



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.665>

Artículo

Regeneración y estructura vertical de un bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Chihuahua, México

Regeneration and vertical structure of a *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco forest in Chihuahua State, Mexico

Samuel Alberto García García¹, Eduardo Alanís Rodríguez^{1*}, Oscar Alberto Aguirre Calderón¹, Eduardo Javier Treviño Garza¹ y Gabriel Graciano Ávila¹

Abstract

For the characterization of the vertical structure of a *Pseudotsuga menziesii* forest in the Chinatú ejido, Guadalupe y Calvo municipality, Chihuahua State, eight circular sites of 1 000 m² dispersed in 80.46 ha were randomly sampled. With the information obtained, the vertical structure of regeneration and standing trees was analyzed using the Pretzsch A Index, abundance (N ha⁻¹), average, minimum, maximum values and coefficient of variation of height and diameter were estimated normal and coverage, as well as diversity based on the Shannon-Wiener Index (H') and the Margalef Index (DMg). Eight species were registered for the regenerated plant community, the families with the greatest presence were Pinaceae with five species and Fagaceae with two; the mature plant community recorded 10 species, the most predominant being pinaceae with six species and fagaceae with two. The maximum heights of the forest were 8.0 m and 29.0 m for regeneration and mature woodland, respectively. With the Pretzsch Index A it was determined that the largest number of individuals belongs to stratum III (Low) for both types of trees. The species with the highest regeneration are *Abies durangensis*, *Juniperus deppeana*, *Quercus tuberculata* and *Pseudotsuga menziesii*, the latter of which is dominant in the tree stratum. The studied forest has a low richness and diversity of species, some of high ecological value for conservation and regeneration of the majority of those present.

Key words: Diversity, vertical structure, Fagaceae, Pretzsch Index, Pinaceae, Western Sierra Madre.

Resumen

Para la caracterización de la estructura vertical de un bosque de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido Chinatú, municipio Guadalupe y Calvo, Chihuahua, se realizó un muestreo aleatorio de ocho sitios circulares de 1 000 m² dispersos en 80.46 ha. Con la información obtenida se analizó la estructura vertical de la regeneración y del arbolado mediante el Índice A de Pretzsch, se estimó la abundancia (N ha⁻¹), los valores medios, mínimos, máximos y coeficiente de variación de la altura y diámetro normal y cobertura, así como la diversidad con base en el Índice de Shannon-Wiener (H') y el Índice de Margalef (DMg). Se registraron ocho especies para la comunidad vegetal regenerada, las familias con mayor presencia fueron Pinaceae con cinco especies y Fagaceae con dos; la comunidad vegetal madura registró 10 especies, las más predominantes fueron pinaceae con seis taxones y fagaceae con dos. Las alturas máximas del bosque fueron 8.0 m y 29.0 m para regeneración y arbolado maduro, respectivamente. Con el Índice A de Pretzsch se precisó que el mayor número de individuos se reúne en el estrato III (Bajo) para ambos tipos de árboles. Las especies con mayor regeneración son *Abies durangensis*, *Juniperus deppeana*, *Quercus tuberculata* y *Pseudotsuga menziesii*, la última de las cuales es dominante en el estrato arbóreo. El bosque estudiado cuenta con una riqueza y diversidad de especies baja, algunas de alto valor ecológico para conservación y con regeneración de la mayoría de las presentes.

Palabras clave: Diversidad, estructura vertical, Fagaceae, Índice de Pretzsch, Pinaceae, Sierra Madre Occidental.

Fecha de Recepción/Reception date: 12 de septiembre de 2019

Fecha de Aceptación/Acceptance date: 31 de enero de 2020

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Nuevo León. México.

*Autor por correspondencia, correo-e: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

Introducción

En México, las coníferas se distribuyen ampliamente en el territorio nacional y están presentes en diversos tipos de vegetación como el bosque de pino, matorral, bosque de *Abies*, bosque de *Pseudotsuga* y *Picea*, bosque o matorral de *Juniperus*, bosque de *Cupressus*, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino, matorral xerófilo y bosque de galería (Rzedowski, 1978).

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco es una de las coníferas más importantes del mundo por su amplia distribución, por la superficie plantada en varios países y por su valor económico (Owston y Stein, 1974; Hermann y Lavender, 1999). Fowells (1965) indica que esta especie se distribuye desde Columbia Británica, Canadá, hasta el sur de Estados Unidos. La distribución natural de esta especie en México no es tan abundante, comprende bosques de los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Zacatecas en la Sierra Madre Occidental, así como Nuevo León y Tamaulipas en la Sierra Madre Oriental, generalmente las poblaciones están fragmentadas en rodales o manchones aislados, con frecuencia dominados por otras especies (Rzedowski, 1978; Domínguez *et al.*, 2004).

La evaluación de la biodiversidad de los bosques contribuye a conservar los recursos forestales eficazmente y ordenar de forma sostenible su composición, estructura y función (Newton y Kapos, 2002; Del Río *et al.*, 2003). Para el estudio de la biodiversidad se consideran índices estructurales y variables dendrométricas que incluyen diámetro, altura, área basal, densidad, entre otras, para así lograr una mejor descripción (Aguirre *et al.*, 2003).

La estructura de una masa forestal está relacionada con el hábitat y el nicho ecológico de muchas especies de plantas y animales, y puede llegar a utilizarse como un indicador de la biodiversidad (Murdoch *et al.*, 1972; Degraaf *et al.*, 1998). Con el fin de garantizar un manejo sustentable de los ecosistemas, es necesario realizar una caracterización de su diversidad estructural, ya que con ello es factible observar tanto los procesos de sucesión natural como

los provocados por actividades antropogénicas, y así, definir las actividades que deben seguirse en el manejo del bosque (Jiménez *et al.*, 2001).

Durante los últimos años, en los bosques templados del noroeste de México se han realizado diversos estudios que evalúan la diversidad y estructura de la vegetación arbórea de interés maderable en algunas zonas específicas (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009; Aragón-Piña *et al.*, 2010; Hernández-Salas *et al.*, 2013; Graciano *et al.*, 2017). Sin embargo, dichas investigaciones se han enfocado, principalmente, en evaluar la composición y estructura horizontal, por lo que es necesario dirigir la atención a especies de alto interés de conservación y distribución restringida para analizar su regeneración y estructura vertical. Por lo anterior, el objetivo de este estudio consistió en determinar la riqueza y la diversidad de especies presentes en la comunidad, así como su estructura vertical para conocer el comportamiento de las diferentes especies arbóreas y su regeneración en un bosque de *Pseudotsuga menziesii* en el estado de Chihuahua.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo de campo se llevó acabo en un bosque mixto constituido principalmente por *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus arizonica* Engelm. y *Quercus tuberculata* Liebm.; en el paraje El Triste, que está ubicado dentro del ejido Chinatú, municipio Guadalupe y Calvo, al suroeste del estado de Chihuahua entre los 40°00'00" - 80°00'00" N y 40°00'00" - 160°00'00" O (Figura 1).



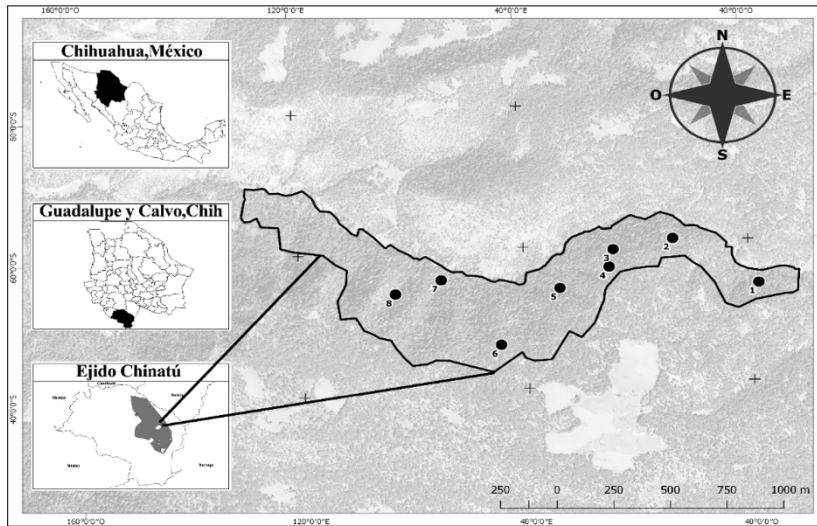


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de muestreo.

El bosque se extiende sobre de 80.46 ha y su altitud varía de los 2 530 y 2 830 m. Pertenece a la Región hidrológica Río Fuerte, a su vez a la provincia fisiográfica Sierra Tarahumara y a la subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses. Litosol es el tipo de suelo predominante en el área y Regosol solo ocupa una mínima parte. El clima de la región está clasificado como templado subhúmedo, con temperatura media anual de 13.7 °C y una precipitación pluvial media anual de 1 126.8 mm (Chávez, 2009).

Evaluación en campo

Para evaluar a la comunidad vegetal se establecieron ocho sitios circulares de muestreo de 1 000 m², los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en el área de estudio. En cada uno de ellos se consideraron los ejemplares con diámetro normal ($d_{1.30}$) ≥ 7.5 cm para el arbolado adulto, y como regeneración a los menores de 7.5 cm, pero mayores a 0.25 m de altura total (Conafor, 2012). De cada individuo se registró la especie, la altura total (h) con un hipsómetro *Suunto* Pm-5; el diámetro normal (DAP) con una cinta diamétrica *Forestry Suppliers* de 5 m, y el diámetro de la

proyección de la copa en cruceta, con una cinta métrica de 100 m de fibra de vidrio Truper® (en sentido norte-sur y este-oeste).

Análisis de datos

Para evaluar la estructura vertical de la comunidad vegetal se utilizó el Índice de *Pretzsch* (A), con el que se divide la estructura vertical en tres estratos. El estrato I (alto), que representa al intervalo de 80-100 %, en el que el árbol más alto constituye 100 %; a partir de este individuo, se clasifican los siguientes estratos: el II (medio), que se refiere al intervalo de 50-80 % y el III (bajo), de 0-50 % (Aguirre, 2002; Pretzsch, 2009). Para una mejor interpretación del resultado, se calcula A_{max} que corresponde al valor máximo por cada una de las especies en cada estrato; dicho valor se alcanza cuando la totalidad de las especies ocurren en la misma proporción, tanto en el rodal como en los diferentes estratos (Corral et al., 2005) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índice A de *Pretzsch*.

Índice/Ecuación	Descripción
$A = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$	S = Número de especies presentes Z = Número de estratos de altura P_{ij} = Porcentaje de especies en cada zona $P_{ij} = n_{ij}/N$
$A_{max} = \ln(S * Z)$	$N_{i,j}$ = Número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j)
$A_{rel} = \frac{A}{\ln(S*Z)} * 100$	N = Número total de individuos

Para cada uno de los estratos se determinó la abundancia de acuerdo con el número de individuos presentes ($N \text{ ha}^{-1}$), el valor medio, mínimo, máximo y coeficiente de variación obtenido de las variables altura y diámetro. La diversidad de la comunidad vegetal se evaluó mediante el índice de *Shannon-Weiner* (H') (Shannon, 1948), índice

de *Margalef* (D_{Mg}) (Magurran, 2004) y la diversidad verdadera (D) la cual permite comparar de una mejor manera la riqueza de especies (Jost, 2006) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índices de riqueza y diversidad de especies.

Índice	Ecuación	Descripción
<i>Margalef</i> (D_{Mg})	$D_{Mg} = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$	S = Número de especies N = Número total de individuos
<i>Shannon-Weiner</i> (H')	$H' = \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$ $p_i = n_i / N$	S = Número de especies p_i = Proporción de individuos de la especie i
Diversidad verdadera (D)	$D = \exp(H') = \exp \left[\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \right]$	p_i = Abundancia relativa de la i -ésima especie S = Número de especies

Resultados y Discusión

Composición. En la etapa de regeneración se registraron ocho especies pertenecientes a seis géneros de tres familias (Figura 2). Las de mayor número de especies fueron Pinaceae con cinco y Fagaceae con dos. Para la comunidad vegetal madura (Figura 2) se registraron 10 especies de siete géneros en cuatro familias; las familias con más especies fueron Pinaceae con seis y Fagaceae con dos. Estos resultados coinciden con los de Aragón-Piña *et al.*, (2010), Hernández-Salas *et al.*, (2013) y Graciano *et al.* (2017), quienes coincidieron en que dichas familias son de amplia distribución en la Sierra Madre Occidental, en las que destacan los géneros *Pinus* y *Quercus*. La altura máxima de la regeneración fue de 8.0 m y de 29 m para el arbolado maduro.

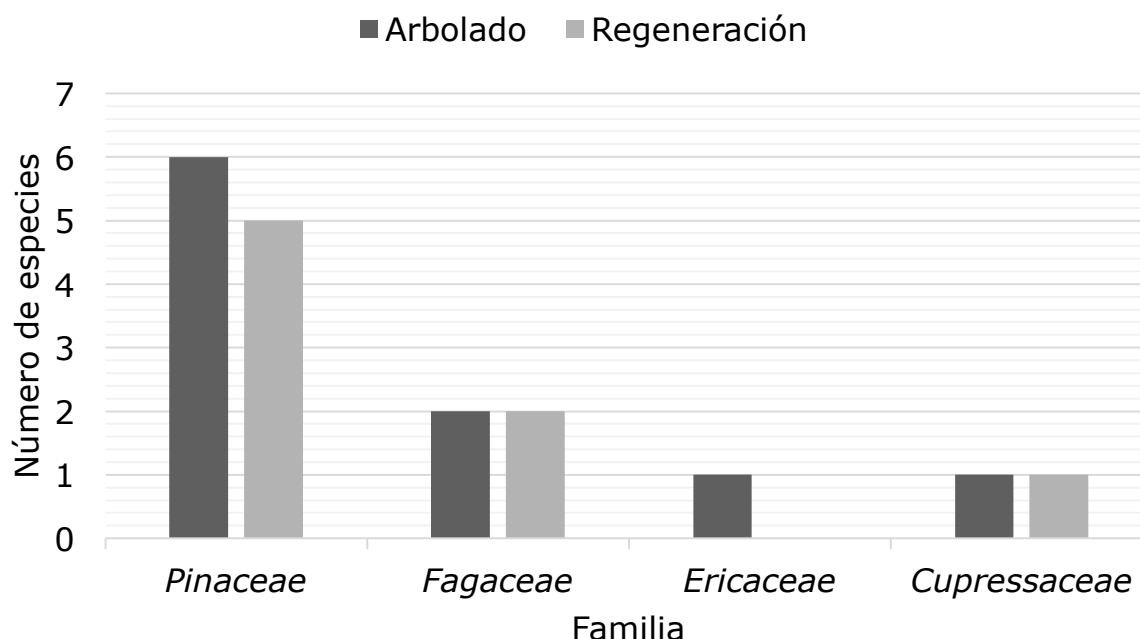


Figura 2. Composición vegetal de la regeneración y el arbolado.

Distribución vertical. Para la regeneración (Cuadro 4), el resultado del índice A fue de 1.85, con un valor A_{max} de 3.18 y un A_{rel} de 58.21 %, mientras que la comunidad vegetal madura reflejó un índice A de 2.58, A_{max} de 3.40 y A_{rel} de 75.56 %. Lo anterior sugiere que el estrato arbóreo tiene una gran diversidad de especies respecto a la altura.

Las cifras anteriores son similares a las consignadas por Méndez *et al.* (2014) quien calculó un $A = 2.07$ con $A_{max} = 2.70$, y por Jiménez *et al.* (2001) que registraron un $A = 2.07$ y $A_{max} = 3.50$; ambos en bosques mixtos de coníferas y latifoliadas. Este análisis de distribución vertical mostró que conforme aumenta la altura de los árboles, la diversidad de especies disminuye. Tales autores mencionaron que la mayor heterogeneidad biológica se presentó conforme decrece la zona de los estratos.

La regeneración en el estrato I cuenta con 1.01 % de los individuos, el II tiene 4.02 % y el III obtuvo 94.97 % (Cuadro 3). Según Lamprecht (1990), las especies presentes en todos los estratos se definen como especies con distribución vertical continua

(DVC); *P. arizonica* presentó esta distribución ya que se le registró en los tres estratos (Cuadro 3). El arbolado se comportó de manera similar (Cuadro 3) ya que el estrato I contó con 2.72 % de los individuos, el II con 28.26 % y el III con 69.02 %, porcentajes semejantes a los consignados por Jiménez *et al.* (2001) quienes evaluaron un bosque multicohortal de *Pinus* - *Quercus* en el noreste de México. Las especies con DVC en el estrato arbóreo fueron *Q. tuberculata*, *P. menziesii* y *A. durangensis* Martínez (Cuadro 4).

Cuadro 3. Número y porcentaje de individuos presentes en las etapas de regeneración y arbolado adulto.

Estrato	Regeneración		Arbolado		
	Número Individuos	de % Individuos	de Número Individuos	de % Individuos	de
I	2	1.01	13	2.72	
II	8	4.02	130	28.26	
III	189	94.97	318	69.02	
Total	199	100.00	461	100.00	



Cuadro 4. Resultados de abundancia ($N\ ha^{-1}$), cobertura ($m^2\ ha^{-1}$) y altura (m) de las especies en los diferentes estratos considerados para el índice de *Pretzsch* (A) e índice de Shannon (H') e índice de diversidad verdadera (D) de los estratos de la regeneración.

Estrato	Especies	Abundancia	Cobertura				Altura				H'	D
		$N\ ha^{-1}$	Media	Mín	Máx	CV	Media	Mín	Máx	CV		
I	<i>Quercus tuberculata</i> Liebm.	1	3.50	3.50	3.50	0.00	7.00	7.00	7.00	0	0.05	1.05
	<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	1	3.10	3.10	3.10	0.00	8.00	8.00	8.00	0		
	Subtotal	2										
II	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.)Franco	5	2.15	1.70	2.60	22.00	4.65	4.00	6.00	6	0.2	1.17
	<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	4	2.17	1.80	2.50	16.00	4.06	4.00	4.10	26		
	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	1	2.50	2.50	2.50	0.00	4.10	4.10	4.10	0		
	Subtotal	10										
III	<i>Abies durangensis</i> Martínez	75	1.37	0.40	3.80	80.00	1.42	0.40	2.50	79	1.6	5.10
	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	65	1.24	0.30	3.90	79.00	1.39	0.50	3.50	81		
	<i>Quercus tuberculata</i> Liebm.	34	1.32	0.20	3.40	84.00	1.46	0.30	3.10	87		
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.)Franco	30	1.33	0.20	2.30	76.00	1.36	0.30	3.50	77		
	<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	20	1.31	0.40	2.30	58.00	1.62	0.50	2.50	69		
	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.	9	1.37	0.30	1.40	75.00	0.91	0.40	1.75	76		
	<i>Picea chihuahuana</i> Martínez	3	0.78	0.65	1.05	38.00	0.83	0.56	1.10	56		
	<i>Quercus sideroxyla</i> Humb. & Bonpl.	1	1.18	1.80	1.80	0.00	1.60	1.60	1.60	0		
	Subtotal	236										
	Total	248										

Abundancia. *Q. tuberculata* y *P. arizonica* compartieron el estrato I de la regeneración con 1 N ha⁻¹ cada una; en el estrato II, *Q. tuberculata* no apareció, *P. menziesii* estuvo presente con 5 N ha⁻¹, *P. arizonica* con 4 N ha⁻¹ y *Juniperus deppeana* Steud. 1 N ha⁻¹. En el estrato III se identificó a ocho especies, de las cuales las de mayor abundancia fueron *A. durangensis* con 75 N ha⁻¹, *J. deppeana* con 65 N ha⁻¹, *Q. tuberculata* con 34 N ha⁻¹ y *P. menziesii* con 30 N ha⁻¹ (Cuadro 4). Las especies más abundantes en este bosque sin perturbación son de la familia Pinaceae, lo que coincide con los resultados de Méndez (2014), lo que debe tratarse con reserva porque sus datos proceden de una evaluación post-incendio. En este tipo de bosques con disturbio se registran hasta 812 N ha⁻¹ (Alanís *et al.*, 2011), y 3 400 N ha⁻¹ (González-Tagle *et al.*, 2008) con mayor frecuencia de fagáceas.

Se observó que todas las especies en regeneración tienen presencia en el arbolado, además aparece *Arbutus xalapensis* Kunth con 43 N ha⁻¹ en el estrato III. El bosque tiene mayor abundancia de *P. menziesii* que en el estrato I del arbolado obtuvo 8 N ha⁻¹, *Q. tuberculata* y *A. durangensis* 3 N ha⁻¹; en el estrato II lo integraron nueve especies de las cuales resaltan *P. menziesii* quien tuvo 58 N ha⁻¹, *P. arizonica* 28 N ha⁻¹ y *Q. tuberculata* con 13 N ha⁻¹ y en el estrato III se registraron 10 especies en el cual las de mayor abundancia fueron *P. menziesii* con 89 N ha⁻¹ a, *P. arizonica* 55 N ha⁻¹, *A. xalapensis* 43 N ha⁻¹ y *Q. tuberculata* 33 N ha⁻¹ (Cuadro 4). Esto concuerda con Camacho *et al.* (2014) quien reportó mayor diversidad biológica en el estrato III, de un bosque de pino-encino en Nuevo León, México.

Variables de regeneración y arbolado. El estrato I de la regeneración presentó un diámetro de copa (Cobertura) promedio de 3.40 m y un promedio de altura de 7.5 m; en el estrato II el promedio de copa fue de 2.27 m, mientras que de altura, de 4.27 m; y, el estrato III promedió un diámetro de copa de 1.37 m con una altura promedio de 1.32 m las especies con individuos de mayor altura fueron *P. arizonica* con 1.62 m y *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl con 1.60 m (Cuadro 4).

Por lo que se refiere al arbolado (Cuadro 5), en el estrato I, los diámetros midieron entre 42.92 cm y 53.67 cm, con máximos de 73.0 cm en el caso de *Q. tuberculata*.

El promedio de la altura total fue de 25.12 m, con un máximo de 29.0 m para *A. durangensis*; en el estrato II se registraron diámetros promedio entre 26.43 cm y 53.50 cm, y llegaron a alcanzar 88.5 cm para *Q. tuberculata* y de 94.0 cm en *P. menziesii*, lo que coincide con Domínguez-Calleros et al. (2014) quienes confirmaron que esta especie también fue de las que registraron los mayores diámetros. Respecto a la altura, el promedio fue de 16.58 m con máximas de 21.60 m para *Pinus durangensis* y en el estrato III en los ejemplares cuyos diámetros midieron entre 12.50 cm y 18.48 cm, el promedio de altura fue de 8.59 m. De *Pseudotsuga menziesii* se obtuvieron valores similares a los de Encina-Domínguez et al. (2008), pues dicha especie junto con *Q. tuberculata*, *P. arizonica* y *A. durangensis* alcanzaron un valor máximo de 13.50 m (Cuadro 5).



Cuadro 5. Resultados de abundancia ($N\ ha^{-1}$), diámetro normal (cm), cobertura de copa (m) y altura (m) de las especies en los diferentes estratos considerados para el índice de *Pretzsch* (*A*) e índice de *Shannon* (*H'*) e índice de diversidad verdadera (*D*) de los estratos en la comunidad vegetal madura.

Estrato	Especie	Abundancia	Diámetro normal				Diámetro de copa				Altura				<i>H'</i>	<i>D</i>
		$N\ ha^{-1}$	\bar{X}	Mín	Máx	CV	\bar{X}	Mín	Máx	CV	\bar{X}	Mín	Máx	CV		
I	<i>PsMe</i>	8	42.92	23.20	63.50	38	8.47	4.35	10.95	43	24.15	23.10	26.30	8	0.12	1.13
	<i>QuTu</i>	3	53.67	34.00	73.00	36	14.43	10.20	18.65	0	24.00	22.00	26.00	9		
	<i>AbDu</i>	3	45.15	28.00	62.30	54	10.85	7.95	13.75	57	27.20	25.40	29.00	9		
	Subtotal	13														
II	<i>PsMe</i>	58	27.89	11.30	94.00	52	5.77	1.93	9.95	41	16.22	13.90	20.50	12	0.81	2.26
	<i>PiAr</i>	28	29.74	14.40	53.00	54	6.11	2.90	10.85	40	16.10	13.80	20.00	12		
	<i>QuTu</i>	13	29.80	20.50	88.50	54	7.51	3.60	4.80	39	15.55	13.80	17.80	12		
	<i>AbDu</i>	16	26.80	13.00	39.50	45	6.61	4.85	9.25	40	15.95	14.00	20.10	14		
	<i>PiAy</i>	6	29.80	16.20	46.00	50	9.29	5.00	13.20	43	18.28	14.80	21.30	12		
	<i>PiDu</i>	4	50.83	42.50	62.00	20	7.55	6.65	8.15	28	18.57	14.80	21.60	19		
	<i>QuSi</i>	3	26.43	28.00	38.00	47	6.98	5.15	8.80	45	14.20	14.10	14.30	13		
	<i>PiCh</i>	3	35.37	25.80	35.70	27	6.31	5.45	7.18	30	16.60	16.30	16.90	4		
	<i>JuDe</i>	1	53.50	53.50	53.50	0	8.85	8.85	8.85	0	17.80	17.80	17.80	0		
	Subtotal	130														
III	<i>PsMe</i>	89	16.55	7.50	42.00	59	4.62	2.40	10.20	40	9.20	4.40	13.50	34	1.64	5.15
	<i>PiAr</i>	55	16.72	7.80	34.30	59	3.46	1.60	8.20	40	8.40	2.30	13.50	36		
	<i>ArXa</i>	43	18.48	7.50	82.40	63	5.51	2.00	9.10	45	7.54	3.50	12.00	37		
	<i>QuTu</i>	33	17.16	8.00	64.00	61	5.97	2.00	15.75	41	8.29	3.10	13.50	36		
	<i>JuDe</i>	36	17.81	8.00	31.50	60	3.83	1.90	6.90	41	5.45	2.00	12.00	37		
	<i>PiAy</i>	15	16.44	7.70	24.10	61	4.25	2.50	6.10	40	7.57	4.30	11.30	35		
	<i>AbDu</i>	21	17.10	9.60	22.00	60	5.33	3.45	7.50	41	11.01	7.50	13.50	36		
	<i>QuSi</i>	14	17.29	9.00	22.50	62	5.24	3.55	7.65	41	8.45	3.50	12.90	35		
	<i>PiCh</i>	11	16.72	8.70	31.60	34	4.58	2.65	6.30	28	10.16	7.50	13.40	30		
	<i>PiDu</i>	1	12.50	12.50	12.50	0	3.65	3.65	3.65	0	9.80	9.80	9.80	0		
	Subtotal	318														
	Total	460														

Psme = *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; *Qutu* = *Quercus tuberculata* Liebm; *AbDu* = *Abies durangensis* Martínez; *Piar* = *Pinus arizonica* Engelm.; *PiAy* = *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl.; *PiDu* = *Pinus durangensis* Martínez; *QuSi* = *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl.; *PiCh* = *Picea chihuahuana* Martínez; *Jude* = *Juniperus deppeana* Steud; *ArXa* = *Arbutus xalapensis* Kunth.

En el estrato I, el arbolado presentó un diámetro de copa promedio de 11.25 m con mínimos de 4.35 m y máximos de 18.65 m; en el estrato II el promedio fue de 6.46 m, con mínimos de 1.93 m y máximos de 13.20 m y en el estrato III fue de 4.53 m, con mínimos de 1.60 m y máximos de 15.75 m. Las especies con valores sobresalientes en esta variable fueron *Q. tuberculata* con un promedio de 14.43 m y *A. durangensis* con 10.85 m (Cuadro 5).

Diversidad y riqueza de especies. La diversidad de especies en la comunidad vegetal de la regeneración mediante el Índice de *Shannon* (H') fue baja en general; el mayor valor se verificó en el estrato III con 1.63, mientras que para el estrato I y II fue de 0.05 y 0.16 respectivamente. Margalef (1972) menciona que el Índice de *Shannon* normalmente varía de 1 a 5, interpretándose los valores menores de 2 como diversidad baja, de 2 a 3.5 diversidad media, y mayores de 3.5 como diversidad alta. Por lo tanto, la comunidad forestal estudiada presenta una diversidad baja. El número de especies efectivas o diversidad verdadera (D') para el estrato I fue de 1.05, II 1.17 y III 5.10, significando que el estrato III tiene 4.3 veces más diversidad que el estrato II y 4.8 que el I (Cuadro 4).

Con el Índice de *Margalef* (D_{Mg}) en la comunidad vegetal de la regeneración se determinó $D_{Mg} = 1.52$, similar al valor $D_{Mg} = 1.32$ consignado por Villavicencio *et al.* (2012) en un bosque templado de pino-encino de la Sierra de Quila, Jalisco y muy superior al de Méndez *et al.* (2014) quienes calcularon un valor de $D_{Mg} = 0.76$ en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero, México. Sin embargo, la riqueza es menor a la encontrada en el matorral submontano por Canizales *et al.*, (2009) quienes obtuvieron un valor de $D_{Mg} = 6.34$; Mora *et al.* (2013) estimaron un D_{Mg} de 6.27 y para selva mediana subcaducifolia, Gutiérrez-Báez *et al.* (2012) de $D_{Mg} = 15.23$.

La comunidad vegetal madura al igual que la regeneración presentó una diversidad baja con base en el Índice de *Shannon* (H'), el mayor valor se presentó en el estrato III con $H' = 1.64$ mientras que para el estrato I y II fue de $H' = 0.12$ y $H' = 0.81$, respectivamente. El número de especies efectivas o diversidad verdadera (D') para el

estrato I fue de $D' = 1.13$, para el II fue $D' = 2.26$ y el III $D' = 5.15$, lo que significa que el estrato III tiene 2.2 veces más diversidad que el II y 4.5 que el I (Cuadro 5). El Índice de *Margalef* (D_{Mg}) dio como resultado $D_{Mg} = 1.52$ (Cuadro 5), que indica una riqueza de especies similar a la obtenida por Graciano *et al.* (2017) y González *et al.* (2018), quienes registraron $D_{Mg} = 1.53$ y $D_{Mg} = 1.98$ en bosques templados de los estados de Durango y Nuevo León; caso contrario fue el de Hernández-Salas *et al.* (2013), pues calcularon $D_{Mg} = 1.04$ y $D_{Mg} = 0.90$ en bosques productivos de pino y encino en el estado de Chihuahua.

Conclusiones

La comunidad estudiada tiene regeneración natural de la mayoría de sus especies a pesar de contar con arbolado de grandes dimensiones que provocan un dosel cerrado; *Pinus durangensis* y *Arbutus xalapensis* no la presentan, lo que puede atribuirse a la escasez de individuos maduros. La mayoría de ellos se presentaron en el estrato III, lo que sugiere que el bosque tiene una alta capacidad de recuperación y sustitución de arbolado maduro, que conlleva a la conservación del ecosistema.

Con base en la abundancia y los estratos de estructura vertical definidos, el bosque estudiado es una comunidad dominada principalmente por *Pseudotsuga menziesii* en todos los estratos del arbolado, el estrato I con menor presencia de *Abies durangensis* y *Quercus tuberculata*, mientras que en el II y III presenta asociaciones con *P. arizonica*, *Q. tuberculata* y *A. xalapensis*. Se registraron tres especies con distribución vertical continua (*P. menziesii*, *A. durangensis* y *Q. tuberculata*), siendo estas las que dominan el dosel superior.

El estudio de nuevas poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* como esta, aporta información cuantitativa para la toma de decisiones a favor de la conservación, más aún si coexiste con especies endémicas y en protección (*Abies durangensis* y *Picea chihuahuana*).

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades del ejido Chinatú del municipio Guadalupe y Calvo, Chihuahua, por las facilidades otorgadas para realizar la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses.

Contribución por autor

Samuel Alberto García García: planteamiento de la investigación, toma de datos de campo, redacción y corrección del manuscrito; Eduardo Alanís Rodríguez: planteamiento de la investigación, organización del trabajo, análisis de datos, redacción y corrección del manuscrito; Oscar Alberto Aguirre Calderón y Eduardo Javier Treviño Garza: análisis estadístico y corrección del manuscrito; Gabriel Graciano Ávila: supervisión en la toma de datos de campo, análisis estadístico y corrección del manuscrito.

Referencias

Aguirre C., O. A. 2002. Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Ciencia Forestal en México* 27(92):5-27.

Aguirre, O., G. Hui., K. Gadow and J. Jiménez. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighborhood - based variables. *Forest Ecology and Management* 183:137-145. Doi: 10.1016/S0378-1127(03)00102-6.

Alanís, E., J. Jiménez, A. Valdecantos D., M. Pando M., O. Aguirre C. y E. J. Treviño G. 2011. Caracterización de 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: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.032.

- Aragón-Piña, E. E., A. Garza-Herrera, M. S. González-Elizondo y 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(3): 771-787. Doi: 10.22201/ib.20078706e.2010.003.648.
- Camacho, R., E. Alonso, M. A. González T., J. Jiménez P., E. Alanís R., D. y F. Ávila 2014. Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL*. 17(65): 34-41.
- Canizales, P. A., E. Alanís, R. Aranda, J. M. Mata, J. Jiménez, E. Alanís, J. I. Uvalle y M. G. Ruiz. 2009. Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. *Revista Chapingo, Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2):115-120.
- Chávez, N. 2009. Estudio regional forestal de la Unidad De Manejo Forestal No. 0808 "Guadalupe Y Calvo, Chihuahua". Asociación Regional de Silvicultores de Guadalupe y Calvo A.C.
http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1147ERF_UMAFOR0808.pdf (1 de julio de 2019).
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2012. Inventario nacional forestal y de suelo. Informe 2004 -2009. [www.ccmss.org.mx/ Inventario_nacional_forestal_y_de_suelos_informe_2004_-_2009_.pdf](http://www.ccmss.org.mx/Inventario_nacional_forestal_y_de_suelos_informe_2004_-_2009_.pdf) (1 de julio de 2019).
- Corral, J., O. 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. *Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales* 14: 217-228.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1223634> (1 de julio de 2019).

- Degraaf, R. M., J. B. Hestbeck and M. Yamasaki, 1998. Associations between breeding bird abundance and stand structure in the White Mountains, New Hampshire and Maine, USA. *Forest Ecology and Management* 103(2-3): 217-233. Doi:10.1016/S0378-1127(97)00213-2.
- Del Río, M., F. Montes, G. Montero. e I. Cañellas. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales*. 12(1): 159–176.
<https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2490> (7 de julio de 2019).
- Domínguez Á., F. A., J. J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V. y E. Guízar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 75: 191-203.
<http://revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/14656> (7 de julio de 2019).
- Domínguez-Calleros, P. A., G. A. Chávez-Flores, E. Rodríguez-Téllez, J. J. Corral-Rivas, J. R. Goche-Telles y M. A. Díaz-Vásquez. 2014. Caracterización silvícola de *Pseudotsuga menziesii* en la reserva de la biosfera "La Michilía". *Madera y Bosques* 20(2): 23-31. Doi: 10.21829/myb.2014.202161.
- Encina-Domínguez, J. A., F. J. Encina-Domínguez, E. Mata-Rocha y J. Valdés-Reyna. 2008. Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (83): 13-24. Doi: 10.17129/botsci.1785.
- Fowells, H. A. 1965. Silvics of forest trees of the United States. *Agriculture Handbook Num. 271*. USDA Forest Service. Washington, DC, USA. pp. 546-556.
- González, C. R., E. Treviño G., Á. Duque M., T. M. González, M. Gómez C. y A. Bautista C. 2018. Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(45). Doi: 10.29298/rmcf.v9i45.142.

- González-Tagle, M. A., L. Schwendenmann, J. J Pérez y R. Schulz. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management* 256(1-2): 161-167. Doi: 10.1016/j.foreco.2008.04.021.
- Graciano Á., G., E. Alanís R., O. A. Aguirre C., M. A. González T., E. J. Treviño G. y A. Mora O. 2017. Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México. *Madera y Bosques* 23(3): 137-146. Doi:10.21829/myb.2017.2331480.
- Gutiérrez-Báez, C., J. J. Ortiz-Díaz, J. S. Flores-Guido y P. Zamora-Crescencio. 2012. Diversidad, estructura y composición de las especies leñosas de la selva mediana subcaducifolia del Punto de Unión Territorial (PUT) de Yucatán, México. *Polibotánica* (33): 151-174. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5648385> (21 de julio de 2019).
- Herman, R. H and D. P. Lavender. 1999. Douglas-fir planted forests. *New Forest* 17: 53-70. Doi:10.1023/A:1006581028080.
- 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):189-200. Doi:10.5154/r.rchscfa.2012.08.052.
- Jiménez, J., O. Aguirre and H. Kramer. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Forest Systems* 10(2): 355-366. <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2596> (15 de julio de 2019).
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363-375. Doi:10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x.

- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. GTZ (Cooperación Técnica Alemana). Eschborn, Alemania. 335 p.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing Company. Cambridge, MA, USA. 256 p.
- Margalef, R. 1972. Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences 44: 211-235. <http://hdl.handle.net/10261/166281> (24 de julio de 2019).
- Méndez, C., E. Alanís, J. Jiménez, O. A. Aguirre y E. J. Treviño. 2014. Análisis de la regeneración postincendio en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero, México. Ciencia UANL 17(69):63-70. <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=2713> (29 de julio de 2019).
- Mora, C. A., E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, J. I. Yerena y L. G. Cuellar. 2013. Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. Ecología Aplicada 12(1):29-34. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162013000100004 (14 de julio de 2019).
- Murdoch, W. W., F. C. Evans and C. H. Peterson. 1972. Diversity and pattern in plants and insects. Ecology 53 (5): 819-829. Doi:10.2307/1934297.
- Návar-Cháidez, J. de J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. Polibotánica (27): 71-87.
- Newton, A. C. y V. Kapos. 2002. Indicadores de la biodiversidad en los inventarios forestales nacionales. Unasylva 53: 56-75. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/y4001s/y4001s05.pdf> (1 de julio de 2019).

- Owston, P. W. and W. I. Stein. 1974. *Pseudotsuga* Carr. Douglas-Fir. In: Sociometer, C. S. (ed.) Seeds of the woody plants in United States. Agricultural Handbook 450. USDA Forest Service. Washington, DC, USA. pp: 674-683.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield. From measurement to model. Springer Verlag. Berlin, Germany. 664 p. Doi:10.1007/978-3-540-88307-4_1.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F., México. 432. p.
- Shannon, C. 1948. The mathematical theory of communication. In: Shannon, C. E. and W. Weaver (eds.). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Champaign, IL, USA. pp. 29-125.
- Villavicencio G., R., A. L. Santiago P., J. D. J. Godínez H., J. M. Chávez A. y S. L. Toledo G. 2012. Efecto de la fragmentación sobre la regeneración natural en la Sierra de Quila, Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(11): 09-24. Doi:10.29298/rmcf.v3i11.514.



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.