

Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DEL NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND DIVERSITY IN THREE FOREST ECOSYSTEMS OF NORTHEASTERN MEXICO

Ramos-Hernández, C.G.; J.M. López-Hernández; I. Cantú-Silva, M.V. Gómez-Meza y H. González-Rodríguez

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DEL NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND DIVERSITY IN THREE FOREST ECOSYSTEMS OF NORTHEASTERN MEXICO



Estructura y diversidad en tres ecosistemas forestales del Noreste de México

Structure and diversity in three forest ecosystems of Northeastern Mexico

Ramos-Hernández, C.G.;
J.M. López-Hernández;
I. Cantú-Silva,
M.V. Gómez-Meza
y H. González-Rodríguez

ESTRUCTURA Y
DIVERSIDAD EN TRES
ECOSISTEMAS
FORESTALES DEL
NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND
DIVERSITY IN THREE
FOREST ECOSYSTEMS OF
NORTHEASTERN MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 45-61. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.3

César Gerardo Ramos-Hernández

<https://orcid.org/0009-0008-4475-5567>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales

Juan Manuel López-Hernández

<https://orcid.org/0000-0001-5797-1658>

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía y Veterinaria

Israel Cantú-Silva

<https://orcid.org/0000-0001-8996-0881>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales

Marco Vinicio Gómez-Meza

<https://orcid.org/0000-0002-3047-7278>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Economía

Humberto González-Rodríguez / humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0798-0825>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales

RESUMEN: Los ecosistemas forestales de la Sierra Madre Oriental (SMO) juegan un papel muy importante al proveer a la región y comunidades de madera y como importantes proveedores de servicios ambientales. Con el objetivo de conocer la estructura y diversidad de ecosistemas forestales del noreste de México, se ubicaron 30 parcelas, cada una de 250 m², en tres comunidades vegetales (10 por comunidad), en donde las variables registradas fueron diámetro normal (Dn; cm), altura (H; m) y área de copa (m²) para todos los individuos con Dn > 5 cm. Se estimó el Índice de Valor de Importancia (IVI), diversidad y riqueza de especies mediante los índices de Shannon-Weiner (H') y Margalef (DM_g) y la similitud entre ecosistemas con el índice de Bray-Curtis. El mayor IVI para el ecosistema de Pino fue para el *Pinus pseudostrobus* (25.59%) y *P. arizonica* (25.43%), en el ecosistema de Encino-Pino para *Quercus laceyi* (37.47%) y *Pinus pseudostrobus* (19.14%) y en el Bosque alterado fue para las especies de *Ceanothus fendleri* (24.08%) y *Juniperus pinchotii* (16.84%). En general, para los tres ecosistemas estudiados, los índices de Margalef (DM_g) y Shannon-Weiner (H') consideraron la diversidad como baja (1.13 y 1.14, respectivamente), mientras que los resultados de similitud mostraron que el ecosistema de Pino y el Bosque alterado tienen 51% en común. Los ecosistemas de Pino con Encino-Pino y Encino-Pino con el Bosque alterado mostraron una similitud inferior (20% y 21%, respectivamente). Las comunidades vegetales estudiadas contribuyen al conocimiento acerca del estado actual de los ecosistemas forestales de la SMO.

Palabras clave: Bosque Pino y Encino, Ecosistemas forestales, Estructura, Índices de diversidad, Similitud.

ABSTRACT: The forest ecosystems of the Sierra Madre Oriental (SMO) play a very important role in providing wood to the region and its communities, as well as serving as significant providers of environmental services. With the goal of

understanding the structure and diversity of forest ecosystems in northeastern Mexico, 30 plots, each of 250 m², were established in three vegetation communities (10 per community), where recorded variables included normal diameter (Dn; cm), height (H; m), and crown area (m²) for all individuals with Dn > 5 cm. The Importance Value Index (IVI), diversity, and species richness were estimated using the Shannon-Weiner (H') and Margalef (DM_g) indices, and the similarity between ecosystems was assessed with the Bray-Curtis index. The highest IVI for the Pine ecosystem was found in *Pinus pseudostrobus* (25.59%) and *P. arizonica* (25.43%), in the Oak-Pine ecosystem for *Quercus laceyi* (37.47%) and *Pinus pseudostrobus* (19.14%), and in the altered Forest for the species *Ceanothus fendleri* (24.08%) and *Juniperus pinchotii* (16.84%). In general, for the three studied ecosystems, the Margalef (DM_g) and Shannon-Weiner (H') indices indicated low diversity (1.13 and 1.14, respectively), while the similarity results showed that the Pine ecosystem and the altered Forest shared 51%. The Pine ecosystems along with Oak-Pine and Oak-Pine with the altered Forest exhibited lower similarities (20% and 21%, respectively). The studied vegetation communities provide insights into the current state of the forest ecosystems in the SMO.

Key words: Pine and Oak Forest, Forest ecosystems, Structure, Diversity indices, Evenness.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de coníferas junto con las selvas son unos de los ecosistemas con mayor presencia en el mundo (Mora-Donjuán & Alanís-Rodríguez, 2016). En México, los ecosistemas templados representados en su mayoría por bosques de coníferas integran el 24% de los ecosistemas naturales, mientras que las selvas el 23% (Quijada *et al.*, 2020), los cuales se distribuyen en la Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, destacándose las especies del género *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus* (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2011). No obstante, los ecosistemas forestales se encuentran altamente amenazados por actividades antropogénicas, lo que ha provocado cambios en sus estructuras (Silva-González *et al.*, 2021), resultando en la disminución de superficie arbolada en México, lo que conlleva a problemas ecológicos, económicos y sociales, causados principalmente por malas prácticas de aprovechamiento forestal, sobrepastoreo, incendios, plagas y enfermedades forestales (Hernández-Salas *et al.*, 2018; SEMARNAT-CONANP, 2013).

Generar conocimiento acerca de la composición florística, estructura y distribución de especies presentes en los ecosistemas forestales mediante índices de diversidad como herramientas que ayudan a conocer la distribución y composición de los ecosistemas, fortalece la toma de decisión acerca del manejo de los bosques (Corral-Rivas *et al.*, 2005; Gadow *et al.*, 2012). El uso de estos índices como indicadores ambientales de la salud de los ecosistemas proporcionan una validez científica para instituir estrategias de conservación (Hernández-Salas *et al.*, 2013; Magurran, 2021).

De manera general, existen factores bióticos y abióticos que alteran la riqueza de las especies vegetales. Así, en regiones más favorables se espera que el establecimiento de la diversidad sea mayor (McCarthy *et al.*, 2001). El establecimiento de las especies en los ecosistemas forestales que se sitúan en las cadenas montañosas obedece directamente a los factores relacionados con la elevación (clima, temperatura, pendiente, exposición, etc.), que conllevan a su vez, en cambios en la biodiversidad de estos ecosistemas (Bhat *et al.*, 2020). Sin embargo, se ha documentado que el principal factor que altera la composición y riqueza de especies es el manejo forestal al que se someten las masas forestales con el fin de establecer y/o aprovechar especies de interés económico (García-García *et al.*, 2019; Hernández *et al.*, 2019). El conocimiento de la diversidad y estructura de las especies arbóreas y arbustivas que se desarrollan en los bosques de clima templado son importantes para la gestión y conservación de

la biodiversidad, por lo que es importante generar estudios específicos sobre estos ecosistemas (Graciano-Ávila *et al.*, 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la estructura horizontal mediante la abundancia, frecuencia, dominancia y la diversidad aplicando los índices de Shannon y Margalef que estiman la diversidad alfa y riqueza de especies, respectivamente, dentro de tres comunidades forestales, con el fin de contribuir al conocimiento biológico acerca del estado actual de los ecosistemas forestales en el Noreste de México y contar con indicadores para el adecuado manejo de las masas forestales de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en tres comunidades forestales, en una zona ubicada en el “Ejido Pablillo”, municipio de Galeana, Nuevo León (noreste de México) (Figura 1) enmarcado entre las coordenadas: 24° 39' LN y entre los 99° 54' y 100° 05' de LO, situado en el macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental. Esta zona presenta precipitaciones que varían de 110 mm a 120 mm en el mes más lluvioso (septiembre), con clima de tipo templado (García, 2004). Los rangos elevacionales en los que se desarrollan estos ecosistemas fluctúan de 2,160 m (Bosque alterado) hasta 2,313 m (ecosistema de Encino-Pino). El tipo de suelo dominante en las tres comunidades vegetales corresponde al tipo Leptosol (INEGI, 2007).

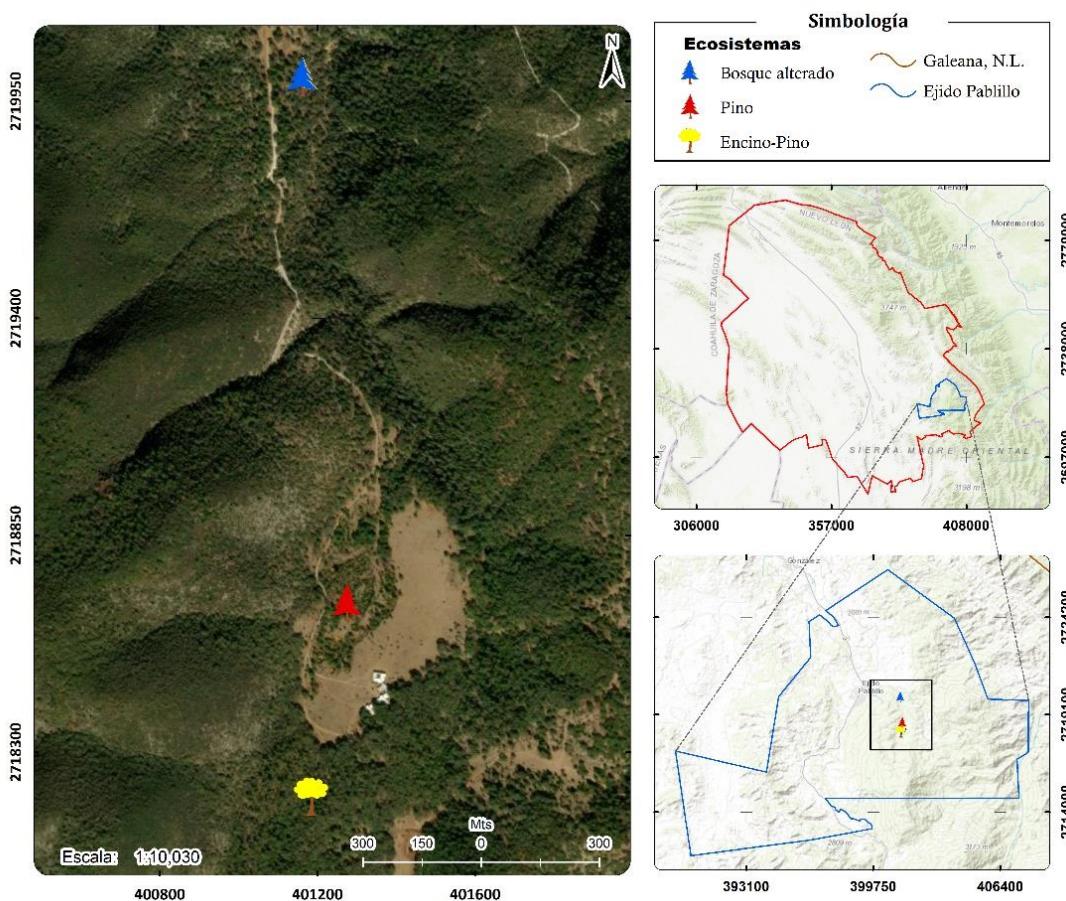


Figura 1. Localización de los ecosistemas en el “Ejido Pablillo”, municipio de Galeana, Nuevo León, México.

Figure 1. Location of ecosystems in "Ejido Pablillo," municipality of Galeana, Nuevo León, Mexico.

La importancia de la distribución de estos ecosistemas en la región radica en el suministrar de madera, como una fuente importante de materia prima para la industria (Tapia & Návar, 2011), brindan una serie de servicios ambientales (conservación de la biodiversidad, regulación del clima, protección de cuencas hidrográficas, etc.), sociales (educación ambiental, medicina tradicional y conservación de patrimonio) y económicos (productos maderables y no maderables) (Manrique, 2022). En la Figura 2, se presentan imágenes panorámicas de los tres ecosistemas estudiados.



Figura 2. Estado actual de los ecosistemas forestales estudiados: a) Pino; b) Encino-Pino y c) Bosque alterado.

Figure 2. Current state of the studied forest ecosystems: a) Pine; b) Oak-Pine; and c) Altered Forest.

Muestreo

El estudio se realizó en tres tipos de ecosistemas forestales (Pino, Encino-Pino y Bosque alterado) situados sobre suelo dominante del tipo Leptosol. Los datos dasométricos fueron tomados en sitios de 250 m^2 ($10 \text{ m} \times 25 \text{ m}$). En cada ecosistema, se situaron 10 parcelas dentro del rango elevacional correspondiente a cada ecosistema. El tamaño de muestra (n_i) considerado en cada uno de los tres ecosistemas forestales fue de 10, ya que el análisis de la varianza para el modelo con un criterio de clasificación tendrá una potencia de .80 para detectar un tamaño de efecto de 0.40 (grande de acuerdo con Cohen), cuando se trabaja con un nivel de significancia de $\alpha=.05$ (Cohen, 1988). En total se levantaron 30 parcelas de muestreo en los tres ecosistemas; los sitios fueron adyacentes entre sí dentro de una parcela de 2500 m^2 por cada ecosistema. Se censaron todos los individuos que presentaron Diámetro normal (D_n ; cm) igual o mayor a 5 cm, midiendo el diámetro (m) de copa con orientación norte-sur y este-oeste y altura total (H ; m) (Canizales-Velázquez *et al.*, 2021).

Caracterización estructural

Con la información de campo se estimaron los parámetros estructurales (abundancia, frecuencia y dominancia relativas) y el índice de valor de importancia mediante las ecuaciones siguientes (Magurran, 2005):

Abundancia:

$$A_i = N_i / E$$

$$AR_i = \left[A_i / \sum_{i=1 \dots n} A_i \right] \times 100$$

Donde: A_i representa la abundancia absoluta, AR_i es la abundancia relativa de la especie i en relación con la abundancia total, N_i es el número total de individuos de la especie, con $i = 1, 2, \dots, n$. E representa la superficie (ha).

Cobertura:

$$D_i = Ab_i/E$$

$$DR_i = \left[D_i / \sum_{i=1 \dots n} D_i \right] \times 100$$

Dónde: D_i es la cobertura absoluta, DR_i es cobertura relativa de la especie i respecto a la cobertura total. Ab_i y E representa el área de copa de la especie i y la superficie (ha), respectivamente.

Frecuencia:

$$F_i = P_i/NS$$

$$FR_i = \left[F_i / \sum_{i=1}^n F_i \right] \times 100$$

Dónde: F_i es la frecuencia absoluta, FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la suma de las frecuencias, P_i denota el número de sitios en el que está presente la especie i y NS representa el número total de sitios de muestreo.

El cálculo del índice de valor de importancia para cada especie (IVI_i) se realizó de acuerdo a Moreno (2001), mediante la suma de los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia:

$$IVI_i = AR_i + DR_i + FR_i$$

Para estimar la diversidad en los ecosistemas forestales, se aplicaron los índices de Shannon [H'] y Margalef [DM_g] (Moreno, 2001), los cuales estiman la diversidad alfa y riqueza de especies, respectivamente. Estos índices son indicadores que reflejan la diversidad de especies dentro de un ecosistema (Serrano *et al.*, 2022). Se determinan a partir de las ecuaciones siguientes:

$$DM_g = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S pi \times \ln(pi)$$

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

Dónde: S es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y n_i es el número de individuos de la especie i y pi representa el número de sitios en el que se encuentra la especie i .

La diversidad beta se obtuvo mediante el índice de Bray-Curtis, el cual representa de manera gráfica la variación de la composición vegetal. El análisis se fundamenta en un algoritmo el cual considera la similitud al analizar las muestras mediante el cálculo en el porcentaje de similitud. Este índice se estima entre 0 y 100, donde el 100 significa que los sitios tienen la misma composición y 0 significa que no comparten especies entre ecosistemas (Bray & Curtis, 1957).

Análisis estadístico

Los valores para los índices de Shannon y Margalef fueron sometidos a un análisis estadístico para contrastar la hipótesis de normalidad de las variables y en función del resultado efectuar el análisis de varianza para el modelo con un criterio de clasificación, paramétrico o bien no paramétrico (Steel & Torrie, 1980). De acuerdo con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, con la corrección de Lilliefors, y Levene (Brown & Forsythe, 1974), las variables mostraron distribución normal y homogeneidad de varianzas, por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza paramétrico. Se usó .05 como nivel de significancia.

RESULTADOS

Composición florística

En total se encontraron 639 individuos, identificándose 12 géneros, pertenecientes a 12 familias. Respecto a los géneros, sobresalen *Pinus* (4), *Quercus* (3), *Eysenhardtia* (2); mientras que los géneros *Agave*, *Arbutus*, *Crataegus*, *Juniperus*, *Mimosa*, *Berberis*, *Opuntia* y *Pistacia* solo presentaron una especie.

En relación con el número de individuos por familia para los tres ecosistemas forestales bajo estudio sobresalieron: *Rhamnaceae* (177), *Cupressaceae* (162) y *Pinaceae* (149), seguidas de las familias *Fagaceae* (42), *Rosaceae* (38), *Fabaceae* (34), *Asparagaceae* (19) y *Ericaceae* (15); mientras que las familias con menos presencia fueron *Berberidaceae* (1), *Cactaceae* (1) y *Anacardiaceae* (1). La relación de familias, géneros y especies por ecosistema, se presentan en la Figura 3, destacando que el ecosistema de Pino presentó una mayor representación con respecto al ecosistema de Encino-Pino y al Bosque alterado.

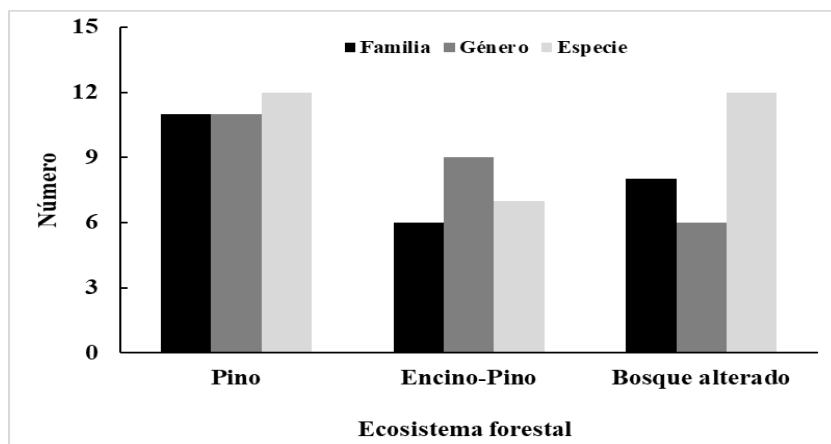


Figura 3. Representación de la cantidad de familias, géneros y especies por ecosistema forestal.
Figure 3. Representation of the quantity of families, genera, and species per forest ecosystem.

De manera general, en el Cuadro 1 se presenta el listado de especies con su respectiva familia documentadas en los tres ecosistemas estudiados.

Cuadro 1. Nombre científico, nombre común y familia de las especies registradas en los tres ecosistemas forestales en el “Ejido Pablillo”, Galeana, Nuevo León.

Table 1. Scientific name, common name, and family of the species recorded in the three forest ecosystems in "Ejido Pablillo," Galeana, Nuevo León.

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Agave macrocylmis</i>	Maguey chino	Agavaceae
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Ericaceae
<i>Berberis trifoliata</i>	Chichilcuáhuit	Berberidaceae
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendlerii</i>	Gavia	Rhamnaceae
<i>Crataegus</i> sp.	Espino	Rosaceae
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	Palo azul	Fabaceae
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	Táscate	Cupressaceae
<i>Mimosa</i> sp.	Garabatillo	Fabaceae
<i>Opuntia robusta</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	Nopal camueso	Cactaceae
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Pino de Arizona	Pinaceae
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	Pino lacio	Pinaceae
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl	Pino azteca	Pinaceae
<i>Pistacia mexicana</i> Kunth.	Lantrisco	Anacardiaceae
<i>Quercus polymorpha</i> Née	Encino roble	Fagaceae
<i>Quercus laceyi</i> Small	Encino azul	Fagaceae
<i>Quercus microphylla</i> Née	Encino enano	Fagaceae

Diversidad de especies

El análisis de la varianza no detectó diferencias significativas entre la diversidad de especies entre los ecosistemas estudiados (Cuadro 2), lo que sugiere que en los tres ecosistemas se presenta una riqueza específica y número de especies semejantes.

Cuadro 2. Resumen del análisis de la varianza para los índices de diversidad de Margalef y Shannon-Wiener ($n = 10$).

Table 2. Summary of the analysis of variance for the Margalef and Shannon-Wiener diversity indices ($n = 10$).

Índice	Estadístico				
	CME	Valor F	Valor P	CV (%)	R ² ajustado
Margalef	0.185	0.188	0.830	32.8	0.059
Shannon-Wiener	0.081	1.613	0.218	25.0	0.041

CME, Cuadrado Medio del Error; CV, Coeficiente de Variación (%); R², Coeficiente de Determinación.

Respecto al índice de Shannon-Wiener, mostró valores promedio de 1.02 ± 0.06 , 1.24 ± 0.11 y 1.15 ± 0.10 para el Bosque alterado y los ecosistemas de Pino y Encino-Pino, respectivamente. Los valores para el índice de Margalef fueron de 1.34 ± 0.12 (Encino-Pino), 1.34 ± 0.17 (Pino) y 1.44 ± 0.10 (Bosque alterado). Ambos índices presentaron un comportamiento similar en los tres ecosistemas y por tanto, significa que existe una diversidad baja. En la Figura 4 se ilustran los índices de Shannon-Wiener y Margalef por ecosistema forestal.

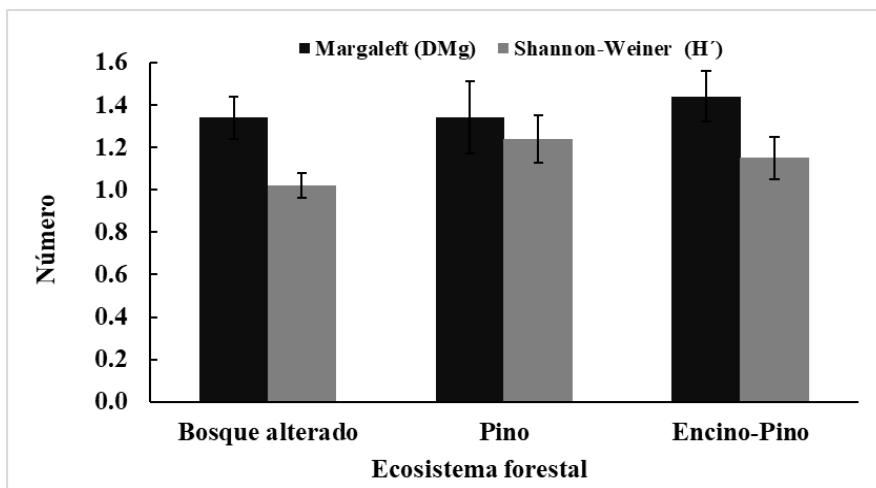


Figura 4. Índices de diversidad de Margalef y Shannon-Weiner por ecosistema forestal bajo estudio. Los valores graficados representan la media \pm error estándar, $n=10$.

Figure 4. Margalef and Shannon-Wiener diversity indices for the studied forest ecosystems. The plotted values represent the mean \pm standard error, $n=10$.

Similitud florística

Los resultados obtenidos del análisis de similitud mediante la técnica de Bray-Curtis, muestra un subconjunto entre los ecosistemas de Pino y el Bosque alterado con un valor de similitud de 0.51 en común. Por otra parte, el ecosistema de Encino-Pino mostró un valor relativamente bajo (0.20) (Figura 5).

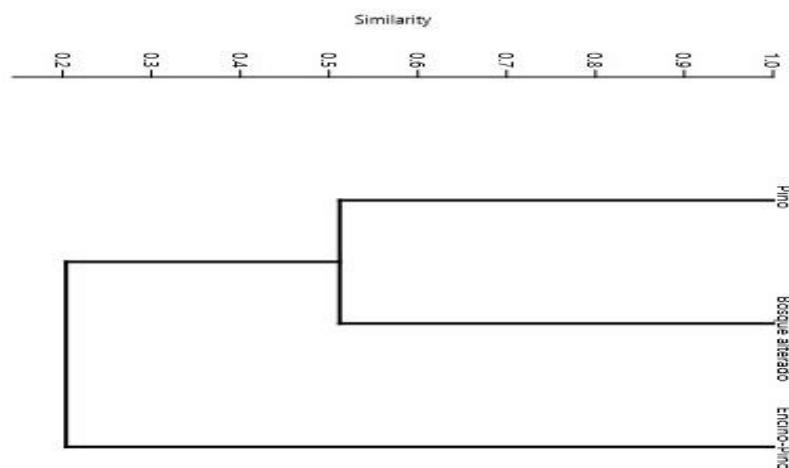


Figura 5. Dendrograma de ordenación Bray-Curtis de los ecosistemas de estudio.

Figure 5. Bray-Curtis ordination dendrogram of the studied ecosystems.

Variables estructurales

En el Cuadro 3, se presentan las características dasométricas para todos los individuos presentes por ecosistema. Los resultados indican que el Bosque alterado presenta la menor cantidad de individuos, pero el mayor diámetro normal medio. En cambio, el ecosistema de Pino, que mantiene las condiciones naturales menos alteradas según el IVI (Cuadro 4), conserva el mayor número de individuos.

Cuadro 3. Valores promedio (\pm error estándar, $n = 10$) de las variables dasométricas de las especies leñosas (pino y encino) observadas en las parcelas de los diferentes ecosistemas.

Table 3. Average values (\pm standard error, $n = 10$) of the dendrometric variables of woody species (pine and oak) observed in the plots of the different ecosystems.

Ecosistema	Característica				
	No. de individuos	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Diámetro de copa (m^2)	Cobertura (m^2)
Encino-Pino	50 ± 2.00	32.2 ± 3.19	7.1 ± 0.95	3.5 ± 0.60	64.8 ± 2.37
Pino	125 ± 5.60	23.7 ± 1.69	5.2 ± 0.52	2.2 ± 0.27	54.3 ± 9.40
Bosque alterado	16 ± 0.32	35.2 ± 6.60	4.4 ± 1.83	5.5 ± 1.50	30.4 ± 12.41

Los datos son con referencias a parcelas de $2,500 m^2$ en cada ecosistema

La especie *Pinus pseudostrobus* fue la que presentó mayor número de individuos (114) en el ecosistema de Pino (Cuadro 4), en el ecosistema de Bosque alterado (Cuadro 5) *Ceanothus fendleri* (132) y 28 individuos de *Crataegus* sp. en el ecosistema de Encino-Pino (Cuadro 6). *Juniperus pinchotii* presentó 81 individuos en el Bosque alterado (Cuadro 5), 72 en el ecosistema de Pino (Cuadro 4) y solo 9 en el ecosistema de Encino-Pino (Cuadro 6), siendo esta especie la más representativa, en general, en los tres ecosistemas, además de presentar altos valores del IVI en los ecosistemas de Pino y en el Bosque alterado. Del total de los 639 individuos registrados en los tres ecosistemas estudiados, el ecosistema de Pino representó el 44.8%, el Bosque alterado el 40.2% y el 15.0% en el ecosistema de Encino-Pino.

De acuerdo a los resultados del IVI, las especies con mayor valor por ecosistema fueron: *Pinus pseudostrobus* (25.59%) y *Pinus arizonica* (25.43%) en el ecosistema de Pino (Cuadro 4);

Ceanothus fendleri (24.08%) y *Juniperus pinchotii* (16.84%) en el Bosque alterado (Cuadro 5); *Quercus laceyi* (37.47%) y *Pinus pseudostrobus* (19.14%) en el ecosistema de Encino-Pino (Cuadro 6).

Cuadro 4. Parámetros estructurales para las especies identificadas en el ecosistema de Pino ordenados de manera descendente de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI).

Table 4. Structural parameters for the species identified in the Pine ecosystem, arranged in descending order according to the Importance Value Index (IVI).

Espece vegetal	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Área de copa (m ²)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	114	39.86	10	19.23	9.62	17.69	25.59
<i>Pinus arizonica</i> Engelm	7	2.45	3	5.77	36.99	68.07	25.43
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	72	25.17	10	19.23	2.82	5.2	16.53
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendlerii</i>	43	15.03	8	15.38	0.12	0.22	10.21
<i>Mimosa</i> sp.	25	8.74	4	7.69	1.51	2.77	6.40
<i>Agave macrocylmis</i>	13	4.55	6	11.54	0.72	1.32	5.80
<i>Quercus microphylla</i> Née	4	1.4	3	5.77	0.14	0.25	2.47
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	3	1.05	3	5.77	0.09	0.17	2.33
<i>Crataegus</i> sp.	2	0.7	2	3.85	1.19	2.19	2.24
<i>Pistacia mexicana</i> Kunth	1	0.35	1	1.92	0.69	1.27	1.18
<i>Berberis trifoliata</i> Hartw. ex Lindl	1	0.35	1	1.92	0.3	0.55	0.94
<i>Opuntia robusta</i> H.L.Wendl. ex Pfeiff	1	0.35	1	1.92	0.17	0.31	0.86
Total	286	100	52	100	54.3	100	100

Cuadro 5. Parámetros estructurales para las especies identificadas en el Bosque alterado ordenados de manera descendente de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI).

Table 5. Structural parameters for the species identified in the Altered Forest, arranged in descending order according to the Importance Value Index (IVI).

Espece vegetal	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Área de copa (m ²)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendlerii</i>	132	51.36	10	20.83	0.12	0.03	24.08
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	81	31.52	9	18.75	0.89	0.24	16.84
<i>Quercus laceyi</i> Small	4	1.56	4	8.33	135.25	36.99	15.63
<i>Quercus polymorpha</i> Née	5	1.95	4	8.33	103.29	28.25	12.84
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltld	2	0.78	2	4.17	91.28	24.97	9.97
<i>Crataegus</i> sp.	8	3.11	5	10.42	2.05	0.56	4.7
<i>Mimosa</i> sp.	8	3.11	5	10.42	0.28	0.08	4.54
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	2	0.78	2	4.17	31.37	8.58	4.51
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	5	1.95	4	8.33	0.01	0	3.43

<i>Agave macrocylmis</i>	6	2.33	1	2.08	1.06	0.29	1.57
<i>Quercus microphylla</i> Née	3	1.17	1	2.08	0	0	1.08
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg	1	0.39	1	2.08	0.01	0	0.83
Total	257	100	48	100	365.6	100	100

Cuadro 6. Parámetros estructurales para las especies identificadas en el ecosistema de Encino-Pino ordenados de manera descendente de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI).

Table 6. Structural parameters for the species identified in the Oak-Pine ecosystem, arranged in descending order according to the Importance Value Index (IVI).

Especie vegetal	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Área de copa (m ²)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Quercus laceyi</i> Kunth	19	19.79	8	21.05	46.37	71.55	37.47
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	24	25	8	21.05	7.36	11.36	19.14
<i>Crataegus</i> sp.	28	29.17	7	18.42	1.93	2.98	16.85
<i>Quercus polymorpha</i> Née	7	7.29	3	7.89	8.84	13.65	9.61
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	9	9.38	6	15.79	0.25	0.38	8.52
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	7	7.29	5	13.16	0.04	0.06	6.84
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendlerii</i>	2	2.08	1	2.63	0.02	0.03	1.58
Total	96	100	38	100	64.8	100	100

DISCUSIÓN

La composición vegetal documentada en el presente estudio corresponde a la esperada para el tipo de vegetación evaluada, dada la presencia de los individuos del género *Pinus* y *Quercus*. Estos resultados coinciden con los realizados por Camacho-Rubio *et al.* (2016), quienes mencionan que las especies de *Pinus* y *Quercus* suelen presentarse en los ecosistemas forestales en el noreste de México. Similarmente, Ávila-Flores *et al.* (2014), reportan valores de importancia altos para el género *Pinus*. Leyva-López *et al.* (2010), detallan que la dominancia de estos géneros no limita el desarrollo y establecimiento de otras especies, por lo que es normal observar diversidad de especies correspondientes a los géneros *Ceanothus*, *Juniperus* y/o *Crataegus* encontrados en los ecosistemas estudiados. Luna-Robles *et al.* (2020), concuerdan con lo anteriormente descrito y señalan que el establecimiento de especies de diversos géneros está asociado a los ecosistemas donde predominan las especies de *Pinus* y *Quercus*, e indican que las especies de estos géneros no aseguran el establecimiento de las especies de interés, sino que brindan la oportunidad de encontrar especies de poco interés para el manejo de los ecosistemas forestales. De León Mata *et al.* (2013), destacan que este tipo de ecosistemas representados por especies de los géneros *Pinus* y *Quercus* suelen localizarse en sitios que superan los 2,000 msnm en zonas montañosas en laderas con diferentes pendientes y exposiciones, los cuales pueden sufrir cambios por actividades antrópicas, resultando en modificaciones en su estructura, composición y diversidad (Gao *et al.*, 2020).

Las familias *Pinaceae* y *Fagaceae* se caracterizan principalmente por ser dominantes en las regiones montañosas del sur de Nuevo León (Manzanilla-Quijada *et al.*, 2020). Sin embargo, los resultados encontrados en el presente estudio y lo enunciado anteriormente, varía debido a

que las familias *Rhamnaceae*, *Cupressaceae* y *Pinaceae* son las familias con mayor presencia de manera general en los tres ecosistemas. Huffman (2006), al estudiar la composición de especies en un ecosistema forestal, documenta que la especie de *Ceanothus fendleri* (*Rhamnaceae*) suele asociarse a comunidades donde predominan las coníferas, siendo plantas que suelen establecerse a un ritmo rápido, lo que se ve reflejado en el aumento de la abundancia en los ecosistemas que se desarrollan. Estos cambios en la composición de los ecosistemas suelen presentarse debido a que la estructura es dinámica y se modifica constantemente durante el crecimiento de los árboles (Hu *et al.*, 2020) y a las interacciones antrópicas que incluyen disturbios por tala y extracción de árboles por selección (Gadow *et al.*, 2012), lo que se refleja en el crecimiento y desarrollo de arbustos y herbáceas, que son indicadores de alteraciones en las comunidades forestales (Waddell *et al.*, 2020).

De acuerdo con Margalef (1973) y Magurran (2005), los valores del índice de diversidad (Figura 4) se consideran bajos (valor promedio = 1.14), ya que, según la clasificación establecida por dichos autores, se considera como diversidad baja cuando los valores son menores a 2, media entre 3 y 5, y alta cuando son superiores a 5. De acuerdo a los análisis estadísticos, los valores para dichos índices no presentan diferencias significativas entre los tres ecosistemas estudiados (Cuadro 2). Lo anterior se puede explicar debido a que la mayoría de los ecosistemas forestales en algún momento de su desarrollo fueron sometidos a manejo, lo que origina baja diversidad debido a los tratamientos silvícolas que se involucran (Hernández-Salas *et al.*, 2013), lo cual es consistente con diversos estudios realizados para ecosistemas forestales (García-Aranda *et al.*, 2012; Medrano-Meraz *et al.*, 2017; Méndez Osorio *et al.*, 2018). Este tipo de ecosistemas forestales, además suelen presentar una diversidad baja debido al gradiente elevacional en el que se desarrollan, donde los principales factores abióticos suelen ser el clima, la temperatura, la precipitación, pendiente (De León Mata *et al.*, 2013; Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2021) y tipo de suelo (McCain, 2005), lo que causa que se presentan cambios en la diversidad y estructura, aun cuando se trata de ecosistemas muy similares, ya que los requerimientos ecológicos de cada especie son diferentes (Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2021). En el noreste de Nuevo León, en la Sierra Madre Oriental, los estudios florísticos en ecosistemas forestales que superan el rango elevacional de los 2000 m, con clima de tipo templado subhúmedo, precipitaciones entre 600 y 1200 mm y con una temperatura media anual de 14 a 18 °C, han presentado diversidad baja para ecosistemas con asociaciones de pino-encino (Buendía-Rodríguez *et al.*, 2019; Quijada *et al.*, 2020).

Los resultados del índice de Bray-Curtis (Figura 5) indica que existe una similitud media (Bosque alterado con Pino) y baja (Encino-Pino con el Bosque alterado). Este comportamiento suele asociarse a las características propias de los sitios, lo que hace que la similitud entre ecosistemas se comporte de esta manera (Domínguez Gómez *et al.*, 2018). González-Cubas *et al.* (2018), al aplicar índices de similitud y analizar cuatro bosques en el sur de estado de Nuevo León, documentaron que la similitud entre sitios asociados a bosques mixtos de coníferas alberga grupos de especies dependientes, encontrando un valor medio de 44%, que de acuerdo con Clarke & Warwick, (2001) y Hao *et al.* (2019), estos cambios están asociados directamente con la variación de los factores abióticos, que se ven reflejados en la distribución y abundancia de especies en un ecosistema.

Los valores de IVI registrados en el presente estudio, indican que en cada ecosistema bajo estudio es diferente. En el Bosque alterado, la especie de *Ceanothus fendleri* presentó un mayor valor (24.08%); en el ecosistema de Pino, *Pinus arizonica* y *P. pseudostrobus* obtuvieron los valores mayores (25.43% y 25.59%, respectivamente); y en el ecosistema de Encino-Pino, *Quercus laceyi* presentó la mayor dominancia (37.47%) seguido de *Pinus pseudostrobus* (19.14%) en relación con las demás especies presentes. El estudio comparativo entre ecosistemas forestales contiguos permitió observar las variaciones florísticas de composición y estructura que ocurren entre ecosistemas forestales que tienden a compartir especies de los mismos géneros, sin embargo, en términos generales, cada ecosistema presenta diversas especies, lo que sugiere puede deberse a las actividades antropogénicas a las que están

sometidos (Martínez-Antúnez *et al.*, 2013). Ayala *et al.* (2022), encontraron que en los ecosistemas forestales, el género de *Pinus* suele presentar mayor dominancia respecto a otros géneros. En este sentido, Hernández-Salas *et al.* (2013), concuerdan con estos hallazgos y concluyen que factores como la fisiografía, clima y suelos de cada área suelen jugar un papel fundamental en el desarrollo de ciertas especies con preferencias específicas para su establecimiento y desarrollo, lo que permite concluir que aun tratándose de ecosistemas que comparten características y especies, cada uno presenta diferencias en cuanto al Índice de Valor de Importancia.

CONCLUSIONES

Los ecosistemas forestales de la Sierra Madre Oriental tienen un papel muy importante, no solo por proveer a la región y comunidades de madera como materia prima para la industria, sino como sitios proveedores de servicios ambientales. Los resultados indican que, si bien este tipo de ecosistemas presentan una baja similitud y son poco heterogéneos, especies de los géneros *Pinus* y *Quercus* exhiben valores altos de importancia ecológica, siendo especies que no limitan el establecimiento y desarrollo de otras especies. Evaluar las diferencias en las comunidades forestales es esencial para valorar los cambios que pueden llegar a sufrir estas comunidades por actividades antrópicas y analizar los cambios que sufren a consecuencia del cambio climático en un periodo de tiempo largo. Los resultados de presente estudio contribuyen a tener un conocimiento más amplio sobre el estado actual de los ecosistemas forestales en el noreste de Nuevo León y a referir valores con respecto a la estructura de comunidades de este tipo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación de los proyectos con clave A1-S-44878 y 250732, de los cuales deriva la presente investigación y por el apoyo financiero para llevar a cabo los estudios de doctorado del primer autor.

LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, Ó., & Treviño-Garza, E. J. (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. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2010.05.032>.
- Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E., Vargas-Larreta, B., & Rodríguez, E. A. (2014). Efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(1), 34–45. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2013.01.005>.
- Ayala, J. M. R., Calderón, O. A. A., Rodríguez, E. A., Tagle, M. A. G., Pérez, J. J., Larreta, B. V., & Rivas, J. J. C. (2022). Vista de asociaciones y competencia entre géneros en parcelas permanentes establecidas en el norte de Durango. *E-CUCBA*, 18, 12–27. <http://e-cucba.cucba.udg.mx/index.php/e-Cucba/article/view/237/226>.
- Bhat, J. A., Kumar, M., Negi, A. K., Todaria, N. P., Malik, Z. A., Pala, N. A., Kumar, A., & Shukla, G. (2020). Species diversity of woody vegetation along altitudinal gradient of the Western Himalayas. *Global Ecology and Conservation*, 24, 01302e. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01302>.

- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349. <https://doi.org/10.2307/1942268>.
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). 372: The ANOVA and multiple comparisons for data with heterogeneous variances. *Biometrics*, 30(4), 719-724. <https://doi.org/10.2307/2529238>.
- Buendía-Rodríguez, E., Treviño-Garza, E. J., Eduardo, A. R., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., & Pompa-García, M. (2019). Structure of a forest ecosystem and its relationship with the carbon stock in Northeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 4-25 <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>.
- Camacho-Rubio, A. E., González-Tagle, M. A., Solorio-Benavides, J. de D., Durán-Chávez, A. A., & Carmona, J. X. (2016). Relationship between necromass, woody species composition and possible implications of climate change in temperate forests. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2601–2614. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000902601&script=sci_arttext&tlang=en
- Canizales-Velázquez, P. A., Alanís-Rodríguez, E., García-García, S. A., Holguín-Estrada, V. A., & Collantes-Chávez, C. A. (2021). Estructura y diversidad de un bosque de galería urbano en el río Camachito, noreste de México. *Polibotánica*, 51, 91–105. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.6>.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265–278. <https://doi.org/10.3354/MEPS216265>.
- Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. In *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587/STATISTICAL-POWER-ANALYSIS-BEHAVIORAL-SCIENCES-JACOB-COHEN>.
- Corral-Rivas, J. J., Calderón-Aguirre, Ó. A., Jiménez-Pérez, J., & Corral-Rivas, S. (2005). An analysis of the forest utilization effect on the structural diversity in «El Cielo» cloud forest, Tamaulipas, México. *Forest Systems*, 14(2), 217–228. <https://doi.org/10.5424/srf/2005142-00885>.
- De León Mata, G. D., Arévalo, A. G., Andrade Herrera, S., & Ruiz Marín, A. (2013). Distribución de la vegetación a través de un transecto sobre la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 30–40. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlnr/article/view/209>.
- Domínguez Gómez, T. G., Hernández González, B. N., González Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Alanís Rodríguez, E., & Alvarado, M. del S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 9–34. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>.
- Gadow, K. V., Zhang, C. Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., Mykluh, S., Hui, G. Y., Kiviste, A., & Zhao, X. H. (2012). *Forest structure and diversity* (T. Pukkala & K. von Gadow, Eds.; Vol. 23, pp. 29–83). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2202-6>.
- Gao, Y., Skutsch, M., Panque-Gálvez, J., & Ghilardi, A. (2020). Remote sensing of forest degradation: a review. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abaad7/meta>.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. In *Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México* (p. 98).
- García-Aranda, M. A., Estrada-Castillón, A. E., Cantú-Ayala, C. M., & Pando-Moreno, M. (2012). Clasificación de nueve sitios de bosque mixto de coníferas con presencia de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas, México. *Botanical Sciences*, 90(1), 53–62. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982012000100006&lng=es&tlang=es
- García-García, S. A., Narváez-Flores, R., & Olivas-García, J. M. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino-encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua.

- Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 10(53), 41–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>.
- González-Cubas, R., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Duque-Montoya, Á., & Gómez-Cárdenas, M. (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), 36–65. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V9I45.142>.
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Mora-Olivo, A. (2017). Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del norte de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 137–146. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480>.
- Hao, M., Corral-Rivas, J. J., González-Elizondo, M. S., Ganeshiah, K. N., Nava-Miranda, M. G., Zhang, C., Zhao, X., & Gadow, K. von. (2019). Assessing biological dissimilarities between five forest communities. *Forest Ecosystems*, 6(1), 3–30. <https://doi.org/10.1186/S40663-019-0188-9>.
- Hernández, F. J., Deras-Ávila, A. G., Deras-Ávila, N. I., & Colín, J. G. (2019). Influence of the seed tree method on the diversity of regeneration in a mixed forest in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 25(2), 219–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.09.066>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 189–200. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, Y. L. A. (2018). Growth dynamic of a tempered forest under management in the northwest of Mexico. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421767. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421767>.
- Hu, M., Lehtonen, A., Minunno, F., & Mäkelä, A. (2020). Age effect on tree structure and biomass allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Forest Science*, 77(3), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S13595-020-00988-4>.
- Huffman, D. W. (2006). Production, losses, and germination of *Ceanothus fendreli* seed in an Arizona ponderosa pine forest. *Western North American Naturalist*, 66(3), 365–373. [https://doi.org/10.3398/1527-0904\(2006\)66](https://doi.org/10.3398/1527-0904(2006)66).
- INEGI. (2007). *Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional)*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236557>.
- Leyva-López, J. C., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles-Pérez, G. (2010). Patrones de diversidad de la regeneración natural en rodales mezclados de pinos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 16(2), 227–239. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2010.06.038>.
- Luna-Robles, E. O., Cantú-Silva, I., & Yáñez-Díaz, M. I. (2020). Efectos del manejo forestal en la composición y diversidad de la regeneración natural arbórea en bosques de la Sierra Madre Occidental. *Polibotánica*, 50, 19–30. <https://doi.org/10.18387/POLIBOTANICA.50.2>.
- Magurran, A. E. (2005). Species abundance distributions: Pattern or Process? *Functional Ecology*, 19(1), 177–181. <https://www.jstor.org/stable/3599287>.
- Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology*, 31(19), R1174–R1177. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.049>.
- Manriques A, L. (2022). Biodiversidad de coníferas del estado de Nuevo León, México. *Revista de Prueba*, 4(8), 4–13. <https://ojs.biblio.uanl.mx/index.php/ojs/article/view/87>.
- Manzanilla-Quijada, G. E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., & Yerena, Y. J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 94–123. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>.

Recibido:
16/junio/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Margalef, R. (1973). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36–71. <https://digital.csic.es/handle/10261/284346>.
- Martínez-Antúnez, P., Wehenkel, C., Hernández-Díaz, J. C., González-Elizondo, M., Corral-Rivas, J. J., & Pinedo-Álvarez, A. (2013). Effect of climate and physiography on the density of tree and shrub species in Northwest Mexico. *Polish Journal of Ecology*, 61(2), 283–295. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133392896>.
- McCain, C. M. (2005). Elevation gradients in diversity of small mammals. *Ecology*, 86(2), 366–372. <https://doi.org/10.1890/03-3147>.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Press. Cambridge, Ed.; Cambridge University).
- Medrano-Meraz, M. de. J., Hernández, F. J., Corral-Rivas, S., & Nájera-Luna, J. A. (2017). Tree diversity at different altitude levels in the El Salto, Durango region. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57–68. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n40/2007-1132-remcf-8-40-00057.pdf>.
- Méndez Osorio, C., Mora Donjuán, C. A., Rodríguez, E. A., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & Pequeño Ledezma, M. A. (2018). Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 35–53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236>.
- Mora-Donjuán, C. A., & Alanís-Rodríguez, E. (2016). Resiliencia de bosques de pino – encino en América: Una visión global del estado actual. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 01. <https://doi.org/10.18845/RFMK.V13I33.2571>.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA*, Vol. 1. (CYTED (ed.); España). <http://entomologia.rediris.es/sea>.
- Quijada, G. E. M., Balderas, J. M. M., Garza, E. J. T., Calderón, Ó. A. A., Rodríguez, E. A., & Yamallel, J. I. Y. (2020). Diversity, structure and floristic composition of temperate forests of southern Nuevo León state. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>.
- Sánchez-Gutiérrez, F., Valdez-Hernández, J. I., Hernández-de-la-Rosa, P., Sánchez-Escudero, J., Sánchez, A. S., Castillejos-Cruz, C., & Brindis-Santos, A. I. (2021). Estructura y composición arbórea en un gradiente altitudinal del Área Natural Protegida Metzabok, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 12–22. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442021000100012&script=sci_arttext.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT-CONANP). (2013). *Áreas de protección de flora y fauna Maderas del Carmen*. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Maderas_del_Carmen_2013.pdf.
- Serrano, P. M. L., Nieva, D. J. V., Rivas, J. J. C., Reyes, J. B., & Antúnez, P. (2022). Diversidad e importancia ecológica de la vegetación arbórea en el Parque El Tecuán en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 34–53. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V13I74.1273>.
- Silva-González, E., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Alanís-Rodríguez, E., & Corral-Rivas, J. J. (2021). Effect of silvicultural treatments on forest diversity and structure in temperate forests under management in Durango, Mexico. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722082. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722082>.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). Principles and procedures of statistics, a biometrical approach (No. Ed. 2). In *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. (Issue Ed. 2). McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Tapia, J., & Návar, J. (2011). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León. *Forestal Veracruzana*, 13(2), 19–28. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49721457004.pdf>.