

ESTIMACIÓN DE VOLUMEN, BIOMASA Y CONTENIDO DE CARBONO EN UN BOSQUE DE CLIMA TEMPLADO-FRÍO DE DURANGO, MÉXICO

ESTIMATION OF VOLUME, BIOMASS AND CARBON CONTENT IN A FOREST OF TEMPERATE-COLD CLIMATE OF DURANGO, MEXICO

Gabriel Graciano-Ávila¹, Eduardo Alanís-Rodríguez¹, Oscar A. Aguirre-Calderón¹, Marco A. González-Tagle¹, Eduardo J. Treviño-Garza¹, Arturo Mora-Olivo² y Enrique Buendía-Rodríguez^{3*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N.L., México. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia (buendia.enrique@inifap.gob.mx)

RESUMEN

La información sobre el volumen y la biomasa de los árboles es importante para determinar la retención de carbono en bosques. El objetivo del presente estudio fue estimar el volumen, biomasa y contenido de carbono de especies arbóreas en un bosque de Durango, México. Se establecieron nueve sitios de muestreo de 50 × 50 m y se realizó un censo de todas las especies arbóreas. Para cada uno de los árboles muestreados se registró la especie, se midió el diámetro normal y la altura total. Para cada una de las especies se determinó su volumen y biomasa total a través de ecuaciones alométricas generadas por diferentes autores. Para determinar el contenido de carbono se multiplicó el valor de la biomasa por el factor 0.5, ya que según resultados de varios autores este valor representa la concentración promedio de carbono para especies de coníferas y hojosas. En total se registraron 11 especies, pertenecientes a cuatro géneros y cuatro familias. El bosque presenta una densidad de 575 árboles ha⁻¹, un volumen total de 207.36 m³ ha⁻¹ y una concentración de biomasa total de 130.28 Mg ha⁻¹. Con relación al carbono, se estimó un total de 65.14 Mg ha⁻¹. Las especies con mayor volumen, biomasa y carbono acumulado fueron *Pinus durangensis*, *P. cooperi* y *Quercus sideroxyla*. El área basal es la mejor variable indicadora del contenido de carbono en el área de estudio.

Palabras clave: *Pinus durangensis*, *Pinus cooperi*, biomasa, carbono, ecuaciones alométricas, volumen.

SUMMARY

The information on the volume and biomass of trees is important to determine carbon sequestration in forests. The objective of this study was to estimate the volume, biomass and carbon content of tree species in a forest of Durango, Mexico. Nine 50 × 50 m sampling sites were established and a census of all tree species was conducted. For each of the sampled trees, the species was recorded and the normal diameter and total height were measured. For each species, its volume and total biomass were determined using allometric equations generated by different authors. To determine the carbon content, the value of the biomass was multiplied by the factor 0.5, since according to results of several authors, this value represents the average concentration of carbon for conifers and broadleaf species. In total, 11 species, belonging to four families and four genera were recorded. The forest has a density of 575 trees ha⁻¹, a total volume of 207.36 m³ ha⁻¹ and a total concentration of biomass of 130.28 Mg ha⁻¹. Regarding carbon, a total of 65.14 Mg ha⁻¹ was estimated. The species with the highest volume, biomass and accumulated carbon were *Pinus durangensis*, *P. cooperi* and *Quercus sideroxyla*. The basal area is the best indicator variable of carbon content in the studied area.

Index words: *Pinus durangensis*, *Pinus cooperi*, biomass, carbon, allometric equations, volume.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales más graves, afecta los procesos atmosféricos y se manifiesta mediante variaciones climáticas. Este calentamiento es provocado por el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera y se ha incrementado durante los últimos siglos (Garreaud, 2011; Sánchez, 2008).

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas que más contribuye al calentamiento global. Una forma de mitigar sus efectos es almacenarlo en la biomasa y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica (Ávila *et al.*, 2001). Mediante la fotosíntesis, la vegetación forestal absorbe CO₂ durante su dinámica de crecimiento; es decir, fija el carbono para la composición de su estructura (tallos, ramas, hojas y raíces) y libera el oxígeno que proporciona un beneficio ambiental al planeta (SEMARNAT, 2001).

Los ecosistemas forestales tienen un potencial importante para almacenar dióxido de carbono y pueden ser utilizados como un medio alternativo para compensar las emisiones actuales y futuras (Ni *et al.*, 2016; Stavins y Richards, 2005). La capacidad para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Fonseca-González, 2017; Schulze *et al.*, 2000).

La información sobre la biomasa y el volumen de árboles es importante para determinar el papel que desempeñan los recursos forestales en el almacenamiento de carbono. La biomasa representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado

en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown *et al.*, 1996). El volumen de las existencias en formación en el bosque disponible para abastecimiento de madera constituye también un indicador importante sobre el potencial económico del bosque (FAO, 2004), de ahí la importancia de cuantificar el contenido de volumen, biomasa y carbono en los ecosistemas forestales.

Para determinar el volumen de carbono almacenado en los ecosistemas forestales es fundamental establecer adecuadamente el contenido de la biomasa existente de los bosques. La estimación del volumen y biomasa en los árboles requiere de un estudio destructivo (Brown *et al.*, 1989), para luego proceder al ajuste de funciones o modelos que predicen el volumen y la biomasa del árbol en pie (Husch, 2001); sin embargo, para evitar el uso de métodos destructivos se han generado diversas ecuaciones de volumen, las cuales son útiles junto con los datos de inventarios forestales para definir las existencias reales actuales, así como los rasgos dasométricos de las especies que componen los bosques (Clutter *et al.*, 1983).

De la misma forma, se han formulado ecuaciones de biomasa que junto con los datos de inventarios proporcionan información sobre el contenido de biomasa y cuando se multiplican por un factor proveen también los almacenes de carbono (Clark *et al.*, 2001; Jenkins *et al.*, 2001; Nívar, 2010; Schroeder *et al.*, 1997). Generalmente, los modelos de estimación de biomasa se ajustan para cada especie, aunque se han generado modelos que integran a varias especies, debido a la similitud en los patrones de crecimiento en determinados ambientes (Iglesias y Barchuk, 2010; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2007).

En México se han realizado diversos estudios que contemplan la estimación de volumen, biomasa y captura de carbono (Contreras y Nívar, 2002; Corral *et al.*, 1999; Jaramillo *et al.*, 2003; Nívar *et al.*, 2005; Nívar, 2009); por ejemplo, Pimienta *et al.* (2007) estimaron el contenido de biomasa y carbono de *Pinus cooperi* en Durango; así mismo, Nájera y Hernández (2009) determinaron la acumulación de biomasa en una localidad de Durango; sin embargo, estas investigaciones son específicas para algunas localidades y aún existen muchas áreas sin evaluar. Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo estimar el volumen, biomasa y contenido de carbono de especies arbóreas en un bosque templado del noroeste de México, ya que esta información es de gran importancia para la cuantificación del dióxido de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el ejido La Victoria, en el municipio de Pueblo Nuevo, ubicado al suroeste del estado de Durango (oeste de México). Está enmarcado geográficamente entre los paralelos 23° 40' 04" y 23° 47' 54" de latitud norte y a una longitud de 105° 29' 52" oeste (Figura 1).

El ejido La Victoria se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, específicamente en las subprovincias de Gran Meseta y Cañones Duranguenses, y Mesetas y Cañadas del Sur; los suelos del predio son de tipo cambisol, regosol y litosol con textura predominantemente de gruesa a media. La vegetación en la mayor parte del predio está formada por bosques de pino-encino, con distintas condiciones de productividad.

Recopilación y análisis de la información

Los datos dasométricos para el estudio provinieron de nueve parcelas cuadrangulares de 2500 m² (50 × 50 m) permanentes de muestreo establecidas en otoño de 2008, obtenidas bajo la metodología desarrollada por Corral-Rivas *et al.* (2009). La base de datos se construyó a partir de la información de 1294 árboles muestreados a los que se les midió el diámetro normal, la altura total y se registró la especie de cada individuo.

Para cada una de las especies se determinó su volumen individual mediante la ecuación de Shumacher y Hall sugerida por Contreras y Nívar (1997, Com. Pers.)¹, la cual se utiliza para estimar el volumen de las principales especies arbóreas en la Sierra Madre Occidental (Cuadro 1).

Para cada una de las especies se determinó la biomasa total árbol mediante las ecuaciones alométricas generadas por diferentes autores (Cuadro 2).

Para determinar el contenido de carbono se multiplicó el valor de la biomasa por el factor 0.5. Este factor representa la concentración de carbono promedio para coníferas y hojosas (Díaz *et al.*, 2007; Hamburg, 2000), valor citado en los inventarios de gases de efecto invernadero, sector forestal para México (IPCC, 2005).

¹Contreras A. J. y J. Nívar (1997) Ecuaciones de volumen para estimar volúmenes rollo total árbol, fustal, fuste y tocón y fuste y ramas de *Pinus durangensis* y *Pinus teocote* del ejido Vencedores, Dgo. Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Linares, Nuevo León, México. pp: 40-42.

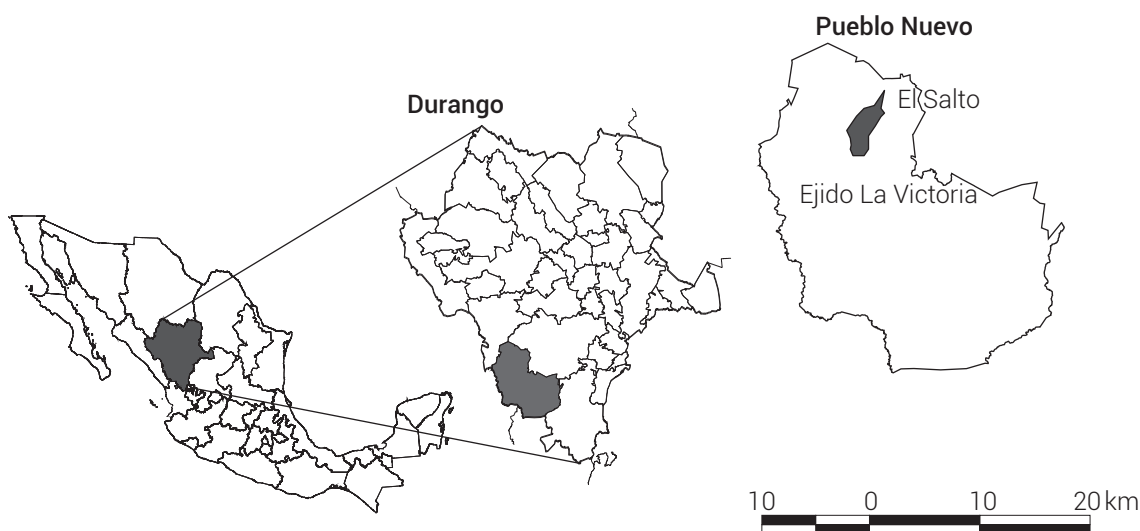


Figura 1. Localización del área de estudio.

Cuadro 1. Ecuaciones para estimar el volumen rollo total árbol para las especies de pinos y hojosas de la Sierra Madre Occidental.

Especie	Ecuación
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	$V = 0.00024698 * (DN^{1.6254}) * (H^{0.8550})$
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schlttdl.	$V = 0.00024698 * (DN^{1.6254}) * (H^{0.8550})$
<i>Pinus cooperi</i> C.E. Blanco.	$V = 0.00004010 * (DN^{1.9515}) * (H^{0.9786})$
<i>Pinus durangensis</i> Martínez.	$V = 0.00001771 * (DN^{2.1441}) * (H^{1.0383})$
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schlttdl. & Cham.	$V = 0.00006815 * (DN^{1.8346}) * (H^{0.9319})$
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schlttdl. & Cham.	$V = 0.00035377 * (DN^{1.4896}) * (H^{0.8052})$
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	$V = 0.00024732 * (DN^{1.6169}) * (H^{1.0941})$
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	$V = 0.00024732 * (DN^{1.6169}) * (H^{1.0941})$
Otras hojosas (<i>Arbutus bicolor</i> S. González, <i>A. madrensis</i> S. González y <i>A. xalapensis</i> Kunth).	$V = 0.00024732 * (DN^{1.6169}) * (H^{1.0941})$

V: volumen (m³ ha⁻¹), DN: diámetro normal (m), H: altura total (m).

Cuadro 2. Ecuaciones para estimar la biomasa para diferentes especies de pinos y hojosas de la Sierra Madre Occidental.

Especie	Ecuación	Autor
<i>Juniperus deppeana</i> [†]	$B = \text{Exp}(-1.6469) * (DN^{2.1255})$	Rodríguez-Laguna et al. (2007)
<i>Pinus ayacahuite</i>	$B = \text{Exp}(-3.066) * (DN^{2.646})$	Návar-Cháidez (2010a)
<i>Pinus cooperi</i>	$B = \text{Exp}(-1.922) * (DN^{2.321})$	Návar-Cháidez (2010a)
<i>Pinus durangensis</i>	$B = \text{Exp}(-2.108) * (DN^{2.373})$	Návar-Cháidez (2010a)
<i>Pinus leiophylla</i>	$B = \text{Exp}(-3.549) * (DN^{2.787})$	Návar-Cháidez (2010a)
<i>Pinus teocote</i>	$B = \text{Exp}(-3.182) * (DN^{2.702})$	Návar-Cháidez (2010a)
<i>Quercus crassifolia</i>	$B = (0.283) * [(DN^2) * H^{0.807}]$	Ayala-López et al. (2001)
<i>Quercus sideroxyla</i>	$B = \text{Exp}(-2.592) * (DN^{2.585})$	Návar-Cháidez (2010a)
Otras hojosas (<i>Arbutus bicolor</i> , <i>A. madrensis</i> y <i>A. xalapensis</i>)	$B = 0.3764 * (DN^2 - 2.3146) * (DN - 1.9106)$	Aguilar-Hernández et al. (2016, Com. Pers.) ²

[†]Corresponde a *Juniperus flaccida*, B: biomasa (t ha⁻¹); DN: diámetro (m), Exp: coeficiente e (base del logaritmo natural), H: altura total.

²Aguilar-Hernández L., R. García-Martínez, A. Gómez-Miraflor y O. Martínez-Gómez (2016) Estimación de biomasa mediante la generación de una ecuación alométrica para madroño (*Arbutus xalapensis*). In: IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Chapingo, Estado de México, México. pp:529-530.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Especies registradas y su distribución

Se registraron 11 especies arbóreas, pertenecientes a cuatro géneros y cuatro familias. La familia más representativa fue Pinaceae con cinco especies, seguida de las familias Ericaceae y Fagaceae con tres y dos especies cada una. Estas tres familias incluyeron tres géneros y 10 especies, lo que constituye 90.78 % de la vegetación registrada en las nueve parcelas de muestreo (Cuadro 3). Esta información coincide con diversos estudios en los que se ha reportado a la familia Pinaceae como la más representativa en este tipo de bosque de la Sierra Madre Occidental (Aragón-Piña *et al.*, 2010; González-Elizondo *et al.*, 1993; Márquez-Linares y González-Elizondo, 1998).

La masa arbórea estudiada presentó un total de 574 árboles ha^{-1} . La especie *Pinus cooperi* se presentó en todos los sitios de muestreo y obtuvo la mayor abundancia con 190 árboles ha^{-1} (33.10 %), seguida de *P. durangensis* y *Quercus sideroxyla* con 145 (25.26 %) y 104 (18.11 %) árboles ha^{-1} , respectivamente; estas especies se presentaron en casi todos los sitios de muestreo (excepto en el 1 y 8). La especie que menor cantidad de árboles presentó fue *Q. crassifolia*, con cuatro árboles ha^{-1} (0.69 %) y sólo se registró en el sitio 7 (Cuadro 4). Valenzuela y Granados (2009) reportaron a *P. durangensis* como la especie más abundante en los bosques templados de Durango; de la misma forma, *P. durangensis* junto con *Q. sideroxyla* han sido reportadas como algunas de las especies más frecuentes en la Sierra Madre Occidental (Silva-Flores *et al.*, 2014).

Dimensiones de los árboles

La altura de las especies encontradas en el área de estudio osciló entre 2.5 y 38.8 m, con un promedio de 11.7 m; sin embargo, la mayoría de las especies se encuentra en un rango de altura de 7.5 a 25 m. El sitio 5 presentó la mayor variabilidad de alturas, mientras que 50 % de los individuos del sitio 7 presentó las mayores alturas en comparación con los demás sitios; sin embargo, los sitios 4 y 6 presentaron el mayor número de valores atípicos (Figura 2a). Las especies *P. cooperi* y *P. durangensis* registraron valores atípicos, superiores a 20 m, pero *P. durangensis* presentó la mayor variabilidad de alturas y la mayor parte de sus individuos tendieron a ser altos.

Los individuos de la especie *Juniperus deppeana* presentaron las alturas más bajas. Las especies con el promedio de altura más alto fue *Q. crassifolia* con 16.84 m, seguida de *P. durangensis* con 15.84 m, *P. teocote* con

13.74 m, *P. ayacahuite* con 12.48 y *P. leiophylla* con 10.46 m. Las demás especies presentaron una altura menor a 10 m (Figura 2a). En un estudio para la construcción de curvas dinámicas de índice de sitio para *P. cooperi* Blanco se encontró que la altura media fue de 20.5 m, con un máximo de 30.0 y un mínimo de 10.3 m (Vargas-Larreta *et al.*, 2010). Otro estudio reporta una altura promedio de 9.4 m en un área con individuos en etapa de regeneración (Montes de Oca-Cano *et al.*, 2009).

El diámetro de los árboles registrados osciló entre 6.5 y 60 cm, con un promedio de 19.4 cm. En el sitio 5 se registró la mayor variabilidad, mientras que en el sitio 7 el 50 % de los árboles presentó los mayores diámetros. En todos los sitios se presentaron datos atípicos; sin embargo, en los sitios 5 y 7 se registraron valores de hasta 81.3 cm (Figura 3a). Las especies *Q. crassifolia* y *P. durangensis* presentaron la mayor variabilidad de diámetros; no obstante, las especies *P. durangensis* y *P. cooperi* presentaron el 50 % de los individuos con el mayor diámetro. Más del 50 % de los árboles de *J. deppeana* y *P. leiophylla* presentaron diámetros menores al promedio (Figura 3b).

En un estudio para la construcción de curvas dinámicas de índice de sitio para *P. cooperi* se encontró que el diámetro medio es de 19.1 cm, con máximo de 30.0 y mínimo de 5.8 cm (Vargas-Larreta *et al.*, 2010); otro estudio reportó un diámetro promedio de 3.6 cm en un área en etapa de regeneración (Montes de Oca-Cano *et al.*, 2009). El diámetro normal y altura total de los árboles son de gran importancia como variables predictoras para estimar el carbono en la parte aérea de los bosques (Pacheco *et al.*, 2007).

Biomasa arbórea

El área estudiada presentó un volumen total de 207.36 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, donde la especie *P. durangensis* obtuvo el mayor volumen con 68 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (33 %), seguida por *Q. sideroxyla* con 54 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (26 %) y *P. cooperi* con 44 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (21 %). La especie *P. leiophylla* presentó el menor volumen con 0.6 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (0.3 %) (Figura 4). Estas existencias son altas en comparación con los 115 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ registradas por Nívar (2010b) para los bosques de templados del estado de Nuevo León, México. Según Nívar-Cháidez y González-Elizondo (2009), la productividad o incremento en volumen aumenta con el índice de mezcla de pinos y encinos y por el aumento en la densidad.

Con relación a la biomasa, se presentó un total de 130.28 Mg ha^{-1} de las cuáles 45 Mg ha^{-1} (35 %) correspondieron a *P. durangensis*, 38 Mg ha^{-1} (29 %) a *P. cooperi* y 27 Mg ha^{-1} (20 %) a *Q. sideroxyla*. *P. leiophylla* presentó el menor contenido de biomasa con 0.4 Mg ha^{-1} (0.3 %) (Figura 5). Nájera y

Cuadro 3. Nombre científico y familia de las especies registradas en el área de estudio.

Nombre científico	Familia
<i>Arbutus bicolor</i> S. González	Ericaceae
<i>Arbutus madrensis</i> S. González	Ericaceae
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Ericaceae
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Cupressaceae
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.	Pinaceae
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Pinaceae
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	Pinaceae
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	Pinaceae
<i>Pinus teocote</i> Schied. ex Schltld. & Cham.	Pinaceae
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Fagaceae
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	Fagaceae

Cuadro 4. Número de árboles por hectárea por especie en los sitios de muestreo.

Especie	Sitios									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Pinus cooperi</i>	36	1	10	4	6	4	1	40	88	190
<i>Pinus durangensis</i>	0	24	70	6	8	19	15	0	3	145
<i>Quercus sideroxyla</i>	0	32	13	24	5	16	2	0	12	104
<i>Juniperus deppeana</i>	4	1	0	6	10	6	0	23	2	52
<i>Pinus ayacahuite</i>	0	6	4	2	4	14	0	0	2	32
<i>Pinus teocote</i>	0	1	10	3	2	8	0	0	2	26
Otras hojosas	0	1	4	5	0	2	3	0	1	16
<i>Pinus leiophylla</i>	0	4	0	0	1	0	0	0	0	5
<i>Quercus crassifolia</i>	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4
Total	40	70	111	50	36	69	25	63	110	574

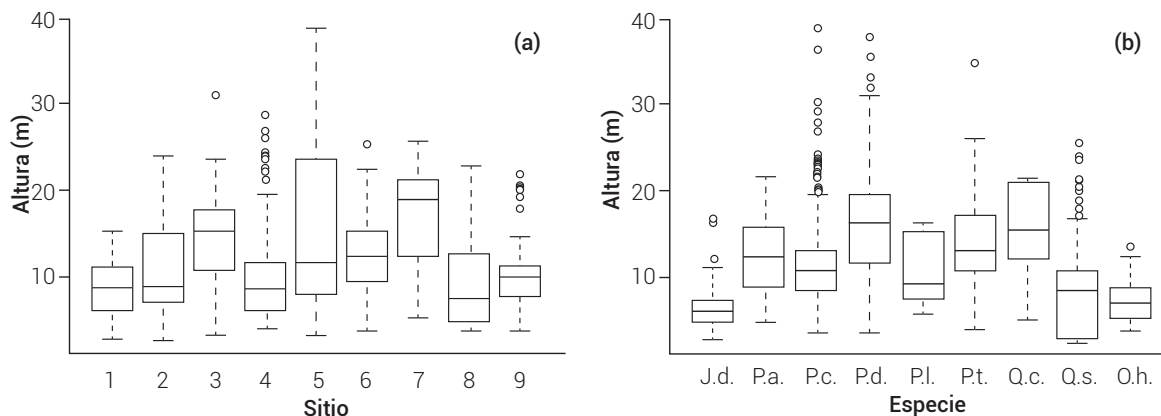


Figura 2. Distribución de la altura por sitio (a) y distribución de la altura por especie (b). J.d.: *Juniperus deppeana*, Pa.: *Pinus ayacahuite*, P.c.: *P. cooperi*, P.d.: *Pinus durangensis*, P.l.: *Pinus leiophylla*, Pt.: *Pinus teocote*, Q.c.: *Quercus crassifolia*, Q.s.: *Quercu sideroxyla*, O.h.: otras hojosas.

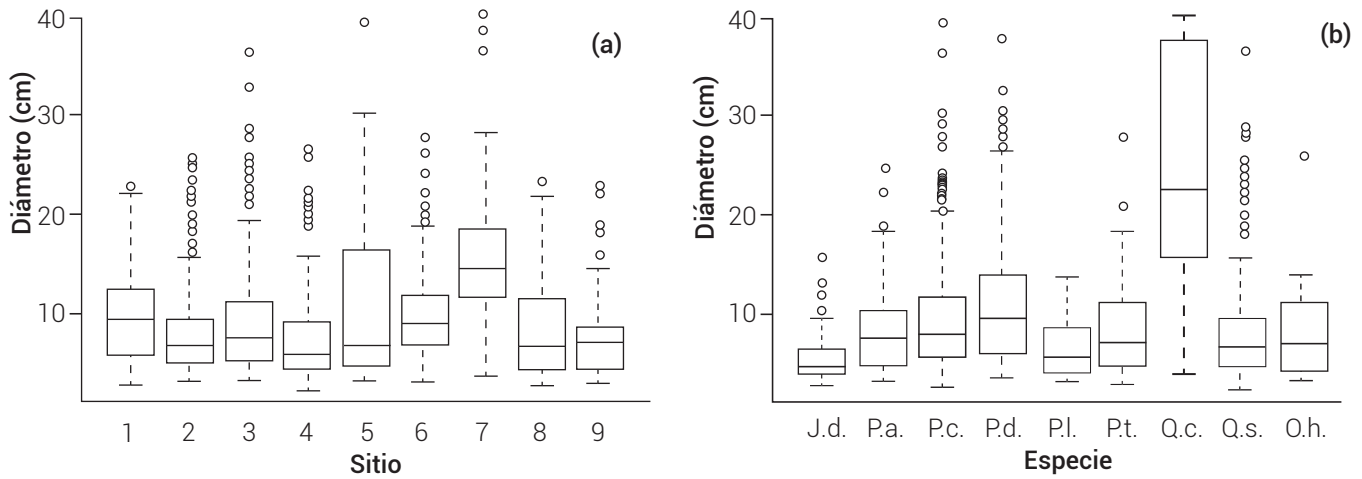


Figura 3. Distribución de diámetro por sitio (a) y distribución del diámetro por especie (b). J.d.: *Juniperus deppeana*, P.a.: *Pinus ayacahuite*, P.c.: *Pinus cooperi*, P.d.: *Pinus durangensis*, P.l.: *Pinus leiophylla*, P.t.: *Pinus teocote*, Q.c.: *Quercus crassifolia*, Q.s.: *Quercus sideroxylla*, O.h.: otras hojosas.

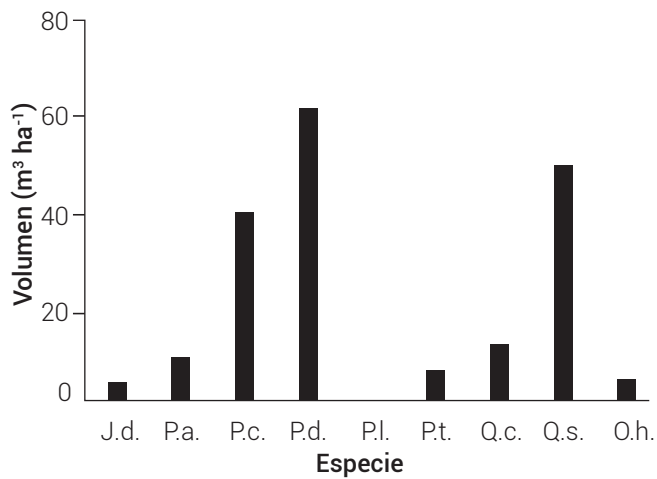


Figura 4. Volumen por especie. J.d.: *Juniperus deppeana*, P.a.: *Pinus ayacahuite*, P.c.: *Pinus cooperi*, P.d.: *Pinus durangensis*, P.l.: *Pinus leiophylla*, P.t.: *Pinus teocote*, Q.c.: *Quercus crassifolia*, Q.s.: *Quercus sideroxylla*, O.h.: otras hojosas.

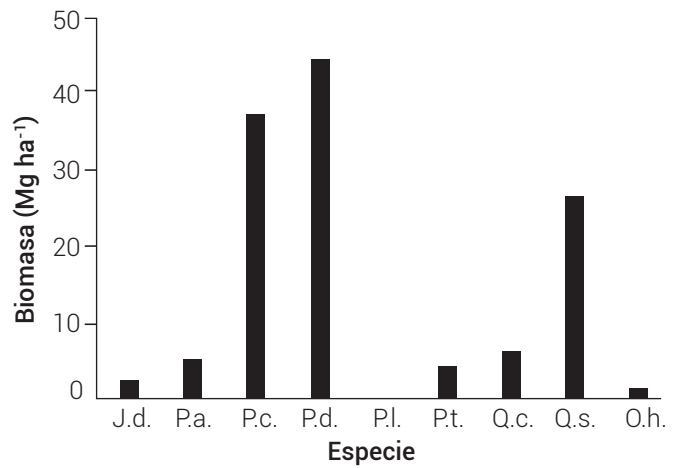


Figura 5. Contenido de biomasa por especie. J.d.: *Juniperus deppeana*, P.a.: *Pinus ayacahuite*, P.c.: *Pinus cooperi*, P.d.: *Pinus durangensis*, P.l.: *Pinus leiophylla*, P.t.: *Pinus teocote*, Q.c.: *Quercus crassifolia*, Q.s.: *Quercus sideroxylla*, O.h.: otras hojosas.

Hernández (2009) encontraron que la acumulación anual de la biomasa aérea para la región de El Salto, Durango es de 4 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Nívar (2009) estimó las reservas de carbono para bosques del noroeste de México y encontró que el contenido de biomasa en la zona centro sur de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango era de 130 Mg ha⁻¹, valor similar al registrado en este estudio. Este valor es alto en comparación con la densidad de biomasa aérea promedio para los bosques templados del estado de Nuevo León y los bosques tropicales secos de Sinaloa, México, donde se reportan valores de 74.16 y 73 Mg ha⁻¹, respectivamente (Nívar, 2009; Nívar, 2010b). Jaramillo et

al. (2003) también registraron valores bajos, de 94 a 124 Mg ha⁻¹ para un bosque tropical del centro de México; sin embargo, la densidad de biomasa reportada para bosques tropicales es mayor, con valores de 225 Mg ha⁻¹ para la Península de Yucatán y 265 Mg ha⁻¹ para Veracruz (Cairns et al., 2000).

Acumulación de carbono

Con relación al carbono, se estimó un total de 65.14 Mg ha⁻¹ de las cuales 22 Mg ha⁻¹ (35 %) correspondieron a *P. durangensis*, 19 Mg ha⁻¹ (29 %) a *P. cooperi* y 13 Mg ha⁻¹ (20

%) a *Q. sideroxyla*. *P. leiophylla* presentó menor cantidad de carbono con 0.2 Mg ha^{-1} (0.3 %) (Figura 6). Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez, (2009) reportaron que *P. durangensis* es una de las especies con mayor concentración de carbono. La diferencia en los valores obtenidos del contenido de carbono promedio para los géneros *Pinus* y *Quercus* concuerda con lo descrito en la literatura, donde se reporta que el contenido de carbono en coníferas es más alto que en latifoliadas (Gracia *et al.*, 2004; Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez, 2009). Esta información es similar a la registrada por Nívar (2009), quien menciona que utilizando el factor de carbono de 0.50, los bosques templados de Durango tienen 65 Mg ha^{-1} y los bosques tropicales secos del estado de Sinaloa 36.5 Mg ha^{-1} , información obtenida al utilizar los datos del inventario forestal para estimar las reservas de biomasa y carbono para bosques templados de Durango y Chihuahua y bosques tropicales secos de Sinaloa, México.

El área basal resultó ser la mejor variable indicadora del contenido de carbono en el área de estudio, ya que, como se puede observar en la Figura 7, conforme aumenta el área basal aumenta el valor del carbono (tendencia lineal), con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.924$. Para otras variables, como el diámetro cuadrático y número de individuos, el valor resultó ser bajo ($R^2 < 0.16$). Lo anterior es muy similar a lo obtenido por Acosta-Mireles *et al.* (2009), quienes además mencionan que el área basal es un indicador de la densidad, y mientras mayor densidad muestre un rodal, su cantidad de biomasa y carbono se incrementa.

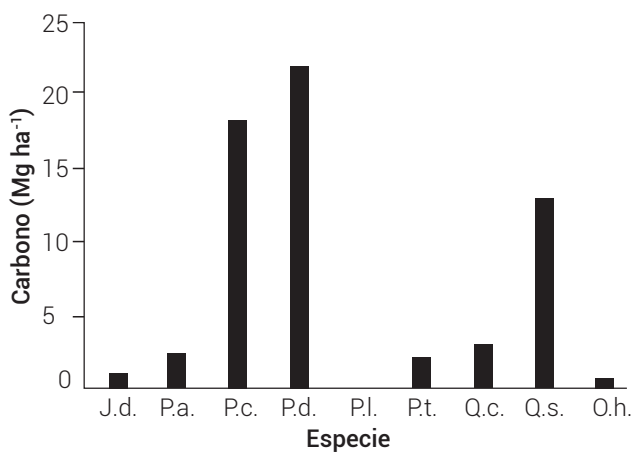


Figura 6. Contenido de carbono por especie. J.d.: *Juniperus deppeana*, P.a.: *Pinus ayacahuite*, P.c.: *Pinus cooperi*, P.d.: *Pinus durangensis*, P.l.: *Pinus leiophylla*, P.t.: *Pinus teocote*, Q.c.: *Quercus crassifolia*, Q.s.: *Quercus sideroxyla*, O.h.: otras hojosas.

CONCLUSIONES

Las especies de las familias Pinaceae y Fagaceae son las más frecuentes y abundantes en los bosques de clima templado-frío de Durango. Estas especies presentan las alturas y diámetros de mayores dimensiones; por consiguiente, son las que en conjunto proveen mayores existencias reales de volumen. Mediante la aplicación de ecuaciones alométricas es posible estimar el volumen, biomasa y carbono de estos bosques. La biomasa y carbono acumulado en las especies arbóreas del área de estudio son similares a lo registrado en otras zonas de la Sierra Madre Occidental, pero mayores en comparación con lo registrado en otras regiones de México. Las especies con mayor volumen, biomasa y carbono acumulado fueron *Pinus durangensis*, *P. cooperi* y *Quercus sideroxyla*. El área estudiada tiene un elevado potencial de producción de biomasa y de captura de carbono.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Javier Corral Rivas, por las facilidades prestadas para la realización de este estudio. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor para sus estudios de Doctorado.

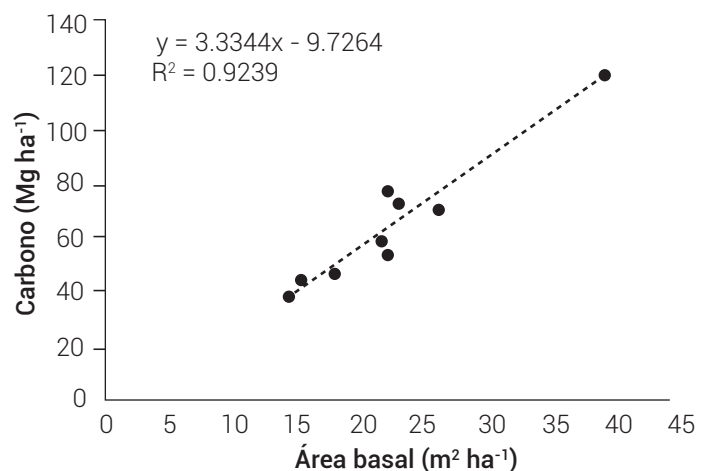


Figura 7. Relación entre el área basal y el contenido de carbono.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Mireles M., F. Carrillo-Anzures y M. Díaz L. (2009) Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Terra Latinoamericana* 27:105-114.
- Aragón-Piña E. E., A. Garza-Herrera, M. S. González-Elizondo e I. Luna-Vega (2010) Composición y estructura de las comunidades vegetales del rancho El Duranguense, en la Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:771-787.
- Ávila G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim (2001) Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8:32-35.
- Ayala-López R. S., B. H. J. de Jong Bergsma y H. Ramírez-Maldonado (2001) Ecuaciones para estimar biomasa en la meseta central de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7:153-157.
- Brown S., A. J. R. Gillespie and A. E. Lugo (1989) Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35:881-902.
- Brown S., J. Sathaye, M. Cannell y P. E. Kauppi (1996) Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Review* 75:80-91.
- Cairns M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong and I. Olmsted (2000) Tropical Mexico's recent land-use change: a region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications* 10:1426-1441, [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1426:TMSRLU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1426:TMSRLU]2.0.CO;2)
- Clark D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson and J. Ni (2001) Measuring net primary production in forests; concepts and field methods. *Ecological Applications* 11:356-370, [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0356:MNPPIF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0356:MNPPIF]2.0.CO;2)
- Clutter J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey (1983) Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons New York, N. Y. 333 p.
- Contreras A. J. C. y J. J. Nívar C. (2002) Ecuaciones aditivas para estimar componentes de volumen para *Pinus teocote* Schl. de Durango, México. *Ciencia Forestal en México* 27:67-81.
- Corral R. S., J. J. Nívar C. y F. Fernández S. (1999) Ajuste de funciones de ahusamiento a los perfiles fustales de cinco pináceas de la región de El Salto, Durango. *Madera y Bosques* 5:53-65, <https://doi.org/10.21829/myb.1999.521347>
- Corral-Rivas J. J., B. Vargas L., C. Wehenkel, O. A. Aguirre C., J. G. 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 de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México. 54 p.
- Díaz-Franco R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J. D. Etchevers-Barra (2007) Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13:25-34, <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311233>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2004) Actualización de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales a 2005. Términos y Definiciones (Versión Definitiva). Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 35 p.
- Fonseca-González W. (2017) Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales* 51:91-109, <http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.5>
- Garreaud R. D. (2011) Cambio climático: bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro (INIA-Chile)* 93:13-19.
- González-Elizondo S., M. González-Elizondo y A. Cortés-Ortiz (1993) Vegetación de la reserva de la biosfera "La Michilía", Durango, México. *Acta Botánica Mexicana* 22:1-104.
- Gracia C., J. Vayreda, S. Sabaté and J. Ibañez (2004) Main components of the aboveground biomass expansion factors. CREAM, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Barcelona, Spain. 24 p.
- Hamburg S. P. (2000) Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5:25-37, <https://doi.org/10.1023/A:1009692114618>
- Husch B. (2001) Estimación del contenido de carbono de los bosques. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18-30 de Octubre de 2001. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp:87-92.
- Iglesias M. R. y A. H. Barchuk (2010) Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral* 20:71-79.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2005) Carbon Dioxide Capture and Storage. B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos and L. Meyer (eds.). Cambridge University Press. New York. USA. 431 p.
- Jaramillo V. J., J. B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez, D. L. Cummings and L. J. Ellingson (2003) Biomass, carbon and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems* 6:609-629, <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0195-4>
- Jenkins J. C., R. A. Birdsey and Y. Pan (2001) Biomass and NPP estimation for the mid-atlantic region (USA) using plot-level forest inventory data. *Ecological Applications* 11:1174-1193, [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1174:ANEFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1174:ANEFT]2.0.CO;2)
- Márquez-Linares M. A. y M. S. González-Elizondo (1998) Composición y estructura del estrato arbóreo de un bosque de pino-encino en Durango, México. *Agrociencia* 32:413-419.
- Montes de Oca-Cano E., P. García-Ramírez, J. A. Nájera-Luna y J. Méndez-González (2009) Ajuste de ecuaciones de biomasa para *Pinus durangensis* (Martínez M.) en la región de El Salto, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15:65-71.
- Nájera L. J. A. y E. Hernández H. (2009) Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 5:225-230.
- Návar J. (2009) Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257:427-434, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>
- Návar-Cháidez J. J. (2010a) Biomass allometry for tree species of Northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12:507-519.
- Návar-Cháidez J. J. (2010b) Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques* 16:51-69.
- Návar C. J. J., N. González and J. Graciano (2005) Carbon stocks and fluxes in reforested sites of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 11:15-34, <https://doi.org/10.21829/myb.2005.1121254>
- Návar-Cháidez J. J. y S. González-Elizondo (2009) Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27:71-87.
- Ni Y., G. S. Eskeland, J. Giske and J. P. Hansen (2016) The global potential for carbon capture and storage from forestry. *Carbon Balance and Management* 11:3, <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0044-y>
- Pacheco E. F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. M. Fierros G, V. Cetina-Alcalá y H. Vaquera H. (2007) Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30:251-254.
- Pimienta T. D. J., G. Domínguez C., O. Aguirre C., F. J. Hernández y J. Jiménez P. (2007) Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13:35-46, <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311234>
- Rodríguez-Laguna R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón y E. Jurado-Ibarra (2007) Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en especies de encino y pino en Iturbide, N. L. *Ciencia Forestal en México* 32:39-56.
- Sánchez V. M. V. (2008) El efecto invernalero. *Revista Biocenosis* 21:51-54.
- Schroeder P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey and C. Cieszewski (1997) Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science* 43:424-434.
- Schulze E. D., C. Wirth and M. Heimann (2000) Managing forests after Kyoto. *Science* 289:2058-2059, <https://doi.org/10.1126/>

science.289,5487.2058

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001)

México: Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 374 p.

Silva-Arredondo F. M. y J. J. Návar-Cháidez (2009) Estimación de factores de expansión de carbono en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15:155-160.

Silva-Flores R., G. Pérez-Verdín and C. Wehenkel (2014) Patterns of tree species diversity in relation to climatic factors on the Sierra

Madre Occidental, Mexico. *PLoS ONE* 9:e105034, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105034>

Stavins R. N. and K. R. Richards (2005) The Cost of U.S. Forest-Based Carbon Sequestration. Pew Center on Global Climate Change. Arlington, Virginia, U.S.A. 40 p.

Valenzuela N. L. M. and D. Granados S. (2009) Caracterización fisonómica y ordenación de la vegetación en el área de influencia de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15:29-41.

Vargas-Larreta B., J. G. Álvarez-González, J. J. Corral-Rivas y Ó. A. Aguirre C. (2010) Construcción de curvas dinámicas de índice de sitio para *Pinus cooperi* Blanco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:343-351.

