



Caracterización estructural y carbono almacenado en un bosque templado frío censado en el noroeste de México

Structural characterization and carbon stored in a cold temperate forest surveyed in northwestern Mexico

Joel Rascón-Solano¹

Viridiana Sugey Galván-Moreno²

Oscar Alberto Aguirre-Calderón³

Samuel Alberto García-García^{1*}

Abstract

The objective of the present study was to define the diversity, composition, structure and content of carbon stored in the non-coeval tree mass of a research plot in northwestern Mexico. A census of the tree component was carried out in an area of 11.44 ha in the *Aboreachi Ejido, Guachochi, Chihuahua*. Each individual was labeled consecutively to record its normal diameter, total height and species. The Shannon-Wiener diversity index and Margalef's richness index were estimated. The horizontal structure was characterized according to the importance value index. The Pretzsch index (*A*) was determined in order to evaluate the vertical structure. The total tree volume of each individual and its respective biomass were calculated using allometric equations. The aerial carbon content was determined by applying a biomass conversion factor of 0.5. The tree mass is made up of 16 species, belonging to six genera of five families. The species with the highest importance value index, of 55.93 %, was *Pinus durangensis*. Regarding the vertical structure, *P. durangensis* was the only species present in the three evaluated strata, in 49.86 % of the observations made. The species of the *Pinus* and *Quercus* genera are the ones that provide the largest volumes ($155.53 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). A total of 93.22 Mg ha^{-1} of aerial biomass was calculated, of which *P. durangensis* represents 64.46 %; *Pinus ayacahuite*, 14.13 %, and *Quercus sideroxyla*, 12.33 %. The species with the highest carbon accumulation turned out to be *P. durangensis*, with a total of 30.04 Mg ha^{-1} .

Key Words: Census of arboreal vegetation, *Chihuahua*, structure, diversity, Carbon stored, *Pinus durangensis* Ehren.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue definir la diversidad, composición, estructura y contenido de carbono almacenado en la masa arbórea incoetánea de una parcela de investigación en el noroeste de México. Se realizó un censo del componente arbóreo en una superficie de 11.44 ha en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. Cada individuo se etiquetó de forma consecutiva; se registró el diámetro normal, altura total y especie. Se calculó el Índice de Diversidad de *Shannon-Wiener* y el Índice de Riqueza de *Margalef*. La estructura horizontal se caracterizó con el Índice de Valor de Importancia. Se determinó el índice de *Pretzsch* (*A*) para evaluar la estructura vertical. El volumen total árbol de cada individuo y su respectiva biomasa se obtuvo mediante ecuaciones alométricas; el

contenido de carbono aéreo se determinó al aplicar un factor de conversión a la biomasa de 0.5. La masa arbórea está constituida por 16 especies, pertenecientes a seis géneros de cinco familias. *Pinus durangensis* presentó el mayor Índice de Valor de Importancia (55.93 %). Respecto a la estructura vertical, *P. durangensis* fue la única especie registrada en los tres estratos evaluados, con 49.86 % de las observaciones realizadas. Los taxones de *Pinus* y *Quercus* aportaron las mayores existencias de volumen (155.53 m³ ha⁻¹). Se calculó un total de 93.22 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea; a *P. durangensis* correspondió 64.46 %, *Pinus ayacahuite* 14.13 % y *Quercus sideroxyla* 12.33 % del total. El taxón con más acumulación de carbono fue *P. durangensis*, con un total de 30.04 Mg ha⁻¹.

Palabras clave: Censo de vegetación arbórea, Chihuahua, estructura, diversidad, carbono almacenado, *Pinus durangensis* Ehren.

Fecha de recepción/Reception date: 31 de marzo de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 13 de enero de 2022

¹Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

²Programa de Maestría en Agronegocios, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

³Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: Alberto_Garcia23@outlook.com

Introducción

La evaluación de los recursos forestales, en principio, puede realizarse mediante tres metodologías: (1) sitios temporales, (2) sitios permanentes (Corral-Rivas *et al.*, 2008) y (3) parcelas permanentes de monitoreo (Hernández y Reyna, 2015). También, es posible utilizar censos (registros totales) en rodales de superficie reducida (Aguirre *et al.*, 1997); sin embargo, esta metodología tiene el inconveniente de que requiere de mayor esfuerzo y tiempo en grandes extensiones de bosque y es costosa (Aguirre *et al.*, 1995); además, el conjunto de actividades de campo por desarrollar para la toma de datos y registro de individuos resultan complicadas, ya que es factible duplicar o pasar por alto la contabilización de algunos individuos (Contreras *et al.*, 1999).

En el estado de Chihuahua, el monitoreo científico de los bosques se inició en 1950 con el establecimiento del primer Sitio de Experimentación Silvícola "El Poleo", en el

municipio de Madera (Estrada y Rodríguez, 2021). En la misma región se han establecido parcelas de monitoreo silvícola de 0.1 ha desde 1986, en las cuales se identificaron y midieron individuos de dimensión comercial (Hernández-Salas *et al.*, 2013). Las parcelas permanentes tienen el objetivo de realizar un monitoreo frecuente de las estructuras arbóreas, con o sin tratamiento silvícola (Gadow *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 2019); analizar y evaluar el crecimiento de árboles y el rendimiento de masas (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011); monitorear los impactos en la biodiversidad, provocados por el cambio climático (Acosta-Mireles *et al.*, 2014); y conocer el funcionamiento de los diferentes componentes del bosque (Gutiérrez *et al.*, 2015). Sin embargo, no se tienen registros previos que informen de la realización de censos en rodales ubicados en el interior del estado de Chihuahua orientados a monitorear la dinámica del crecimiento, estructura y composición de los bosques.

La caracterización de la estructura horizontal y vertical, así como la distribución de las diferentes especies forestales que conforman un bosque son importantes para entender su funcionamiento como ecosistema forestal, pues los resultados que se derivan sirven como base para tomar decisiones informadas para su manejo adecuado (Corral *et al.*, 2005; Gadow *et al.*, 2012; Graciano-Ávila *et al.*, 2017; García *et al.*, 2019).

La estimación de las existencias volumétricas de rodales constituye una herramienta básica para los inventarios forestales (Corral-Rivas y Navar-Cháidez, 2009); asimismo, son un indicador del potencial productivo de un rodal para planear, ejecutar y evaluar las actividades propuestas en los programas de manejo forestal (Magaña *et al.*, 2008). Adicionalmente, con tales determinaciones es posible conocer el potencial ecológico de los ecosistemas forestales como fuente principal para generar biomasa y almacenar carbono a través de la acumulación de materia orgánica (Ni *et al.*, 2016).

El establecimiento de parcelas permanentes en grandes superficies de bosque que tienen la finalidad de realizar monitoreos periódicos de la diversidad, composición, estructura y estudio de los reservorios de carbono funcionan como información base para el desarrollo de planes de investigación, conservación, manejo y

aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar la diversidad, composición, estructura y contenido de carbono almacenado en la masa arbórea incoetánea de una parcela permanente de investigación, mediante información de censo establecida en el noroeste de México.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el ejido forestal Aboreachi, ubicado en el municipio de Guachochi, al suroeste del estado de Chihuahua, México; en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, las coordenadas del sitio son 27°11'46" N 107°23'13" O (Figura 1). El área corresponde a un bosque templado frío incoetáneo con diversas especies forestales; los suelos son de tipo Cambisol éutrico, Planosol éutrico y Regosol éutrico, de textura media a fina (INEGI, 2014). El clima es C(E)(w₂)(x') que corresponde a uno semifrío húmedo, con temperatura media anual entre 5 y 12 °C, con precipitación media anual de 621.3 mm (INEGI, 2008).

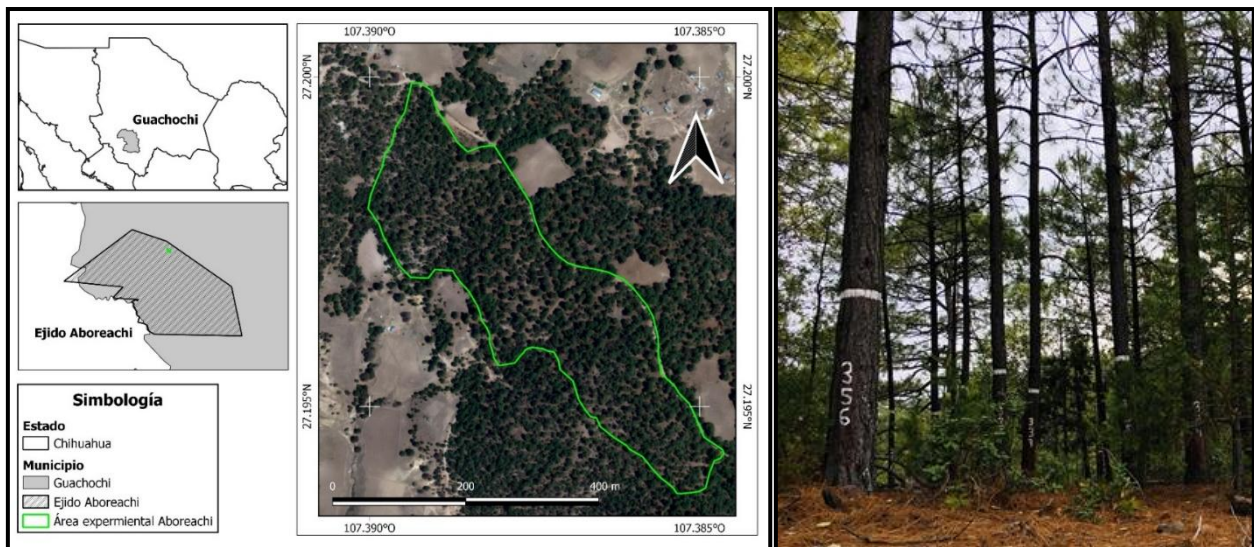


Figura 1. Localización del área de estudio en el ejido Aboreachi, municipio Guachochi, Chihuahua.

Método de muestreo

El área de estudio comprendió una superficie de 11.44 ha, intervenida por última ocasión en el año 1992; en 2017 se estableció como una Parcela Permanente de Investigación Forestal (PPIF). La información dasométrica se obtuvo mediante censo o registro total en el verano del año 2018. La base de datos se conformó con 5 092 árboles, a los que se les midió el diámetro normal (*DN*) a una altura de 1.3 m desde el nivel del suelo con una cinta diamétrica *Forestry Suppliers Inc*[®] de cinco metros, y la altura total (*H*) con un hipsómetro Suunto[®] PM5-1520. También, se registró la especie a la que pertenecía cada individuo.

Análisis de la información

Para determinar la diversidad alfa se calculó el Índice de *Shannon-Wiener* con la expresión descrita por Shannon (1948) (Ecuación 1):

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i) \quad [1]$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde:

H' = Índice de *Shannon-Wiener*

S = Número de especies

p_i = Proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos

N = Número total de individuos

n_i = Número de individuos de la especie i

La Ecuación 2 se utilizó para medir la riqueza de especies con el Índice de *Margalef* (Margalef, 1972):

$$D_{mg} = \frac{(S - 1)}{\ln(N)} \quad [2]$$

Donde:

D_{mg} = Índice de *Margalef*

S = Número de especies

\ln = Logaritmo natural

N = Número total de individuos

La estructura horizontal de la masa se determinó mediante la caracterización de la distribución de clases diamétricas presentes, asimismo se cuantificó el número de individuos por cada uno de los taxones. La abundancia se calculó con base en el número de árboles por especie y la dominancia en función del área basal. Dado que se realizó un censo, no fue necesario evaluar la frecuencia de las especies. Con los indicadores referidos se estimó el Índice de Valor de Importancia (*IVI*) (Ecuación 3), con el promedio porcentual de 0 a 100 de los indicadores ecológicos previos (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2011):

$$IVI = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i, DR_i)}{2} \quad [3]$$

Donde:

IVI = Índice de Valor de Importancia

AR_i = Abundancia relativa

DR_i = Densidad relativa

La caracterización de la estructura vertical de la masa se llevó a cabo con el Índice de Distribución Vertical de Especies (A) (Pretzsch, 2009) mediante las ecuaciones 4, 5 y 6. Con base en Jiménez *et al.* (2001) este índice define tres zonas de altura: la zona I abarca de 80 % a 100 % de la altura máxima de los árboles; la zona II integra de 50 % a 80 %; y la zona III de 0 a 50 %. Este índice sirve para determinar la diversidad estructural en cuanto a la distribución vertical de las especies (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020); García *et al.* (2020) indican que A_{max} corresponde al valor máximo para cada una de las especies por estrato; finalmente, A_{rel} es la estandarización de A :

$$A = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij} \quad [4]$$

$$A_{max} = \ln (S * Z) \quad [5]$$

$$A_{rel} = \frac{A}{\ln(S * Z)} * 100 \quad [6]$$

Donde:

A = Índice de distribución vertical de especies

A_{max} = Valor máximo por especie en cada estrato

A_{rel} = Valor estandarizado de A

S = Número de especies presentes

Z = Número de estratos de altura

P_{ij} = Porcentaje de especies en cada zona

\ln = Logaritmo natural

N = Número total de individuos

En el Cuadro 1 se consignan las ecuaciones empleadas para estimar el volumen total árbol (volumen de tocón, fuste y ramas) de cada individuo de las especies registradas; las expresiones se basan en el modelo de *Shumacher-Hall*, se copiaron del estudio biométrico del ejido Aboreachi y de Graciano-Ávila *et al.* (2019). Posteriormente, los resultados por individuo se utilizaron para estimar el volumen total árbol por hectárea y a nivel PPIF.

Cuadro 1. Ecuaciones para estimar el volumen total árbol a nivel individual para las especies de coníferas y hojosas presentes en el área de estudio.

| Espece | Ecuación |
|--|---|
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | $V = 0.0000553934DN^{2.16334}H^{0.73605}$ |
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | $V = 0.0002469800DN^{1.62540}H^{0.85500}$ |
| <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm.* | $V = 0.0000522746DN^{2.10137}H^{0.83405}$ |
| <i>Pinus arizonica</i> Engelm. | $V = 0.0000490687DN^{2.14628}H^{0.80792}$ |
| <i>Pinus leiophylla</i> Schltdl. & Cham. | $V = 0.0000522746DN^{2.10137}H^{0.83405}$ |
| <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | $V = 0.0000519842DN^{2.34625}H^{0.53944}$ |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald* | $V = 0.0000522746DN^{2.10137}H^{0.83405}$ |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | $V = 0.0000510702DN^{2.07117}H^{0.81869}$ |
| <i>Quercus rugosa</i> Née | $V = 0.0000584330DN^{2.05603}H^{0.79391}$ |
| <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. [†] | $V = 0.02633131940 + 0.0000415072DN^2H$ |
| <i>Quercus candicans</i> Née [†] | $V = 0.02633131940 + 0.0000415072DN^2H$ |
| <i>Quercus fulva</i> Liebm. [†] | $V = 0.02633131940 + 0.0000415072DN^2H$ |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth* | $V = 0.00024732DN^{1.6169}H^{1.0941}$ |
| <i>Arbutus bicolor</i> González* | $V = 0.00024732DN^{1.6169}H^{1.0941}$ |
| <i>Juniperus deppeana</i> Steud. | $V = 0.0000801276DN^{2.00900}H^{0.68617}$ |
| <i>Alnus</i> spp. Kunth | $V = 0.0000631351DN^{1.88895}H^{0.89890}$ |

*Corresponde a ecuación de *Pinus leiophylla*; [†] ecuación de *Quercus* spp.; [×] ecuación de *Arbutus* spp.; V = Volumen (m³); DN = Diámetro normal (cm); H = Altura total (m).

De acuerdo con Aguirre-Calderón y Jiménez-Pérez (2011), la estimación de biomasa y contenido de carbono pueden derivarse de ecuaciones obtenidas a partir del diámetro normal a nivel de árbol individual. Por tanto, los modelos alométricos mostrados en el Cuadro 2 se recabaron para estimar la biomasa aérea por individuo de las especies registradas. De la biomasa de cada individuo, posteriormente se escaló a nivel de taxón, género y familia, lo que permitió realizar los cálculos en Megagramos por hectárea, y por consiguiente la estimación a nivel de la PPIF completa. El contenido de carbono se obtuvo multiplicando el valor de la biomasa por el factor de conversión 0.50 sugerido por el IPCC (1996); la unidad de medida que se usó para expresar los resultados de biomasa y carbono almacenado en el estrato arbóreo por unidad de superficie fue el Megagramo por hectárea (Mg ha⁻¹).

Cuadro 2. Ecuaciones para estimar la biomasa por especie de coníferas y hojosas.

| Especie | Ecuación alométrica | Fuente |
|--|--|--|
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | $B = \exp(-3.532)ND^{2.731}$ | Návar-Cháidez (2010) |
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | $B = 0.2893ND^{2.1569}$ | Rojas-García <i>et al.</i> (2015) |
| <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm.* | $B = 0.1751ND^{2.2629}$ | Návar-Cháidez (2009) |
| <i>Pinus arizonica</i> Engelm. | $B = \exp(-1.482)ND^{2.129}$ | Návar-Cháidez (2010) |
| <i>Pinus leiophylla</i> Schltdl. & Cham. | $B = 0.1751ND^{2.2629}$ | Návar-Cháidez (2009) |
| <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | $B = 0.2883ND^{1.7343}$ | Návar-Cháidez (2009) |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B. L. Rob. & Fernald * | $B = 0.1751ND^{2.2629}$ | Návar-Cháidez (2009) |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | $B = 0.0768ND^{2.4416}$ | Návar-Cháidez (2009) |
| <i>Quercus rugosa</i> Née | $B = 0.0202ND^{2.6480}$ | Návar-Cháidez (2009) |
| <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. [†] | $B = \exp(-2.144)ND^{2.403}$ | Návar-Cháidez (2010) |
| <i>Quercus candicans</i> Née [†] | $B = \exp(-2.144)ND^{2.403}$ | Návar-Cháidez (2010) |
| <i>Quercus fulva</i> Liebm. [†] | $B = \exp(-2.144)ND^{2.403}$ | Návar-Cháidez (2010) |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | $B = 0.3764(DN^2 - 2.3146)(DN - 1.9106)$ | Aguilar-Hernández <i>et al.</i> (2016) |

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| <i>Arbutus bicolor</i> González* | $B = 0.3764(DN^2 - 2.3146)(ND - 1.9106)$ | Aguilar-Hernández <i>et al.</i> (2016) |
| <i>Juniperus deppeana</i> Steud.* | $B = \exp(-1.6469)ND^{2.1255}$ | Rodríguez-Laguna <i>et al.</i> (2007) |
| <i>Alnus</i> spp. Kunth | $B = \exp(-2.14)ND^{2.23}$ | Acosta-Mireles <i>et al.</i> (2002) |

*Corresponde a ecuación de *Pinus leiophylla*; †Ecuación para *Quercus* spp.;

•Ecuación para *Arbutus xalapensis*; *Ecuación para *Juniperus flaccida*; B = Biomasa (kg); DN = Diámetro normal (cm); \exp = Coeficiente e (base del logaritmo natural).

Resultados y Discusión

Diversidad florística

En la PPIF se registraron 16 especies arbóreas, pertenecientes a seis géneros de las familias Pinaceae, Fagaceae, Cupressaceae, Ericacea y Betulaceae; esta composición de familias fue superior a las citadas por García *et al.* (2020) y Hernández-Salas *et al.* (2013) en bosques de coníferas del estado de Chihuahua. La familia con mayor representatividad fue la Pinaceae, con siete especies; similar a lo documentado por Márquez *et al.* (1999), quienes registraron ocho pináceas del género *Pinus* en un bosque de Durango, seguidas de Fagaceae, Cupressaceae, Ericacea y Betulaceae con cinco, uno, dos y un taxon, respectivamente. González-Elizondo *et al.* (2012) y Silva-Flores *et al.* (2014) indican que esas familias son representativas de los bosques templados de la Sierra Madre Occidental.

Diversidad y riqueza de especies

El Índice de *Shannon-Wiener* (H') normalmente varía de 1 a 5, los valores superiores a 3.5 son considerados como diversidad alta; de 2 a 3.5, diversidad media; y menores de 2 se interpretan como diversidad baja (Margalef, 1972). En la PPIF se estimó un valor de 1.52, el cual es mayor a lo descrito por Solís *et al.* (2006), quienes calcularon un valor máximo de 1.21. Por su parte Delgado *et al.*

(2016) registraron un valor máximo de 1.58; Medrano *et al.* (2017) obtuvieron 1.94 como el valor mínimo en un análisis de diversidad altitudinal en bosques de pino-encino en Durango; estos últimos superiores al valor determinado en el estudio que aquí se documenta. Dadas las condiciones fisiográficas y climáticas, la PPIF presenta una diversidad de especies baja, propia de ecosistemas de bosques templados que han sido aprovechados en el mediano plazo, con típicas masas de segundo crecimiento o en regeneración.

Al índice de riqueza de *Margalef* (D_{Mg}) le corresponde un valor de cero, cuando se tiene un solo taxón en el estrato, pero puede aproximarse a 5, si el número de especies existentes aumenta la complejidad del ecosistema. El área de estudio presentó un valor de 1.76, el cual es inferior al obtenido por Domínguez *et al.* (2018) de 1.79 para bosques mezclados de coníferas en la región de Pueblo Nuevo, Durango; por su parte García *et al.* (2020) estimaron un valor de 1.52 en bosques mixtos del estado de Chihuahua, registro inferior al alcanzado en la PPIF; sin embargo, los valores corresponden a una riqueza de especies similar a la descrita en el presente estudio. Este resultado es consistente con lo citado en otras investigaciones para ecosistemas templados, ya que las condiciones climáticas y fisiográficas de los bosques de coníferas y asociaciones de pino-encino limitan el desarrollo de una amplia variedad de taxones arbóreos; caso contrario ocurre en las regiones tropicales, en donde es posible observar asociaciones arbóreas más complejas.

Estructura horizontal

La estructura horizontal de la masa arbórea en la PPIF evidenció una distribución irregular típica de un bosque de segundo crecimiento o de masas en proceso de regeneración, debido a previos aprovechamientos maderables, impactos antrópicos, como cambio de uso de suelo, incendios o por efecto del impacto ambiental en forma

de plagas y enfermedades. La mayor frecuencia se registró en árboles con categoría diamétrica de 10 cm y desciende hacia los diámetros de dimensión superior (Figura 2). En la PPIF, se obtuvo un diámetro normal promedio de 16.72 cm para el total de las especies registradas. El género *Pinus* presentó un diámetro promedio de 19.21 cm y *Quercus* de 13.88 cm; valores similares a los consignados por Návar-Cháidez y González-Elizondo, (2009), así como Delgado *et al.* (2016) para bosques de pino-encino en Durango, y por García *et al.* (2019) en bosques de pino-encino del sur del estado de Chihuahua.

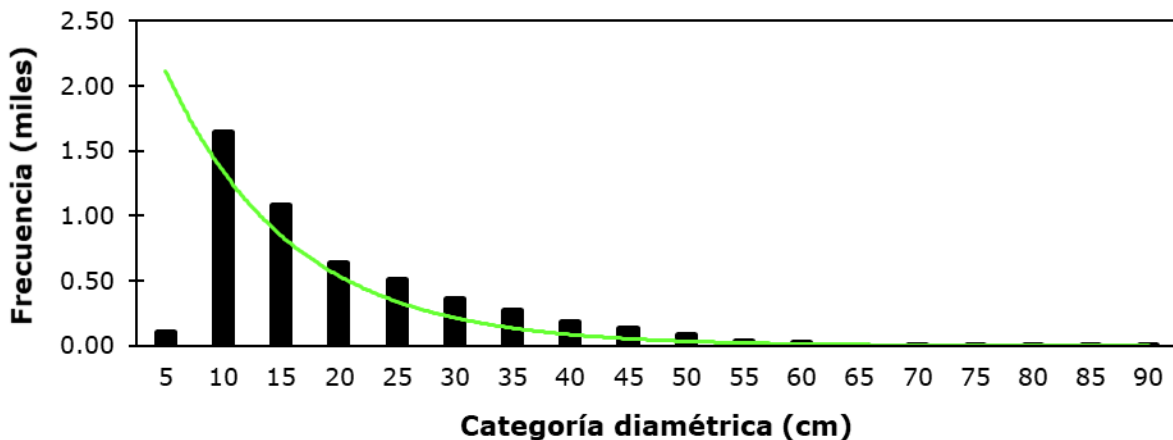


Figura 2. Frecuencia de especies arbóreas por clase diamétrica determinada en la PPIF.

La comunidad vegetal arbórea comercial que compone la PPIF es de 5 092 individuos registrados, equivalente a 445 árboles por hectárea (árb ha^{-1}) (Cuadro 3). *Pinus* tuvo la mayor densidad, con un total de 3 769 árboles (329 árb ha^{-1}) que representa 74.02 % del total de la parcela; el segundo lugar lo ocupa *Quercus*, con 1 062 ejemplares (93 árb ha^{-1}) y 20.86 % de las existencias. El género *Juniperus* presentó 132 individuos (12 árb ha^{-1}) equivalente a 2.60 % del total. Por último, al grupo de "otras hojosas" le correspondieron 129 árboles (11 árb ha^{-1}) que representaron 2.52 % del total de individuos existentes en el área. Los géneros *Pinus* y *Quercus* constituyen, en conjunto, 94.87 % de la cobertura arbórea; sus valores coinciden con los descritos por Delgado *et al.* (2016), Domínguez *et al.* (2018) y García *et al.* (2019) en bosques de los estados de Durango y Chihuahua.

Cuadro 3. Especies y estadísticos básicos de los árboles presentes en la parcela experimental.

| Familia | Especie | N | Diámetro (cm) | | | | Altura (m) | | | |
|--------------|---|-------|---------------|-------|-------|-------|------------|-------|------|------|
| | | | Máx | Media | Mín | DS | Máx | Media | Mín | DS |
| Pinaceae | <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | 2 539 | 86.20 | 22.55 | 5.00 | 12.90 | 29.30 | 10.67 | 3.00 | 4.48 |
| | <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | 885 | 51.80 | 17.00 | 4.00 | 8.33 | 23.20 | 8.83 | 2.80 | 3.59 |
| | <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm | 321 | 49.40 | 19.81 | 6.00 | 9.04 | 20.10 | 8.98 | 3.00 | 3.44 |
| | <i>Pinus arizonica</i> Engelm | 11 | 44.80 | 18.85 | 7.70 | 12.63 | 17.80 | 8.95 | 4.00 | 4.56 |
| | <i>Pinus leiophylla</i> Schltdl. & Cham. | 6 | 37.60 | 19.62 | 7.90 | 10.96 | 13.50 | 7.77 | 5.30 | 3.19 |
| | <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | 5 | 36.00 | 16.26 | 7.80 | 11.74 | 17.00 | 8.98 | 6.00 | 4.77 |
| | <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald | 2 | 32.00 | 20.35 | 8.70 | 16.48 | 16.40 | 10.70 | 5.00 | 8.06 |
| Fagaceae | <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | 845 | 90.00 | 17.84 | 6.30 | 11.19 | 19.20 | 7.57 | 2.70 | 3.05 |
| | <i>Quercus rugosa</i> Née | 111 | 53.10 | 13.27 | 6.50 | 6.86 | 12.60 | 6.24 | 2.90 | 1.77 |
| | <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. | 104 | 61.90 | 14.48 | 7.00 | 8.16 | 17.20 | 6.50 | 3.00 | 2.09 |
| | <i>Quercus candicans</i> Née | 1 | - | 7.80 | - | - | - | 4.90 | - | - |
| | <i>Quercus fulva</i> Liebm. | 1 | - | 16.00 | - | - | - | 7.00 | - | - |
| Ericaceae | <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 102 | 44.10 | 17.34 | 5.90 | 7.71 | 16.10 | 6.10 | 3.00 | 2.17 |
| | <i>Arbutus bicolor</i> González | 22 | 37.50 | 18.47 | 8.20 | 7.26 | 13.00 | 6.20 | 3.10 | 2.53 |
| Cupressaceae | <i>Juniperus deppeana</i> Steud. | 132 | 45.00 | 12.15 | 6.80 | 6.60 | 12.40 | 4.91 | 2.60 | 1.73 |
| Betulaceae | <i>Alnus</i> spp. Kunth | 5 | 26.30 | 15.70 | 10.70 | 6.43 | 10.00 | 8.02 | 5.60 | 1.94 |
| | Promedio general | 5 092 | 49.69 | 16.72 | 7.04 | 11.63 | 16.99 | 7.65 | 3.71 | 4.19 |

N = Número de observaciones; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; DS = Desviación estándar.

La especie con la mayor abundancia fue *Pinus durangensis* Ehren., con 2 539 individuos (222 árb ha⁻¹), lo que equivale a 49.86 % del total de la cobertura arbórea; *P. ayacahuite* Ehren. registró 885 árboles (77 árb ha⁻¹), con 17.38 % del total y *Quercus sideroxyla* Bonpl. tuvo 845 registros (74 árb ha⁻¹) que representaron 16.59 % del total. Estas tres especies constituyen 83.83 % de los árboles existentes dentro de la PPIF (Cuadro 4). Zúñiga *et al.* (2018) obtuvieron resultados similares en la región de Pueblo Nuevo, Durango;el dichos autores señalan que *P. durangensis* tiende a ser el taxón con más representatividad en los bosques de pino-encino.

Cuadro 4. Parámetros estructurales estimados para las especies registradas en la parcela experimental analizada.

| Especie | Abundancia | | Dominancia | | IVI |
|---|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|--------|
| | Absoluta N | Relativa % | Absoluta (m ²) | Relativa % | |
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | 2 539 | 49.86 | 134.62 | 62.00 | 55.93 |
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | 885 | 17.38 | 24.92 | 11.48 | 14.43 |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | 845 | 16.59 | 29.41 | 13.54 | 15.07 |
| <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm. | 321 | 6.30 | 11.93 | 5.50 | 5.90 |
| <i>Juniperus deppeana</i> Steud. | 132 | 2.59 | 1.98 | 0.91 | 1.75 |
| <i>Quercus rugosa</i> Née | 111 | 2.18 | 7.43 | 3.42 | 2.80 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 102 | 2.00 | 2.88 | 1.33 | 1.66 |
| <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. | 104 | 2.04 | 2.25 | 1.04 | 1.54 |
| <i>Arbutus bicolor</i> González | 22 | 0.43 | 0.68 | 0.31 | 0.37 |
| <i>Pinus arizonica</i> Engelm. | 11 | 0.22 | 0.43 | 0.20 | 0.21 |
| <i>Pinus leiophylla</i> Schltdl. & Cham. | 6 | 0.12 | 0.23 | 0.11 | 0.11 |
| <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | 5 | 0.10 | 0.15 | 0.07 | 0.08 |
| <i>Alnus</i> spp. Kunth. | 5 | 0.10 | 0.11 | 0.05 | 0.07 |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald | 2 | 0.04 | 0.09 | 0.04 | 0.04 |
| <i>Quercus candicans</i> Née | 1 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| <i>Quercus fulva</i> Liebm. | 1 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Total | 5 092 | 100.00 | 217.13 | 100.00 | 100.00 |

N = Número de observaciones; IVI = Índice de valor de importancia.

La mayor área basal correspondió a *P. durangensis*, con 134.62 m² equivalente a 11.77 m² ha⁻¹; *Q. sideroxyla* con 29.41 m² (2.57 m² ha⁻¹); *P. ayacahuite* con 24.92 m² (2.18 m² ha⁻¹); y *P. chihuahuana* Engelm. con 11.93 m² (1.04 m² ha⁻¹). En conjunto estos tres taxones sumaron 200.88 m² (17.56 m² ha⁻¹); es decir 92.52 % del total. Valenzuela y Granados (2009) indican que *P. durangensis* es el taxón dominante en dos asociaciones arbóreas del estado de Durango; Graciano-Ávila *et al.* (2020) documentan que *P. durangensis* y *Q. sideroxyla* son las especies con mayor dominancia en un bosque del mismo estado.

Pinus presentó en la PPIF un IVI de 76.70 %; mientras que, el género con menor valor fue *Alnus*, con 0.07 % del total. López-Hernández *et al.* (2017) señalan que para bosques de pino-encino en el estado de Puebla, *Pinus* spp. tiende a ser el más representativo, con hasta 85.20 % del total. *P. durangensis*, *Q. sideroxyla*, *P. ayacahuite* y *P. chihuahuana* registraron el IVI más alto: 55.93, 15.07, 14.43 y 5.90 %, respectivamente; estos cuatro taxones, en conjunto, representaron 91.33 % del total. Se obtuvieron ocho especies con valores inferiores al uno por ciento; al respecto, *Q. candicans* Née y *Q. fulva* Liebm. resultaron las menos sobresalientes. Graciano-Ávila *et al.* (2017) citan que en un bosque de Durango, *P. durangensis*, *Q. sideroxyla* y *P. teocote* Schiede ex Schltdl. fueron las más sobresalientes, con 62.43 % del total de la comunidad.

Estructura vertical

La PPIF presentó un valor de 1.8916 en el índice de distribución vertical de especies, con un A_{max} de 3.8712 y un A_{rel} de 48.86 %. García *et al.* (2020) determinaron en el estrato arbóreo maduro de un bosque mixto de Chihuahua un

índice A de 2.58, A_{max} de 3.40 y A_{rel} de 75.56 %; por su parte Graciano-Ávila *et al.* (2020) calcularon un valor máximo para A de 2.72, con A_{max} de 3.87 y A_{rel} de 70 % en bosques manejados de Durango.

La distribución de individuos por estrato obtenida del análisis podría deberse al efecto de la previa aplicación de tratamientos silvícolas a esta masa irregular, en donde se buscó hacer un aprovechamiento de los individuos sobre maduros que, principalmente, se localizaban en el estrato alto (I), por lo que la apertura del dosel favoreció la regeneración natural y el aumento del número de individuos y especies en el estrato bajo (III). En la distribución de estratos (Cuadro 5) se observó que *P. durangensis* fue la única especie presente en el estrato I, con una altura máxima de 29.30 m; el estrato II estuvo representado por 10 taxones arbóreos, entre los cuales nuevamente *P. durangensis* registró la mayor proporción dentro del estrato, con 80.77 %, seguido de *P. ayacahuite* con 10.06 %. El intervalo de altura para este estrato fue de 14.70 a 23.43 m. Por último, el estrato III presentó 100 % de los taxones registrados, en el que *P. durangensis* fue el más abundante con 44.99 % del total de existencias dentro del estrato, y 38.92 % de los individuos del área total; seguido de *P. ayacahuite* y *Q. sideroxyla*, con 16.04 y 15.99 % de representatividad en la totalidad de existencias de la PPIF.

Cuadro 5. Valores del Índice Vertical de *Pretzch* determinados para el estrato arbóreo de la parcela de investigación.

| Estrato | Altura (m) | N | Proporción (%) | |
|---------------------------------|-----------------|-----|----------------|------------|
| | | | Del estrato | De la PPIF |
| Alto (I) | (23.44 - 29.30) | | | |
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | | 11 | 100.00 | 0.22 |
| Subtotal | | 11 | 100.00 | 0.22 |
| Medio (II) | (14.70 - 23.43) | | | |
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | | 546 | 80.77 | 10.72 |

| | | | |
|--|----------------|--------|--------|
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | 68 | 10.06 | 1.34 |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | 31 | 4.59 | 0.61 |
| <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm. | 26 | 3.85 | 0.51 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 1 | 0.15 | 0.02 |
| <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. | 1 | 0.15 | 0.02 |
| <i>Pinus arizonica</i> Engelm. | 1 | 0.15 | 0.02 |
| <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | 1 | 0.15 | 0.02 |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B. L. Rob. & Fernald | 1 | 0.15 | 0.02 |
| Subtotal | 676 | 100.00 | 13.28 |
| Bajo (III) | (2.60 - 14.69) | | |
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | 1 982 | 44.99 | 38.92 |
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | 817 | 18.55 | 16.04 |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | 814 | 18.48 | 15.99 |
| <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm. | 295 | 6.70 | 5.79 |
| <i>Juniperus deppeana</i> Steud. | 132 | 3.00 | 2.59 |
| <i>Quercus rugosa</i> Née | 111 | 2.52 | 2.18 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 101 | 2.29 | 1.98 |
| <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. | 103 | 2.34 | 2.02 |
| <i>Arbutus bicolor</i> González | 22 | 0.50 | 0.43 |
| <i>Pinus arizonica</i> Engelm. | 10 | 0.23 | 0.20 |
| <i>Pinus leiophylla</i> Schltdl. & Cham. | 6 | 0.14 | 0.12 |
| <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | 4 | 0.09 | 0.08 |
| <i>Alnus</i> spp. Kunth. | 5 | 0.11 | 0.10 |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald | 1 | 0.02 | 0.02 |
| <i>Quercus candicans</i> Née | 1 | 0.02 | 0.02 |
| <i>Quercus fulva</i> Liebm. | 1 | 0.02 | 0.02 |
| Subtotal | 4 405 | 100.00 | 86.51 |
| Total | 5 092 | 300.00 | 100.00 |

N = Número de observaciones.

El análisis de distribución vertical evidenció que conforme aumenta la altura de los árboles, la diversidad de especies disminuye; resultados similares describen García *et al.* (2019) en bosques mixtos y García *et al.* (2020) en un bosque de *Pseudotsuga*, ambos al sur del estado de Chihuahua.

Estimación de volumen total árbol, biomasa aérea y carbono almacenado

Se cuantificó un volumen total árbol de 1 810.38 m³ en la PPIF (Cuadro 6). El género *Pinus* aportó el mayor volumen, con 1 545.69 m³ equivalente a 85.37 % del total; para *Quercus*, se estimó un volumen de 233.63 m³ que correspondió a 12.90 % del total. A nivel especie, se calculó un volumen de 1 222.62 m³ (67.53 %) para *P. durangensis*, seguido por *P. ayacahuite* con 216.11 (11.93 %) y *Q. sideroxyla* con 208.44 m³ (11.51 %). Respecto al volumen total a nivel de hectárea, la PPIF presentó un volumen promedio de 158.25 m³ ha⁻¹, el cual es inferior al obtenido por Graciano-Ávila *et al.* (2019) en bosques templados de Durango, con 207.36 m³ ha⁻¹; la diferencia volumétrica se debe a que el estudio realizado en la zona de “El Salto” presenta una mayor densidad con diámetro y altura promedio superior a los registros de este trabajo.

Cuadro 6. Volumen, biomasa y carbono aéreo obtenido en las especies registradas en la parcela de investigación.

| Especies | N | VTA (m ³) | B (Mg) | C (Mg) |
|---|-------|--------------------------|-----------|-----------|
| <i>Pinus durangensis</i> Ehren. | 2 539 | 1 222.62 | 687.45 | 343.73 |
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren. | 885 | 216.12 | 150.74 | 75.37 |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | 845 | 208.44 | 131.46 | 65.73 |
| <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm. | 321 | 101.70 | 63.03 | 31.51 |
| <i>Juniperus deppeana</i> Steud. | 132 | 9.34 | 7.02 | 2.82 |
| <i>Quercus rugosa</i> Née | 111 | 12.34 | 3.64 | 1.82 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 102 | 14.65 | 5.33 | 2.66 |
| <i>Quercus mcvaughii</i> Bonpl. | 104 | 12.75 | 12.22 | 6.11 |
| <i>Arbutus bicolor</i> González | 22 | 3.36 | 1.25 | 0.71 |
| <i>Pinus arizonica</i> Engelm. | 11 | 4.31 | 1.95 | 0.97 |
| <i>Pinus leiophylla</i> Schltldl. & Cham. | 6 | 1.55 | 1.22 | 0.61 |

| | | | | |
|---|-------|----------|----------|--------|
| <i>Pinus engelmannii</i> Carr. | 5 | 1.57 | 0.23 | 0.11 |
| <i>Alnus</i> spp. Kunth | 5 | 0.56 | 0.32 | 0.16 |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald | 2 | 0.93 | 0.47 | 0.23 |
| <i>Quercus candicans</i> Née | 1 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| <i>Quercus fulva</i> Liebm. | 1 | 0.10 | 0.09 | 0.05 |
| Total | 5 092 | 1 810.38 | 1 066.44 | 532.61 |

N = Número de observaciones; VTA = Volumen total árbol; B = Biomasa; C = Carbono.

Con relación a la biomasa arbórea aérea determinada en la PPIF, se calculó un total de 1 066.44 Mg, de los cuales *P. durangensis* registró 687.45 Mg (64.46 %), *P. ayacahuite* 150.74 Mg (14.13 %) y *Q. sideroxylla* 131.46 Mg (12.33 %) del total; *Q. candicans* tuvo el menor valor de biomasa, con 0.01 Mg. La biomasa estimada a nivel de hectárea fue de 93.22 Mg, la cual está en el intervalo de biomasa determinado por Martínez *et al.* (2016) de 75.43 a 176.06 Mg ha⁻¹ para bosques de pino-encino en el estado de Durango.

En cuanto al almacenamiento de carbono aéreo por categoría diamétrica, se determinó que los individuos de las cuatro clases diamétricas superiores (30 a 45 cm) presentaron valores de 60.62, 67.46, 63.42 y 64.99 Mg, respectivamente; las que concentraron 47.99 % del total de carbono de la PPIF (Figura 3). El carbono almacenado por *Pinus* fue el más elevado (452.55 Mg), equivalente a 84.68 % del total de la PPIF; *Quercus* acumuló 73.71 Mg que representan 13.79 % del total

almacenado.

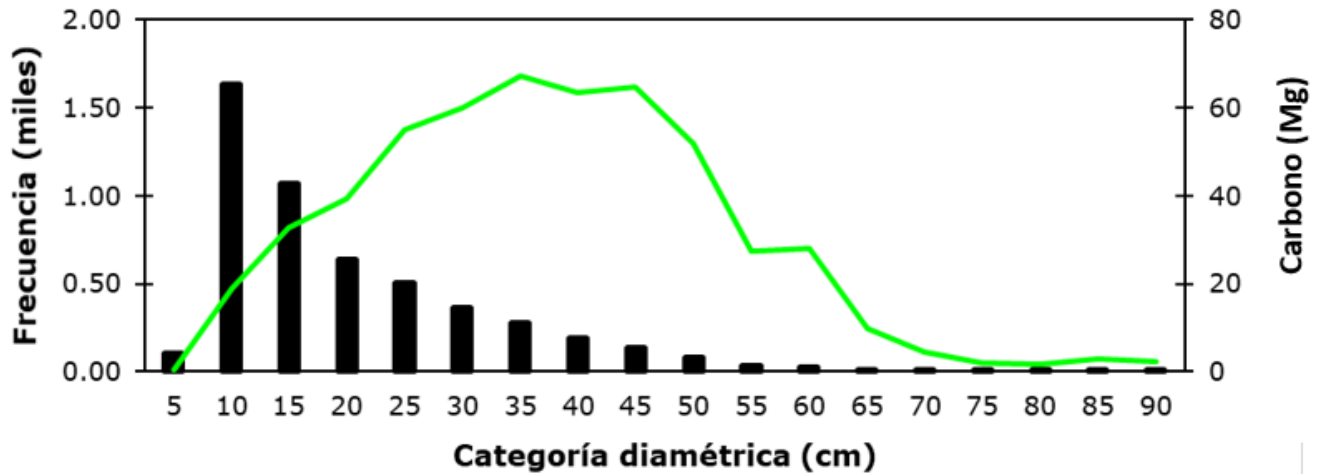


Figura 3. Carbono aéreo almacenado por clase diamétrica en la parcela de investigación.

De las especies existentes en la parcela de estudio (11.44 ha), a *P. durangensis* le correspondieron los mayores valores de carbono acumulado (343.72 Mg), seguido de *P. ayacahuite* (75.37 Mg) y *Q. sideroxyla* (65.73 Mg). Estas tres representaron 90.72 % del total de carbono acumulado en la parcela. El valor medio fue de 46.71 Mg ha⁻¹, los resultados concuerdan con lo informado por Graciano-Ávila *et al.* (2019) en bosques de pino-encino del estado de Durango, (65.14 Mg ha⁻¹), pero son inferiores a los publicados por Buendía-Rodríguez *et al.* (2019), en el intervalo de 58.36 a 123.49 Mg ha⁻¹ para asociaciones de pino-encino del sur del estado de Nuevo León.

Los estudios de caracterización de masas forestales en términos de su diversidad, estructura, volumen, biomasa y contenido de carbono del estrato arbóreo mediante información de censo en grandes superficies, como la que aquí se documenta, contribuirán a que los manejadores planifiquen acciones fundamentadas y orientadas para lograr un manejo sustentable de los recursos maderables del noroeste de México. Además, el monitoreo periódico de grandes parcelas permanentes develará la dinámica

de crecimiento en el tiempo, lo que coadyuvará al desarrollo de programas de investigación para el aprovechamiento y conservación de los recursos forestales.

Conclusiones

La Parcela Permanente de Investigación Forestal del ejido Aboreachi presenta una riqueza de especies arbóreas similar a las observadas en otras regiones de la Sierra Madre Occidental. La familia Pinaceae es la más representativa con siete especies presentes, seguida de la Fagaceae con cinco taxones. Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia son *P. durangensis* con 55.93 % y *Q. sideroxylla* con 15.07 % del total. En estructura vertical de la masa, *P. durangensis* es el único taxón presente en los tres perfiles evaluados, ocupa 49.86 % de los registros, seguido de *P. ayacahuite* con 17.38 % del total.

Las especies de las familias Pinaceae y Fagaceae registran las alturas y diámetros mayores; ambas aportan la mayor existencia de volumen, biomasa y carbono aéreo almacenado. Se estima un volumen total árbol de 1 810.38 m³, *Pinus* y *Quercus* aportan 85.37 y 12.90 % del total. La biomasa aérea total es de 1 066.44 Mg, de los cuales *P. durangensis* contribuye con 64.46 %, *P. ayacahuite* con 14.13 % y *Q. sideroxylla* 12.33 % del total. A *P. durangensis* le corresponde la máxima acumulación de carbono con un total de 343.72 Mg.

Conflictos de interés

Los autores no manifiestan conflicto de interés.

Contribuciones por autor

Joel Rascón-Solano: colecta de datos de campo, análisis e interpretación de resultados y redacción de manuscrito; Viridiana Suguey Galván-Moreno: colecta de datos de campo y análisis e interpretación de resultados; Oscar Alberto Aguirre-Calderón: revisión general de manuscrito y análisis de resultados; Samuel Alberto García-García: revisión general de manuscrito y análisis de resultados.

Referencias

Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J. D. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6):725-736. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/225/225> (12 de noviembre de 2020).

Acosta-Mireles, M., F. Carrillo-Anzures, D. Delgado y E. Velasco Bautista. 2014. Establecimiento de parcelas permanentes para evaluar impactos del cambio climático en el Parque Nacional Izta-Popo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26):6-29. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.287>.

Aguilar-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, Edo. de Méx., México. pp. 529-530.

Aguirre-Calderón, O. A. y J. Jiménez-Pérez. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(6):73-84. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i6.575>.

Aguirre, O. A., J. Jiménez y B. Meráz. 1995. Optimización de inventarios para manejo forestal: Un caso de estudio en Durango, México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 4(1):107-118. <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/4854> (7 de noviembre de 2020).

Aguirre, O. A., J. Jiménez, E. Treviño y B. Meráz. 1997. Evaluación de diversos tamaños de sitio de muestreo en inventarios forestales. *Madera y Bosques* 3(1):71-79. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.1997.311380>.

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, A. Valdecantos-Dema, M. Pando-Moreno, O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 2011. Caracterización de la regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del parque ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1):31-39. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05032>.

Alanís-Rodríguez, E., E. A. Rubio-Camacho, P. A. Canizales-Velázquez, A. Mora-Olivo, M. Á. Pequeño-Ledezma y E. Buendía-Rodríguez. 2020. Estructura y diversidad de un bosque de galería en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(58):134-153. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.591>.

Buendía-Rodríguez, E., E. Treviño-Garza, E. Alanís-Rodríguez, O. Aguirre-Calderón, M. González-Tagle y M. Pompa-García. 2019. Estructura de un ecosistema forestal y su relación con el contenido de carbono en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(54):4-25. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>.

Contreras, F., C. Leño, J. C. Licona, E. Dauber, L. Gunnar, N. Hager y C. Caba. 1999. *Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs)*. Editora El País. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 59 p.

Corral, J., O. A. Aguirre, J. Jiménez y S. Corral. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el Bosque Mesófilo de Montaña "El Cielo", Tamaulipas, México. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 14(2):217-228. <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2278> (7 de noviembre de 2020).

Corral-Rivas, J. J., B. Vargas, C. Wehenkel, O. Aguirre, G. Álvarez y A. Rojo. 2008. *Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos en Bosques del Estado de Durango*. Editorial UJED. Durango, Dgo., México. 81 p.

Corral-Rivas, S. y J. Navar-Cháidez. 2009. Comparación de técnicas de estimación de volumen fustal total para cinco especies de pino de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1):5-13. <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=39&articulo=502> (7 de noviembre de 2020).

Delgado, D. A., S. A. Heynes, M. D. Mares, N. L. Piedra, F. I. Retana, K. Rodríguez y L. Ruacho-González. 2016. Diversidad y estructura arbórea de dos rodales en Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33):94-107. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i33.92>.

Domínguez, T. G., B. N. Hernández, H. González, I. Cantú, E. Alanís y M. Alvarado. 2018. Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(50):9-34. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>.

Estrada, O. y S. G. Rodríguez. 2021. Más de 100 años de cultivo al bosque en Chihuahua. Caso Ejido El Largo y Anexos. Dirección Técnica Forestal de Ejido El Largo y Anexos. Chihuahua, Chih., México. 143 p.

Gadow, K., A. Rojo, J. G. Álvarez y R. Rodríguez. 1999. Ensayos de crecimiento: parcelas permanentes, temporales y de intervalo. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 8(Extraordinario 1):299-310. Doi: <https://doi.org/10.5424/644>.

Gadow, K., C. Y. Zhang, C. Wehenkel, A. Pommerening, J. J. Corral-Rivas, M. Korol and X. H. Zhao. 2012. Forest structure and diversity. *In: Pukkala, T. and K. von Gadow (comp.). Continuous Cover Forestry.* Springer. Heidelberg, Germany., Netherlands. pp. 29-83.

García, S. A., E. Alanís, O. A. Aguirre, E. J. Treviño y G. Graciano. 2020. Regeneración y estructura vertical de un bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(58):92-111. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.665>.

- García, S. A., R. Narváez, J. M. Olivas y J. Hernández. 2019. Diversidad y estructura vertical del bosque de pino-encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(53):42-63. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>.
- González-Elizondo, S., M. González-Elizondo, J. Tena-Flores, L. Ruacho-González y L. López-Enríquez. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botanica Mexicana* 100:351-403. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>.
- Graciano-Ávila, G., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza y A. Mora-Olivo. 2017. Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México. *Madera y Bosques* 23(3):137-146. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480>.
- Graciano-Ávila, G., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza, A. Mora-Olivo y E. Buendía-Rodríguez. 2019. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en un bosque de clima templado-frío de Durango, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(2):119-127. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-2/4a.pdf> (1 de diciembre de 2020).
- Graciano-Ávila, G., E. Alanís-Rodríguez, Ó. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza, A. Mora-Olivo y J. J. Corral-Rivas. 2020. Cambios estructurales de la vegetación arbórea en un bosque templado de Durango, México. *Acta Botanica Mexicana* 127:e1522. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1522>.
- Gutiérrez, A., F. García, S. Rojas y F. Castro. 2015. Parcela permanente de monitoreo de bosque de galería, en Puerto Gaitán, Meta. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1):113-29. Doi: https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:385.
- Hernández, L. y C. Reyna. 2015. Manual de campo para el establecimiento y remediación de parcelas permanentes de muestreo forestal en el Parque Nacional

Machalilla. Departamento de Edición y Publicación Universitaria (DEPU). Editorial Mar Abierto. Manta, Manabí, Ecuador. 50 p.

Hernández-Salas, J., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza, M. A. González-Tagle, C. Luján-Álvarez, J.M. Olivas-García y A. Domínguez-Pereda. 2013. Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(2):189-199. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1000000. Unidades climáticas. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/> (10 de noviembre de 2020).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2014. Conjunto de datos vectorial edafológico escala 1: 250000 Serie II (Continuo Nacional). http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx (10 de noviembre de 2020).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Chapter 5: Land Use Change and Forestry. En G. G. Manual, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London, United Kingdom. 57 p. <http://www.ipcc.ch/> (25 de noviembre de 2020).

Jiménez, J., O. A. Aguirre y H. Kramer. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 10(2):355-366. <http://www.inia.es/IASPF/2001/vol10-2/jimen.PDF> (24 de noviembre de 2020).

López-Hernández, J. A., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. C. Monarrez-Gonzalez, M. A. González-Tagle y J. Jiménez-Pérez. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* 23(1):39-51. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>.

- Magaña T., O. S., J. M. Torres R., C. Rodríguez, H. Aguirre y A. M. Fierros. 2008. Predicción de la producción y rendimiento de *Pinus rudis* Endl. en Aloapan, Oaxaca. *Madera y Bosques* 14(1):5-13. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411214>.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44:211-235. <https://digital.csic.es/handle/10261/166281> (15 de noviembre de 2021).
- Márquez, M. A., S. González y R. Álvarez. 1999. Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, Méx. *Madera y Bosques* 5(2):67-78. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.1999.521348>.
- Martínez, M., G. Sosa, J. M. Chacón, A. Pinedo, F. Villarreal y J. A. Prieto. 2019. El monitoreo forestal por medio de Sitios Permanentes de Investigación Silvícola en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(55):56-78. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.511>.
- Martínez, R. A., O. A. Aguirre, B. Vargas, J. Jiménez, E. J. Treviño y J. I. Yerena. 2016. Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(35):91-105. Doi:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i35.77>.
- Medrano, M., F. J. Hernández, S. Corral y J. A. Nájera. 2017. Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(40):57-68. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.36>.
- Návar-Cháidez, J. J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257(2):427-434. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>.
- Návar-Cháidez, J. J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12(3):507-519. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v12i3.391> (27 de noviembre de 2020).
- Návar-Cháidez, J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27(1):71-87.

<https://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/785/1009> (27 de noviembre de 2020).

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):1-8. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0044-y>.

Pretzsch, H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer-Verlag. Heidelberg, Germany. 664 p.

Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. A. 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(101):39-56. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/827> (28 de noviembre de 2020).

Rodríguez-Ortiz, G., V. A. González-Hernández, A. Aldrete, H. M. De Los Santos-Posadas, A. Gómez-Guerrero y A. M. Fierros- González. 2011. Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3):205-212. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/34-3/8a.pdf> (14 de octubre de 2021).

Rojas-García, F., B.H.J. De Jong and P. Martínez-Zurimendí. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science* 72:835-864. Doi:<https://doi.org/10.1007/s13595-015-0456-y>.

Shannon, C. E. 1948. The mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27(3):379-423. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.

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(8):e105034. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105034>.

Solís, R., O. A. Aguirre, E. J. Treviño, J. Jiménez, E. Jurado y J. Corral-Rivas. 2006. Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques* 12(2):49-64. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1221242>.

Valenzuela, L. M. y D. Granados. 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(1):29-41. <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=39&articulo=505> (16 de diciembre de 2020).

Zúñiga, J.M., E.A. Martínez, C. Navarrete, J. Graciano, D. Maldonado y B. Cano. 2018. Análisis ecológico de un área de pago por servicios ambientales hidrológicos en el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 26(73):27-36. Doi: <https://doi.org/10.33064/iycuaa201873204>.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.