

Composición, estructura, diversidad e influencia de variables ambientales en un bosque templado de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, México

Composition, structure, diversity, and the influence of environmental variables in a temperate forest of Guadalupe y Calvo, Chihuahua, Mexico

Mario Francisco Mateo-García ¹  • Eduardo Alanís-Rodríguez¹  • Samuel Alberto García-García ² 
 • Luis Gerardo Cuellar Rodríguez ¹  • José Israel Yereña Yamallel ¹  • Oscar Alberto Aguirre Calderón ¹ 

Recibido: 6/11/2025

Aceptado: 19/1/2026

Abstract

Characterizing forest ecosystems is essential for understanding their natural dynamics. The main goal of this study was to characterize the floristic composition and structural attributes, describe the floristic diversity, and assess the influence of environmental factors on species distribution. Two permanent sampling plots (PSPs) of 0.25 hectares each were established. These were distributed in the areas of “El Triste” and “Cerro de las Iglesias,” along an elevation gradient between 2,700 and 3,035 m, within a temperate forest (TF) of the Chinatú ejido in Guadalupe y Calvo, Chihuahua, Mexico. Trees (ND) ≥ 7.5 cm were recorded. Six tree species were recorded, including *Picea chihuahuana*, endemic according to NOM-059-SEMARNAT-2010, and *Pinus durangensis*, listed as a species of special protection (Pr) on the IUCN Red List. The diversity indices of the PSPs are affected by low species richness, even though abundance is high in comparison with other forests in the country. Cluster analysis shows that the PSPs have 60.15% similarity. Overall, the horizontal structure shows that *Pseudotsuga menziesii* has the highest IVI (41.76%), followed by *Picea chihuahuana* (15.22%). The vertical structure, as measured by the Pretzsch Index (A), is 2.17 with an Amax of 2.89 and an Arel of 75.0%. Canonical Correspondence Analysis indicated that variables such as slope, leaf-litter cover, and elevation are influencing the distribution of tree species. The establishment of PSPs is fundamental for management and conservation.

Keywords: Environmental factors; Floristic composition; Forest ecosystems; Permanent Sampling Plots; Structural attributes.

1. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. mariomateo01@outlook.com; eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx; luis.cuellard@uanl.edu.mx; jose.yerenaym@uanl.edu.mx; oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx
2. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Cd. Delicias, Chihuahua, México. alberto_Garcia23@outlook.com

Resumen

La caracterización de los ecosistemas forestales es indispensable para entender la dinámica natural. El objetivo fue caracterizar la composición florística, atributos estructurales, describir la diversidad florística y la influencia de factores ambientales en la distribución de especies. Se establecieron dos parcelas permanentes de muestreo (PPM) de 0.25 ha cada una. Se distribuyeron en los parajes “El Triste” y el “Cerro de las Iglesias”, en un gradiente de elevación en dos cotas 2 700 – 3 035 m.s.n.m., en un bosque templado (BT) del ejido Chinatú en Guadalupe y Calvo, Chihuahua, México. Se censaron los árboles (DN) $\geq 7,5$ cm. Se registraron seis especies de árboles, se encuentra *Picea chihuahuana* endémica según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y *Pinus durangensis* Sujeta a protección especial (Pr) de la Lista roja de la UICN. Los índices de diversidad de las PPM se ven afectados por la baja riqueza de especies, aunque la abundancia sea alta en comparación con otros bosques del país. El análisis de clúster muestra que las PPM tienen un 60.15 % de semejanza. En general, la estructura horizontal demuestra que *Pseudotsuga menziesii* posee el mayor IVI (41,76 %), seguida por *Picea chihuahuana* (15,22 %). La estructura vertical, mediante el Índice de Pretzsch (A) es de 2,17 con un Amax de 2,89 y un Arel de 75,0 %. El Análisis de Correspondencia Canónica indicó que variables como pendiente, hojarasca y elevación están influyendo en la distribución de especies arbóreas. El establecimiento de PPM es fundamental para el manejo y conservación.

Palabras clave: Atributos estructurales; Composición florística; Ecosistemas forestales; Factores ambientales; Parcelas Permanentes de Muestreo.

Introducción

La caracterización de los atributos estructurales de las comunidades vegetales es necesaria para conocer el funcionamiento y dinámica de los ecosistemas forestales [1]. En los bosques, los árboles desempeñan un papel dominante en los procesos sucesionales y en la conformación del dosel superior [2]. En México, en regiones montañosas se encuentran los bosques templados con un clima templado a frío [3]. Estas comunidades generalmente están dominadas por especies arbóreas del género *Pinus* y *Quercus*, también puede presentar bosques mixtos con presencia de géneros menos abundantes como *Arbutus*, *Buddleja*, *Clethra* y *Salix* [3], [4].

Los bosques templados son comunidades vegetales que poseen alto valor ecológico y económico, difieren de otros ecosistemas por su diversidad y

atributos estructurales [5]. Por tanto, los estudios de caracterización son indispensables para comprender la compleja interacción entre la estructura vegetal, los factores ambientales y los procesos ecológicos a través de gradientes altitudinales [6], [7], [8]. Además, estos estudios permiten evaluar cómo el manejo forestal y las condiciones ambientales inciden en los servicios ecosistémicos a largo plazo [9]. Por lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron: 1) Evaluar la composición, atributos estructurales y la diversidad de especies arbóreas a través de parcelas permanentes de muestreo (PPM) en un bosque templado al Noroeste de México y 2) Determinar las variables ambientales que influyen en la distribución de las especies arbóreas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en un bosque mixto constituido principalmente por *Picea chihuahuana*, *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus durangensis*; en un área bajo conservación del ejido Chinatú, municipio de Guadalupe y Calvo, al suroeste del Estado de Chihuahua, México. Se establecieron dos parcelas permanentes de muestreo (PPM) en las coordenadas geográficas 26° 14' 11,50" a 26° 16' 40,60" de latitud norte y 106° 40' 30" a 106° 37' 08,50" de longitud oeste respectivamente Figura (1). La vegetación predominante de la zona es secundaria perteneciente a un bosque mixto de pino y encino conformado principalmente por *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus arizonica* y *Quercus tuberculata*, con presencia de otras especies importantes para la conservación como *Picea chihuahuana* y *Abies durangensis* [10], [11], [12].

El bosque se extiende sobre de 944,48 ha y su altura varía de los 2 520 m.s.n.m y 3 060 m.s.n.m. El área pertenece a la Región hidrológica Río Fuerte, en la provincia fisiográfica Sierra Tarahumara y la subprovincia Gran meseta y cañones chihuahuenses. El tipo de suelo predominante en el área es regosol. Según la clasificación de Köppen modificada por García [13], el clima de la región está clasificado como templado subhúmedo (Cw), la temperatura media anual es de 13.7 °C y una precipitación media anual de 1 126,8 mm [14].

Trabajo de campo

En los meses de junio y diciembre de 2024 se establecieron dos PPM, una en cada paraje, basado en el diseño de Corral-Rivas [15]. Cada parcela tiene una superficie de 2 500 m² (50 × 50 m), subdivididas en cuatro submuestras por parcela, en total ocho submuestras, cada una de 625 m² (25 m × 25 m). La PPM-1 se estableció en la cota 2 700 m s.n.m. y la

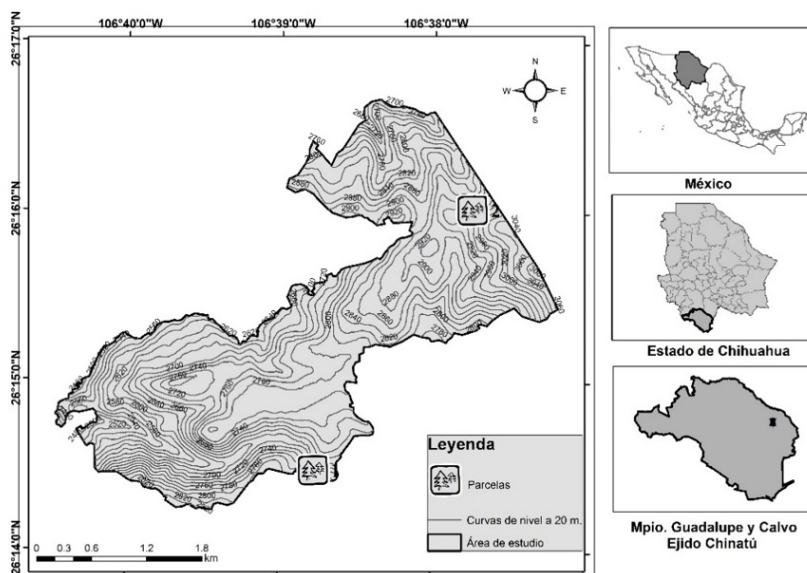


Figura 1. Localización del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

PPM-2 en la cota 3 035 m.s.n.m., orientadas conforme a la pendiente y exposición norte.

Dentro de cada parcela se censaron todos los árboles con diámetro normal (DN) $\geq 7,5$ cm a 1,30 m arriba del nivel del suelo. Se marcó cada individuo con una etiqueta de aluminio a la altura de 2 m, y se calculó la altura total de los árboles (h) [16], [17]. Se determinaron las especies, con el uso de claves botánicas y revisiones taxonómicas de datos disponibles en línea de Missouri Botanical Garden plataforma Tropicos® [18]. Se evaluaron diez variables ambientales como la presencia de incendios (INCEN), ganadería (GAN), árboles muertos en pie (AMP), el % de pendiente (Pend), % de pedregosidad (Ped), profundidad del horizonte superficial (PHS), % de hojarasca (Hoj), tocones (Toc), árboles caídos (Acai) y elevación (Elv).

Análisis de la información

Composición, riqueza y diversidad: La composición se determinó en función de las especies, géneros y familias por cada parcela. La densidad, número de individuos por hectárea ($N\ ha^{-1}$). Se analizó y comparó la composición florística, se integró una matriz de especies, las densidades de las especies fueron transformadas a doble raíz cuadrada, se realizó un análisis de agrupamiento con distancia Sørensen (Bray-Curtis) y con grupo promedio como método de unión de grupos, la semejanza estadística se determinó con una prueba de perfiles de semejanza (SIMPROF) y para conocer la contribución de especies al muestreo se aplicó una prueba de semejanza (SIMPER), el

análisis se realizó mediante el programa PRIMER-E v. 6. [19]. Los índices de diversidad ecológicos utilizados fueron Shannon-Wiener (H') [20], Simpson (D) [21] y los números de Hill (N_0 , N_1 y N_2), [22], [23] (Cuadro 1). La comparación de diversidad entre PPM se realizó en el software R ver. 4.0.2. [24], con el apoyo de herramientas integradas y del paquete Vegan versión 2.6-10 [25], se aplicó un ANOVA no paramétrica. Se verificó el estatus de las especies según las categorías de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT 2010 [26] y Lista roja de la UICN [27], para conocer el estado de conservación y riesgo de extinción de las especies.

Atributos estructurales: Se analizaron los datos obtenidos del censo del arbolado como la altura total y diámetro DN [15], [16]. La estructura horizontal se determinó con el Índice de Valor de Importancia (IVI) [28]. La estructura vertical se determinó con el índice A de Pretzsch [29], divide en tres estratos la distribución vertical del bosque y de las especies de árboles que la conforman. El estrato I (alto), representa al intervalo de 80–100 %, en donde el árbol más alto constituye el 100 %, a partir de este individuo, se clasifican los siguientes dos estratos: el estrato II (medio), se refiere al intervalo del 50–80 % y el estrato III (bajo) de 0–50 % (Cuadro 1).

Influencia de variables ambientales en la distribución de especies: Se aplicó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) mediante el software R ver. 4.0.2. [24] y el paquete vegan [25]. Se elaboraron dos matrices, 1) Matriz de abundancia de especies, se transformaron a doble raíz cuadrada para reducir el efecto de especies

Cuadro 1. Fórmulas manejadas para determinar la riqueza, diversidad, estructura horizontal y estructura vertical.

Table 1. Formulas applied to estimate species richness, diversity, horizontal structure, and vertical structure.

Fórmula	Variable
$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i)$ $P_i = \frac{n_i}{N}$	<p>H' = Índice de Shannon-Wiener S= Número de especies Pi = Proporción de individuos de la especie i</p>
$D = \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$	<p>D= Índice de Simpson. Ni = es el número de individuos de la i-ésima especie. N = es el número total de individuos.</p>
$N_0 = S$ $N_1 = \exp(H')$ $N_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2}$	<p>Números de Hill (Orden N0, N1 y N2) S= Riqueza de especies exp(H') = índice exponencial de Shannon Pi² = índice inverso de Simpson</p>
$G = (0.7854 \times DN_i)^2$ $D_i = \frac{AB_i}{s}$	<p>G= Área basal de cada individuo I = 0.7854 es la constante matemática que representa la relación entre la circunferencia de un círculo y su diámetro ($\pi/4$) DNi = Diámetro normal a una altura de 1.30 m. Di= Dominancia absoluta de especie i Abi= Área basal de la especie i S= Área del sitio de muestreo.</p>
$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$	<p>IVI = Índice de Valor de Importancia ARi = Abundancia relativa por especie respecto a la abundancia total DRi = Dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total FRi = Frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total</p>
$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \ln(p_{ij})$ $A_{\max} = \ln(s \times z)$ $A_{\text{rel}} = \frac{A}{\ln(s \times z)} \times 100$	<p>A = Diferenciación dimensional de alturas. S = Número de especies presentes. Z = Número de estratos de altura. Pij = Porcentaje de especies en cada zona Pij = nij/N Ni,j = Número individuos de la misma especie (i) en la zona (j). N: Número total de individuos</p>
$FR_i = \frac{F_i}{\sum F_i} \times 100$	<p>FRi = frecuencia relativa de la especie i Fi = número de sitios donde estuvo presente la especie i Σfi = Frecuencia total de todas las especies.</p>

dominantes y homogenizar la varianza. 2) Las variables ambientales fueron estandarizadas y posteriormente se analizó la correlación entre las variables ambientales, se emplearon funciones base de R como cor(), se eliminaron aquellas variables más correlacionadas como incendios (INCEN), ganadería (GAN) y árboles muertos en pie (AMP), al final se analizaron 7 variables como % de pendiente (Pend), % de pedregosidad (Ped), profundidad del horizonte superficial (PHS), %

de hojarasca (Hoj), tocones (Toc), árboles caídos (Acai) y elevación (Elv).

Para evaluar la asociación global entre especies y variables ambientales, se usó la prueba de Mantel con 999 permutaciones. El supuesto de normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk [24]. Para determinar si existían diferencias significativas entre parcelas, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis [24], adecuada para datos que no

Cuadro 2. Valores promedios \pm desviación estándar de los índices evaluados en los dos parajes.

Table 2. Mean \pm standard deviation values of the indices evaluated at the two sites.

Localidad	N0 (Riqueza)	Shannon	Simpson	N1	N2
El Triste (PPM-1)	4,75 \pm 0,50	1,54 \pm 0,11	0,87 \pm 0,02	4,65 \pm 0,47	4,56 \pm 0,44
El Cerro de las Iglesias (PPM-2)	2,75 \pm 0,50	0,96 \pm 0,20	0,71 \pm 0,08	2,64 \pm 0,47	2,55 \pm 0,47

cumplen con la normalidad. En los casos donde fue necesario realizar comparaciones por pares (entre PPM), se utilizó la prueba de Wilcoxon como prueba post hoc [24], [30].

Resultados

Composición, riqueza y diversidad

Se registraron seis especies arbóreas, pertenecientes a dos familias y cuatro géneros. La familia Pinaceae dominó con el 99,07 % de los individuos, representada por tres géneros y cinco especies. Salicaceae presentó un solo género y especie. Se censaron 214 árboles, con una densidad total de 856 individuos ha^{-1} : PPM-1 con 392 ha^{-1} y PPM-2 con 464 ha^{-1} .

Dos especies son endémicas y se encuentran en la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la Lista Roja de la UICN: *Picea chihuahuana* (En Peligro de Extinción) y *Pinus durangensis* (Sujeta a Protección

Especial). Otras cuatro son nativas: *Pinus durangensis*, *Pinus strobiformis* y *Pseudotsuga menziesii* (todas bajo protección especial); *Pinus arizonica* y *Populus tremuloides* están catalogadas como de preocupación Menor.

No se observaron diferencias significativas en la composición y abundancia entre grupos. Las muestras de PPM-1 y PPM-2 formaron grupos diferenciados (Figura 2). Las especies más abundantes fueron: *Pseudotsuga menziesii* (38,37 %), *Pinus strobiformis* (26,04 %), *Pinus durangensis* (18,34 %) y *Picea chihuahuana* (9,66 %), representando en conjunto el 92,41 % del total; el resto sumó 7,59 %.

Los índices de diversidad obtenidos —Shannon (0,67–1,59), Simpson (0,59–0,88), Hill N1 (1,95–4,89) y N2 (1,90–4,78), reflejan baja riqueza y alta dominancia de pocas especies. El análisis de varianza no paramétrica (0.0286, $p < 0,05$) mostró diferencias significativas entre los grupos florísticos. Los datos obtenidos en PPM-1 presentó mayor diversidad y equidad que PPM-2 (Cuadro 2). En contraste, PPM-2 mostró menor diversidad efectiva y poca equidad, con predominancia de pocas especies.

Atributos estructurales

Estructura horizontal. El IVI evidenció diferencias claras en dominancia entre sitios. En la PPM-1, *Picea chihuahuana* (33,59 %) es la más importante, seguida por *Pinus arizonica* (19,54 %), *Pinus durangensis* (19,13 %) y *Pseudotsuga menziesii* (17,01 %), estas cuatro especies representan más del 50 % del IVI, el resto de las especies tiene un porcentaje menor a 8,11 %. En la PPM-2, *Pseudotsuga menziesii* domina con un 65,93 %, muy por encima de su valor en PPM-1 (17,01 %). *Pinus strobiformis* en PPM-2 es mayor (20,13 %) respecto al observado en PPM-1 (8,11 %), siendo un valor menor. *Populus tremuloides* y *Pinus durangensis* están en ambas PPM, pero con variaciones menores. Dos especies de PPM-1 no están presentes en la PPM-2 (Cuadro 3). La PPM-1 presenta un área basal (G) 36,52 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ y PPM-2 27,63 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$. La prueba no paramétrica de Wilcoxon arrojó un valor-p de 0,5745 ($p > 0,05$), indicando que no hay diferencia estadística significativa entre el IVI de PPM-1 y PPM-2.

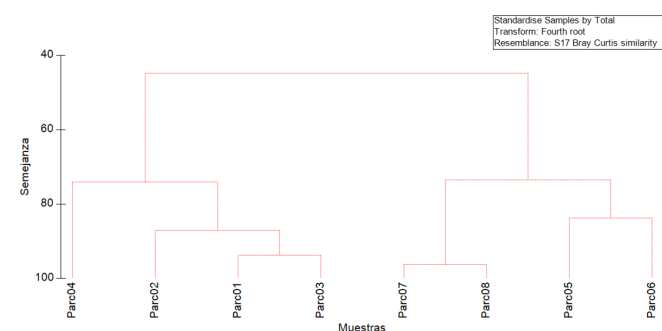


Figura 2. Análisis de agrupamiento entre muestras de las PPM. La semejanza entre ambas PPM fue del 60,15 %. Porcentaje de encadenamiento = 9,09 %. Los valores de pi y de p para cada grupo florísticos. El valor estadístico muestral (Pi): 4,543 y el nivel de significancia del estadístico muestral: 11,3 %, el valor de $p > 0,05$.

Figure 2. Cluster analysis among PPM samples. Similarity between both PPMs was 60.15%. Chaining percentage = 9.09%. Pi and p values for each floristic group are shown. The sample statistical value (Pi) was 4.543, and the significance level of the sample statistic was 11.3%, with $p > 0.05$.

Cuadro 3. Comparación de las dos Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) respecto a los valores del Índice de Valor de Importancia de las especies (IVI).

Table 3. Comparison of the two Permanent Sampling Plots (PSP) with respect to species Importance Value Index (IVI) values.

	Nombre científico	Abundancia	D		Área Basal (G)			Fr		IVI	
			(N ha ⁻¹)	(%)	AB ind	(m ² ha ⁻¹)	(%)	Abs	%	Abs	%
PPM-1	<i>Picea chihuahuana</i>	48	192	48,98	2,12	8,49	30,74	4	21,05	100,77	33,59
	<i>Pinus arizonica</i>	18	72	18,37	1,33	5,30	19,19	4	21,05	58,61	19,54
	<i>Pinus durangensis</i>	14	56	14,29	1,52	6,09	22,05	4	21,05	57,38	19,13
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	13	52	13,27	1,52	6,07	21,97	3	15,79	51,02	17,01
	<i>Pinus strobiformis</i>	4	16	4,08	0,31	1,23	4,47	3	15,79	24,34	8,11
	<i>Populus tremuloides</i>	1	4	1,02	0,11	0,44	1,60	1	5,26	7,88	2,63
	Total	98	392	100,00	6,90	27,63	100,00	19	100,00	300,00	100,00
PPM-2	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	92	368	79,31	7,50	30,00	82,13	4	36,36	197,80	65,93
	<i>Pinus strobiformis</i>	19	76	16,38	0,70	2,80	7,66	4	36,36	60,40	20,13
	<i>Pinus durangensis</i>	4	16	3,45	0,84	3,35	9,16	2	18,18	30,79	10,26
	<i>Populus tremuloides</i>	1	4	0,86	0,10	0,38	1,05	1	9,09	11,01	3,67
	Total	116	464	100	9,13	36,52	100	11	100	300	100

Estructura vertical. En la PPM-1, la especie dominante es *Pinus durangensis*, seguida de *Pseudotsuga menziesii* estrato alto (80 %–100 % estrato I), sin embargo, se mantiene una tendencia en su dominancia a medida que bajan los estratos medio “II” (50 %–80 %) y bajo “III” (50 %–0 %). El índice A es de 2,07 con un Amax de 2,89 y un Arel de 71,7 %. Esto indica que la distribución de las especies en los estratos de altura se encuentra en 28,30 % de la máxima diferenciación dimensional. En la PPM-2, la especie dominante es *Pseudotsuga menziesii* en el estrato alto (80 %–100 % estrato I), se mantiene una tendencia en su dominancia a medida que bajan los estratos medio “II” (50 %–80 %) y bajo “III” (50 %–0 %) (Cuadro 4). El índice A es de 1,45 con un Amax de 2,48 y un Arel de 58,3 %. Esto indica que la distribución de las especies en los estratos de altura se encuentra a un 41,70 % de la máxima diferenciación dimensional.

Relación de especies y la influencia de factores ambientales

El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) mostró como los factores ambientales delimitan la distribución de las especies. En general, *Picea chihuahuana*, *Pinus arizonica* y *Pinus durangensis* se agrupan en zonas intermedias de la gráfica, asociándose a factores como Pendiente (Pend), Toc, PHS, Ped. En cambio, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus strobiformis* y *Populus tremuloides* son afines a factores como Acai, Elev, Hoj (Figura 3).

El ACC extrajo una inercia total, es decir, una varianza total del modelo 0,8388. El primer eje extrajo una varianza de 79,25 %, el segundo de 10,24 % y el tercero 6,51 %; la varianza acumulada para los tres primeros ejes fue del 96 %. La prueba de Mantel muestra asociación estadísticamente significativa ($r = 0,65$; $p = 0,006$).

Discusión

Composición, riqueza y diversidad

Los bosques templados se caracterizan por ser ecosistemas complejos [3], [4]. Estudios de composición coinciden en que la familia Pinaceae y el género *Pinus* son los principales taxones de la composición florística de estos bosques en la Sierra Madre Occidental en el estado de Chihuahua [31], [11], [32], [33]. La presencia de especies como *Picea chihuahuana*, *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus durangensis* reflejan la vulnerabilidad por el endemismo y la distribución restringida en bosques templados del norte de México, comparables en riqueza, pero con mayor riesgo de fragmentación a otras zonas montañosas del país [34]. Las densidades reportadas en otras regiones del estado de Chihuahua comprenden de 460 (N ha⁻¹) a 940 (N ha⁻¹) [11], [12], [35], [36], estos reportes son semejantes a nuestros resultados, sin embargo, la composición florística y atributos estructurales pueden ir variando, esto quizá se deba a las condiciones ambientales propias del lugar.

Cuadro 4. Abundancia ($N\ ha^{-1}$), cobertura ($m^2\ ha^{-1}$) y altura (m) de las dos Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) respecto a los tres estratos verticales del bosque considerados para el índice A.

Table 4. Abundance ($N\ ha^{-1}$), basal area ($m^2\ ha^{-1}$), and height (m) of the two Permanent Sampling Plots (PSP) across the three forest vertical strata considered for Index A.

Estrato	Especie	Abundancia	Densidad ($N\ ha^{-1}$)	G ($m^2\ ha^{-1}$)	Altura (m)			
					Media	Mín	Máy	CV (%)
PPM-1	<i>Pinus durangensis</i>	3	12	1,1366	31,10	20,3	32,00	5,01
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	2	8	1,1218	30,00	28,00	32,00	9,43
	Subtotal	5	20	2,2584				
	<i>Picea chihuahuana</i>	13	52	1,9969	20,27	15,50	26,50	17,02
	<i>Pinus arizonica</i>	13	52	2,5348	21,52	15,50	26,00	13,55
	<i>Pinus durangensis</i>	8	32	1,7455	22,00	15,50	27,00	14,68
	<i>Pinus strobiformis</i>	3	12	0,5974	20,57	16,50	26,00	23,80
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	7	28	1,5800	21,64	16,00	27,00	16,75
	Subtotal	44	176	8,4546				
	<i>Picea chihuahuana</i>	35	140	2,2494	10,31	4,10	15,00	31,56
	<i>Pinus arizonica</i>	5	20	0,1158	7,87	5,25	9,50	21,81
	<i>Pinus durangensis</i>	3	12	0,1636	12,00	10,00	15,00	22,05
	<i>Pinus strobiformis</i>	1	4	0,0201	4,50	4,50	4,50	0,00
	<i>Populus tremuloides</i>	1	4	0,2209	6,50	6,50	6,50	0,00
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	4	16	0,3329	9,63	7,00	12,00	25,93
	Subtotal	49	196	3,1026				
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	7	28	3,3540	31,04	29,00	33,00	4,13
	Subtotal	7	28	3,3540				
	<i>Pinus durangensis</i>	1	4	0,7587	21,00	21,00	21,00	0,00
PPM-2	<i>Pinus strobiformis</i>	4	16	0,8522	18,55	16,10	22,00	13,57
	<i>Populus tremuloides</i>	1	4	0,1924	17,00	17,00	17,00	0,00
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	51	204	9,7889	20,20	15,20	27,00	15,10
	Subtotal	57	228	11,5922				
	<i>Pinus durangensis</i>	3	12	0,9148	4,57	3,90	5,50	18,23
	<i>Pinus strobiformis</i>	15	60	0,5461	8,91	5,10	13,60	31,99
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	34	136	1,8554	8,39	2,50	14,00	35,85
	Subtotal	52	208	3,3163				
	Total general	214	856	32,0781				

Los índices de diversidad ecológicos para la comunidad son relativamente bajos, característicos de este tipo de bosques del sureste del estado de Chihuahua [37] y semejantes a otros trabajos realizados en la región [38], [39]. Aunque se trate de un bosque conservado, la comunidad vegetal la dominan pocas especies; esto revela que a medida que la masa forestal que se desarrolla a través del tiempo, su composición florística pueda ir cambiando gradualmente, la riqueza específica se mantenga y se vea reflejada en las altas densidades, evidenciando así procesos de sucesión y un recambio de especies, bajo estas condiciones se

puede relacionar que los índices de diversidad sean bajos [2], [35], [36].

Atributos estructurales

La estructura horizontal observada coincide con lo documentado por otros autores en la región [12], [40], [41], quienes destacan el alto IVI de la familia Pinaceae y el género *Pinus*. La estructura vertical muestra igualmente el predominio del género *Pinus*, en concordancia con estudios realizados en Chihuahua y Durango [12], [42], [43]. La estructura vertical varía según condiciones

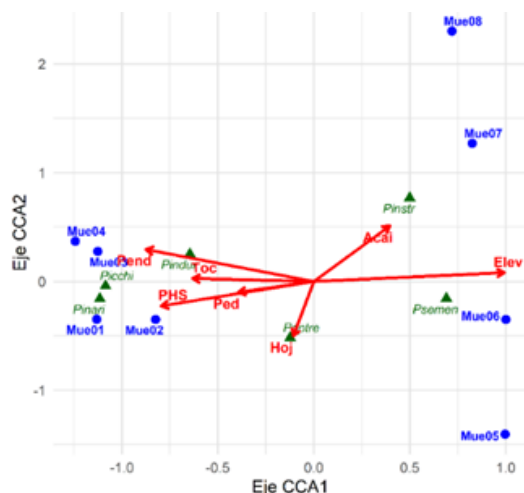


Figura 3. Análisis de Correspondencia Canónica. PHS = profundidad del horizonte superficial; Toc = Presencia de tocones; Pend = Pendiente; Ped = Pedregosidad; Hoj = Presencia de hojarasca; Elev = Elevación; Acai = Árboles caídos. Acrónimo de las especies Pindur = *Pinus durangensis*; Pinstr = *Pinus strobiformis*; Psemen = *Pseudotsuga menziesii*; Picchi = *Picea chihuahuana*; Pinari = *Pinus arizonica*; Poptre = *Populus tremuloides*. La varianza explicada del primer eje es 79.25 %, el del segundo eje 10.24 % y del tercer eje 6.51 %.

Figure 3. Canonical Correspondence Analysis (CCA). PHS = surface horizon depth; Toc = presence of stumps; Pend = slope; Ped = rockiness; Hoj = presence of leaf litter; Elev = elevation; Acai = fallen trees. Species acronyms are Pindur = *Pinus durangensis*; Pinstr = *Pinus strobiformis*; Psemen = *Pseudotsuga menziesii*; Picchi = *Picea chihuahuana*; Pinari = *Pinus arizonica*; Poptre = *Populus tremuloides*. The variance explained by the first axis was 79.25%, by the second axis 10.24%, and by the third axis 6.51%.

ecológicas y sucesionales [42]. Estudios en Durango han reportado valores del índice Arel ($\geq 77\%$), lo que indica una complejidad vertical [43], [44]. En contraste, en los municipios de Guachochi, Chihuahua y Pueblo Nuevo en Durango, se han registrado valores moderados o bajos, asociados a dominancia de pocas especies en el estrato I y menor en los estratos II y III del bosque [42], [45]. Estas variaciones responden a gradientes altitudinales, composición florística, perturbaciones y confirman la utilidad del índice A como herramienta para evaluar y comparar la heterogeneidad vertical del bosque [46].

Relación de especies y la influencia de factores ambientales

Los resultados del Análisis de Correspondencia Canónica corroboran que la distribución de especies está fuertemente influenciada por variables ambientales como la elevación, la pendiente, la pedregosidad

del suelo y la acumulación de hojarasca. Es decir, la distribución de especies no es aleatoria, está influenciada por factores ambientales específicos que inciden en el desarrollo de la comunidad vegetal. También, se ha demostrado que el relieve y las características edáficas inciden directamente en la abundancia de especies del género *Pinus* [47], [48], [49]. En el Estado de Durango identificaron que la elevación y la exposición de las laderas afectan significativamente la estructura del bosque [50]. Asimismo, señalaron que el manejo forestal, junto con factores ambientales, modifica la composición florística y estructural del bosque templado [51].

Conclusión

La caracterización de los atributos estructurales evidenció diferencias significativas entre las dos parcelas permanentes de muestreo (PPM), mientras las variables ambientales que contribuyen principalmente a la separación de las parcelas permanentes (PPM) también son responsables de las diferencias en la distribución y abundancia de las especies. La marcada dominancia de la familia Pinaceae y la mayor complejidad estructural registrada en PPM-1 reflejan la influencia de factores como la elevación y las condiciones locales sobre la distribución vertical y horizontal del bosque. El establecimiento y monitoreo de las PPM constituyen una herramienta fundamental para evaluar la dinámica forestal a través del tiempo, facilitando la toma de decisiones en el manejo y conservación de los recursos forestales de esta región.

Referencias

- [1] M. F. Mateo-García, "Regeneración natural de especies leñosas en el Bosque mesófilo de montaña del parque estatal Nevado de Colima, Jalisco, México," Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara, Autlán de Navarro, Jal., México, 2024.
- [2] J. P. Kimmins, *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.
- [3] J. Rzedowski, *Vegetación de México*, 1ra ed. digital. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2006.
- [4] A. Challenger y J. Soberón, *Los ecosistemas terrestres, Capital Natural de México*, vol. I, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2008.
- [5] P. C. Cruz, et al., "Análisis de la estructura y diversidad

- de bosques templados en la ladera oriental del volcán Iztaccíhuatl, México”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 13, no. 71, may, pp. 76-102, 2022, doi: [10.29298/rmcf.v13i71.1253](https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1253).
- [6] S. Barbier, et al., “Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved - A critical review for temperate and boreal forests,” *Forest Ecology and Management*, vol. 254, no. 1, Ene., pp. 1–15, 2007.
- [7] H. Gong, et al., “Effects of boundary constraints and climatic factors on plant diversity along an altitudinal gradient,” *Global Ecology and Conservation*, vol. 19, May., pp. 1-6, 2019.
- [8] M. Begon, et al., *Ecology: From Individuals to Ecosystems*, 4ª ed. Malden, MA, EE. UU.; Oxford, Reino Unido; Carlton, Australia: Blackwell Publishing, 2006.
- [9] J. C. Monárrez-González, et al., “Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México”, *Madera y Bosques*, vol. 24, no. 2, pp. 1-16, 2018.
- [10] S. A. García-García, et al., “Patrones de distribución espacial del arbolado en un bosque de *Pseudotsuga menziesii* en Chihuahua, México”, *Madera y Bosques*, vol. 27, no. 3, Dic., pp. 1-15, 2021, doi: [10.21829/myb.2021.2732242](https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732242).
- [11] S. A. García-García, et al., “Composición, estructura y estado de la regeneración arbórea en un gradiente altitudinal en un bosque templado de Guadalupe y Calvo, Chihuahua,” *Polibotánica*, vol. 1, no. 56, Jul., pp. 81-100, 2023, doi: [10.18387/polibotanica.56.5](https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.5).
- [12] 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, Oct., pp. 48-70, 2020, doi: [10.29298/rmcf.v12i63.800](https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.800).
- [13] E. García, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, D. F., México, 2004.
- [14] Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), (N. Chávez-Velázquez, J. G. Ramírez-Maldonado, M. Martínez-Salvador, R. Galván-Moreno y E. M. Calderón-Gutiérrez), “Estudio Regional Forestal de la Unidad de Manejo Forestal No. 0808. Guadalupe Y Calvo, Chihuahua, México”, 2009
- [15] J. J. Corral-Rivas, et al., *Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del estado de Durango*, Durango, México: Universidad Juárez del Estado de Durango, 2009.
- [16] E. Alanís-Rodríguez, et al., *Muestreo Ecológico de la Vegetación*, Monterrey, Nuevo León, México, Editorial Universitaria UANL, 2020.
- [17] M. Olvera-Vargas y B. L. Figueroa-Rangel, *Parcelas permanentes para la investigación ecológico-silvícola de largo plazo: Manual para su establecimiento y remediación*, Autlán de Navarro, Jal., México: Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, 2023.
- [18] Missouri Botanical Garden, *Tropicos®*. [En línea]. Disponible en: <https://www.tropicos.org>. [Accedido: 14-dic-2024].
- [19] K. R. Clarke y R. N. Gorley, *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*, Plymouth, UK: PRIMER-E, 2006.
- [20] C. E. Shannon y W. Weaver, “The mathematical theory of communication”, *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, Jul-Oct., pp. 379-423, 1948.
- [21] E. H. Simpson, “Measurement of diversity,” *Nature*, vol. 163, no. 4148, pp. 688, 1949. doi: [10.1038/163688a0](https://doi.org/10.1038/163688a0)
- [22] L. Jost, “Entropy and diversity,” *Oikos*, vol. 113, no. 2, pp. 363–375, May, 2006, doi: [10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x](https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x).
- [23] O. A. Aguirre-Calderón, “Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 27, no. 92, Oct, pp. 5–27, 2020.
- [24] RStudio Team, *RStudio: Integrated Development Environment for R*, versión estable, RStudio, RStudio/2023.09.0+463, PBC, Boston, MA, EE. UU., 2024.
- [25] J. Oksanen, et al., *vegan: Community Ecology Package*, R package version 2.6-10, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. [Accedido: 10-Oct-2025].
- [26] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental, Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, Lista de especies en riesgo,” *Diario Oficial de la Federación*, México, 2010.
- [27] International Union for Conservation of Nature (IUCN), “The IUCN Red List of Threatened Species”, 2025. [En línea].

- [28] R. H. Whittaker, "Gradient analysis of vegetation," *Biological Reviews*, vol. 42, no. 2, pp. 207–264, 1967. doi: [10.1111/j.1469-185X.1967.tb01419.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1967.tb01419.x).
- [29] H. Pretzsch, "Description and Analysis of Stand Structures," in *Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model*, H. Pretzsch, Ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 223–289. doi: [10.1007/978-3-540-88307-4_7](https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4_7).
- [30] R. Barrera-Ramírez, et al., "Forest Management and Tree Species Diversity in a Temperate Forest of the Meseta Purhépecha, Michoacán," *Agro Productividad*, vol. 17, no. 9, Sep., pp. 161–171, 2024, doi: [10.32854/agrop.v17i9.3036](https://doi.org/10.32854/agrop.v17i9.3036)
- [31] F. A. Domínguez-Álvarez, et al., "Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro," *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*, vol. 75, no. 2, Jul.–Dic., pp. 191–203, 2004.
- [32] López-Hernández, et al., "Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México," *Madera y Bosques*, vol. 23, no. 1, Mar.–May, pp. 39–51, 2017, doi: [10.21829/myb.2017.2311518](https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518).
- [33] J. C. Ramos-Reyes, et al., "Productividad y estructura vertical de un bosque templado con incidencia de incendios forestales," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 8, no. 43, Oct., pp. 64–88, 2017.
- [34] A. García-Arévalo, "Vegetación y flora de un bosque relictual de *Picea chihuahuana* Martínez del norte de México," *Polibotánica*, vol. 1, no. 25, Abr., pp. 45–68, 2008.
- [35] J. Hernández-Salas, Ó. A et al., "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*, vol. 19, núm. 2, Ago., pp. 189–199, 2013, doi: [10.5154/r.rchscfa.2012.08.052](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052).
- [36] J. Hernández-Salas, et al., "Dinámica del crecimiento de un bosque templado bajo manejo en el noroeste de México," *Madera y Bosques*, vol. 24, no. 2, Ago., pp. 1–10, 2018.
- [37] J. M. Villela-Suárez, et al., "Composición y diversidad arbórea de un bosque de coníferas en el suroeste de Chihuahua, México," *e-CUCBA*, vol. 1, no. 17, pp. 96–103, 2021.
- [38] M. A. Dávila-Lara, et al., "Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México," *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 6, no. 18, Sep., pp. 399–409, 2019, doi: [10.19136/era.a6n18.2112](https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2112).
- [39] J. Molina-Marchán, et al., "Estructura horizontal y diversidad de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en México," *Polibotánica*, vol. 1, no. 57, Ene., pp. 63–80, 2024, doi: [10.18387/POLIBOTANICA.57.4](https://doi.org/10.18387/POLIBOTANICA.57.4).
- [40] G. E. Manzanilla-Quijada, et al., "Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 11, no. 61, Ago., pp. 94–123, 2020. doi: [10.29298/rmcf.v11i61.703](https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703).
- [41] G. Graciano-Avila, et al., "Structural characterization of the trees of a forest ejido of northwest Mexico," *Madera y Bosques*, vol. 23, no. 3, Nov., pp. 137–146, 2017. doi: [10.21829/myb.2017.2331480](https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480).
- [42] V. A. Holguín-Estrada, et al., "Estructura vertical de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México," *Polibotánica*, vol. 1, no. 51, Ene., pp. 55–71, 2021, doi: [10.18387/polibotanica.51.4](https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.4).
- [43] 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*, vol. 1, no. 54, Ago., pp. 11–26, 2022, doi: [10.18387/polibotanica.54.2](https://doi.org/10.18387/polibotanica.54.2).
- [44] G. Graciano-Ávila, et al., "Cambios en la composición y estructura de especies arbóreas en un bosque templado de Durango, México," *Acta Botanica Mexicana*, vol. 1, no. 127, Feb., pp. 1–16, 2020, doi: [10.21829/abm127.2020.1522](https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1522).
- [45] S. A. García-García, et al., "Diversidad y estructura vertical del bosque de pino–encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 10, no. 53, Jun., pp. 41–63, 2019, doi: [10.29298/rmcf.v10i53.173](https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173)
- [46] E. R. Rubio-Camacho, et al., "Diversidad y Distribución Vertical de Especies Mediante el índice de Pretzsch," *Ciencia UANL*, vol. 17, no. 65, Ene-Feb., pp. 34–41, 2014.
- [47] M. Á. Ruiz-González, et al., "Estructura y diversidad vegetal en un bosque de pino encino con disturbios en diferentes cronosecuencia," *Madera y Bosques*, vol. 28, no. 1, Jul., pp. 1–16, 2022, doi: [10.21829/myb.2022.2812245](https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812245)
- [48] A. Ríos-Altamirano et al., "Abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca," *Madera y bosques*, vol. 22, no. 3, Dic., pp. 61–74, 2016, doi: [10.21829/](https://doi.org/10.21829/)

[MYB.2016.2231457](#).

- [49] J. A. Encina-Domínguez, et al. Mellado-Bosque, "Environmental and soil variables affecting the structure and floristic woody composition of oak forests of northeastern Mexico," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 42, no. 4, Ago., pp. 262-271, 2018, [doi. 10.3906/tar-1711-31](#).
- [50] O. A. Aguirre-Calderón et al., "Influencia de la altitud y exposición en la estructura y composición de un bosque templado en Durango", *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 13, no. 70, Abr., pp 64-84, 2022, [doi. 10.29298/rmcf.v13i70.1163](#).
- [51] N. Ramírez-Santiago, et al., "Efectos del aprovechamiento forestal sobre la diversidad y estructura de bosques mixtos en la Sierra Juárez, Oaxaca", *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 10, no. 53, May., pp. 78–96, 2019.