

Forest biometric models in Hidalgo, Mexico: state of the art

Modelos biométricos forestales en Hidalgo, México: estado del arte

Nehemías Vásquez-Bautista¹; Francisco J. Zamudio-Sánchez^{1*};
Arturo A. Alvarado-Segura^{1, 2}; José L. Romo-Lozano¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

fzamudios@taurus.chapingo.mx Tel.: (+52) 595 954 70 78 (*Corresponding author).

²Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán. C. P. 97880. Oxkutzcab, Yucatán, México.

Abstract

Historically, logging has been the main reason for encouraging forest research. Since 2000, searching information about carbon capture and content has increased through the use of biometric models and remote sensing technology. The aim of this paper was to compile, systematize, and analyze scientific and technological reports related to biometric models that have been used in forest management in a region of central Mexico (Hidalgo). A total of 32 research studies were published from 1976 to 2015 reporting 289 models. These researches emphasize the use of growth, volume, biomass, carbon, site index, density, and mortality models. The growth models have been the most studied models while biomass and carbon models have consistently increased since 2007. *Pinus* has been the most studied genus, but research on *Quercus* was practically not found. Five species do not have fitted models, despite their economic importance: *Pinus leiophylla*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *Cupressus lindleyi*, and *Arbutus xalapensis*. The reliability of all published models is based in statistical criteria, but it has not been reported if they have satisfied final user's demand.

Keywords: Volume, logging, biomass, carbon.

Resumen

Históricamente, el aprovechamiento de los bosques ha sido la principal razón que ha motivado la investigación forestal. La búsqueda de información sobre la captura y contenido de carbono, mediante modelos biométricos y tecnología de sensores remotos, se ha incrementado desde el año 2000. El objetivo de este trabajo fue recopilar, sistematizar y analizar los documentos de difusión científica y tecnológica relacionados con los modelos biométricos usados para el manejo forestal en una región del centro de México (Hidalgo). Se encontraron 32 trabajos de investigación generados de 1976 a 2015 que reportan 289 modelos, entre los que resalta el uso de modelos de crecimiento, volumen, biomasa, carbono, índice de sitio, densidad y mortalidad. Los modelos de crecimiento han sido los más estudiados, mientras que los de biomasa y carbono se han incrementado consistentemente desde 2007. El género *Pinus* ha sido el más estudiado, en cambio *Quercus*, prácticamente, no figura en los trabajos. Pese a su importancia económica, cinco especies forestales no cuentan con modelos ajustados: *Pinus leiophylla*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *Cupressus lindleyi* y *Arbutus xalapensis*. Los modelos reportados basan su confiabilidad en criterios estadísticos, pero no se reporta si han logrado satisfacer la demanda de los usuarios finales.

Palabras clave: Volumen, aprovechamiento forestal, biomasa, carbono.

Introduction

Forest Biometrics refers to the use of statistical and mathematical modeling in the evaluation and analysis of forest resources (Gregoire & Köhl, 2001; Salas & Real 2013). Growth and site index models and those used for estimation of volume, biomass and carbon content are part of forest biometrics. The information generated from biometric models is of great importance in forest management; however, its application is based on quantitative and qualitative verifications and validations of the model behavior, which characterizes its complexity (Salas & Real, 2013).

The first biometric model was proposed by Cotta in 1804 (Spurr, 1952). Since then, models have emerged for the various existing weather conditions, slope, exposure or soil types. These models have been adapted with the addition of new parameters to describe and explain the factors influencing the biological behavior of trees, which has allowed us to develop and validate models per species, for regional and local uses (Corral, Barrio, Aguirre, & Diéguez, 2007; Shao & Reynolds, 2006).

The state of the art in biometric models can measure the impact they have had and the distribution of its use; also describes how the issue has been addressed, the degree of advancement of knowledge and their tendencies (Londoño, Maldonado, & Calderón, 2014). On forest biometric models, several authors agree on the widespread use of growth models, the tendency to the integration of simulators from already created models and the growing interest in models of biomass and carbon content by fitting allometric equations (Cheng, Gamarra, & Birigazzi, 2014; Fernández, 2005; Hong-gang, Jian-guo, Ai-oguo, & Cai-yun, 2007; Porté & Bartelink, 2002; Vacchiano, Magnani & Collati, 2012). Others authors such as Landsberg (2003), Mäkelä et al. (2000) and Peng (2000) have presented the state of the art of forest modeling to a wider scale. These authors note that process-based models should be combined with static (volume, height-diameter) and dynamic (growth) models; identify the needs of users; and continue research on the behavior of processes of carbon, nutrients and its consumption.

In Mexico, forest growth modeling has been done since the 1970s (Garzón & Flores, 1977; Ramírez & Musalem, 1977). However, it is necessary to update, validate and calibrate existing biometric systems, otherwise considerable volumes of wood could be underestimated or overestimated and to schedule cutting intensities outside the range of forestry potential of a site (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2014). In the state of Hidalgo, the forest area (temperate forests, rainforest, arid areas and disturbed vegetation) covers approximately 51 % of the state territory (20,813 km²); the wooded area covers 403,685 ha, of which 57 %

Introducción

La biometría forestal se refiere al uso de la modelación estadística y matemática en la evaluación y análisis de los recursos forestales (Gregoire & Köhl, 2001; Salas & Real 2013). Los modelos de crecimiento y de índice de sitio, así como los usados para la estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono, forman parte de la biometría forestal. La información generada a partir de los modelos biométricos resulta de gran importancia en el manejo forestal; sin embargo, su aplicación se basa en verificaciones y validaciones cuantitativas y cualitativas del comportamiento del modelo, lo que caracteriza su complejidad (Salas & Real, 2013).

El primer modelo biométrico fue propuesto por Cotta en 1804 (Spurr, 1952). Desde entonces han surgido modelos para las diversas condiciones existentes de clima, pendiente, exposición o tipos de suelo. Estos modelos se han ido adaptando con la adición de nuevos parámetros para describir y explicar los factores que influyen el comportamiento biológico de los árboles, lo que ha permitido desarrollar y validar modelos por especie, para usos regionales y locales (Corral, Barrio, Aguirre, & Diéguez, 2007; Shao & Reynolds, 2006).

El estado del arte en los modelos biométricos permite dimensionar el impacto que han tenido y la distribución de su uso; también describe cómo se ha tratado el tema, el grado de avance de su conocimiento y cuáles son sus tendencias (Londoño, Maldonado, & Calderón, 2014). Sobre los modelos biométricos forestales, diversos autores coinciden en el uso amplio de los modelos de crecimiento, la tendencia a la integración de simuladores a partir de modelos ya creados y el creciente interés hacia los modelos de biomasa y contenido de carbono, mediante el ajuste de ecuaciones alométricas (Cheng, Gamarra, & Birigazzi, 2014; Fernández, 2005; Hong-gang, Jian-guo, Ai-oguo, & Cai-yun, 2007; Porté & Bartelink, 2002; Vacchiano, Magnani & Collati, 2012). Otros autores como Landsberg (2003), Mäkelä et al. (2000) y Peng (2000) han presentado el estado del arte de la modelación forestal a una escala más amplia. Estos autores resaltan que se deben combinar los modelos basados en procesos con los modelos estáticos (volumen, altura-diámetro) y dinámicos (crecimiento); identificar las necesidades de los usuarios; y continuar la investigación sobre el comportamiento de los procesos de carbono, nutrientes y su consumo.

En México se tiene registro de modelos de estudios de crecimiento forestal desde la década de 1970 (Garzón & Flores, 1977; Ramírez & Musalem, 1977). No obstante, es necesario actualizar, validar y calibrar los sistemas biométricos existentes, pues de otro modo podrían subestimarse o sobrestimarse volúmenes considerables de madera y programar intensidades de corta fuera del rango del potencial forestal de un sitio (Comisión

are temperate forests and the remaining percentage corresponds to rainforests (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013, 2015). From this wooded area, on average, 123,592 m³ of roundwood is extracted (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010, 2011, 2012, 2013, 2014), which represents approximately 2 % national. The harvesting method used in Hidalgo has been the Silvicultural Development Method (Castelán-Lorenzo & Arteaga-Martínez, 2009), *Pinus* and *Quercus* are the most harvested in order of importance (SEMARNAT, 2014). The state has 36 protected natural areas covering 139,357 ha and account for nearly 7 % of the state territory, (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2015).

The aim of this study was to collect, organize, analyze and synthesize research papers, dissemination documents and publications related to biometric models used for forest management in Hidalgo, Mexico. With the above, it is intended to present the current state of forestry research and show the tendencies in the study area.

Materials and methods

The analysis focuses on biometric models developed in the state of Hidalgo, located between 21° 24' - 19° 36' N and 97° 58' - 99° 53' W. The state of Hidalgo borders the states of Mexico, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala and Veracruz (INEGI, 2013). The state of Hidalgo is listed as a state with low-timber production (SEMARNAT, 2013); *Pinus* and *Quercus* provide greater volume to the state timber production with 70 and 23 %, respectively. The logging percentage of the state for *Pinus* coincides with the national percentage (70 %), but in the case of *Quercus* is two times higher than the 10 % national (SEMARNAT, 2010, 2011, 2012, 2013). Figure 1 shows the main types of vegetation in the state of Hidalgo.

The state of the art was constructed by a review in thesis, journals, brochures and technical reports on aspects related to biometric systems for economically important forest species in Hidalgo. The search for information was made in libraries of academic and research institutions related to forestry, through site visits (Table 1). Also, digital libraries (Table 1) and scientific journals (Table 2) were consulted online.

The information was collected using the technique of "snowball", where documents through their literature suggested other documents with the same topic that have been developed in the study area. The information was classified into seven groups of models according to their use: volume and taper equations (static models); site index (productivity indicator); biomass, carbon and growth estimation (dynamic models); and density and mortality (description of the stand). The literature cited

Nacional Forestal [CONAFOR], 2014). En el estado de Hidalgo, la superficie forestal (bosques, selvas, zonas áridas y vegetación perturbada) cubre aproximadamente 51 % del territorio estatal (20,813 km²); el área arbolada cubre 403,685 ha, del cual 57 % corresponde a bosques y el porcentaje restante a selvas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013, 2015). De dicha superficie arbolada, en promedio, se extraen 123,592 m³ de madera en rollo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010, 2011, 2012, 2013, 2014), que representa aproximadamente 2 % nacional. El método de aprovechamiento utilizado en Hidalgo ha sido el Método de Desarrollo Silvícola (Castelán-Lorenzo & Arteaga-Martínez, 2009), siendo *Pinus* y *Quercus* los géneros más aprovechados en orden de importancia (SEMARNAT, 2014). El estado cuenta con 36 áreas naturales protegidas que cubren 139,357 ha y representan casi 7 % del territorio estatal (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2015).

El objetivo del presente trabajo fue recopilar, sistematizar, analizar y sintetizar los documentos de investigación, divulgación y publicaciones relacionadas con los modelos biométricos utilizados para el manejo forestal en Hidalgo, México. Con lo anterior se pretende dar a conocer el estado actual de la investigación forestal y mostrar sus tendencias en el área de estudio.

Materiales y métodos

El análisis se centra en los modelos biométricos desarrollados en el estado de Hidalgo, localizado entre 21° 24' - 19° 36' N y 97° 58' - 99° 53' O. La entidad colinda con los estados de México, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz (INEGI, 2013). Hidalgo es catalogado como un estado de baja producción (SEMARNAT, 2013); *Pinus* y *Quercus* son los géneros que mayor volumen maderable aportan a la producción forestal estatal con 70 y 23 %, respectivamente. El porcentaje de aprovechamiento estatal de *Pinus* coincide con el porcentaje nacional (70 %), pero el de *Quercus* es dos veces mayor que el 10 % nacional (SEMARNAT, 2010, 2011, 2012, 2013). La Figura 1 muestra los principales tipos de vegetación en el estado de Hidalgo.

El estado del arte se construyó mediante una revisión en tesis, revistas, folletos e informes técnicos, sobre los aspectos relacionados con los sistemas biométricos para las especies forestales económicamente importantes en Hidalgo. Para ello, la búsqueda de información se efectuó en bibliotecas de instituciones educativas y de investigación relacionadas con la actividad forestal, por medio de visitas presenciales (Cuadro 1). También se hicieron consultas en línea de las bibliotecas digitales (Cuadro 1) y revistas científicas (Cuadro 2).

La información se recopiló mediante la técnica de "bola de nieve" donde los trabajos, mediante su bibliografía,

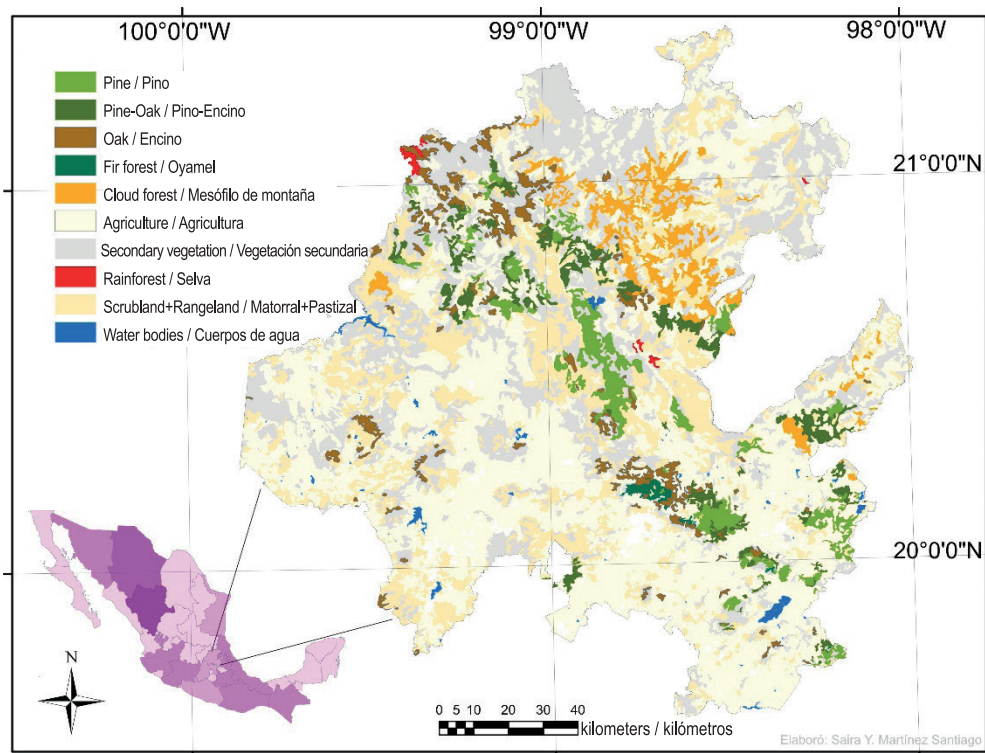


Figure 1. Type of vegetation in the state of Hidalgo, Mexico. Most models (92 %) were developed in uneven-aged forests of *Pinus*, *Quercus*, *Pinus-Quercus* and *Abies*, which together represent 10 % of the state territory. The remaining models (8 %) were developed in rainforest, scrubland and mountain cloud forest occupying 9 % of the territory. Agricultural land and secondary vegetation cover 43 % and 23 %, respectively (INEGI, 2015).

Figura 1. Tipos de vegetación en el estado de Hidalgo, México. La mayoría de los modelos (92 %) se desarrollaron en bosques incoetáneos de *Pinus*, *Quercus*, *Pinus-Quercus* y *Abies* que en conjunto representan 10 % del territorio estatal. Los modelos restantes (8 %) se desarrollaron en selva, matorral y bosque mesófilo de montaña que ocupan 9 % del territorio. La superficie agrícola y la vegetación secundaria abarcan 43 % y 23 %, respectivamente (INEGI, 2015).

Table 1. Institutional libraries consulted as a source of information for analyzing the development of forest biometric models in Hidalgo, Mexico.

Cuadro 1. Bibliotecas institucionales consultadas como fuente de información para el análisis del desarrollo de modelos biométricos forestales en Hidalgo, México.

Institution / Institución	State / Entidad	Type of query / Tipo de consulta
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	Ciudad de México	Site visit / Online Presencial / En línea
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	Ciudad de México	Site visit / Presencial
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	Estado de México	Site visit / Online Presencial / En línea
Universidad Autónoma Chapingo (UACH)	Estado de México	Site visit / Online Presencial / En línea
Colegio de Postgraduados (ColPos)	Estado de México	Site visit / Online Presencial / En línea
Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo	Estado de México	Site visit / Presencial

Table 2. Scientific journals consulted as a source of information for analyzing the development of forest biometric models in Hidalgo, Mexico.**Cuadro 2. Revistas científicas consultadas como fuente de información para el análisis del desarrollo de modelos biométricos forestales en Hidalgo, México.**

Journal/Revista	Institution concerned/ Institución responsable	Type of query/ Tipo de consulta
Revista Bosque	Universidad Austral de Chile	Online/En línea
Interciencia	Asociación Interciencia, Venezuela	Online/En línea
UNASYLVA	FAO	Online/En línea
Revista Mexicana de Ciencias Forestales	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias	Site visit/Online Presencial/En línea
Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente	Universidad Autónoma Chapingo	Site visit/Online Presencial/En línea
Botanical Sciences	Sociedad Botánica de México	Online/En línea
Madera y Bosques	Instituto de Ecología	Online/En línea
Revista Fitotecnia Mexicana	Sociedad Mexicana de Fitogenética	Online/En línea
Terra Latinoamericana	Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo	Online/En línea
Agrociencia	Colegio de Postgraduados	Site visit/Online Presencial/En línea

in each of the collected documents was also collected to know the sources of information that support them. References were grouped according to the type of source (articles, reports, books and theses) and language of publication.

Results and discussion

Institutions, information sources and species studied

Institutions and information sources. A total of 32 research documents (Appendix 1) were found in two of the five Forest Management Units (UMAFOR) in the state of Hidalgo: 52 % at the UMAFOR 1302 Zacualtipán-Molango (Table 3) and 43 % at the UMAFOR 1303 Pachuca-Tulancingo (Table 4). The forest inventory (Secretaría de Agricultura y Ganadería [SAG], 1976) is the only study carried out at state level (Table 5). Most research papers, 27 in total, were published in the last eight years (2007-2015). In 2013, the year with the highest number of publications, seven researches were found.

The institutions that have generated the greatest number of theses (bachelor, master and PhD) are the Colegio de Postgraduados (ColPos) and the Universidad Autónoma Chapingo (UACH) with six and four theses, respectively. The Universidad Nacional Autónoma

sugirieron otros trabajos del mismo tema que han sido elaborados en el área de estudio. La información se clasificó en siete grupos de modelos de acuerdo con su uso: ecuaciones de volumen y ahusamiento (modelos estáticos); índice de sitio (indicador de productividad); biomasa, estimación de carbono y crecimiento (modelos dinámicos); y densidad y mortalidad (descripción del rodal). La literatura citada de cada uno de los trabajos también se recopiló para conocer las fuentes de información que los sustentan. Las referencias se agruparon de acuerdo con el tipo de fuente (artículos, informes, libros y tesis) e idioma de publicación.

Resultados y discusión

Instituciones, fuentes de información y especies estudiadas

Instituciones y fuentes de información. Se encontraron 32 trabajos de investigación (Anexo 1) realizados en dos de las cinco Unidades de Manejo Forestal (UMAFOR) del estado de Hidalgo: 52 % en la UMAFOR 1302 Zacualtipán-Molango (Cuadro 3) y 43 % en la UMAFOR 1303 Pachuca-Tulancingo (Cuadro 4). El inventario forestal (Secretaría de Agricultura y Ganadería [SAG], 1976) es el único trabajo realizado a escala estatal (Cuadro 5). La mayor cantidad de trabajos de investigación, 27 en total, se publicaron en los últimos ocho años (2007 a 2015). En

de México (UNAM) contributed with two theses. The Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) and the Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro (UAAAN) had. The fact that the ColPos and the UACH have generated greater quantity of theses, it is due to the age of their academic programs, because the UACH started the bachelor's programs in 1933 and the master's program in 1986, while the ColPos created the forestry postgraduate program in 1976 (Caballero, 2004).

All articles analyzed were published in Mexican journals. The brochures have been created by government institutions (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP] and State of Hidalgo Government), aimed at forest service providers. Technical reports, in turn, have been created by firms backed by a renowned researcher and under CONAFOR funding. This scenario shows that the information is only generated and disseminated locally, in Spanish language and to a reduced scientific community sector. Thus, it is important to promote institutional strategies so that future documents will be published in journals, because journals have greater spread spectrum. The results of the research should be aimed at finding general principles that rule and describe the processes occurring in forest areas.

Species studied. The most studied species belong to the *Pinus* genus, whose importance based on the number of studies that used it as an object of study are: *P. patula* Schltdl. & Cham. (17), *P. teocote* Schltdl. & Cham. (7), *P. greggii* Engelm. ex Parl. (5), *P. montezumae* Lamb. (5), *P. cembroides* Gordon (1), *P. ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltdl. (1), *P. pseudostrobus* Lindl. (1) and *P. rudis* Endl. (1). Other species such as *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (3), *Alnus* sp. (4), *Clethra* sp. (3), *Quercus* sp. (3), *Cedrela odorata* L. (1), *Inga spuria* Humb. & Bonpl. ex Willd. (1), *Cupania dentata* Moc. et Sessé ex D.C. (1), *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (1), *Juniperus flaccida* Schltdl. (1), *Platanus* sp. (1), *Liquidambar styraciflua* L. (1), *Psidium guajava* L. (1) and *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch. (1) are less frequent (Tables 3, 4 and 5). The species *P. patula*, besides being the most studied, it is reported since 1976.

Current state of biometric models in the study area

Distribution of models per species. Figure 2 outlines the importance of the species studied and types of biometric models developed in the state of Hidalgo. A total of 289 models were found, which are distributed among the genera *Pinus*, *Abies*, *Quercus* and other broadleaf trees. *Pinus* concentrated 86 % of the fitted equations (249) distributed in the following species: 148 in *P. patula*, 58 in *P. montezumae*, 23 in *P. teocote*, 13 in *P. greggii*, four in *P. rudis* and one in *P. cembroides*.

2013, el año con mayor número de publicaciones, se encontraron siete investigaciones.

Las instituciones que han generado el mayor número de tesis (licenciatura, maestría y doctorado) son el Colegio de Postgraduados (ColPos) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), con seis y cuatro, respectivamente. En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se elaboraron dos tesis; en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro (UAAAN) se elaboró una tesis, respectivamente. El hecho de que el ColPos y la UACH hayan generado mayor cantidad de tesis, se debe en gran parte a la antigüedad de los programas académicos, pues la UACH inició con la licenciatura en 1933 y con su programa de maestría en 1986, mientras que el ColPos creó el programa de Posgrado Forestal en 1976 (Caballero, 2004).

Todos los artículos analizados se publicaron en revistas mexicanas. Los folletos han sido generados por instituciones gubernamentales (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP] y Gobierno del Estado), dirigidos a los prestadores de servicios forestales. Los informes técnicos, a su vez, han sido elaborados por despachos con el respaldo de algún investigador de trayectoria reconocida y bajo el financiamiento de la CONAFOR. Este escenario refleja que la información solo se genera y se difunde de manera local, en idioma español y hacia un sector reducido de la comunidad científica; por lo que es importante promover estrategias institucionales para que los trabajos futuros sean publicados en revistas, ya que tienen mayor espectro de difusión. Los resultados de la investigación deben encaminarse a la búsqueda de principios generales que rijan y describan los procesos que ocurren en las áreas forestales.

Especies estudiadas. Las especies más estudiadas son del género *Pinus*, cuya importancia con respecto al número de trabajos que la usaron como objeto de estudio son: *P. patula* Schltdl. & Cham. (17), *P. teocote* Schltdl. & Cham. (7), *P. greggii* Engelm. ex Parl. (5), *P. montezumae* Lamb. (5), *P. cembroides* Gordon (1), *P. ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltdl. (1), *P. pseudostrobus* Lindl. (1) y *P. rudis* Endl. (1). Otras especies como *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (3), *Alnus* sp. (4), *Clethra* sp. (3), *Quercus* sp. (3), *Cedrela odorata* L. (1), *Inga spuria* Humb. & Bonpl. ex Willd. (1), *Cupania dentata* Moc. et Sessé ex D.C. (1), *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (1), *Juniperus flaccida* Schltdl. (1), *Platanus* sp. (1), *Liquidambar styraciflua* L. (1), *Psidium guajava* L. (1) y *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch. (1) son menos frecuentes (Cuadros 3, 4 y 5). La especie *P. patula*, además de ser la más estudiada, se reporta desde 1976.

Table 3. Research documents in the area of forest management generated in the UMAFOR 1302 Zacualtipán-Molango, Hidalgo, Mexico.**Cuadro 3. Trabajos de investigación en el área de manejo forestal generados en la UMAFOR 1302 Zacualtipán-Molango, Hidalgo, México.**

Authors* / Autores*	Area of influence / Área de influencia	Equations / Ecuaciones	Type of model / Tipo de modelo	Number of samples / Número de muestras	Species studied / Especies estudiadas	Type of publication / Tipo de publicación
Brosovich (1998)	Zacualtipán de Ángeles	10	Density, site index and volume / Densidad, índice de sitio y volumen	52 (D)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Tenorio (2003)	Estatad	2	Volume / Volumen	101 (D)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Carrillo, Acosta, y Tenorio (2004)	Estatad	1	Volume / Volumen	101 (D)	<i>Pinus patula</i>	Brochure / Folleto
Cruz (2007)	Zacualtipán de Ángeles	13	Biomass, volume / Biomasa, volumen	62 (D)	<i>Pinus patula</i> , <i>Pinus teocote</i> y latifoliadas	Thesis / Tesis
Aguirre et al. (2008)	Zacualtipán de Ángeles	1	Cabon / Carbono	75 (ND)**	<i>Pinus patula</i>	Article / Artículo
Santiago (2009)	Zacualtipán de Ángeles	23	Growth, density, site index, mortality and volume / Crecimiento, densidad, índice de sitio, mortalidad y volumen	84 (ND)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Cruz, Valdez, Ángeles, y De los Santos (2010)	Zacualtipán de Ángeles	4	Volume / Volumen	114 (ND)**	<i>Pinus patula</i> and <i>Pinus teocote</i>	Article / Artículo
Figueroa (2010)	Zacualtipán de Ángeles	9	Biomass / Biomasa	18 (D)	<i>Alnus</i> spp., <i>Clethra</i> sp., <i>Pinus patula</i> and <i>Quercus</i> spp.	Thesis / Tesis
Olvera (2010)	Barranca de Metztitlán	4	Volume / Volumen	87 (D)	<i>Pinus greggii</i>	Thesis / Tesis
Acosta, Carrillo, y Gómez (2011)	Zacualtipán de Ángeles	4	Biomasa y carbono	40 (D)	<i>Alnus acuminata</i> and <i>Clethra mexicana</i>	Article / Artículo
Vásquez (2011)	Zacualtipán de Ángeles	5	Carbon / Carbono	18 (D)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Hernández (2012)	Zacualtipán de Ángeles	12	Volume / Volumen	78 (D)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Muñoz et al. (2012)	Barranca de Metztitlán	4	Volume / Volumen	87 (D)	<i>Pinus greggii</i>	Article / Artículo
Santiago (2013)	Zacualtipán de Ángeles	1	Volume / Volumen	42 (ND)**	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Soriano, Ángeles, Martínez, Plascencia, y Razo (2013)	Zacualtipán de Ángeles	3	Biomass / Biomasa	25 (D)	Latifoliadas and <i>Pinus patula</i>	Chapter / Capítulo
González (2014)	UMAFOR 1302 Zacualtipán - Molango	16	Site index and Volume / Índice de sitio y volumen	159 (D)	<i>Pinus patula</i> and <i>Pinus teocote</i>	Report / Informe
Soriano (2014)	Zacualtipán de Ángeles	12	Biomass and volume / Biomasa y volumen	71 (D)	<i>Pinus patula</i> , <i>Liquidambar macrophylla</i> , <i>Quercus</i> spp., <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Clethra mexicana</i> , <i>Prunus serotina</i> , <i>Carpinus caroliniana</i> and <i>Virburum ciliatum</i>	Thesis / Tesis

D: Destructive; ND: Non destructive. *Full references in Appendix 1. **Sampling site.

D: Destructivo; ND: No destructivo. *Referencias completas en Anexo 1. **Sitios de muestreo.

Table 4. Research documents in the area of forest management generated in the UMAFOR 1303 Pachuca-Tulancingo, Hidalgo, Mexico.**Cuadro 4. Trabajos de investigación en el área de manejo forestal generados en la UMAFOR 1303 Pachuca-Tulancingo, Hidalgo, México.**

Authors* / Autores*	Area of influence / Área de influencia	Equations / Ecuaciones	Type of model / Tipo de modelo	Number of samples / Número de muestras	Species studied / Especies estudiadas	Type of publication / Tipo de publicación
Rodríguez (2000)	Acaxochitlán	8	Growth / Crecimiento	12 (D)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Pacheco et al. (2007)	Cuaunepantla y Acaxochitlán	2	Biomass and Carbon / Biomasa y carbono	20 (D)	<i>Pinus greggii</i>	Article / Artículo
Acosta and Carrillo (2008)	UMAFOR 1303, Pachuca-Tulancingo	2	Volume / Volumen	43 (D)	<i>Pinus montezumae</i>	Brochure / Folleto
Rodríguez (2009)	Singuilucan, Zempoala, Tepeapulco y Cuauhtepic de Hinojosa	2	Density / Densidad	122 (ND)	<i>Pinus montezumae</i>	Brochure / Folleto
Hernández (2012)	Sureste de Hidalgo, Singuilucan	1	Growth / Crecimiento	36 (D)	<i>Pinus montezumae</i>	Thesis / Tesis
Velarde (2012)	UMAFOR 1303 Pachuca-Tulancingo	106	Growth and Volume / Crecimiento y Volumen	185 (D)	<i>Pinus montezumae</i> y <i>Pinus patula</i>	Report / Informe
González (2013)	Mineral del Monte	2	Biomass and Volume / Biomasa y Volumen	4 (D)	<i>Pinus patula</i>	Thesis / Tesis
Hernández et al. (2013)	UMAFOR 1303, Pachuca-Tulancingo	2	Density / Densidad	131 (ND)	<i>Pinus teocote</i>	Article / Artículo
Razo, Gordillo, Rodríguez, Maycotte, y Acevedo (2013)	Parque Nacional El Chico	2	Biomass and Carbon / Biomasa y Carbono	5 (ND)	<i>Abies religiosa</i>	Article / Artículo
Rodríguez and Calva (2013)	Parque Nacional El Chico	2	Biomass and Carbon / Biomasa y Carbono	250 (ND)	<i>Abies religiosa</i>	Chapter / Capítulo
Rodríguez (2013)	Sierra de Pachuca	12	Biomass Carbon and Growth / Biomasa, carbono y crecimiento	250 (ND)	<i>Abies religiosa</i>	Thesis / Tesis
Hernández et al. (2014)	Metztitlán	3	Site index / Índice de sitio	25 (D)	<i>Pinus greggii</i>	Article / Artículo
Velarde (2014)	UMAFOR 1303 Pachuca-Tulancingo	8	Site index and Volume / Índice de sitio y volumen	120 (D)	<i>Pinus rudis</i> y <i>P. teocote</i>	Report / Informe
Hernández et al. (2015)	Acaxochitlán, Cuauhtepic de Hinojosa, Singuilucan y Tulancingo de Bravo	1	Site index / Índice de sitio	345 (ND)	<i>Pinus teocote</i>	Article / Artículo

D: Destructive; ND: Non destructive. *Full references in Appendix 1.

D: Destructivo; ND: No destructivo. *Referencias completas en Anexo 1.

Table 5. Research for forest management at state level generated in Hidalgo, Mexico.

Cuadro 5. Investigación para el manejo forestal generado a escala estatal en Hidalgo, México.

Author* / Autor*	Area of influence / Área de influencia	Equations / Ecuaciones	Type of model / Tipo de modelo	Number of samples / Número de muestras	Species studied / Especies estudiadas	Type of publication / Tipo de publicación
Secretaría de agricultura y Ganadería (SAG, 1976)	State level / Estatal	12	Volume / Volumen	899 (D)	<i>Alnus</i> sp., <i>Quercus</i> sp., <i>Cedrela odorata</i> , <i>Inga spuria</i> , <i>Cupania dentata</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Juniperus flaccida</i> , <i>Pinus cembroides</i> , <i>Pinus patula</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Pinus teocote</i> , <i>Pinus greggii</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Platanus</i> sp., <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Psidium guajava</i> and <i>Dendropanax arborea</i>	Brochure / Folleto

D: Destructive; *Full references in Appendix 1.

D: Destructivo; *Referencia completa en Anexo 1.

Meanwhile, *A. religiosa* concentrated 5 % (16) and *Quercus* only 1 % (3); the remaining 8 % of equations (22) distributed in 18 species.

The economic importance of some species from the genera *Pinus* and *Abies* in the study area coincides with the number of studies carried out. On the other hand, the genus *Quercus* has been little studied despite the exploited wood volume, perhaps because of the difficulty of their taxonomic identification, high morphological variability (Bárceñas, 2011) and the ability to form hybrids (Zúñiga, Sánchez-González, & Granados, 2009). Moreover, there are other species of *Pinus*, conifers and broadleaf trees that despite of being exploited, are not reported in research studies (*Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. michoacana* Martínez, *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl., *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. and *Arbutus xalapensis* Kunth), so it is suggested to extend the base of models for these forest species.

No models developed for the mixed pine-oak or oak-pine forests were reported, which together occupy 17 % of the state wooded area (INEGI, 2015; Figure 1). However, the forest inventory of the state of Hidalgo (SAG, 1976) contains volume equations for two pine species groups: for the group of *P. montezumae*, *P. patula* and *P. ayacahuite*, and for the group *P. teocote*, *P. greggii* and *P. pseudostrobus*. Since models were fitted for mixed forests, it is necessary to validate if they make good estimates for monospecific masses of the corresponding species. Models for pine-oak forest

Estado actual de los modelos biométricos en el área de estudio

Distribución de modelos por especie. La Figura 2 esquematiza la importancia de las especies estudiadas y los tipos de modelos biométricos desarrollados en el estado de Hidalgo. En total se encontraron 289 modelos distribuidos entre los géneros *Pinus*, *Abies*, *Quercus* y otras latifoliadas. El género *Pinus* concentró 86 % de las ecuaciones ajustadas (249) distribuidas en las siguientes especies: 148 en *P. patula*, 58 en *P. montezumae*, 23 en *P. teocote*, 13 en *P. greggii*, cuatro en *P. rudis* y una en *P. cembroides*. Por su parte, *A. religiosa* concentró 5 % (16) y el género *Quercus* solo 1 % (3); el 8 % restante de las ecuaciones (22) en 18 especies.

La importancia económica de algunas especies del género *Pinus* y *Abies* en el área de estudio coincide con el número de trabajos realizados. Por el contrario, el género *Quercus* ha sido poco estudiado pese al volumen maderable aprovechado, quizá debido a la dificultad que representa su identificación taxonómica, alta variabilidad morfológica (Bárceñas, 2011) y la capacidad de formar híbridos (Zúñiga, Sánchez-González, & Granados, 2009). Asimismo, existen otras especies de *Pinus*, coníferas y latifoliadas que a pesar de ser aprovechadas no se reportan en los trabajos de investigación (*Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. michoacana* Martínez, *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl., *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. y *Arbutus xalapensis* Kunth), por lo que se sugiere ampliar la base de modelos para estas especies forestales.

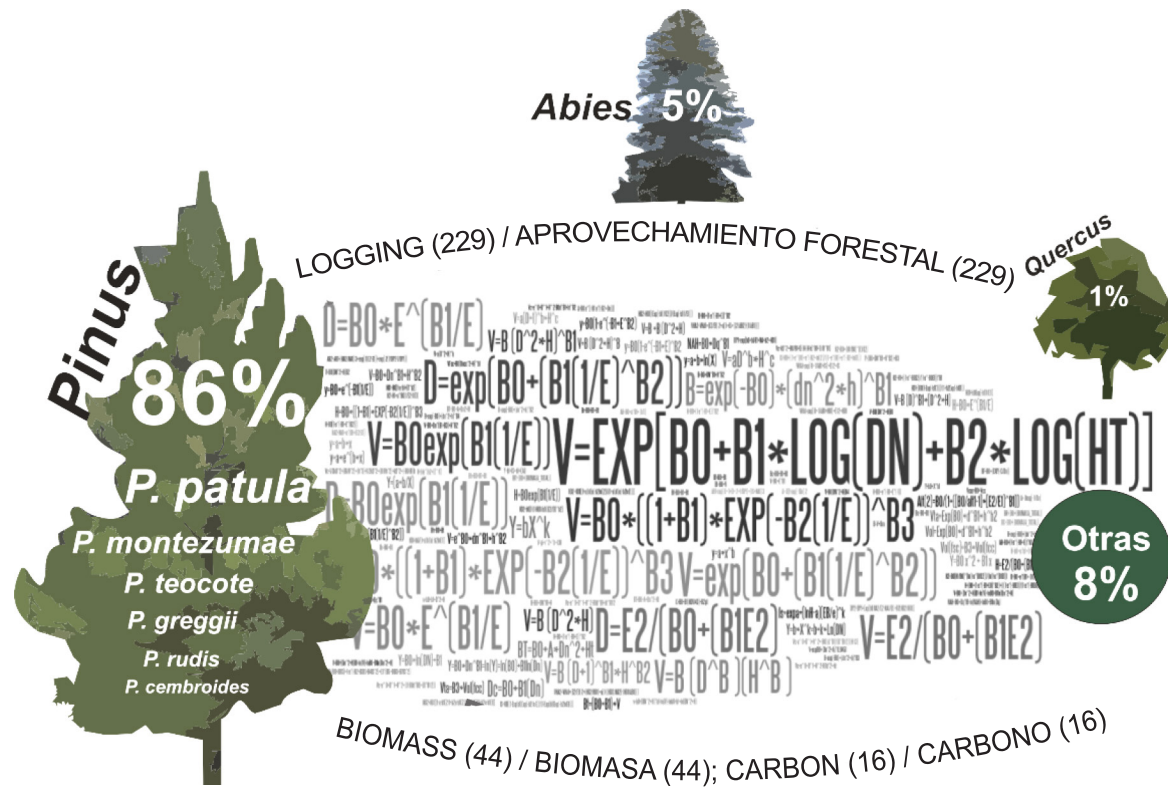


Figure 2. Importance of biometric models and forest species studied in the state of Hidalgo. The most important genera by the number of studies carried out are *Pinus*, *Abies* and *Quercus*. The rest of the studies (8 %) is distributed in 18 species. Most models are focused on logging (growth: 116, volume: 82, site index: 23, density: 7, mortality: 1) and a few others on models of biomass (44) and estimation of carbon content (16). The number of models reported in the research work is shown in the middle of the figure, volume and growth models are most relevant.

Figura 2. Importancia de los modelos biométricos y de las especies forestales estudiadas en el estado de Hidalgo. Los géneros más importantes por el número de trabajos realizados son *Pinus*, *Abies* y *Quercus*. El resto de los trabajos (8 %) se distribuye en 18 especies. La mayoría de los modelos están enfocados en el aprovechamiento forestal (crecimiento: 116, volumen: 82, índice de sitio: 23, densidad: 7, mortalidad: 1) y en menor número los modelos de biomasa (44) y estimación del contenido de carbono (16). En el centro de la figura se representa el número de modelos reportados en los trabajos de investigación, siendo los modelos de volumen y crecimiento los que tienen mayor relevancia.

start to develop for other Mexican forests, using the diameter growth dynamics (Návar, 2014).

With regard to increment and yield models, it is recommended to develop at individual tree level, diameter classes, groups of species or stand-level to meet different purposes as obtaining roundwood or logs used for cellulose or poles; individual tree models are important especially in processes of validation of models used in an area (Návar-Chaidez & Domínguez-Calleros, 2013).

Classification of models. Of all models, forest management studies are those that have received greater attention: 116 growth, 82 of volume, 23 of site index, seven of density and one of mortality models. Volume models were the most reported in research studies. The studies' approach shows two major groups,

No se encontraron modelos desarrollados para los bosques mixtos de pino-encino o encino-pino que en conjunto ocupan 17 % del área arbolada estatal (INEGI, 2015; Figura 1); sin embargo, el inventario forestal del estado de Hidalgo (SAG, 1976) contiene ecuaciones de volumen para dos grupos de especies de pino: para el grupo de *P. montezumae*, *P. patula* y *P. ayacahuite*, y para el grupo de *P. teocote*, *P. greggii* y *P. pseudostrobus*. Dado que los modelos fueron ajustados para masas forestales mixtas, es necesario validar si efectúan buenas estimaciones para masas monoespecíficas de las especies correspondientes. Los modelos para bosque de pino-encino comienzan a desarrollarse para otros bosques mexicanos, utilizando la dinámica de crecimiento del diámetro (Návar, 2014).

Con respecto a los modelos de incremento y rendimiento es recomendable que se desarrollen a nivel de árbol

on the one hand, the logging and on the other hand, the environmental services (estimation of biomass and carbon) (Figure 2). From 2007, models of biomass (44) and carbon estimation (16) have become more frequent; also from the same year, the genus *Pinus* was incorporated to the studies on environmental services in the study area. Under this approach, *A. religiosa* and broadleaved trees are the most frequent species.

Most models use mainly diameter at breast height (d) and total height (h) as input variables. The models have been fitted with data from established silvicultural sites, so the use of national forest inventory sites as permanent sample plots is proposed to understand the behavior of forests.

Most used models. Table 6 shows the forest biometric models used in the state of Hidalgo. The most commonly used model is the Schumacher's model for growth curves and site index (Schumacher, 1939) and that of Schumacher and Hall to estimate volume (Schumacher & Hall, 1933). Given the large number of models fitted so far, it is suggested to create growth simulators (Santiago-García, de los Santos-Posadas, Ángeles-Pérez, Valdéz-Lazalde, & Ramírez-Valverde, 2013), that bring together mathematical models in a program to predict and calculate different growth scenarios (Salas & Real, 2013; Santiago-García et al., 2013). It is appropriate to verify, validate and update existing models to assess whether they are valid and can spread to other areas with similar conditions.

On the other hand, it is highly recommended the use of models for sustainable management of forest communities of Hidalgo, especially those focused on forest protection. Some studies with this approach have been developed in Durango, the state with greater timber production in Mexico (SEMARNAT, 2013), where fire behavior and magnitude have been studied regarding the anthropogenic factor, the ecological role of forest fires, climatic and soil variables, socioeconomic conditions of the area, population density and access roads (Návar-Chaidez, 2011; Pérez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz, & Salmerón-Macías, 2013; Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003).

Validation and model selection. Different authors used criteria such as the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), coefficient of variation, number of parameters of the equation and number of variables to validate and select a model. The parsimony criterion has been included in recent studies (Akaike Information Criterion [AIC], Bayesian information criterion [BIC] and Schwarz selection criteria). Graphical adjustment and of the model were used as secondary selection criterion. No values of R^2 , RMSE, range in diameter and height range were

individual, clases diamétricas, grupos de especies o a nivel de rodal, para cumplir con diferentes finalidades como la obtención de madera en rollo o trocería para celulosa o postes; los modelos de árbol individual son importantes especialmente en procesos de validación de los modelos utilizados en un área (Návar-Chaidez & Domínguez-Calleros, 2013).

Clasificación de los modelos. Del total de modelos, los estudios de manejo forestal son los que han recibido mayor atención: 116 modelos de crecimiento, 82 de volumen, 23 de índice de sitio, siete de densidad y uno de mortalidad. Los modelos de volumen fueron los más reportados en los trabajos de investigación. El enfoque de los estudios muestra dos grupos principales, por un lado el aprovechamiento forestal y por otro los servicios ambientales (estimación de biomasa y carbono) (Figura 2). A partir de 2007, los modelos de biomasa (44) y estimación de carbono (16) se han vuelto más frecuentes; asimismo, a partir del mismo año se incorporó el género *Pinus* a los estudios sobre servicios ambientales en el área de estudio. Bajo este enfoque, *A. religiosa* y las latifoliadas son las especies más recurrentes.

La mayor cantidad de modelos emplean, principalmente, el diámetro normal (d) y la altura total (h) como variables de entrada. Los modelos han sido ajustados con datos provenientes de sitios establecidos con fines silvícolas, por lo que se propone el uso de los sitios del inventario nacional forestal como parcelas permanentes de medición, para conocer el comportamiento de las masas forestales.

Modelos más utilizados. El Cuadro 6 muestra los modelos biométricos forestales más utilizados en el estado de Hidalgo. El modelo usado con mayor frecuencia es el de Schumacher para curvas de crecimiento e índice de sitio (Schumacher, 1939) y el de Schumacher y Hall para estimación de volumen (Schumacher & Hall, 1933). Dada la gran cantidad de modelos ajustados hasta ahora, se sugiere la creación de simuladores de crecimiento (Santiago-García, de los Santos-Posadas, Ángeles-Pérez, Valdéz-Lazalde, & Ramírez-Valverde, 2013), que reúnan los modelos matemáticos en un programa que permita predecir y calcular diferentes escenarios de crecimiento (Salas & Real, 2013; Santiago-García et al., 2013). Es conveniente verificar, validar y actualizar los modelos existentes, para evaluar si siguen vigentes y pueden extenderse a otras áreas con condiciones similares.

Por otro lado, es altamente recomendable el uso de modelos para el manejo sustentable de las comunidades forestales de Hidalgo, especialmente aquéllos enfocados a la protección forestal. Algunas investigaciones con este enfoque se han desarrollado en Durango, el estado de

reported in many of the models fitted in the study area, information that would facilitate the subsequent verification and validation of the models.

Sample size. Sample sizes used in fitting models vary according to the purpose of the study. Logging modeling was carried out with larger destructive samples compared to the modeling of biomass and carbon content (Tables 3, 4 and 5).

Analysis of the documentary references

In the 32 studies reviewed (Appendix 1), a total of 1,547 cited references were found, which corresponded to 1,022 documents. This means that about 34 % of the references were cited in two or more articles.

Regarding the origin of documentary references, 19.2 % comes from the main forestry journals with an impact factor the JCR (Journal Citation Report): Forest Ecology and Management (7.4 %), Forest Science (3.8 %), Agrociencia (2.7 %), Canadian Journal of Forest Research (2.7 %) and Madera y Bosques (2.6 %). About 10.2 % of the references comes from UACH and ColPos (6.8 % and 3.4 %, respectively). Approximately 7.2 % of the sources comes from sourcebooks. Another 3.4 %

mayor producción maderable en México (SEMARNAT, 2013), donde se ha estudiado el comportamiento y magnitud de los incendios considerando el factor antropogénico, el papel ecológico de los incendios forestales, las variables climáticas y edafológicas, las condiciones socioeconómicas del lugar, la densidad de población y las vías de acceso (Návar-Chaidez, 2011; Pérez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz, & Salmerón-Macías, 2013; Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003).

Validación y selección del modelo. Los diferentes autores emplearon criterios como el coeficiente de determinación (R^2), raíz del cuadrado medio del error (RCME), coeficiente de variación, F calculada, número de parámetros de la ecuación, número de variables y desviación agregada para validar y seleccionar un modelo. El criterio de parsimonia se ha incluido en trabajos recientes (criterio de información de Akaike [AIC], criterio de información bayesiano [BIC] y criterio de selección de Schwarz). Como criterios de selección secundarios se han empleado el ajuste gráfico y la facilidad de aplicación del modelo. En muchos de los modelos ajustados en el área de estudio, no se reportaron los valores de R^2 , RCME, rango de diámetro y rango de altura, información que facilitaría la verificación y validación posterior de los modelos.

Table 6. Most used forest biometric models for estimating variables in the state of Hidalgo, Mexico.
Cuadro 6. Modelos biométricos forestales más utilizados para la estimación de variables en el estado de Hidalgo, México.

Type of model/ Tipo de modelo	Name/Nombre	Mathematical model/ Modelo matemático	Frecuency of use/ Frecuencia de uso
Biomass/Biomasa	Total biomass/Biomasa total	$B = \beta_0 + \beta_1 * d^2 + h$	10
	Combined variable model/Modelo de la variable combinada	$B = \exp(-\beta_0) * (d^2 * h)^{\beta_1}$	9
Carbon/Carbono	Allometric model/ Modelo alométrico	$C = \beta_0 * d^{\beta_1}$	6
Growth/ Crecimiento	Schumacher	$D = \exp[\beta_0 + (\beta_1 (1/A)^{\beta_2})]$	24
	Chapman-Richards modified/ Chapman-Richards modificado	$h = \beta_0 * [(1 + \beta_1) * \exp(-\beta_2 (1/A))]^{\beta_3}$	18
Density/Densidad	Reineke	$N = \beta_0 * Dc^{\beta_1}$	4
Site index/ Índice de Sitio	Schumacher	$SI = \beta_0 * e^{(-\beta_1 (1/A))}$	9
	Chapman-Richards	$SI = \beta_0 [1 - e^{(-\beta_1 * A)}]^{\beta_2}$	7
Mortality/ Mortalidad	Mortality/Mortalidad	$N_2 = N_1 * e^{(\beta_1 * (A^2 - A_1))}$	1
Volume/Volumen	Schumacher-Hall	$V = \beta_0 * d^{\beta_1} * h^{\beta_2}$	16
	Schumacher lineal	$V = \exp[\beta_0 + \beta_1 * \log(d) + \beta_2 * \log(h)]$	12

B: biomass, C: carbon, d: diameter at breast height, Dc: crown diameter, A: age, h: height, SI: site index, N: number of trees, V: volume; β_0 , β_1 , β_2 , β_3 : regression parameters.

B: biomasa, C: carbono, d: diámetro normal, Dc: diámetro de copa, E: edad, h: altura, IS: índice de sitio, N: número de árboles, V: volumen; β_0 , β_1 , β_2 , β_3 : parámetros de regresión.

came from conference proceedings or union meetings. The remaining information (60 %) derived from articles published in journals of lower impact, brochures, technical reports, theses in other institutions and unpublished documents. According to the language of publication, 56.7 % of the documents are in Spanish (580), 42.4 % in English (434 documents) and less than 1 % in German (5) and Portuguese (3).

The 10 most frequent citations reported within the 32 studies reviewed are: Clutter, Fortson, Pienaar, Brister, and Bailey (1983) in 13 articles; Romahn de la Vega, Ramírez, and Treviño (1994) in nine; Spurr (1952) and Figueroa (2010) in eight; Acosta Vargas, Velázquez, and Etchevers (2002), Aguirre et al. (2008), Caballero (1972), Díaz et al. (2007), Perry (1991) and Torres and Magaña (2001), in seven each. References come from a small number of institutions and authors that cited each other, so the link with academic groups at national and international level as well as networks of scientists related to the forestry area should be searched. The interaction between different disciplines related to the forestry sector favor the increase of information with inter and multidisciplinary approach, which is of vital importance in modern science (Borut, Levnajic, Povh, & Perc, 2014).

Conclusions

Biometric models in Hidalgo, Mexico, have been fitted mainly for the genus *Pinus*. It is proposed to expand the base of models for other economically important genera such as *Abies*, *Quercus*, *Arbutus* and *Cupressus*, and verify, validate and update existing models. Reported models based their reliability by the coefficient of determination (R^2) but more studies using selection criteria with biological, economic and management significance are needed. In the studies reviewed, it is not mentioned if the fitted models are valid or have managed to meet user demand. Studies are restricted to local use and have been carried out by a small group of authors. It is recommended that forestry research will focus on identifying general principles that describe the factors underlying processes inherent to the forest, and have importance for forest management. In practical terms, the focus must be that volume models reduce economic losses as a result of underestimation or overestimation. Finally, it is suggested to integrate a state or regional forestry information system.

End of English version

Tamaños de muestra. Los tamaños de muestra usados en el ajuste de los modelos varían de acuerdo con la finalidad del estudio. En general, la modelación del aprovechamiento forestal se hizo con tamaños de muestra más grandes y de tipo destructivo comparados con la modelación de biomasa y contenido de carbono (Cuadros 3, 4 y 5).

Análisis de las referencias documentales

En los 32 trabajos revisados (Anexo 1) se encontraron 1,547 referencias citadas que correspondieron a 1,022 documentos. Esto significa que cerca de 34 % de las referencias se citó en dos o más trabajos.

Con respecto al origen de las referencias documentales, 19.2 % proviene de las principales revistas forestales con factor de impacto JCR (Journal Citation Report): Forest Ecology and Management (7.4 %), Forest Science (3.8 %), Agrociencia (2.7 %), Canadian Journal of Forest Research (2.7 %) y Madera y Bosques (2.6 %). Cerca de 10.2 % de las referencias proviene del conjunto UACH y ColPos (6.8 % y 3.4 %, respectivamente). Aproximadamente, 7.2 % de las fuentes proviene de libros de consulta. Otro 3.4 % procedió de memorias de congresos o reuniones gremiales. La información restante (60 %) deriva de artículos publicados en revistas de menor impacto, folletos, informes técnicos, tesis en otras instituciones y de trabajos inéditos. De acuerdo con el idioma de publicación, 56.7 % de los documentos se encuentran en español (580), 42.4 % en inglés (434 documentos) y menos de 1 % en alemán (5) y portugués (3).

Las 10 citas más frecuentes que fueron reportadas dentro de los 32 trabajos revisados son: Clutter, Fortson, Pienaar, Brister, y Bailey (1983) en 13 trabajos; Romahn de la Vega, Ramírez, y Treviño (1994) en nueve; Spurr (1952) y Figueroa (2010) en ocho; Acosta, Vargas, Velázquez, y Etchevers (2002), Aguirre et al. (2008), Caballero (1972), Díaz et al. (2007), Perry (1991) y Torres y Magaña (2001), en siete trabajos cada uno. Las referencias provienen de un grupo reducido de instituciones y autores que se citaron mutuamente, por lo que debe buscarse la vinculación con grupos académicos a nivel nacional e internacional, así como con redes de científicos de área afines a las ciencias forestales. La interacción entre diferentes disciplinas relacionadas con el sector forestal favorecerá el aumento de información con enfoque inter y multidisciplinario, que es de vital importancia en la ciencia moderna (Borut, Levnajic, Povh, & Perc, 2014).

Conclusiones

Los modelos biométricos en Hidalgo, México, han sido ajustados principalmente para el género *Pinus*. Se propone ampliar la base de modelos para otros géneros económicamente importantes como *Abies*,

References / Referencias

- Acosta, M. M., Vargas, H. J., Velázquez, M. A., & Etchevers, B. J. D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 725–736. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236610>
- Aguirre, S. C. A., Valdéz, L. J. R., Ángeles, P. G., De los Santos, P. H. M., Haapanen, R., & Aguirre, S. A. L. (2008). Mapeo de carbono arbóreo en bosques manejados de *Pinus patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43(2), 209–220. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000200011&lng=es&tlng=es
- Bárceñas, P. G. M. (2011). *Evaluación tecnológica de la madera de los encinos de la sierra de Álvarez*, S. L. P. Tesis doctoral, Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Borut, L., Levnajic, Z., Povh, J., & Perc, M. (2014). Community structure and the evolution of interdisciplinarity in Slovenia's scientific collaboration network. *PLoS ONE*, 9(4), e94429. doi:10.1371/journal.pone.0094429
- Caballero, D. M. (1972). Tablas y tarifas de volúmenes. México: Secretaría de Agricultura y Ganadería-Dirección General del Inventario Nacional Forestal.
- Caballero, D. M. (2004). Aplicaciones del internet en la actividad forestal, con especial referencia a México. *Madera y Bosques*, 10(1), 69–88. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61710105>
- Castelán-Lorenzo, M., & Arteaga-Martínez, B. (2009). Establecimiento de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham., en cortas bajo el método árboles padres. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 49–57. Retrieved from http://www.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?id_articulo=506&id_revistas=3&id_revista_numero=39
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). Estrategia nacional de manejo forestal sustentable para el incremento a la producción y productividad. México: Autor. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/80220/Planeacio_n_ENAIPROS_2013-2018.pdf
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2015). Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo. Retrieved December 15, 2015 from <http://www.conacyt.mx/cibiogem/index.php/anpl/hidalgo>
- Corral, J. J., Barrio, A. M., Aguirre, C. O. A., & Diéguez, A. U. (2007). Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry*, 80(1), 29–40. doi: 10.1093/forestry/cpl048
- Cheng, Z., Gamarra, J. G. P., & Birigazzi, L. (2014). Inventory of allometric equations for estimation tree biomass—a database for China. Rome, Italy: UNREDD Programme. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/271906490_Inventory_of_allometric_equations_for_estimating_tree_biomass_A_database_for_China
- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. (1983). *Timber management: A quantitative approach*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Díaz, F. R., Acosta, M. M., Carrillo, A. F., Buendía, R. E., Flores, A. E., & Etchevers, B. J. D. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques*, 13(1), 25–34. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-32312011000200009&script=sci_arttext
- Fernández, Q. M. P. (2005). Estado del arte en modelación funcional-estructural de plantas. *Bosque*, 26(2), 71–79. doi: 10.4067/S0717-92002005000200009
- Figueroa, N. C. M. (2010). *Almacenamiento de carbono en bosques manejados de Pinus patula en el Ejido la Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/95>
- Garzón, R. G. J. C., & Flores, R. L. J. (1977). Tabla normal de producción para *Pinus hartwegii* Lind. en la estación experimental Zoquiapan, México. *Chapingo*, 3, 3–13.
- Gregoire, T. G., & Köhl, M. (2001). Editorial: Statistical ecology and forest biometry. *Environmental and Ecological Statistics*, 7, 213–216. doi: 10.1023/A:1009687231250
- Hong-gang, S., Jian-guo, Z., Ai-oguo, D., & Cai-yun, H. (2007). A review of stand basal area growth models. *Forestry Studies in China*, 9(1), 85–94. doi: 10.1007/s11632-007-0014-2
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*

Fin de la versión en español

2013. México: Autor. Retrieved August 20, 2015 from <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825054014>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Recursos naturales: uso del suelo y vegetales, serie V. Retrieved December 15, 2015 from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx>
- Landsberg, J. (2003). Modelling forest ecosystems: State of the art, challenges, and future directions. *Canadian Journal Forest Research*, 33, 385–397. doi: 10.1139/X02-129
- Londoño, P. O. L., Maldonado, G. L. F., & Calderón, V. L. C. (2014). *Guía para construir estados del arte*. Bogotá, Colombia: International Corporation of Network of Knowledge.
- Mäkelä, A., Landsberg, J., Ek, A. R., Burk, T. E., Ter-Mikaelian, M., Agren, G. I.,...Puttonen, P. (2000). Process-based models for forest ecosystem management: Current state of the art and challenges for practical implementation. *Tree Physiology*, 20, 289–298. doi: 10.1093/treephys/20.5-6.289
- Návar-Cháidez, J. J. (2011). Modelación del contenido de agua de los suelos y su relación con los incendios forestales en la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Madera y Bosques*, 17(3), 65–81. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61722838004>
- Návar, J. (2014). A stand-class growth and yield model for Mexico's northern temperate, mixed and multiaged forests. *Forests*, 5, 3048–3069. doi: 10.3390/f5123048
- Návar-Chaidez, J. J., & Domínguez-Calleros, P. A. (2013). Modelo de incremento y rendimiento: ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(18), 8–26. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433992002>
- Peng, C. H. (2000). Understanding the role of forest simulation models in sustainable forest management. *Environmental Impact Assessment Review*, 20, 481–501. doi: 10.1016/S0195-9255(99)00044-X
- Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A., & Salmerón-Macias, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 19(2), 37–58. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61728317005>
- Perry, J. P. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Portland, Oregon, USA: Timber Press.
- Porté, A., & Bartelink, H. H. (2002). Modelling mixed forest growth. A review of models for forest management. *Ecological Modelling*, 150, 141–188. doi: 10.1016/S0304-3800(01)00476-8
- Ramírez, M. H., & Musálem, S. M. A. (1977). Estudio dasométrico de una plantación forestal en Chapingo. *Chapingo*, 7(8), 3–13.
- Rodríguez-Trejo, D. A., & Fulé, P. Z. (2003). Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 23–37. doi: 10.1071/WF02040.
- Romahn de la Vega, C. F., Ramírez, M. H., & Treviño, J. L. (1994). *Dendrometría*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Salas, C., & Real, P. (2013). *Biometría de los bosques naturales de Chile: estado del arte*. In P. Donoso & A. Promis (Eds.), *Silvicultura en los bosques nativos: avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelanda* (pp. 109–151). Valdivia, Chile: Editorial Marisa Cuneo. Retrieved from <https://sites.google.com/site/alvaropromis/Home/libro-silvicultura-bosques-nativos>
- Santiago-García, W., de los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Valdéz-Lazalde, J. R., & Ramírez-Valverde, G. (2013). Sistema compatible de crecimiento y rendimiento para rodales coetáneos de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(2), 163–172. Retrieved from <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/36-2/8a.pdf>
- Schumacher, F. X., & Hall, F. S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, 47(9), 719–773. Retrieved from <http://naldc.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=IND43968352&content=PDF>
- Schumacher, F. X. (1939). A new growth curve and its applications to timber yield studies. *Journal of Forestry*, 37, 819–820.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). (1976). *Inventario forestal del estado de Hidalgo*. México: Autor.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). *Anuario estadístico de la producción forestal 2009*. México: Autor. Retrieved from http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2009.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2011). *Anuario estadístico de la producción forestal 2010*. México: Autor. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2010.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Anuario estadístico de la producción forestal 2011*. México: Autor. Retrieved from http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2011.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). *Anuario estadístico de la producción forestal 2012*. México: Autor. Retrieved from http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/forestal/anuarios/anuario_2012.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014). *Anuario estadístico de la producción forestal 2013*. México: Autor. Retrieved from http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/forestal/anuarios/anuario_2013.pdf
- Shao, G., & Reynolds, K. M. (2006). *Computer applications in sustainable forest management*. Dordrecht, The Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-4387-1
- Spurr, S. H. (1952). *Forest inventory*. New York, USA: Ronald Press.

- Torres, R. J. M., & Magaña, T. O. S. (2001). *Evaluación de plantaciones forestales*. México: Ed. Noriega-Limusa.
- Vacchiano, G., Magnani, F., & Collati, A. (2012). Modeling Italian forests: State of the art and future challenges. *iForest*, 5, 113–120. doi: 10.3832/ifor0614-005
- Zúñiga, E. A., Sánchez-González, A., & Granados, S. D. (2009). Análisis de la variación morfológica foliar en *Quercus laeta* Liebm. en el Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), 87–93. Retrieved from http://www.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?id_articulo=512&id_revistas=3&id_revista_numero=40
- Appendix 1. References of the 32 articles analyzed / Anexo 1. Referencias de los 32 trabajos analizados**
- Acosta, M. M., & Carrillo, A. F. (2008). Tabla de volumen total con y sin corteza para *Pinus montezumae* Lamb. en el estado de Hidalgo. Folleto técnico núm. 7. Hidalgo: INIFAP.
- Acosta, M. M., Carrillo, A. F., & Gómez, V. R. G. (2011). Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 529–543. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000400005&lng=es&tln_g=es
- Aguirre, S. C. A., Valdez, L. J. R., Ángeles, P. G., De los Santos, P. H. M., Haapanen, R., & Aguirre, S. A. L. (2008). Mapeo de carbono arbóreo en bosques manejados de *Pinus patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43(2), 209–220. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000200011&lng=es&tln_g=es
- Brosovich, G. M. M. (1998). Determinación del rendimiento para *Pinus patula* Sch. et Cham., en la región de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México.
- Carrillo, A. F., Acosta, M. M., Tenorio, G. G., & Becerra, L. F. (2004). Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. Folleto técnico núm. 2. Hidalgo: INIFAP.
- Cruz, L. I. A., Valdéz, L. J. R., Ángeles, P. G., & De los Santos, P. H. M. (2010). Modelación espacial del área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *Pinus teocote* en el Ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera y Bosques*, 16(3), 75–97. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000300006&lng=es&tln_g=es
- Cruz, M. Z. (2007). Sistema de ecuaciones para la estimación y partición de biomasa aérea en Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- Figuroa, N. C. M. (2010). Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en el Ejido la Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/95>
- González, A. J. (2014). Estudio de crecimiento para *Pinus patula* y *Pinus teocote* en la región forestal 1302 Zacualtipán-Molango. Informe técnico. Hidalgo, México: Silvicultores de la región de Zacualtipán Molango A.C.
- González, M. E. (2013). Manejo forestal y servicios ambientales en Mineral del Monte, estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal. Retrieved from <http://132.248.9.195/ptd2013/junio/0696380/0696380.pdf>
- Hernández, P. D. (2012). Modelos de volumen comercial variable para *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/682>
- Hernández, R. A. (2012). Determinación de turno e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb., en el sureste del estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Retrieved from <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1024/62165s.pdf?sequence=1>
- Hernández, R. J., García, M. J. J., García, C. X., Hernández, R. A., Muñoz, F. H. J., & Samperio, J. M. (2015). Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 24–36. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100003&lng=es&tln_g=es
- Hernández, R. J., García, M. J. J., Muñoz, F. H. J., Sáenz, R. T., Flores, L. C., & Hernández, R. A. (2013). Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(16), 63–76. Retrieved from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/view/3037/2512#>
- Hernández, R. J., García, M. J. J., Olvera, D. E. H., Velarde, R. J. C., García, C. X., & Muñoz, F. H. J. (2014). Índice de sitio para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2), 167–176. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.04.016
- Muñoz, F. H. J., Velarde, R. J. C., García, M. J. J., Sáenz, R. J. T., Olvera, D. E. H., & Hernández, R. J. (2012). Predicción de volúmenes de fuste total para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 11–22. Retrieved from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/view/2504/2101#>
- Olvera, D. E. H. (2010). Comparación de cuatro modelos matemáticos para la elaboración de tablas de volumen para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm en el municipio de Metztlán, Hidalgo. Tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.

- Retrieved from <http://www.remeri.org.mx/portal/REMERI.jsp?id=oai:bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:123456789/5174>
- Pacheco, E. F. C., Aldrete, A., Cómez, G. A., Fierros, G. A. M., Cetina, A. V. M., & Vaquera, H. H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 30(3), 251–254. Retrieved from <http://www.redalyc.org/exportarcita.oa?id=61003006>
- Razo, Z. R., Gordillo, M. A. J., Rodríguez, L. R., Maycotte, M. C. C., & Acevedo, S. O. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque nacional “El Chico”, Hidalgo, México. *Madera y Bosques*, 19(2), 73–86. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4502296>
- Rodríguez, L. R., Razo, Z. R., Díaz, H. D., & Meza, R. J. (2009). Guía de densidad para *Pinus montezumae* en su área de distribución natural en el estado de Hidalgo. Folleto. Hidalgo: Fundación Produce Hidalgo.
- Rodríguez, S. D. F. (2000). Evaluación dasométrica de una plantación forestal en la presa de El Tejocotal en el estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- Rodríguez, S. V. M., & Calva, V. G. (2013). Estimación del carbono contenido en el bosque de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. En F. Paz & J. Wong (Eds.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México* (pp. 7–13). México: Programa Mexicano del Carbono-Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco. Retrieved from http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/Sintesis_Nacional_2011.pdf
- Rodríguez, S. V. M. (2013). Estimación dasométrica de carbono almacenado en un bosque de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. del paraje El Cedral del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal. Retrieved from http://condor.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_rodriguez_sanchez_veronica.pdf
- Santiago, G. W. (2009). Sistema de crecimiento y rendimiento para *Pinus patula* de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1235>
- Santiago, G. W. (2013). Simulador de crecimiento para manejo de rodales coetáneos de *Pinus patula*. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2060>
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). (1976). Inventario forestal del estado de Hidalgo. Publicación 39. México: Autor.
- Soriano, L. M. A. (2014). Estimación de biomasa y carbono en bosques manejados de Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2261>
- Soriano, L. M. A., Ángeles, P. G., Martínez, T. T., Plascencia, E. F. O., & Razo, Z. R. (2013). Ecuación de biomasa para *Pinus patula* en bosques de Zacualtipán, Hidalgo. En F. Paz & J. Wong (Eds.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México* (pp. 213–219). México: Programa Mexicano del Carbono-Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco. Retrieved from http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/Sintesis_Nacional_2011.pdf
- Tenorio, G. G. (2003). Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México. Retrieved from <http://files.departamento-de-productos-forest.webnode.es/200001659-214a622436/Tenorio%20Galindo%20Gabriela%202003.pdf>
- Vásquez, I. A. (2011). Aplicabilidad del modelo de contabilidad de carbono CBM-CFS3 en bosques templados de los ejidos “La Mojonera” y “Atopixco”, Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo, México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/403>
- Velarde, R. J. C. (2012). Estudio de crecimiento, determinación de índices de sitio y elaboración de tablas de volumen para *Pinus patula* y *Pinus montezumae* en la región forestal Pachuca-Tulancingo, Hidalgo. Informe técnico. Hidalgo, México: Asociación de silvicultores de la región forestal Pachuca y Tulancingo A. C.
- Velarde, R. J. C. (2014). Estudio de crecimiento, determinación de índices de sitio y elaboración de tablas de volumen para *Pinus teocote* y *Pinus rudis* en la región forestal Pachuca-Tulancingo, estado de Hidalgo. Informe técnico. Hidalgo, México: Asociación de silvicultores de la región forestal Pachuca y Tulancingo A. C.