Houghton R., A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* 11: 945-958.
- Labrecque, S., R. Fournier, J. Luther and D. Piercey, 2006. A comparison of four methods to map biomass from *Landsat-TM* and inventory data in western Newfoundland. *Forest Ecology and Management* 226: 129-144.
- Rock, B. N., J. E. Vogelmann, D. L. Williams, A. F. Vogelmann and T. Hoshizaki. 1986. Remote detection of forest damage. *Bioscience* 36: 439-445.
- Rosenqvist, A., A. Milne, A. Lucas, M. Imhoff and C. Dobson. 2003. A review of remote sensing technologies in support of the Kyoto Protocol. *Environmental Science and Policy* 6: 441-455.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering and J. C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/OSFC. Type III. Final Report. Oreenbello, MD, USA. 371 p.
- Ruiz D., C., G. Rodríguez O. y J. R. Enríquez del V. 2014. Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *Naturaleza y Desarrollo* 12(1): 28-45.
- United States Geological Survey (USGS). 2013. *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM)*. <http://glovis.usgs.gov/> (5 de junio de 2013).
- Soria R., J. y R. Granados R. 2005. Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA Y TM del *Landsat*. *Ciencia Ergo Sum* 12 (2): 167-174.
- Thenkabail, P. S., E. A. Enclona, M. S. Ashton, C. Legg, and M. J. De Dieu. 2004. Hyperion, IKONOS, ALI and ETM+ sensors in the study of African rainforests. *Remote Sensing of Environment* 90: 23-43.
- Tomppo, E., M. Nilsson, M. Rosengren, P. Aalto and P. Kennedy. 2002. Simultaneous use of *Landsat-TM* and *IRS-1C WIFS* data in estimating large area tree stem volume and aboveground biomass. *Remote Sensing of Environment* 82: 156-171.
- Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal 6 (UCODEFO 6). 1997. *Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007.* El Salto, Dgo., México. 207 p.
- Zianis, D. and M. Menaccini, 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187: 311-332.







## CONSEJO ARBITRAL

### Argentina

**Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.-** M.Sc. Leonel Harrand  
**Museo Argentino de Ciencias Naturales.-** Dra. Ana María Faggi  
**Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA).-** Dr. Eduardo Martínez Carretero

### Canadá

**Université Laval, Québec.-** Ph. D. Roger Hernández

### Cuba

**Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical.-** Dra. Amelia Capote Rodríguez  
**Unión Nacional de Escritores y Artistas de Cuba.-** Dra. Raquel Carreras Rivero

### Chile

**Universidad del Bío Bío.-** Dr. Rubén Andrés Ananías Abuter

### España

**CIFOR-INIA.-** Dr. Eduardo López Senespleda, Dr. Gregorio Montero González, Dr. Sven Mutke Regneri  
**Fundación CEAM.-** Dra. María José Sáiz Sánchez  
**Universidad de Oviedo.-** Dr. Elías Afif Khouri  
**Universidad Politécnica de Madrid.-** Dr. Alfredo Blanco Andray, Dr. Luis Gil Sánchez, Dr. Alfonso San Miguel-Ayanz,  
Dr. Eduardo Tolosana, Dr. Santiago Vignote Peña

### Estados Unidos de América

**New Mexico State University.-** Ph.D. John G. Mexal  
**Northern Arizona University .-** Ph.D. Peter Z. Fulé  
**University of Colorado at Denver.-** Ph.D. Rafael Moreno Sánchez  
**University of Florida.-** Ph.D. Francisco Javier Escobedo Montoya  
**United States Department of Agriculture, Forest Service.-** Dr. Mark E. Fenn, Dr. Carlos Rodriguez Franco

### Italia

**International Plant Genetic Resources Institute.-** Dra. Laura K. Snook

### México

**Asociación Mexicana de Arboricultura.-** Dr. Daniel Rivas Torres  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.-** Dr. José F. Conrado Parraguirre Lezama  
**Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.** Dra. Luz María del Carmen Calvo Iribién  
Ph.D. José Luis Hernández Stefanoni  
**Centro de Investigación y Docencia Económicas.-** Dr. Alejandro José López-Feldman  
**CENTROGEO / CONACYT.-** Dra. Alejandra López Caloca  
**Colegio de la Frontera Sur.-** Dr. Bernardus H. J. de Jong, Dr. Mario González Espinosa, Ph.D. Jorge E. Macías Sámano,  
Dr. Neptalí Ramírez Marcial, Dr. Cristian Tovilla Hernández, Dr. Henricus Franciscus M. Vester  
**Colegio de Postgraduados.-** Dr. Arnulfo Aldrete, Dr. Dionicio Alvarado Rosales, Dr. Víctor M. Cetina Alcalá,  
Dra. Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer, Dr. Héctor M. de los Santos Posadas, Dr. Armando Equihua Martínez,  
Dr. Ronald Ferrara-Cerrato, Dr. Edmundo García Moya, Dr. Manuel de Jesús González Guillén, Dr. Jesús Jasso Mata,  
Dr. Lauro López Mata, Dr. Javier López Upton, Dr. Martín Alfonso Mendoza Briseño, Dr. Antonio Trinidad Santos,  
Dr. Juan Ignacio Valdés Hernández, Dr. José René Valdez Lazalde, Dr. J. Jesús Vargas Hernández,  
Dra. Heike Dora M. Vibrans Lindemann  
**El Colegio de México.-** Dra. María Perevochtchikova

**El Colegio de Tlaxcala, A.C.-** M.C. Noé Santacruz García

**Instituto de Ecología, A. C.-** Dr. Pedro Guillermo Ángeles Álvarez, Dr. Ismael Raúl López Moreno

**Instituto Politécnico Nacional.-** Dr. Alejandro Daniel Camacho Vera, Ph.D. José de Jesús Nívar Cháidez, M.C. D. Leonor Quiroz García, Ph.D. Sadoth Sandoval Torres

**PRONATURA.-** Dr. José A. Benjamín Ordoñez Díaz

**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.-** Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo, M.C. Salvador Valencia Manzo

**Universidad Autónoma Chapingo.-** M.C. Beatriz Cecilia Aguilar Valdez, M.C. Baldemar Arteaga Martínez, Dra. Emma Estrada Martínez, M.C. Mario Fuentes Salinas, M.C. Enrique Guízar Nolasco, Dra. María Isabel Palacios Rangel, Dr. Hugo Ramírez Maldonado, Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, Dr. Leonardo Sánchez Rojas, Dr. Enrique Serrano Gálvez, Dra. Ernestina Valadez Moctezuma

**Universidad Autónoma de Baja California Sur.-** Dr. José Antonio Martínez de la Torre

**Universidad Autónoma de Chihuahua.-** Ph.D. Concepción Luján Álvarez, Ph.D. Jesús Miguel Olivas García

**Universidad Autónoma de Guadalajara.-** Dr. Mauricio Alcocer Ruthling

**Universidad Autónoma de Nuevo León .-** Dr. Glafiro J. Alanís Flores, Dr. Enrique Jurado Ybarra, Dr. José Guadalupe Marmolejo Monsiváis, Dr. Eduardo Javier Treviño Garza

**Universidad Autónoma de Querétaro.-** Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

**Universidad Autónoma de San Luis Potosí.-** M.C. Carlos Arturo Aguirre Salado

**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.-** Dra. Ana Laura López Escamilla, Dr. Ángel Moreno Fuentes

**Universidad Autónoma del Estado de México.-** Dr. Darío Ibarra Zavala, Dr. Armando Burgos-Solorio

**Universidad Autónoma Indígena de México.-** Dra. Hilda Susana Azpiroz Rivero

**Universidad Autónoma Metropolitana.-** Dr. Héctor Castillo Juárez, Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera

**Universidad de Guadalajara.-** Dr. Luis Ramón Bravo García, Dr. Ezequiel Delgado Fourné, M.C. Francisco Javier Fuentes Talavera, M.C. María Guadalupe Lomelí Ramírez, M.C. Roberto Novelo González, Dr. Rubén Sanjuán Dueñas

**Universidad del Mar.-** M.C. Verónica Ortega Baranda

**Universidad Juárez del Estado de Durango.-**Dr. Javier Leonardo Bretado Velázquez, Dr. Hermes Alejandro Castellanos Bocaz, Dr. José Javier Corral Rivas, Ph.D. José Ciro Hernández Díaz, Dr. Marín Pompa García, Dr. José Ángel Prieto Ruíz

**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.-** Dr. José Cruz de León, M.C. Marco Antonio Herrera Ferreyra, Dr. Alejandro Martínez Palacios, Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones, Dr. David Zavala Zavala

**Universidad Nacional Autónoma de México.-** Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders, Dr. Humberto Bravo Álvarez, Dra. Eliane Ceccón, Dr. Joaquín Cifuentes Blanco, Dr. Abisaí Josué García Mendoza, Dr. Roberto Garibay Orijel, Dr. Julio Alberto Lemos Espinal, Dr. Daniel Piñero Dalmáu, Dr. Américo Saldívar Valdés, Dra. Teresa Terrazas Salgado, M. C. Verónica del Pilar Reyero Hernández, Dra. Ana Laura Wegier Briuolo

**Universidad Veracruzana.-** Dr. Lázaro Rafael Sánchez Velásquez

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.-** Dr. Miguel Acosta Mireles, Dr. Juan de Dios Benavides Solorio, Dr. Fernando Carrillo Anzures, Dr. Carlos Román Castillo Martínez, Dr. José Gilberto Chávez León, Dr. José Germán Flores Garnica, M.C. Antonio González Hernández, Dr. Vidal Guerra de la Cruz, Dr. José Amador Honorato Salazar, Dr. Fabián Islas Gutiérrez, Dr. Emiliano Loeza Kuk, M.C. José Francisco López Toledo, Dr. Martín Martínez Salvador, Dra. Aixchel Maya Martínez, Dr. José Isidro Melchor Marroquín, M.C. Carlos Mallén Rivera, Dr. Ramiro Pérez Miranda, Dr. Guillermo Sánchez Martínez, Dr. Erasto Domingo Sotelo Ruiz, Dr. Arturo Gerardo Valles Gándara, Dr. José Villanueva Díaz, M.C. Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez, Dr. Fernando Carrillo Anzures, Dr. Francisco Becerra Luna, M.C. Georgette Moctezuma López, M.C. Francisco Moreno Sánchez, M.C. Martín Enrique Romero Sánchez, Dr. Juan Carlos Tamarit Urias, M.C. Efraín Velasco Bautista

**Consultores Privados.-** Dr. Gustavo Cruz Bello, M.C. Juan Islas Gutiérrez, M.Sc. Rosalía A. Cuevas Rangel, Dra. Teresita del Niño Jesús Marín Hernández

El envío de artículos, ensayos y notas técnicas; así como, las instrucciones y fuente tipográfica para su presentación las puede consultar en la página [www.cienciasforestales.inifap.gob.mx](http://www.cienciasforestales.inifap.gob.mx)

Para su recepción se deberá cubrir una cuota de \$ 750.00 (Setecientos cincuenta pesos 00/100 M.N.) y para su publicación de \$ 350.00 (Trescientos cincuenta pesos 00/100 M.N.) por página completa publicada (traducción y gastos de edición).

El pago de suscripciones y publicación de artículos se realizará por medio de un depósito a nombre del INIFAP/CENID-COMEF, en la cuenta No. 0657617851, Clabe Interbancaria 072 180 00657617851 2, del Grupo Financiero BANORTE, Sucursal No. 2037. En el caso de suscripciones internacionales, la Clave SWIFT correspondiente es: MENOMXMT. Se deberá enviar copia del depósito por correo electrónico. Si el pago es con cheque, se requiere expedirlo a nombre del INIFAP/CENID-COMEF.

Precios de suscripción (incluye envío)			
Nacional:	\$	600.00	Institucional / Individual
Extranjero	\$	90.00 USD	Institucional / Individual

Toda correspondencia relacionada con la revista, favor de dirigirla a:

Editor en Jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales  
Av. Progreso No. 5  
Barrio de Santa Catarina  
delegación Coyoacán  
C.P. 04010 Ciudad de México, México.  
Correo-e: [cienciasforestales@inifap.gob.mx](mailto:cienciasforestales@inifap.gob.mx)  
Teléfono: (+52-55) 3626-8697  
Conmutador: (+52-55) 3626-8700 ext. 112

Producción: Marisela C. Zamora Martínez  
Cuidado de la Edición: Marisela C. Zamora Martínez  
Diseño y formación: Silvia Onodera Hamano  
Asistencia técnica: Miguel Ángel Cruz Reyes  
Asistencia editorial: Laura Gabriela Herrerías Mier  
Asistencia administrativa: Rosalía Cano Santamaría  
Impresión, encuadernación y terminado:  
Graphx, S.A. de C.V.

El

Volumen 7,  
Número 35 de la  
*Revista Mexicana de Ciencias  
Forestales*, es una versión íntegra y  
fiel de la impresa en mayo de 2016  
por: Graphx, S.A. de C.V. Tacuba  
40 - 205, Col. Centro C.P. 06010,  
Deleg. Cuauhtémoc,  
México, D.F.



## Vol. 7 Núm. 35 2016

Factores de proporción y ecuaciones de diámetro normal a partir del tocón para *Pinus greggii* Engelm.  
Ratio factors and normal diameter equations from the stump diameter of *Pinus greggii* Engelm.

Precisión de los coeficientes y cocientes de forma en la estimación del volumen de *Pinus montezumae* Lamb.  
Accuracy of form coefficients and quotients in estimating the volume of *Pinus montezumae* Lamb.

Recursos forestales no maderables en dos comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca  
Non-timber forest resources in two Zapotec communities of the *Sierra Juárez* of *Oaxaca State*

Importancia ecológica de los gatuños (*Mimosa* spp.) en el Parque Nacional Sierra de Órganos  
Ecological relevance of catclaw (*Mimosa* spp.) at the *Sierra de Órganos* National Park

Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo  
State of the essential chemical elements in the soils of natural, agroforestry and monoculture systems

Insectos barrenadores del xilema en especies forestales comerciales en Costa Rica  
Xylem insect borers in commercial forest species in Costa Rica

Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango  
Modeling of biomass and aboveground arboreal carbon in forests of the state of *Durango*