

# Estructura y contenido de carbono de un bosque templado asociado a un cuerpo de agua en el estado de Durango

## Structure and carbon content of a temperate forest associated with a body of water in the state of Durango

María de Fatima Amaran-Ruiz<sup>1</sup>  • Eduardo Alanís-Rodríguez<sup>1</sup>  • Guadalupe Geraldine García-Espinoza<sup>2</sup>   
 • Andrés Eduardo Estrada-Castillón<sup>1</sup>  • Oscar Alberto Aguirre-Calderón<sup>1</sup>  • Luis Gerardo Cuéllar-Rodríguez<sup>1</sup>   
 • Armando Alberto Luna-Robles<sup>1</sup> 

Recibido: 3/6/2025

Aceptado: 26/9/2025

### Abstract

Temperate forests are communities represented mostly by tall trees dominated by pines and oaks and, to a lesser extent, by other species that inhabit mountainous areas with temperate to cold climates. On the other hand, riparian forests constitute transitional ecosystems, with regular influence of fresh water. In Mexico, the vegetation associated with bodies of water has been scarcely studied despite its ecological importance and its low representativeness in relation to the forested surface of the country. In their ecological role, forests function as a carbon sink and favor the fixation of this in soils. The type of vegetation largely determines the capacity of the different ecosystems to store carbon. For these reasons, this study aims to describe the vertical structure and determine the carbon stored in a gallery forest, in a temperate climate region in the northwest of Mexico. A total of 365 individuals belonging to 10 species were recorded, the *Pinus* genus being the most representative. The plant community presents a greater abundance of diameter classes and heights in the lower classes. In addition, a high uniformity was found for the Pretzsch index, with no significant changes in the distribution of species in the three height strata. The recorded carbon storage values were lower than those reported for these communities in other regions. This study provides relevant information for efficient management and conservation or restoration of riparian ecosystems.

**Keywords:** Riparian ecosystems, carbon, rivers, Pretzsch index.

1. Facultad de Ciencias Forestales (FCF), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Ciudad de Linares, Nuevo León, México; [fatimaforestal93@gmail.com](mailto:fatimaforestal93@gmail.com), [eduardoforestal@gmail.com](mailto:eduardoforestal@gmail.com), [aeduardoestradac@prodigy.net.mx](mailto:aeduardoestradac@prodigy.net.mx), [oaguirre@gmail.com](mailto:oaguirre@gmail.com), [luis.cuellarrd@uanl.edu.mx](mailto:luis.cuellarrd@uanl.edu.mx), [lunkkaa@gmail.com](mailto:lunkkaa@gmail.com)

2. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Uruapan, Michoacán, México; [geraldine.geraldine@umich.mx](mailto:geraldine.geraldine@umich.mx)

## Resumen

Los bosques templados son comunidades representadas en su mayoría por árboles altos con dominancias de pinos y encinos y en menor medida de otras especies que habitan en zonas montañosas con clima templado a frío. Por otra parte, los bosques ribereños constituyen ecosistemas de transición, con influencia regular de agua dulce. En México, la vegetación asociada a cuerpos de agua ha sido escasamente estudiada a pesar de su importancia ecológica y de la poca representatividad respecto a la superficie boscosa del país. En su rol ecológico, los bosques funcionan como sumidero de carbono, y favorecen a la fijación de este en el suelo. El tipo de vegetación determina en gran medida la capacidad de los diferentes ecosistemas en almacenar carbono. Por tales motivos este trabajo persiguió como objetivo principal describir la estructura vertical y determinar el carbono almacenado en un bosque de galería, en una región de clima templado al noroeste de México. Se registraron 365 individuos, pertenecientes a 10 especies; siendo el género *Pinus* el de mayor representatividad. La comunidad vegetal presenta mayor abundancia de clases diamétricas y alturas en las clases inferiores. Además, se encontró una alta uniformidad para el índice de Pretzsch, sin presencia de cambios considerables en la distribución de especies en los tres estratos de altura. Los valores registrados de almacenamiento de carbono son inferiores a los reportados para estas comunidades en otras regiones. Con este estudio se aporta información relevante para el manejo eficiente desde la conservación o restauración de los ecosistemas riparios.

**Palabras clave:** Ecosistemas riparios, restauración, ríos, índice de Pretzsch.

## Introducción

A nivel mundial alrededor del 31 % de la superficie terrestre está cubierta de bosque, los cuales almacenan cerca del 45 % del carbono terrestre [1], [2], siendo indispensables en la regulación climática y en los funcionamientos de los diferentes ciclos naturales a nivel global. En México cerca del 20 % del territorio nacional está representado por ecosistemas templados; [3], [4]; siendo los bosques de *Pinus* y *Pinus-Quercus* los que dominan aproximadamente el 14 % de dicha superficie [5], [2], [6], [7]; mientras que la vegetación hidrófila solo representa el 0,98 % del territorio nacional [8].

Se estima que el 45 % de los corredores riparios en México se encuentran degradados; debido a factores como la alteración de los cauces, extracción de material de los bancos del río, cambios de uso de suelo y urbanización [9], [10]. Las áreas de vegetación riparia

con enfoques a la conservación y preservación de los servicios ecosistémicos y de la diversidad biológica no se encuentran exentos de estos disturbios. Un adecuado manejo de los bosques precisa del estudio de su estructura y composición para comprender su funcionamiento, siendo estos análisis la base para la toma de decisiones, respetando siempre sus ciclos naturales [11], [12], [13], [14].

La tasa de acumulación de carbono provenientes de la biomasa viva y muerta influyen en la estructura forestal, siendo además de vital importancia en las funciones de regulación climáticas en los bosques templados [15], [16]. Teniendo en cuenta este contexto, el propósito del estudio fue determinar la estructura vertical y estimar el contenido de carbono de la vegetación asociada a un cuerpo de agua en un bosque templado en el estado de Durango, con la intención de documentar información que sirva de apoyo para la conservación y protección de los ecosistemas riparios.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

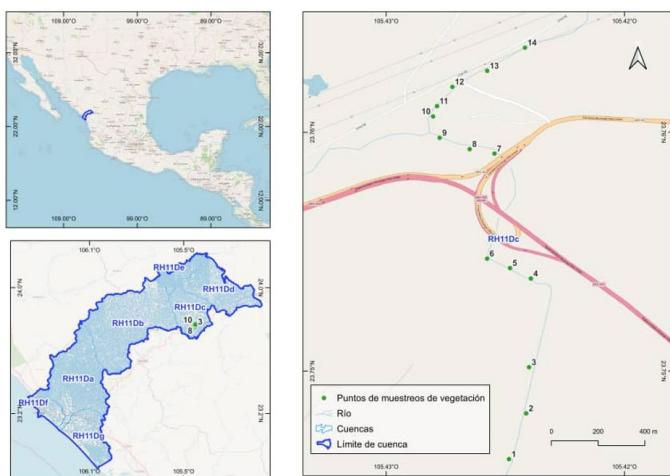
El estudio se llevó a cabo en un tramo del río Presidio, ubicado en el paraje “Arroyo del Agua”, perteneciente al ejido La Victoria, en la localidad de El Salto, del municipio Pueblo Nuevo, al suroeste del estado de Durango (Figura 1). La localidad de El Salto tiene una superficie de 44,87 km<sup>2</sup> con altitudes que oscilan entre los 2557 y 2860 msnm. Pertenece a la región hidrológica 11 Río Presidio – San Pedro, que a su vez se ubica en dos Provincias Fisiográficas, la Llanura Costera del Pacífico, en su porción oeste, la cual se extiende sobre la costa del Océano Pacífico, que es una zona de planicie; y La Sierra Madre Occidental, la cual cubre la otra mitad del acuífero, hacia la parte montañosa [17]. El clima está clasificado como templado subhúmedo, con temperatura media anual en la región de 13,7 °C, y una precipitación media anual de 1 126,8 mm [18], [19].

### Evaluación de campo

Para evaluar la comunidad vegetal se establecieron 14 sitios rectangulares de 1 000 m<sup>2</sup> de forma paralela al cauce del río; el tamaño de muestra se calculó a través de la ecuación 1.

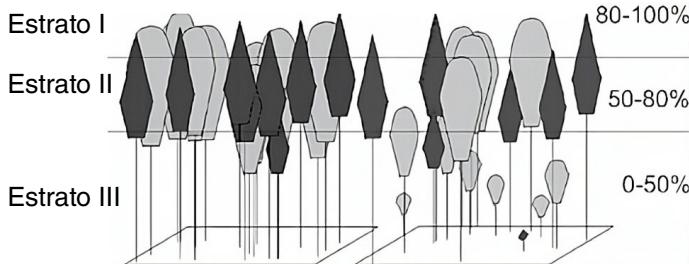
$$n = \frac{t^2 * CV^2}{E_{0\%}^2} \quad (1)$$

Donde:  $n$  es el número de puntos necesarios para la precisión deseada;  $E$ , con el nivel de probabilidad implicado por el valor de  $t$ ;  $t$  es el valor  $t$  de Student;  $CV$  es el coeficiente de variación (en porcentaje) del bosque



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio. a) Mapa de México que muestra el estado de Durango, b) mapa de Durango que indica la región hidrológica, y c) región hidrológica que muestra las cuencas hidrográficas.

**Figure 1.** Geographic location of the study area. a) Map of Mexico showing the state of Durango, b) map of Durango indicating the hydrological region, and c) hydrological region showing the watersheds.



**Figura 2.** Representación de la distribución vertical de especies arbóreas por estrato de altura (Imagen de Pretzsch, 2009).

**Figure 2.** Representation of the vertical distribution of tree species by height stratum (Image from Pretzsch, 2009).

por muestrear y  $E$  es el error permisible o precisión deseada (en porcentaje) para el volumen promedio (o área basal).

El primer sitio se estableció de manera aleatoria y los demás en intervalos de 200 m del anterior atendiendo a la accesibilidad del sitio (Figura 1). Fueron considerados todos los individuos con diámetro ( $d_{1,30}$ )  $\geq 2,5$  cm en todos los sitios muestreados. Se registró de manera individual la altura total ( $h$ ) del arbolado con un hipsómetro Suunto Pm-5. El diámetro normal (DAP) se determinó con la cinta diamétrica Forestry Suppliers, mientras que para

el diámetro de copa se utilizó una cinta métrica de 100 m Truper® (norte –sur y este –oeste) [20], registrándose además la taxa de cada individuo.

Los índices de importancia ecológica fueron calculados para todas las especies en cada uno de los sitios evaluados. Para el análisis se tomaron como referencia los valores relativos de la abundancia ( $N$  ha), la dominancia representada por la cobertura de copas ( $m^2 ha^{-1}$ ) y la frecuencia, así como el número de sitios en los que la cada especie ( $i$ ) estuvo presente.

Con el objetivo de analizar ecológicamente la importancia de cada especie en los diferentes estratos de altura, se combinaron los atributos estructurales con sus valores relativos y se representaron a través del valor de importancia relativa (IVI o VIR) [21], [22], mediante la ecuación 2.

$$IVI = \frac{A_r + F_r + D_r}{3} \quad (2)$$

Donde: IVI es el índice de valor de importancia;  $A_r$  es la abundancia relativa;  $F_r$  es la frecuencia relativa y  $D_r$  es la dominancia relativa.

La abundancia relativa se determinó a través de la ecuación 3.

$$A_r = \left( \frac{n_i}{N} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:  $A_r$  es la abundancia relativa de la especie  $i$  con respecto a la abundancia total;  $n$  es el número de individuos de la especie  $i$ , y  $N$  el número total de individuos.

La dominancia relativa se calculó utilizando la ecuación 4 y 5.

$$D_r = \left( \frac{g_i}{G} \right) * 100 \quad (4)$$

$$G = \sum_{i=1}^N g_i \quad (5)$$

Donde:  $D_r$  es la dominancia relativa de la especie  $i$  respecto a la dominancia total;  $g$  es el área basal de la especie  $i$ , siendo  $G$  el área basal total.

La frecuencia relativa se obtuvo mediante la ecuación 6.

$$F_r = \left( \frac{m_i}{M} \right) * 100 \quad (6)$$

Donde:  $F_r$  es la frecuencia relativa de la especie  $i$  con respecto a la frecuencia total,  $m$  la frecuencia de las

especies  $i$  en los sitios de muestreo y  $M$  el número total de sitios de muestreo.

### Estructura vertical

La estructura vertical de las especies forestales se determinó mediante el índice A de Pretzsch (Ecuación 7), siendo este una modificación del índice de Shannon. Este índice divide la vegetación verticalmente en tres estratos de altura (Ecuación 8,9 y 10). El estrato 1 (alto) pertenece al intervalo de 80-100 %, donde el árbol más alto representa el 100 %. El estrato 2 (medio), se corresponde al intervalo de 50-80 % y el estrato 3 (bajo) representa los intervalos de 0-50 % de los niveles de altura respecto al árbol más alto [23], [24] (Figura 2).

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (7)$$

$$A_{\max} = \ln(S \times Z) \quad (8)$$

$$A_{\text{rel}} = \frac{A}{A_{\max}} \times 100 \quad (9)$$

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \quad (10)$$

Donde:  $A_{\max}$ , es el valor máximo teórico del índice  $A$ ,  $A_{\text{rel}}$  es el índice A expresado como porcentaje de su valor máximo,  $S$  es el número de especies,  $Z$  es el número de estratos de altura,  $P_{ij}$  es la proporción de individuos de la especie  $i$  en el estrato  $j$ ,  $n_{ij}$  es el número de individuos de la especie  $i$  en el estrato  $j$  y  $N$  es el número total de individuos.

### Contenido de carbono

Para determinar el volumen por especie se tuvo en cuenta las variables altura, diámetro, así como los coeficientes para cada especie (Ecuación 11). Para el análisis se utilizó la fórmula de volumen total árbol con corteza ( $V_{tacc}$ ) (Cuadro 1).

$$V_{tacc} = b_0 * D^{b_1} * h^{b_2} + b_3 * D^2 \quad (11)$$

Donde:  $D$  es el diámetro normal del árbol  $i$  en cm;  $h$  es la altura total del árbol  $i$  en m;  $b_i$  son los coeficientes propuestos.

Para el análisis de la biomasa se multiplicó el volumen de la especie por la densidad de la madera de cada especie (Cuadro 2) y por la cantidad de individuos ( $N$  ha $^{-1}$ ) registrados en los sitios. Posteriormente, se calculó el contenido de carbono mediante la multiplicación del valor de la biomasa y la concentración de carbono 0,5 [34], [2], [25].

### Resultados

Se obtuvo el registro de 365 individuos, correspondientes a 10 especies, congregadas en 4 géneros y 4 familias. El género *Pinus* fue el de mayor representatividad con 5 taxas.

La distribución de clases de altura del bosque presentó una tendencia exponencial negativa (Figura 3), lo que indica una comunidad en desarrollo con tendencia a etapas de crecimiento mayores; donde los individuos

**Cuadro 1.** Parámetros del modelo para la estimación del volumen de las especies evaluadas. Las especies se listan en orden alfabético.

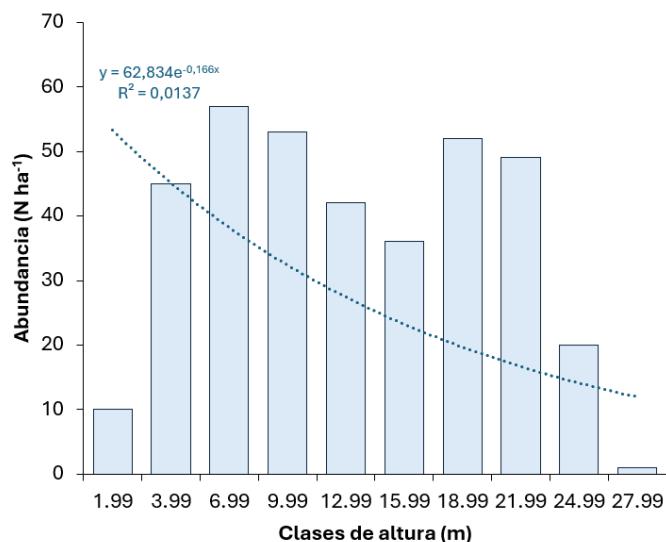
**Table 1.** Model parameters for the volume estimation of the evaluated species. Species are listed in alphabetical order.

Especie	Parámetros				Referencia
	b0	b1	b2	b3	
<i>Arbutus xalepensis</i> Kunth.	0,000142	1,483474	1,121788	0,000116	[25]
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	0,000054	2,212130	0,615217	0,000046	[26]
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	0,000591	1,338876	0,707074	0,000029	[27]
<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	0,000082	2,102772	0,606456	0,000054	[28]
<i>Pinus cooperi</i> Blanco.	0,000067	1,783568	1,098266	0,000063	[29]
<i>Pinus durangensis</i> Martínez.	0,000085	1,995095	0,764492	0,000050	[30]
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl	0,000142	1,483474	1,121788	0,000116	[31]
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl	0,000077	1,84565	0,816681	0,000035	[32]
<i>Quercus rugosa</i> Née.	0,000188	1,851694	0,572656	0,000044	[33]
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	0,000188	1,851694	0,572656	0,000044	[34]

**Cuadro 2.** Densidad de la madera de las especies ribereñas evaluadas para el río Presidio en el sitio "Arroyo del Agua", ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. Las especies se listan en orden alfabético.

**Table 2.** Wood density of the riparian species evaluated for the Presidio River at the "Arroyo del Agua" site, La Victoria ejido, Pueblo Nuevo, Durango. Species are listed in alphabetical order.

Especie	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Referencia
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.	0,75	[25]
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	0,51	[26]
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	0,46	[27]
<i>Pinus strobus</i> Engelm.	0,43	[28]
<i>Pinus cooperi</i> Blanco.	0,47	[29]
<i>Pinus durangensis</i> Martínez.	0,65	[30]
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltl	0,37	[31]
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltl	0,55	[32]
<i>Quercus rugosa</i> Née.	0,78	[33]
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	0,61	[34]



**Figura 3.** Clases de altura en relación al número de individuos en los sitios.

**Figure 3.** Height classes in relation to the number of individuals at the sites.

jóvenes sustituirán a la comunidad vegetal madura pertenecientes a las clases de altura superiores.

Las especies *P. duranguensis*, *P. cooperi*, *P. leiophylla* y *Cupressus sempervirens* están representadas en todos los estratos de altura, mientras que *P. duranguensis* es la especie con mayor importancia para el estrato 1 y *P. cooperi* para los estrados 2 y 3, aportando valores de importancia de 7,54 %, 14,83 % y 15,40 % respectivamente (Cuadro 3).

El estrato 1 presenta un diámetro promedio de 39,19 cm y una altura máxima de 26 m, por su parte la media del diámetro para el estrato 2 es de 29,45 cm y muestra un rango de altura que va desde los 20,30 a los 14,00 m; por último, el estrato 3 presentó un diámetro promedio de 12,95 cm mientras que su rango de altura oscila entre 13,10 y 1,25 m (Cuadro 4).

El valor del índice A obtenido fue de 2,37, con un Amax de 3,30 y un Arel de 72,04 % de la máxima diferenciación dimensional.

El volumen total de las especies registradas fue de 206,60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, correspondiéndoles los mayores valores a *P. durangensis*, *P. cooperi* y *P. leiophylla* con 79,32, 72,95 y 20,07 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respectivamente. La biomasa por especie osciló entre 37,28 t ha<sup>-1</sup> y 0,16 t ha<sup>-1</sup>, obteniéndose un valor total para la comunidad vegetal de 99,19 t ha<sup>-1</sup>; siendo la especie *P. durangensis* la que presentó el mayor aporte (37,28 t ha<sup>-1</sup>).

El contenido total de carbono almacenado para el bosque evaluado fue de 49,59 Mg C ha<sup>-1</sup>. Las especies *P. duranguensis* y *P. cooperi* fueron las de mayor contribución al contenido de carbono con 18,64 y 15,68 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras que la especie que obtuvo los menores valores de volumen y biomasa así como contenido de carbono fue *Arbutus xalapensis* con 0,002 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, 0,16 t ha<sup>-1</sup>, y 0,08 Mg C ha<sup>-1</sup> lo cual es atribuible a la baja densidad de la especie en los sitios (Cuadro 5).

## Discusión

El número de taxas registradas (10) es similar a las reportadas para un bosque templado en el municipio de Guadalupe y Calvo por García [2] en el estado de Chihuahua. Por otra parte, el número de taxas reportadas por Holguin [35] para un bosque de galería en el mismo estado [18], son superiores a los descritos en este trabajo. La riqueza registrada es común en ecosistemas de bosque templado.

La familia Pinaceae es la de mayor representatividad en el estudio y ha sido descrita como una de las familias de mayor representación en el estado de Durango, debido a

**Cuadro 3.** Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVI) de especies por estrato..**Table 3.** Ecological Importance Value Index (IVI) of species by stratum.

Estrato	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
		Abs	Rel %	Abs	Rel %	Abs	Rel %	Rel %
1	<i>Pinus duranguensis</i>	10,714	4,110	1,516	12,208	7,000	6,306	7,541
	<i>Pinus cooperi</i>	9,286	3,562	0,942	7,588	10,000	9,009	6,720
	<i>Pinus leiophylla</i>	2,143	0,822	0,365	2,939	2,000	1,802	1,854
	<i>Cupressus spp.</i>	0,714	0,274	0,124	0,998	1,000	0,901	0,724
	<i>Pinus teocote</i>	0,714	0,274	0,090	0,723	1,000	0,901	0,633
	<i>Pinus cooperi</i>	37,143	14,247	2,415	19,448	12,000	10,811	14,835
2	<i>Pinus duranguensis</i>	30,714	11,781	2,270	18,276	12,000	10,811	13,622
	<i>Pinus leiophylla</i>	6,429	2,466	0,626	5,043	5,000	4,505	4,005
	<i>Cupressus spp.</i>	3,571	1,370	0,358	2,883	4,000	3,604	2,619
	<i>Pinus teocote</i>	1,429	0,548	0,238	1,913	2,000	1,802	1,421
	<i>Quercus rugosa</i>	0,714	0,274	0,275	2,213	1,000	0,901	1,129
	<i>Pinus strobiformis</i>	1,429	0,548	0,175	1,412	1,000	0,901	0,953
3	<i>Juniperus deppeana</i>	0,714	0,274	0,047	0,380	1,000	0,901	0,518
	<i>Quercus Sideroxyla</i>	0,714	0,274	0,020	0,163	1,000	0,901	0,446
	<i>Pinus cooperi</i>	70,714	27,123	1,026	8,260	12,000	10,811	15,398
	<i>Cupressus spp.</i>	29,286	11,233	0,734	5,911	9,000	8,108	8,417
	<i>Pinus duranguensis</i>	18,571	7,123	0,565	4,550	11,000	9,910	7,194
	<i>Juniperus deppeana</i>	15,000	5,753	0,161	1,294	6,000	5,405	4,151
	<i>Quercus Sideroxyla</i>	7,143	2,740	0,033	0,267	4,000	3,604	2,204
	<i>Pinus strobiformis</i>	4,286	1,644	0,201	1,616	2,000	1,802	1,687
	<i>Pinus leiophylla</i>	2,857	1,096	0,068	0,546	3,000	2,703	1,448
	<i>Arbutus xalapensis</i>	0,714	0,274	0,001	0,011	1,000	0,901	0,395

la amplia distribución de las especies que la conforman a lo largo de las cadenas montañosas mexicanas [36]. Los bosques de Durango están conformados por un alto número de especies del género *Pinus*, debido a que estas especies están adaptadas morfológicamente a las fluctuaciones climáticas del estado que oscila entre climas cálidos casi desérticos hasta ambientes fríos con altos niveles de precipitaciones.

El comportamiento de las clases diamétricas ha sido descrito por diversos autores a lo largo del territorio mexicano. Siendo nuestros resultados similares a los reportados en otras regiones del país, como es el caso de López Hernández [37], para un bosque templado en el estado de Puebla y García [2] para un bosque templado en Chihuahua. Este comportamiento es atribuible a comunidades vegetales en regeneración, donde los individuos de menor talla sustituirán posteriormente a los árboles en sus últimas etapas fenológicas y por consiguiente con las mayores dimensiones.

**Cuadro 4.** Diámetros promedio y rangos de altura de las especies presentes en cada estrato.**Table 4.** Average diameters and height ranges of the species present in each stratum.

Estrato	Dm prom (cm)	Rango de altura (m)
1	39,19	26,0 - 21,0
2	29,45	20,3 - 14,0
3	12,95	13,10 - 1,25

La especie *Pinus duranguensis* constituye la de mayor importancia ecológica, en cada uno de los estratos evaluados y en los sitios de manera general. Lo que coincide con otros trabajos realizados en el estado de Durango; como es el caso de Graciano et al., [36], [4] quienes describieron a la especie en conjunto con otras de su familia como las más importantes de la región.

**Cuadro 5.** Valor del carbono para cada una de las especies.**Table 5.** Carbon value for each of the species.

Especie	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )
<i>Pinus duranguensis</i>	79.32	37.28	18.64
<i>Pinus cooperi</i>	72.95	31.37	15.68
<i>Pinus leiophylla</i>	20.07	12.24	6.12
<i>cupressus sempervirens</i>	15.17	7.74	3.87
<i>Pinus teocote</i>	7.93	4.36	2.18
<i>Quercus rugosa</i>	4.61	3.27	1.64
<i>Pinus strobiformis</i>	4.12	1.53	0.77
<i>Juniperus deppeana</i>	1.93	0.89	0.44
<i>Quercus Sideroxyla</i>	0.50	0.35	0.18
<i>Arbutus xapalensis</i>	0.00	0.16	0.08
Total	206.60	99.19	49.59

Coinciendo también con Flores et al., [38] quienes evaluaron la diversidad arbórea de un bosque templado en un ejido cercano al área de estudio.

Domínguez-Gómez et al., [39] mencionan que en la mayoría de las ocasiones los bosques de *Pinus* – *Quercus* presentan valores de uniformidad en las alturas, obteniendo valores de Arel de 68 % para un bosque templado bajo manejo en el estado de Durango, mostrando resultados inferiores a los reportados en nuestro estudio (72,04 %). Por otra parte, Graciano et al., [36] evaluaron los cambios en la estructura en un bosque del estado de Durango en diferentes años obteniendo valores de Arel oscilantes entre 68 y 70 %; aunque los valores se encuentran cercanos a los reportados en nuestro estudio aún son inferiores en comparación con el mismo. Existiendo para todos los casos una uniformidad alta en cuanto a la diversidad de alturas; si se tiene en cuenta que valores de Arel cercanos a 100 % indican que todas las especies están distribuidas de manera equitativa en todos los estratos de altura. Planteamiento que también ha sido reportado por Rubio-Camacho et al. [40]. Siendo diferente a lo reportado por Graciano-Ávila et al. [4] quien obtuvo valores de Arel de 57 %, indicando la presencia de una comunidad con uniformidad media de alturas para un bosque templado al norte de México.

Los valores de volumen obtenidos son superiores a los reportados por García et al. [2] con un valor de 168.58 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, para un bosque templado en el estado de Chihuahua. Los volúmenes de madera en los bosques del estado de Durango oscilan en los 2 518 376 m<sup>3</sup>, según

el anuario estadístico de la producción forestal para el año 2018 [41]. Silva et al. [42] plantean que los bosques templados de Durango presentan volúmenes de madera que oscilan entre los 93,85 y los 374,70 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un promedio de 234,27 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, siendo nuestro valor (206,60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) inferior a los mismos, aunque son similares a los reportados por Graciano et al. [36] (207,36 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) para una localidad cercana en el mismo municipio.

Los valores de retención de carbono obtenidos (49,59 Mg C ha<sup>-1</sup>) son inferiores a los reportados para un bosque de *Abies* en la Ciudad de México con 108,0 Mg C ha<sup>-1</sup>, según Ávila [43], de igual forma a lo descrito para un bosque de oyamel en el estado de Hidalgo por Razo-Zárate et al. [44] con 138,69 Mg C ha<sup>-1</sup>, y a los 103,1 Mg C ha<sup>-1</sup> reportados por Ordóñez Díaz et al. [25] para un bosque bajo manejo en el estado de Michoacán. Sin embargo, nuestros valores son superiores en comparación a los reportados por Martínez Barrón et al., [45] para un bosque templado del estado de Durango con valores de 26,87 Mg C ha<sup>-1</sup>; y al valor encontrado por García et al. [2] para un bosque templado en Chihuahua (45,29 Mg C ha<sup>-1</sup>). La cantidad de carbono almacenado muestra el potencial como sumidero de carbono de las masas forestales.

Según lo planteado por Acosta et al. [46] a mayores valores mayor será la capacidad de retención del gas y por tanto mayor capacidad de mitigación de los efectos del cambio climático. Por su parte Graciano et al. [36] plantean que a mayor densidad de un bosque mayor será su valor de biomasa y por consiguiente mayor el valor de carbono retenido por el mismo, indicando además que los bosques mixtos de pino-encino tienen tasas de retención mayores a los de pino y algunas otras latifolias.

## Conclusiones

El bosque evaluado presenta una baja riqueza de especies en comparación con otros estudios realizados en la Sierra Madre Occidental. La especie *Pinus duranguensis* es la de mayor representatividad e importancia en el área. De acuerdo con los valores del índice vertical (A) existe uniformidad de la vegetación, sin presencia de cambios considerables en la distribución de especies para los tres estratos de altura.

Los valores de biomasa y carbono acumulado en la vegetación evaluada son superiores a los reportados anteriormente para localidades cercanas y para formaciones boscosas similares en otros estados al norte de México. Las especies con mayor potencial de retención fueron *Pinus duranguensis* y *Pinus cooperi* las que asumen más del 30 % del carbono secuestrado.

## Referencias

- [1] G. Bonan, "Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests," *Science*, vol. 320, pp. 1444–1449, 2008, doi: [10.1126/science.1155121](https://doi.org/10.1126/science.1155121)
- [2] S. A. García García et al., "Contenido de carbono y estructura horizontal de un bosque templado en Guadalupe y Calvo, Chihuahua," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 12, no. 63, pp. 48–70, Mar. 2021, doi: [10.29298/rmcf.v12i63.800](https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.800)
- [3] A. Challenger, Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: Pasado, presente y futuro. México, D.F., México: CONABIO–UNAM–Sierra Madre S.C., 1998.
- [4] G. Graciano-Ávila et al., "Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del norte de México," *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 4, no. 12, pp. 535–542, Feb. 2017
- [5] L. U. Castruita-Esparza et al., "Series de incremento del área basal en árboles dominantes de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco muestra periodicidad de acuerdo con patrones climáticos globales," *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 22, no. 3, pp. 379–397, Jul. 2016, doi: [10.5154/r.rchscfa.2015.10.048](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.10.048)
- [6] E. Ortega Arroyo, "Generación de un modelo de regresión segmentado a través de un análisis dendroclimático en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco," Ph.D. dissertation, Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México, 2017.
- [7] J. Rzedowski, Vegetación de México. México: Limusa, 1986.
- [8] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Anuario estadístico de la producción forestal 2009. México, 2011. [En línea]. Disponible en <https://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios>
- [9] A. Garrido, D. Pérez, y C. Enríquez, "Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México," en Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. México: Instituto Nacional de Ecología/Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., 2010, 232 pp.
- [10] M. Vallejo et al., "Biodiversity of riparian vegetation under a management gradient in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico," *Botanical Sciences*, vol. 100, no. 4, pp. 837–856, Jun. 2022, doi: [10.17129/botsci.30](https://doi.org/10.17129/botsci.30)
- [11] O. A. Aguirre Calderón, "Manejo forestal en el siglo XXI," *Madera y Bosques*, vol. 21, núm. esp. 1, pp. 17–28, Dec. 2015.
- [12] O. Aguirre et al., "An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables," *Forest Ecology and Management*, vol. 183, nos. 1–3, pp. 137–145, Sept. 2003.
- [13] J. Castellanos-Bolaños et al., "Estructura de bosques de pino patula," *Madera y Bosques*, vol. 14, no. 2, pp. 51–63, 2008.
- [14] J. Corral et al., "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*, vol. 14, no. 2, pp. 217–228, May 2005.
- [15] S. Hardiman et al., "The role of canopy structural complexity in wood net primary production of a maturing northern deciduous forest," *Ecology*, vol. 92, no. 9, pp. 1818–1827, Sept. 2011
- [16] A. Urbano y W. Keeton, "Carbon dynamics and structural development in recovering secondary forests of the northeastern U.S.," *Forest Ecology and Management*, vol. 392, pp. 21–35, May 2017, doi: [10.1016/j.foreco.2017.02.037](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.037)
- [17] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Río Presidio, clave 2509, en el estado de Sinaloa, región hidrológica 54 administrativa Pacífico Norte. México, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cofemersimir.gob.mx/expediente/18601/mir/39823/regulacion/21493>
- [18] N. Chávez, Estudio regional forestal de la Unidad de Manejo Forestal No. 0808 "Guadalupe y Calvo, Chihuahua", 2009. [En línea]. Disponible en: [https://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1147ERF\\_UMAFOR0808.pdf](https://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1147ERF_UMAFOR0808.pdf)
- [19] A. G. Méndez-Gutiérrez y S. Corral-Rivas, "Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México," 2021, pp. 1–11.
- [20] E. Alanís, A. Mora, y J. Marronquín, Muestreo ecológico de la vegetación. Monterrey, México: Univ. Autónoma de Nuevo León, 2020.
- [21] BOLFOR, B. Mostacedo, y T. Fredericksen, Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. 2000.
- [22] A. E. Magurran, Measuring Biological Diversity.

- Oxford, U.K.: Blackwell Science Ltd., 2004
- [23] Ó. A. Aguirre-Calderón, "Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales," *Ciencia Forestal en México*, vol. 27, no. 92, pp. 5–27, 2004.
- [24] H. Pretzsch, *Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2009.
- [25] J. A. B. Ordóñez et al., "Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico," *Forest Ecology and Management*, vol. 255, no. 7, pp. 2074–2084, 2008, doi: [10.1016/j.foreco.2007.12.024](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.024)
- [26] F. William et al., "Estimación de biomasa y carbono en árboles de *Cupressus lusitanica* Mill. en Costa Rica," *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 57, pp. 1–17, 2023, doi: [10.15359/rca.57-2.6](https://doi.org/10.15359/rca.57-2.6)
- [27] L. Nájera y R. P. García, "Propiedades físicas de la madera de *Juniperus deppeana* y *Arbutus xalapensis* de la región de El Salto, Durango," *TecnoINTELECTO*, vol. 6, no. 1, pp. 37–42, Apr. 2009, doi: [10.5154/r.rchscfa.2010.09.083](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.083)
- [28] O. G. Vázquez-Cuecuecha et al., "Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas," *Madera y Bosques*, vol. 21, no. 1, pp. 129–138, Apr. 2015, doi: [10.21829/myb.2015.211437](https://doi.org/10.21829/myb.2015.211437)
- [29] C. Sotomayor, *Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas*. Morelia, México: Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Univ. Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2008. doi: [10.13140/RG.2.1.3497.4884](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3497.4884)
- [30] F. M. Silva-Arredondo y J. D. J. Návar-Cháidez, "Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México," *Madera y Bosques*, vol. 18, no. 1, pp. 77–88, Aug. 2012, doi: [10.21829/myb.2012.1811139](https://doi.org/10.21829/myb.2012.1811139)
- [31] D. B. Ramos-Dorantes et al., "Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico," *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 88, pp. 215–223, 2017.
- [32] J. Hernández Ramos et al., "Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 4, no. 19, pp. 62–77, Oct. 2013.
- [33] C. De la Paz O. y R. Dávalos-Sotelo, "Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México," *Madera y Bosques*, vol. 14, no. 3, pp. 43–80, Aug. 2008, doi: [10.21829/myb.2008.1431206](https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431206)
- [34] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan: IGES, 2006.
- [35] V. A. Holguín-Estrada et al., "Structure and floristic composition of a gallery forest in an altitudinal gradient in the northwest of México," *Madera y Bosques*, vol. 27, no. 2, pp. 1–16, Dec. 2021, doi: [10.21829/myb.2021.2722123](https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722123)
- [36] G. Graciano-Ávila et al., "Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en un bosque de clima templado-frío de Durango, México," *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 42, no. 2, pp. 119–127, Aug. 2019.
- [37] J. A. López-Hernández et al., "Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México," *Madera y Bosques*, vol. 23, no. 1, pp. 39–51, Mar. 2017, doi: [10.21829/myb.2017.2311518](https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518)
- [38] E. A. Flores Morales et al., "Diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo manejo en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México," *Polibotánica*, no. 54, pp. 11–26, Sept. 2022.
- [39] G. Domínguez-Gómez et al., "Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 9, no. 50, pp. 9–34, Dec. 2018, doi: [10.29298/rmcf.v9i50.227](https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227)
- [40] E. A. Rubio-Camacho et al., "Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch," *Ciencia UANL*, año 17, vol. 65, pp. 34–41, Feb. 2014.
- [41] Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente, *Programa Estratégico Forestal 2030*, Durango, México, 2006.
- [42] J. E. Silva-García et al., "Estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del noreste de México," *Polibotánica*, no. 52, pp. 89–102, Jul. 2021, doi: [10.18387/polibotanica.52.7](https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.7)
- [43] V. Ávila-Akerberg, "Forest quality in the southwest of Mexico City: Assessment towards ecological restoration of ecosystem services," *Culterra*, vol. 56, pp. 1–2, 2010.
- [44] R. Razo-Zárate et al., "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*, vol. 19, no. 2, pp. 73–86, Aug. 2013, doi: [10.21829/myb.2013.192341](https://doi.org/10.21829/myb.2013.192341)

[45] R. A. Martínez Barrón et al., “Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango,” *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 7, no. 35, pp. 91–105, Oct. 2017, doi: [10.29298/rmcf.v7i35.77](https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i35.77)

[46] M. Acosta-Mireles et al., “Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham.,” *Terra Latinoamericana*, vol. 27, no. 2, pp. 105–114, Jun. 2009.