

ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS BOSQUES DE *PINUS PINCEANA* GORDON (PINACEAE), EN EL NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND COMPOSITION OF *PINUS PINCEANA* GORDON (PINACEAE) FORESTS IN NORTHEASTERN MEXICO

 CAROLINA SÁNCHEZ-CASTILLO¹,  CHRISTIAN WEHENKEL²,  JORDAN GOLUBOV³,
 VENANCIO VANOYE-ELIGIO¹,  RODOLFO MARTÍNEZ-GALLEGOS⁴,  EDILIA DE LA ROSA-MANZANO¹,
 JORGE ARIEL TORRES-CASTILLO¹ Y  JOSÉ GUADALUPE MARTÍNEZ-ÁVALOS^{1*}

¹ Instituto de Ecología Aplicada, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

² Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México.

³ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Departamento El Hombre y su Ambiente, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, CDMX, México.

⁴ Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" (CentroGeo), A.C., CDMX, México.

*Autor para correspondencia: jmartin@uat.edu.mx

Resumen

Antecedentes: Los bosques de *Pinus pinceana* en Tamaulipas crecen en condiciones de aridez en la Sierra Madre Oriental. Es importante conocer la composición y diversidad florística, además de los parámetros estructurales útiles para futuros programas de conservación.

Preguntas: ¿Cómo es la estructura, composición y diversidad florística de la vegetación asociada al bosque de *Pinus pinceana* en Tamaulipas?

Especies de estudio / Descripción de datos / Modelo matemático: *Pinus pinceana*, parámetros estructurales, diversidad y regresiones lineales.

Sitio y años de estudio: Tamaulipas, México. Marzo de 2016 a Marzo de 2017.

Métodos: En cada sitio (A y B) se establecieron 10 parcelas de 100 m² para el estrato alto; 10 de 25 m² para el medio y 10 de 1 m² para el bajo. Un total de 30 parcelas por sitio.

Resultados: Un total de 48 especies, 39 géneros y 24 familias de plantas vasculares fueron registradas. Fabaceae, Euphorbiaceae y Asparagaceae fueron las familias dominantes. *Pinus pinceana* mostró el mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) en el estrato alto, *Flourensia laurifolia* y *Acacia roemeriana* en el estrato medio y *Croton ciliatoglandulifer* y *Hechtia hernandez-sandovalii* en el estrato bajo. También, se encontraron diferencias significativas en la estructura del estrato medio y superior entre los dos sitios de estudio.

Conclusiones: La vegetación de los bosques de *Pinus pinceana* en Tamaulipas son semejantes en composición y diversidad de especies entre sitios, pero la estructura del estrato medio y superior entre los dos sitios de estudio es diferente.

Palabras clave: Riqueza florística, parámetros ecológicos, pino llorón, bosques de pino piñonero.

Abstract

Background: Forests of *Pinus pinceana* in the Eastern Sierra Madre of Tamaulipas grow in dry environmental conditions. It is important to know the composition and floristic diversity, as well as the useful structural parameters for future conservation programs.

Questions: What is the structure, composition and floristic diversity of the vegetation associated with the *Pinus pinceana* forest in Tamaulipas?

Studied species / data description /Mathematical model: *Pinus pinceana*, structural parameters, diversity, and linear regression models.

Study site and dates: State of Tamaulipas, Mexico. March 2016 to March 2017.

Methods: At each site (A and B) three strata were analyzed, ten 100 m² plots for high stratum, 25 m² for medium stratum and 1 m² for low stratum, for a total of 30 plots per site.

Results: A total of 48 species, 39 genera and 24 families of vascular plants were recorded. Fabaceae, Euphorbiaceae and Asparagaceae were the most representative families. *Pinus pinceana* had the highest Importance value index (IVI), whereas *Flourensia laurifolia* and *Acacia roemeriana* had the highest IVI values for the medium stratum. For the low stratum *Croton ciliatoglandulifer* and *Hechtia hernandez-sandovalii* had the highest IVI value. Significant differences were also found in the structure of the middle and upper stratum between the two study sites.

Conclusions: The vegetation of the *Pinus pinceana* forests in Tamaulipas are similar in composition and diversity of species between sites, but the structure of the middle and upper stratum between the two study sites is different.

Keywords: Floristic richness, Ecological parameters, Weeping pinyon pine, Stone pine forests.



Méjico presenta una alta riqueza de taxones del género *Pinus*, entre 47 y 49 especies, que representa el 40 % de lo registrado a nivel mundial, de las cuales 22 se encuentran restringidas al territorio mexicano (Farjon & Styles 1997, Gernandt & Pérez-de la Rosa 2014). Dentro del género, destacan los pinos piñoneros (subsección *Cembroides*), que conforman comunidades monoespecíficas o asociadas, conocidas como “piñonares”. El hábitat que los caracteriza se restringe a partes bajas de serranías, ocupando zonas de transición con otras comunidades vegetales, como pastizales, matorrales xerófilos y encinares (Rzedowski 1978, Farjon & Styles 1997, Granados-Victorino *et al.* 2015). En México, el grupo de pinos que se encuentran en la subsección *Cembroides* se compone por *Pinus californiarum* D.K.Bailey, *P. cembroides* subsp. *cembroides* Zucc, *P. cembroides* subsp. *orizabensis* D.K.Bailey, *P. culminicola* Andresen & Beaman, *P. discolor* D.K.Bailey & Hawksw., *P. edulis* Engelm., *P. fallax* (Little) Businsky, *P. johannis* M.-F. Robert, *P. lagunae* (Robert-Passini) Passini, *P. maximartinezii* Rzed., *P. monophylla* Torr. & Frém., *P. pinceana* Gordon, *P. quadrifolia* Parl. ex Sudw., *P. remota* (Little) D. K. Bailey & Hawksw y *P. rzedowskii* Madrigal & M. Caball. (Montes *et al.* 2019).

Pinus pinceana es considerada en la categoría de especie con Preocupación Menor (LC) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2021). Los taxones que integran esta categoría presentan poblaciones fragmentadas con pocos individuos reproductivos y una baja regeneración, aunque con una amplia distribución geográfica (Favela & Thomas 2013, IUCN 2021, Martínez-Ávalos *et al.* 2015). Sin embargo, en la normatividad nacional, *P. pinceana* se encuentra en la categoría “En Peligro de Extinción” (P) principalmente porque su área de distribución o tamaño de sus poblaciones en México han disminuido drásticamente, el riesgo de su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, modificación de su hábitat, un aprovechamiento no sustentable, enfermedades y depredación, entre otros (SEMARNAT 2010). Diversos autores mencionan que, los bosques de *Pinus pinceana* en México presentan un bajo reclutamiento natural y sus poblaciones están constituidas por pequeños rodales. Aunado a una distribución geográfica fragmentada, el aislamiento genético, la endogamia y la diferenciación genética de las poblaciones favorecen la probabilidad de extinción (Ledig *et al.* 2001, Villarreal *et al.* 2009, Aguirre-Limón *et al.* 2017).

En la región noreste y centro-este de México, la especie crece en sitios con una precipitación mayor a los 600 mm y en altitudes cercanas a los 2,500 m snm, particularmente en los estados de Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Perry 1991, Villarreal *et al.* 2009, Martínez-Ávalos *et al.* 2015). Se calcula que la distancia entre sus rodales es superior a los 750 km en dirección norte a sur y su cobertura supera los 20,000 km²; sin embargo, debido a que presenta distribución discontinua y dispersa, es probable que, en realidad, el área que ocupa sea menor a 2,000 km² (Favela & Thomas 2013).

Villarreal *et al.* (2009) estudiaron la composición florística del bosque de *P. pinceana* en 14 sitios ubicados preferentemente en el noreste de México. Estos autores mencionan que en los sitios estudiados hay una combinación de especies propias de los bosques de encinos con elementos de matorral, reconociéndose como una zona de transición entre comunidades de vegetación xerófila y mesófila. Martínez-Ávalos *et al.* (2015) reportan para Tamaulipas, una densidad de 145 individuos de *P. pinceana* por ha e indican que más del 55 % de los individuos presentan diámetros mayores a 10 cm, mientras que un 35 % muestran un diámetro (DAP) mayor a 20 cm. Además, señalan la existencia de una regeneración alta (22 %) comparada con otro estudio realizado en el norte de México (Molina-Freaner *et al.* 2001).

Sin embargo, existe un vacío en el conocimiento sobre la estructura, y diversidad florística asociada a los bosques de *P. pinceana* de la región noreste de México. Con el fin de generar información que contribuya a la conservación y manejo de los bosques de Tamaulipas, se plantearon los siguientes objetivos: 1) determinar y comparar la composición florística de la vegetación asociada a los bosques de *P. pinceana* en Tamaulipas 2) estimar los parámetros estructurales de abundancia, dominancia, frecuencia e Índice de Valor de Importancia (IVI), así como la relación de altura - diámetro de las especies entre los dos sitios de estudio.

Materiales y métodos

Sitio de estudio. Se eligieron dos rodales ubicados en los municipios de Jaumave y Palmillas, Tamaulipas, México ([Figura 1](#)). El sitio A (Jaumave) se encuentra enclavado en la región biogeográfica de la Sierra Madre Oriental (Morrone *et al.* 2017), situado sobre un valle rodeado por montañas perteneciente al “Ejido Magdaleno Aguilar” municipio de Jaumave ($23^{\circ} 27' 41.57''$ N; $99^{\circ} 30' 28.79''$ O), a 1,142 m snm. Geológicamente el área que ocupa esta comunidad vegetal data de los períodos Cretácico inferior y Cretácico superior (Ferrusquia-Villafranca 1993). De acuerdo con Arriaga (2000), este sitio presenta un suelo del tipo rendzina, un clima seco semi cálido (BSh), con temperatura máxima extrema de 42°C y mínima de 4°C , y temperatura y precipitación anual de 18.8°C y 688.8 mm (García 1987). El sitio B (Palmillas), corresponde a la población “Las Enramadas” del municipio de Palmillas ($23^{\circ} 20' 30.9''$ N; $99^{\circ} 30' 20.8''$ O), a 1,348 m snm; se encuentra sobre una ladera con exposición oeste, muy cercano al límite entre la región biogeográfica de la Sierra Madre Oriental y la del Altiplano Sur Zacatecano-Potosino (Morrone *et al.* 2017). Presenta un historial geológico del Cretácico Superior (Ferrusquia-Villafranca 1993). El mosaico edáfico de este sitio se conforma principalmente por suelos del tipo litosol (Arriaga 2000). De acuerdo con la clasificación de Koppen modificado por García (1987), el clima dominante en este sitio es el semiárido, semicálido (BS1hw), la temperatura media anual es menor a 16°C , con temperatura máxima absoluta de 38°C y mínima de 3°C . La precipitación total anual es de 424 mm. Por su cercanía, ambos sitios, presentan condiciones climatológicas (temperatura y precipitación) similares, pero con exposición de laderas distintas ([Tabla 1](#)). Estos sitios, además se encuentran separados entre sí por una distancia lineal de aproximadamente 14.5 km, alejadas por varias montañas pertenecientes a la Sierra Madre Oriental.

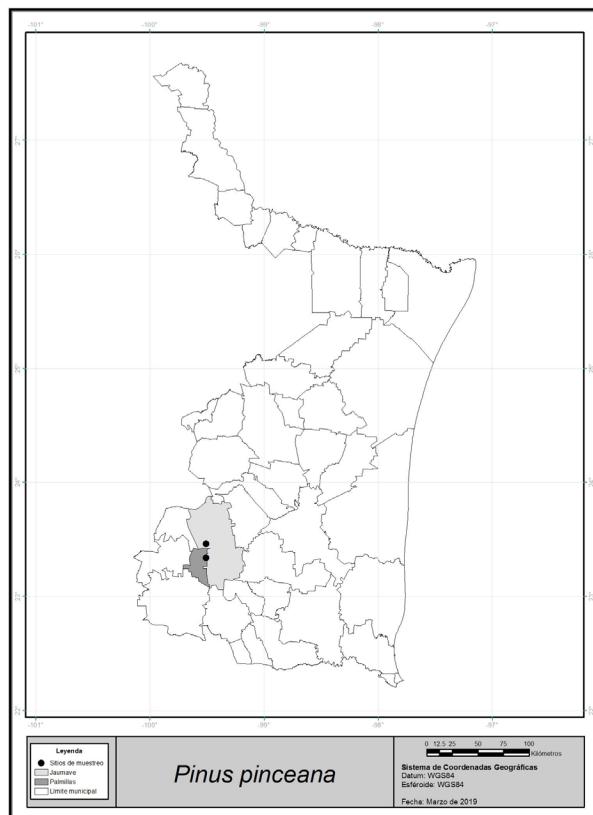


Figura 1. Localidades de estudio en el municipio de Jaumave (sitio A gris claro) y límites de Palmillas (sitio B gris oscuro), Tamaulipas, México.

Tabla 1. Características ambientales de las poblaciones de *P. pinceana* presentes en Jaumave (sitio A) y Palmillas (sitio B) Tamaulipas.

	Jaumave (A)	Palmillas (B)
Coordenadas	23° 27' 41.57" N 99° 30' 28.79" O	23° 20' 30.9" N 99° 30' 20.8" O
Altitud (m snm)	1,142	1,348
Tipo de suelo	Rendzina	Litosol
Geología	Cretácico inferior y Cretácico superior	Cretácico Superior
Clima	Seco semicálido (BSh)	Semiárido, semicálido (BS1hw)
Temperatura media anual (°C)	18.8	14-16
Temperatura Máxima (°C)	42	38
Temperatura Mínima (°C)	4	3
Precipitación total anual (mm)	688.8	424.0
Irradiación promedio anual (W/m²)	1,800	2,200
Exposición de ladera	Sobre un valle	Oeste

Método de muestreo. De marzo de 2016 a marzo de 2017 se realizaron un total de cinco recorridos de campo en cada uno de los sitios de estudio con la finalidad de cubrir las cuatro estaciones del año. En cada sitio se establecieron diez parcelas de 10 × 10 m (100 m²) para evaluar el estrato alto (especies con alturas mayores a 3 m), 10 de 5 × 5 m (25 m²) para el estrato medio (especies con alturas mayores de 1 m, pero menores de 3 m) y 10 de 1 × 1 m (1 m²) para el estrato bajo (especies con alturas menor o igual a 1 m) (Mostacedo & Fredericksen 2000, Alanís-Rodríguez *et al.* 2015). Las parcelas estaban separadas a una distancia de 50 metros entre sí. En cada uno de los individuos del estrato alto y medio se efectuaron mediciones de altura total, diámetro a la altura del pecho (a 1.3 m de altura) y diámetro de copa, éste, calculado por el promedio de dos medidas ortogonales de la copa. Así mismo, en cada parcela, se determinó la abundancia absoluta y abundancia relativa de cada taxón, en respuesta al número de individuos presentes en cada parcela (Curtis & McIntosh 1951). Asimismo, la dominancia se determinó en función de la cobertura de copa, mientras que la frecuencia se estimó de acuerdo con la frecuencia de cada especie por parcela o punto de muestreo, esto multiplicado por 100 (Curtis & McIntosh 1951).

El Índice de Valor de Importancia (IVI) define qué especies contribuyen a las características y estructura del ecosistema, con base en tres parámetros principales: abundancia relativa, dominancia y frecuencia relativas. Los valores relativos de estas tres medidas fueron sumados para calcular el IVI de cada especie (Curtis & McIntosh 1951).

Para determinar la diversidad alfa, se utilizó el Índice de Shannon (H'), que se determinó mediante el programa PAST 3.15. Este índice, usualmente varía de 1 a 5, en donde los valores menores a 2 se consideran de baja diversidad (Magurran 2004).

Para evaluar la similitud de especies entre el sitio A y B, se utilizó el índice de similitud de Sørensen, debido a que es una forma de medición de la diversidad beta y puede ser expresado a partir de una matriz de presencia o ausencia. Este índice expresa el grado en que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (Magurran 1988).

Ánalisis estadísticos. Se realizaron regresiones lineales para determinar si existe una relación entre el diámetro basal (DB) (variable independiente) y la altura total (variable dependiente) de los estratos alto y medio ($\alpha = 0.05$) entre los dos sitios de estudios. Se utilizó el \log_{10} para normalizar la variable dependiente. Las pruebas se realizaron en R (R Core Team 2018).

Resultados

Composición florística. En el muestreo de la vegetación por estratos en ambos sitios de bosque de *P. pinceana* se encontraron 48 especies, 39 géneros y 24 familias de plantas vasculares (Material Suplementario, [Tabla S1](#)), que

incluye una mezcla de especies típicas del matorral submontano y matorral desértico rosetófilo. La riqueza específica resultó similar para ambos sitios (34 especies y 30 géneros); pero se encontraron diferencias para las familias: Fabaceae (7), Asparagaceae (5) y Asteraceae (3) fueron las mejor representadas en el sitio A, mientras que en el sitio B fueron Fabaceae (6), Euphorbiaceae (5), Asparagaceae y Asteraceae con tres especies, cada una. El resto de las familias (19) presentaron una o dos especies.

Parámetros estructurales. En el sitio A, el estrato alto mostró una densidad total de individuos mayor (1,730 ind/ha) que el sitio B (1,410 ind/ha). Las especies con los valores más altos de abundancia, dominancia, frecuencia, (IVI) fueron para el sitio A, *P. pinceana*, *Flourensia laurifolia*, *Eysenhardtia texana*, *Neophringea integrifolia*, *Vachellia rigidula* ([Figura 2](#)), las que sumaron un valor de importancia total de 66.7 % (Material Suplementario, [Tabla S2](#)). Mientras que en el sitio B, especies como *P. pinceana*, *Helietta parvifolia*, *E. texana*, *Senegalia roemeriana*, *Decatropis bicolor*, sumaron 74.86 % (Material Suplementario, [Tabla S3](#)).

En el estrato medio, en el sitio A las especies con valores más altos de IVI fueron: *F. laurifolia*, *E. texana*, *N. integrifolia*, y *V. rigidula* sumando 64.3 % ([Figura 3](#), Material Suplementario, [Tabla S2](#)). Por su parte, en el sitio B *S. roemeriana*, *E. texana*, *H. parvifolia*, *N. integrifolia* y *Phyllanthus graveolens* subsp. *micrandrus*, fueron las más importantes con IVI igual a 60.82 % (Material Suplementario, [Tabla S3](#)).

Para el estrato bajo, en el sitio A las especies mejor representadas fueron *C. ciliatoglandulifer*, *E. texana*, *Lantana horrida* y *F. laurifolia* con una suma total de IVI igual a 61.47 % ([Figura 4](#)), mientras que en el sitio B *Hechtia hernandez-sandovalii*, *S. roemeriana*, *E. texana*, *Croton cortesianus* y *N. integrifolia* reunieron un IVI total de 59.32 % (Material Suplementario, [Tablas S2 y S3](#)).

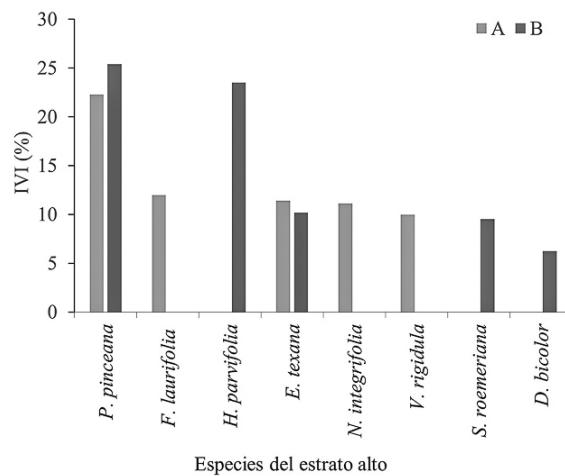


Figura 2. Especies con el mayor IVI (%) en el estrato alto de la vegetación asociada a los bosques de *P. pinceana* en dos sitios de estudio de Tamaulipas (A: Jaumave y B: Palmillas).

Diversidad. El índice de diversidad de Shannon (H') registró valores muy similares entre sitios (sitio A $H' = 2.800$) y sitio B ($H' = 2.863$).

Similitud. Por su parte, mediante el uso del Coeficiente de Similitud de Sorensen, manifestó que el 54 % de ellas se comparten en ambos sitios, mientras que el 46 % no compartido corresponde a un total de 28 especies repartidas en 14 para el sitio A y 14 para el sitio B.

Relación entre el diámetro basal (DB) y altura de las especies. En el sitio A, la relación altura (\log_{10}) y diámetro en el estrato alto mostró correlación significativa con $r^2 = 0.55$ ($F = 22.6$, $gl = 16$, $P < 0.01$). En el estrato medio la altura y el DB de las especies no están relacionados, $r^2 = -0.03$ ($F = 0.26$, $gl = 23$, $P = 0.60$). En el caso del sitio B, la relación altura-diámetro en

el estrato alto mostró una relación significativa con $r^2 = 0.30$ ($F = 7.44$, gl = 14, $P = 0.016$). De igual manera, se observó relación significativa en la relación antes mencionada en el estrato medio, con $r^2 = 0.18$ ($F = 4.96$, gl = 17, $P = 0.039$). Sin embargo para los últimos dos estratos, el modelo lineal explica 30 % o menos de la variación total de los datos.

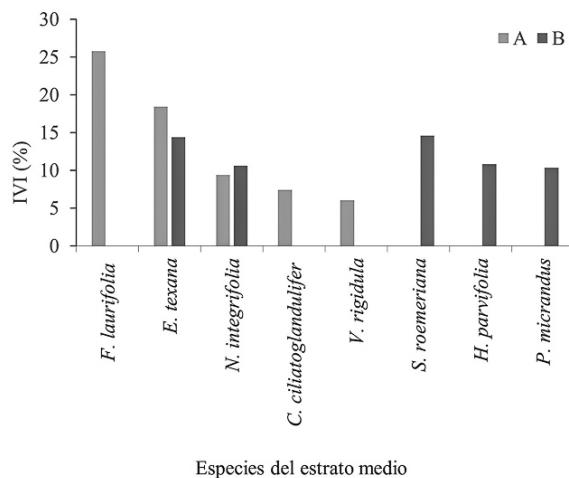


Figura 3. Especies con el mayor IVI (%) en el estrato medio de la vegetación asociada a los bosques de *P. pinceana* en dos sitios de estudio de Tamaulipas (A: Jaumave y B: Palmillas).

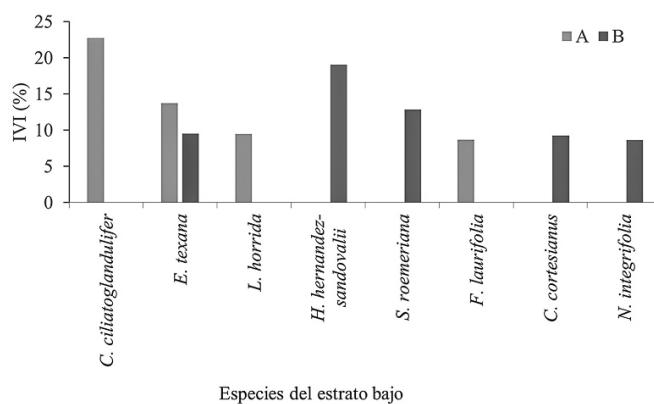


Figura 4. Especies con el mayor IVI (%) en el estrato bajo de la vegetación asociada a los bosques de *P. pinceana* en dos sitios de estudio de Tamaulipas (A: Jaumave y B: Palmillas).

Discusión

Composición florística. En México, la estructura y composición de especies del bosque de *P. pinceana* es considerada muy diferente si se compara con otros ambientes desérticos del país, debido a que este tipo de comunidades vegetales se encuentran formando parte de las zonas de transición entre la vegetación xerofita y templada, por lo que sólo muestran una fisionomía única, ecológicamente compleja y muy vulnerable (Villarreal *et al.* 2009, Granados-Victorino *et al.* 2015, Romero-Sánchez *et al.* 2018).

Asimismo, la vegetación asociada a comunidades de *P. pinceana* observada en este estudio muestra numerosos elementos de los matorrales submontanos (Canizales-Velázquez *et al.* 2009, Alanís-Rodríguez *et al.* 2015, Mora-Olivio *et al.* 2016, Pequeño-Ledezma *et al.* 2021) y matorrales espinosos (Domínguez-Gómez *et al.* 2013, Molina-Guerra *et al.* 2013, Marroquín-Castillo *et al.* 2016). Esta mezcla de elementos de ambos tipos de comunidades

vegetales podría estar relacionada con factores climáticos y edáficos que son comunes con los tipos de vegetación contiguos. Además, estas comunidades comúnmente se encuentran entre el límite de dos zonas biogeográficas muy cercanas, como es el caso de las regiones biogeográficas de la Sierra Madre Oriental y la del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) (INEGI-CONABIO-INE 2008, Morrone *et al.* 2017).

De acuerdo con Morrone (2010, 2014), Morrone *et al.* (2017) y Miguez-Gutiérrez *et al.* (2013), las provincias biogeográficas de México son zonas que muestran el límite de distribución de muchas especies de flora y fauna por lo que las zonas de transición son especialmente atípicas por tener elementos mezclados. Otros factores determinantes que hacen de estas zonas de transición un área de gran importancia biogeográfica y biológica son: la orografía que define en muchos casos los límites físicos, las condiciones climáticas asociadas que generan una amplia heterogeneidad ambiental que da como resultado una combinación de taxones neárticos y neotropicales. Lo anterior podría explicar la disimilitud de la diversidad y riqueza de las comunidades de estudio de Tamaulipas (provincia biogeográfica de la Sierra Madre Oriental) con respecto a los bosques de *P. pinceana* cercanos a sitios de estudio reportados por Villarreal *et al.* (2009). Estas últimas situadas en Guadalcázar y Matehualilla, SLP y pertenecientes a la provincia biogeográfica de la Zona Árida del Sur: Zacatecano-Potosino (INEGI-CONABIO-INE 2008, Morrone *et al.* 2017).

Si se compara la riqueza de especies vegetales de este trabajo con otros estudios realizados en sitios aledaños bajo condiciones muy similares, los resultados podrían considerarse altos. Por ejemplo, Alanís-Rodríguez *et al.* (2015) reporta para una zona con matorral submontano contigua al área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, una riqueza de especies equivalente a 35 especies, 29 géneros y 14 familias, mientras que Mora-Olivo *et al.* (2016) reportan para el mismo tipo de vegetación ubicado en la región centro de Tamaulipas, una riqueza de 29 especies, 27 géneros y 17 familias respectivamente.

Sin embargo, al contrastar los datos publicados por Villarreal *et al.* (2009), con respecto a la riqueza florística de los bosques de *P. pinceana* que se distribuyen en los estados que comprenden la región noreste, noroeste y centro sur de México, los valores de riqueza obtenidos en el presente estudio son bajos ([Tabla 2](#)). Por ejemplo, los autores antes citados, registran un total de 446 especies, de las cuales 16 se comparten con el presente estudio (*Acacia berlandieri*, *Bursera fagaroides*, *Croton incanus*, *Decatropis bicolor*, *Euphorbia antisiphilitica*, *F. laurifolia*, *Forestiera angustifolia*, *Gochnatia hypoleuca*, *Helietta parvifolia*, *Jatropha dioica*, *Krameria cytisoides*, *Opuntia rastrera*, *P. pinceana*, *Purshia plicata*, *Senegalia roemeriana* y *Wedelia acapulcensis*). La baja riqueza florística encontrada en los bosques de *P. pinceana* de Tamaulipas con respecto a los sitios estudiados por Villarreal *et al.* (2009), podría explicarse parcialmente por la superficie muestreada, ya que esta última fue de mayor tamaño que la estudiada en Tamaulipas. Al respecto, Crawley & Harral (2001), Scheiner (2003), Villa-Manuel *et al.* (2018), señalan que la riqueza florística de un sitio pueda aumentar a medida que incrementa el área estudiada. Otros elementos que podrían explicar estas diferencias entre los dos sitios estudiados son los factores abióticos de altitud y precipitación, ya que estos además de inferir en la riqueza de especies, intervienen además en la distribución natural de muchas especies vegetales (Breshears *et al.* 1998, Tongway *et al.* 2004). Por ejemplo, de acuerdo con Quiroz-Vázquez *et al.* (2017) y Martíñon-Martínez *et al.* (2011), *P. pinceana* presenta una distribución geográfica bajo diferentes gradientes altitudinales y bajo condiciones de precipitación muy contrastantes entre las localidades ubicadas en el Desierto Chihuahuense (DCH) y la Sierra Madre Oriental (SMO). La primera, suele ser más seca (400 a los 600 mm) que la segunda (500 a 900 mm) (Figueroa-Corona *et al.* 2021) de allí que la riqueza de especies asociada a los bosques de *P. pinceana* podría estar relacionada junto con los tipos de suelos a las condiciones de aridez extremas del Desierto Chihuahuense y las variantes de temperatura y precipitación presentes en la Sierra Madre Oriental. El número limitado de poblaciones de *P. pinceana* que se encuentran en las zonas de transición del noreste dificulta el tamaño de la muestra y no siempre se pueden encontrar los factores causales de las diferencias.

Por otra parte, la alta representatividad de la familia Fabaceae en el área de estudio, se debe principalmente a su amplia distribución que presenta en la región noreste de México. Estos resultados concuerdan con otros estudios efectuados en diferentes comunidades vegetales del matorral submontano en la parte noreste de México (Canizales-Velázquez *et al.* 2009, Estrada-Castillón *et al.* 2012, Alanís-Rodríguez *et al.* 2015, Mora-Olivo *et al.* 2016, Pequeño-Ledezma *et al.* 2021). Algunos autores manifiestan que esta dominancia podría corresponder a que las especies

de Fabaceae, muestran una fuerte competencia por la disponibilidad de recursos como lo es la capacidad de fijar nitrógeno; ya que en zonas áridas y semiáridas este elemento se encuentra escaso, por lo que limita el desarrollo de otras especies de plantas, además son más tolerantes al déficit hídrico, edáfico y poseen facilidad de rebrote (Celaya-Michel & Castellanos-Villegas 2011, González-Rodríguez *et al.* 2011a,b, Foroughbakhch *et al.* 2014).

Así mismo, a pesar de que es difícil correlacionar la fenología (floración, fructificación, producción de hojas) por familia botánica con factores abióticos (temporada de lluvias y sequía), se ha propuesto que la familia Fabaceae, presenta patrones fenológicos específicos (Ochoa-Gaona *et al.* 2008). Por ejemplo, Mantovani *et al.* (2003), encontraron que los patrones fenológicos de especies arbóreas en bosques secundarios del Atlántico varían dentro de una misma especie, entre años y entre localidades mostrando sensibilidad a señales locales tal y como lo mencionan González-Medrano (2004) para algunas especies de Fabaceae del matorral espinoso del noreste de México. Por su parte, Plana (2000) señala que, los períodos de floración de algunas especies pioneras de las cuales muchas son Fabaceae, se presentan a lo largo del año como estrategia que garantiza el éxito de establecimiento, mientras que las especies de fases sucesionales tardías, pueden presentarse en períodos marcados anualmente o incluso cada dos o tres años, tardando períodos de hasta varios años para la primera actividad reproductiva. Estos resultados son muy similares a lo reportado por García-Hernández & Jurado (2008), para algunas especies de leguminosas del matorral espinoso del centro de Nuevo León. Lo anterior podría explicar la dominancia de esta familia en la vegetación asociada a los bosques de *P. pinceana* de Tamaulipas.

Tabla 2. Comparación del número de taxones en distintas categorías y familias de plantas vasculares más representativas de distintos sitios con bosque de *P. pinceana* en México.

	Villarreal <i>et al.</i> 2009	Presente estudio
Número de sitios muestreados	14	2
Número de especies	446	48
Número de taxa infraespecíficas	4	0
Número de géneros	247	39
Número de familias	78	24
Familias mejor representadas	Asteraceae, Fabaceae, Cactaceae, Poaceae, Scrophulariaceae, Euphorbiaceae, Rosaceae, Pteridaceae, Agavaceae y Lamiaceae.	Fabaceae, Asparagaceae, Euphorbiaceae y Asteraceae.

Parámetros estructurales. El hecho de encontrar a *P. pinceana* como la especie con el IVI más alto en ambos sitios de estudio, podría corresponder a que las comunidades de pino piñonero existentes en las zonas áridas del noreste de México dominan el estrato arbóreo (Sánchez-González 2008, Favela-Lara *et al.* 2009, Granados-Victorino *et al.* 2015). Al comparar los valores del IVI de las especies dominantes del estrato alto de este estudio, con otros bosques de pino encontramos que, para los bosques templados y en bosques de pino piñoneros de otras latitudes del país, nuestros resultados son bajos, lo anterior debido a que existe una dominancia del estrato arbóreo por otras especies de pinos como *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* y *P. montezumae* las cuales, al mostrar valores altos de densidad, área basal y área de copa, dan como resultado valores de IVI mayores a los de este estudio (López-Hernández *et al.* 2017, Granados-Victorino *et al.* 2015). Lo anterior podría explicar los valores bajos de IVI alcanzados por *P. pinceana* en este trabajo, ya que esta especie es de menor tamaño en altura y diámetro de copa con respecto a *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* y *P. montezumae*.

En cuanto al estrato medio, donde *F. laurifolia* y *S. romeriana* mostraron los valores del IVI más altos para los sitios A y B, probablemente obedece a que ambas especies tienen un aprovechamiento selectivo y son promovidas

por parte de las comunidades rurales, ya que son utilizadas como combustible y madera para construcción (Rechy-Carvajal & Von Roth-Rechy 2004, Torres-Reyna *et al.* 2015). Así mismo, se sabe que, durante las primeras fases del ciclo de vida, estas especies muestran una adaptación rápida bajo diferentes condiciones ambientales, por lo que sus plántulas presentan un porcentaje de establecimiento y supervivencia alto, permitiendo una dominancia en los matorrales del noreste de México (Jurado *et al.* 2006, 2020).

En lo que se refiere al estrato bajo, en este trabajo se encontró que *C. ciliatoglandulifer* fue la especie sobresaliente en el sitio A, mientras que *H. hernandez-sandovalii* arrojó los valores más altos para el sitio B. El sitio A pudiera estar más impactado que el sitio B ya que *C. ciliatoglandulifer* es considerada un taxón asociado al disturbio (García-Martínez & Rodríguez 2018), mientras que *H. hernandez-sandovalii* podría indicar que el sitio B se encuentra en una zona de transición entre el matorral submontano y el matorral rosetófilo.

Por otro lado, si se comparan estos resultados con otros estudios de la zona la composición de la comunidad indica una tendencia de humedad accesible para la vegetación. Por ejemplo, Mora-Olivo *et al.* (2016) encontraron, para el estrato bajo de una comunidad del matorral submontano en la zona centro de Tamaulipas, una dominancia de *Opuntia engelmannii* y *Talinum triangulare*, especies típicas de las planicies del centro de Tamaulipas y de ambientes más húmedos. Por su parte, Mata *et al.* (2014) mencionan para el matorral desértico micrófilo a *Gutierrezia microphylla* y *Gymnosperma glutinosum* como las herbáceas que tienen mayor valor de importancia, que se asocian a ecosistemas fragmentados con disturbio cercanos a zonas de cultivo principalmente en zonas con matorral xerófilo.

Diversidad y similitud. Los valores de Shannon obtenidos para el sitio A ($H' = 2.800$) y B ($H' = 2.863$) indican que se trata de una comunidad diversa bajo condiciones climáticas similares, aunque con diferente composición. Estos resultados de diversidad son además afines a los registrados por Mora-Olivo *et al.* (2016) para otros sitios con matorrales del noreste de México cercanos a los sitios de estudio, particularmente ubicados en la zona centro del estado de Tamaulipas ($H' = 2.81$). Valores que sugieren una diversidad más o menos uniforme en la zona, pero con un recambio de especies importante. Por su parte, Alanís-Rodríguez *et al.* (2015) determinaron para el matorral submontano cerca de la Ciudad de Monterrey, una diversidad mayor ($H' = 3.02$) a la reportada en el presente estudio. Estas diferencias de diversidad entre estos estudios, podrían obedecer en gran medida a las condiciones de conservación de cada sitio, ya que este último se encuentra dentro de un área natural protegida, así como a los microambientes dados por la orografía y las variantes topográficas de la Sierra Madre Oriental (Santibáñez-Andrade *et al.* 2009), generando una amplia gama de condiciones favorables para el establecimiento de un mayor número de especies (Clark *et al.* 1993, Smith & Smith 2001, García 2006), particularmente sobre la distribución natural de los bosques de *P. pinceana* en México los cuales todos ellos se encuentran bajo condiciones ecológicas distintas (Villarreal *et al.* 2009).

Los resultados de vegetación obtenidos en este estudio no muestran una relación con las comunidades propuestas por Villarreal *et al.* (2009), pero sí podrían estar relacionados con el matorral submontano de la región centro y suroeste de Tamaulipas debido a que el 31.26 % (15 especies) de las especies aquí reportadas son afines a este tipo de comunidad vegetal ([Tabla 3](#)). Esto implica que, aunque exista una composición común asociada a los piñonares, las condiciones locales moldean la composición y las hacen afines a las comunidades cercanas que las rodean. La conservación de los piñonares es relevante porque contiene elementos de diversas comunidades vegetales locales.

Relación entre la altura y el diámetro basal. Las características topográficas como el gradiente altitudinal, la exposición y el relieve son los factores abióticos más importantes que determinan las condiciones para el crecimiento y distribución de las especies (Aceves-Rangel *et al.* 2018). Analizando la relación de altura y diámetro basal de los estratos alto y medio de los sitios estudiados, se deduce que se trata de sitios en buen estado de conservación por la riqueza de especies reflejada (Material Suplementario, [Tabla S1](#)) y estables por mostrar una estructura de tallas diversas a pesar de los usos mencionados anteriormente. Turner (1999) menciona que las variaciones en la estructura horizontal y vertical de algunas comunidades vegetales, es una respuesta al uso que le dan los pobladores a las

especies. García-Hernández & Jurado (2008) sustentan esta idea al señalar que el matorral es el ecosistema más abundante e históricamente más utilizado en las zonas áridas y semiáridas de México, ya que muchas especies son utilizadas como alimento por las grandes especies de herbívoros domésticos (ganado bovino), en las áreas naturales, provocando modificaciones en la composición florística y la estructura de las formaciones vegetales (Turner 1999, Estrada-Castillón *et al.* 2004, Rzedowski 2006, García-Hernández & Jurado 2008).

Como se mencionó, la diversidad de tallas del estrato alto en los dos sitios de estudio demuestra que se encuentran en buen estado de conservación (Remmert 1991, Arias 2004, Graciano-Ávila 2017). Sin embargo, el estrato arbusutivo, ya presenta señales de perturbación en el sitio A, probablemente debido a que existe un impacto antropogénico aún no cuantificado en la zona.

En otras poblaciones cercanas de *P. pinceana*, Martínez-Ávalos *et al.* (2015) reportan tallas predominantes de 6.0 m a 8.9 m de altura y de 20 a 29.9 cm de DAP, muy similares a los reportados en este trabajo (sitio A: altura promedio = 7.9 m; DAP promedio = de 20.23 cm; sitio B; 8.9 m; DAP 21.47 cm). Esto hace suponer que el estado general de las poblaciones de *P. pinceana* se encuentran bajo buenas condiciones de conservación. Quiroz-Vázquez *et al.* (2017) también registraron tallas muy similares a las reportadas en este estudio (7.0 m a 7.4 m de altura y de 19 cm a 24 cm de DAP) para dos poblaciones del estado de Hidalgo.

El presente estudio aporta información de la flora asociada a los bosques de *P. pinceana* en el estado de Tamaulipas, la cual está representada por el pino piñonero en el estrato alto, mientras que en el medio *F. laurifolia* y *S. roemeriana* fueron las especies con mayor IVI y en el bajo *C. ciliatoglandulifer* y *Hechtia hernandez-sandovalii* fueron las especies dominantes. Aunque la riqueza de especies es relativamente mayor que en otros matorrales del noreste de México, los sitios sólo comparten el 50 % de similitud florística, dado que el resto se compone de especies asociadas a los tipos de vegetación más cercanos e indican una gradiente ambiental entre sitios. Las comunidades asociadas a *P. pinceana* en la zona noreste de México se diferencian de las demás comunidades encontradas en ecosistemas más secos por las asociaciones vegetales que tienen con el entorno inmediato. Su grado de conservación y los indicios de deterioro hacen que sea necesario estudiar las causas del deterioro de estas comunidades de piñonares de noreste de México.

Tabla 3. Principales trabajos florísticos realizados en el matorral submontano del noreste de México, que muestran la relación de especies compartidas con este trabajo.

Vegetación	Especies compartidas	Autores
Matorral submontano	<i>A. berlandieri</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Havardia pallens</i> , <i>H. parvifolia</i> , <i>Quercus polymorpha</i> , <i>V. rigidula</i> y <i>Yucca filifera</i> .	Canizales-Velázquez <i>et al.</i> 2009
Matorral submontano	<i>A. berlandieri</i> , <i>Agave lechuguilla</i> , <i>Caesalpinia mexicana</i> , <i>C. boissieri</i> , <i>C. ciliatoglandulifer</i> , <i>Dermatophyllum secundiflorum</i> , <i>E. texana</i> , <i>Forestiera angustifolia</i> , <i>H. pallens</i> , <i>H. parvifolia</i> , <i>J. dioica</i> y <i>Y. filifera</i> .	Alanís-Rodríguez <i>et al.</i> 2015
Matorral submontano	<i>C. boissieri</i> , <i>Croton cortesianus</i> , <i>H. pallens</i> , <i>N. integrifolia</i> y <i>Capsicum annuum</i> .	Mora-Olivio <i>et al.</i> 2016
Matorral submontano	<i>V. rigidula</i> , <i>C. mexicana</i> , <i>C. boissieri</i> , <i>H. pallens</i> y <i>H. parvifolia</i> .	Pequeño-Ledezma <i>et al.</i> 2021

Material suplementario

El material suplementario de este artículo puede ser descargado de la siguiente liga: <https://doi.org/10.17129/botsci.2946>

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Arturo Mora Olivo y al Dr. Antonio Guerra Pérez por su apoyo en la identificación de material botánico. Al M. en C. Onésimo Rocha Ugalde por su apoyo en las salidas de campo. A la beca CONACYT (701805). Finalmente, se agradecen los comentarios de los revisores, mismos que mejoraron la calidad del manuscrito.

Literatura citada

- Aceves-Rangel LD, Méndez-González J, García-Aranda MA, Nájera-Luna JA. 2018. Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia* **52**: 1043-1057.
- Aguirre-Limón V, Alanís-Flores G, González-Rojas JI, Flores-Suárez A, Favela-Lara S. 2017. Variación genética de *Pinus pinceana* Gordon evidencia de conectividad en poblaciones fragmentadas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **8**: 39-63.
- Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Mora-Olivo A, Martínez-Ávalos JG, Mata-Balderas JM, Chávez-Costa AC, Rubio-Camacho EA. 2015. Estructura y diversidad del matorral submontano contiguo al área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Acta Botanica Mexicana* **113**: 01-19. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm113.2015.1093>
- Arias AD. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *KURÚ: Revista Forestal* (Costa Rica) **1**: 1-11.
- Arriaga L, Espinoza-Rodríguez JM, Aguilar-Zúñiga C, Martínez-Romero E, Gómez-Mendoza L, Loa E. 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. México, DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN 970-9000-16-0
- Breshears DD, Nyhan JW, Heil CE, Wilcox BP. 1998. Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: Soil temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches. *International Journal of Plant Sciences* **159**: 1010-1017. DOI: <https://doi.org/10.1086/314083>
- Canizales-Velázquez PA, Alanís-Rodríguez E, Aranda-Ramos R, Mata-Balderas JM, Jiménez-Pérez J, Alanís-Flores G, Uvalle-Sauceda JI, Ruiz-Bautista YM. 2009. Caracterización estructural del matorral submontano de la sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **15**: 115-120.
- Celaya-Michel H, Castellanos-Villegas AE. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* **29**: 343-356.
- Clark DB, Clark D, Rich P. 1993. Comparative analysis of microhabitat utilization by saplings of nine tree species in neotropical rain forest. *Biotropica* **25**:397-407.
- Crawley MJ, Harral JE. 2001. Scale dependence in plant biodiversity. *Science* **291**: 864-868. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.291.5505.864>
- Curtis JT, McIntosh RP. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* **32**: 476-496. DOI: <https://doi.org/10.2307/1931725>
- Domínguez-Gómez T, González Rodríguez H, Ramírez Lozano RG, Estrada Castillón AE, Cantú Silva I, Gómez Meza MV, Alanís Flores G. 2013. Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **4**: 106-122i. DOI :<https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.425>
- Estrada-Castillón E, Yen-Méndez C, Delgado-Salinas A, Villarreal-Quintanilla JA. 2004. Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* **75**: 73-85.

- Estrada-Castillón E, Villarreal-Quintanilla JA, Jurado-Ybarra E, Cantú-Ayala C, García-Aranda MA, Sánchez-Salas J, Pando-Moreno M. 2012. Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México. *Botanical Sciences* **90**: 37-52. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.384>
- Farjon A, Styles BT. 1997. *Pinus (Pinaceae)*. *Flora Neotropica Monograph* 75. Bronx, New York. USA: The New York Botanical Garden. pp. 291. ISBN 9780893274115
- Favela S, Thomas P. 2013. *Pinus pinceana*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013:e.T32629A2822604. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32629A2822604.en> (accessed February 15, 2021).
- Favela-Lara S, Velazco Macías C, Alanís Flores G. 2009. *Pinus pinceana* (Pinaceae), nuevo registro para el estado de Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* **3**: 771-774.
- Ferrusquia-Villafranca I. 1993. Geology of Mexico: a synopsis. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J. eds. *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. New York: Oxford University Press, pp. 3-10. ISBN 0-19-506674-X
- Figueroa-Corona L, Delgado Valerio P, Wegrzyn J, Piñero D. 2021. Transcriptome of weeping pinyon pine, *Pinus pinceana*, shows differences across heterogeneous habitats. *Trees* **35**: 1351-1365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02125-8>
- Foroughbakhch R, Hernández-Piñero JL, Carrillo-Parra A. 2014. Adaptability, growth and firewood volume yield of multipurpose tree species in semiarid regions of Northeastern Mexico. *International Journal of Agricultural Policy and Research* **2**: 444-453.
- García D. 2006. La escala y su importancia en el análisis espacial. *Ecosistemas* **15**: 7-18.
- García E. 1987. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptado a las condiciones de la República Mexicana)*. México, DF: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 217. ISBN: 9070-32-1010-4
- García-Hernández J, Jurado E. 2008. Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares NL, México. *Ra Ximhai: Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible* **4**: 1-22.
- García-Martínez MA, Rodríguez A. 2018. Vegetación y flora fanerogámica del área natural protegida Piedras Bola, Jalisco, México. *Polibotánica* **46**: 71-90. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.4>
- Gernandt DS, Pérez-de la Rosa JA. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **85**: 126-133. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- González-Medrano F. 2004. *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. México, DF: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ISBN: 9688176117.
- González-Rodríguez H, Cantú Silva I, Ramírez Lozano RG, Gómez Meza MV, Pando Moreno M, López Hernández JM. 2011a. Potencial hídrico xilemático en cuatro especies arbustivas nativas del noreste de México. *Revista Chapango Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **17**: 97-109. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.080>
- González-Rodríguez H, Cantú-Silva I, Ramírez-Lozano RG, Gómez-Meza MV, Sarquis-Ramírez J, Coria-Gil N, Maiti RK. 2011b. Xylem water potentials of native shrubs from northeastern Mexico. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil & Plant Science* **61**: 214-219. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064711003693211>
- Graciano-Ávila G, Aguirre-Calderón ÓA, Alanís-Rodríguez E, Lujan-Soto JE. 2017. Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* **4**: 535-542. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Granados-Victorino RL, Granados Sánchez D, Sánchez-González A. 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques* **21**: 23-43. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.212443>
- INEGI-CONABIO-INE [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Instituto Nacional de Ecología]. 2008. *Ecorregiones terrestres de México*. Scale 1:1000000. México DF: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) - Comisión

- Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE), IUCN. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-2. <https://www.iucnredlist.org> (accessed October 2, 2021).
- Jurado E, García JF, Flores J, Estrada E. 2006. Leguminous seedling establishment in Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* **221**: 133-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.011>
- Jurado E, Marroquín J, Flores J, Pando M, González H, Alanís, E. 2020. Germination of native legumes in relation to competition of neighbor seeds in Northeastern Mexico. *The Journal of the Torrey Botanical Society* **147**: 167-171. DOI: <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-19-00042.1>
- Ledig TF, Capó-Arteaga MA, Hodgskiss PD, Sbay H, Flores-López C, Thompson Conkle M, Bermejo-Velázquez B. 2001. Genetic diversity and the mating system of a rare Mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). *American Journal of Botany* **88**: 1977-1987. DOI: <https://doi.org/10.2307/3558425>
- López-Hernández JA, Aguirre-Calderón OA, Alanís-Rodríguez E, Monarrez-González JC, González-Tagle MA, Jiménez-Pérez J. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* **23**: 39-51. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- Magurran AE. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, USA: Princeton University Press, pp 179. ISBN: 978-94-015-7360-3
- Magurran AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, RU: Blackwell Publishing. ISBN-13: 978-0-632-05633-0.
- Mantovani M, Ruschel AR, Reis MSD, Puchalski Â, Nodari RO. 2003. Fenología reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta atlântica. *Revista Árvore* **27**: 451-458. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000400005>
- Marroquín-Castillo JJ, Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Aguirre-Calderón OA, Mata-Balderas JM, Chávez-Costa AC. 2016. Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica* **42**: 1-17. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.1>
- Martínez-Ávalos JG, Sánchez-Castillo C, Martínez-Gallegos R, Sánchez-Ramos G, Trejo I, Mora-Olivio A, Alanís E. 2015. Primer registro de *Pinus Pinceana* (Pinaceae) para Tamaulipas: aspectos ecológicos y estructurales. *Botanical Sciences* **93**: 357-360. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.87>
- Martíñon-Martínez RJ, Vargas-Hernández JJ, Gómez-Guerrero A, López-Upton J. 2011. Composición isotópica de carbono en follaje de *Pinus pinceana* Gordon sometido a estrés hídrico y térmico. *Agrociencia* **45**: 245-258.
- Mata M, Treviño E, Valdecantos A, Jiménez J, Aguirre O, Alanís E, Foroughbackch R. 2014. Diversidad y composición vegetal de matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* **1**: 1-15.
- Miguez-Gutiérrez A, Castillo J, Márquez J, Goyenechea I. 2013. Biogeografía de la Zona de Transición Mexicana con base en un análisis de árboles reconciliados. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **84**: 215-224. DOI: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.32119>
- Molina-Freaner F, Delgado P, Piñero D, Pérez-Nasser N, Alvarez-Buylla E. 2001. Do rare pines need different conservation strategies? Evidence from three Mexican species. *Canadian Journal of Botany* **79**: 131-138. DOI: <https://doi.org/10.1139/b00-155>
- Molina-Guerra VM, Pando-Moreno M, Alanís-Rodríguez E, Canizales-Velázquez PA, González Rodríguez H, Jiménez-Pérez J. 2013. Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* **4**: 361-371.
- Montes JR, Pelaez P, Willyard A, Moreno-Letelier A, Piñero D, Gernandt DS. 2019. Phylogenetics of *Pinus* subsection *Cembroides* Engelm. (Pinaceae) inferred from low-copy nuclear gene sequences. *Systematic Botany* **44**: 501-518. DOI: <https://doi.org/10.1600/036364419X15620113920563>
- Mora-Olivio A, Alanis-Rodriguez E, Marroquin-Castillo JJ, Sarmiento-Muñoz TI, Martinez-Avalos JG, Garza-Ocañas F, Torres-Castillo JA. 2016. Structure and diversity of a submontane scrub community in Tamaulipas, Mexico. *Interciencia* **41**: 769-773.

- Morrone JJ. 2010. Fundamental biogeographic patterns across the Mexican Transition Zone: An evolutionary approach. *Ecography* **33**: 355-361. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06266.x>
- Morrone JJ. 2014. Biogeographical regionalization of the Neotropical region. *Zootaxa* **3782**: 1-110. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1>
- Morrone JJ, Escalante T, Rodríguez-Tapia G. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa* **4277**: 277-279. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Mostacedo B, Fredericksen TS. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia: Editorial el País. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiatevegetal.pdf> (accessed February 15, 2021).
- Ochoa-Gaona S, Pérez Hernández I, De Jong BHJ. 2008. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical* **56**: 657-673.
- Plana E. 2000. Introducción a la ecología y dinámica del bosque tropical. Curso sobre gestión y conservación de bosques tropicales. Centro Tecnológico Forestal de Cataluña. <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/Plana-Bach-2000-Ecología-bosque-tropical.pdf> (accessed November 18, 2021).
- Pequeño-Ledezma MÁ, Alanís-Rodríguez E, Molina-Guerra VM, Collantes-Chávez-Costa A, Mora-Olivo A. 2021. Estructura y diversidad de un matorral dominado por *Helietta parvifolia* (A. Gray ex Hemsl.) Benth. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **12**: 88-113. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.762>
- Perry JP Jr. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Portland, Oregon USA: Timber Press. Inc. pp 231. ISBN: 9780881921748
- Quiroz-Vázquez RI, López-Upton J, Cetina-Alcalá VM, Ángeles-Pérez G. 2017. Capacidad reproductiva de *Pinus pinaster* Gordon en el límite sur de su distribución natural. *Agrociencia* **51**: 91-104.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/> (accessed February 15, 2021).
- Rechy-Carvajal MA, Von Roth Rechy E. 2004. Especies nativas del matorral espinoso del noreste mexicano con posibilidades de aprovechamiento industrial. *Madera y Bosques* **10**: 45-54. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2004.1021274>
- Remmert H. 1991. *The mosaic-cycle concept of ecosystems*. Berlin, Germany: Springer. pp. 168. ISBN: 978-3-642-75650-4
- Romero-Sánchez ME, Pérez-Miranda R, González-Hernández A, Velasco-García MV, Velasco-Bautista E, Flores A. 2018. Current and potential spatial distribution of six endangered pine species of Mexico: Towards a conservation strategy. *Forests* **9**: 767. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9120767>
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. México DF: Editorial Limusa. pp. 432.
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México*. México DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 504.
- Sánchez-González A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* **14**: 107-120. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Santibáñez-Andrade G, Castillo-Argüero S, Zavala-Hurtado JA, Martínez OY, Hernández AM. 2009. La heterogeneidad ambiental en un matorral xerófilo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **85**: 71-79. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2304>
- Scheiner SM. 2003. Six types of species-area curves. *Global Ecology and Biogeography* **12**: 441-447. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00061.x>
- SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2010. 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*. 2da Sección, 30 de diciembre de 2010.
- Smith RL, Smith TM. 2001. *Ecología*. Madrid, España: Pearson Education. pp. 682. ISBN: 978-84-7829-084-0
- Tongway DJ, Cortina J, Maestre FT. 2004. Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. *Ecosistemas* **13**: 2-15.

- Torres-Reyna J, Fortanelli Martínez J, van't Hooft A, Benítez Gómez V. 2015. Etnobotánica de la vivienda rural en la región Xi'iuy de la Palma, San Luis Potosí, México. *Etnobiología* **13**: 21-36.
- Turner MD. 1999. Spatial and temporal scaling of grazing impact on the species composition and productivity of Sahelian annual grasslands. *Journal of Arid Environments* **41**: 277-297. DOI: <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0485>
- Villa-Manuel P, de Siqueira Cardinelli L, Magnago LF, Heringer G, Venâncio Martins S, Viana Campos P, Rodrigues AC, Viana Neri A, Meira-Neto JAA. 2018. Relación especie-área y distribución de la abundancia de especies en una comunidad vegetal de un inselberg tropical: efecto del tamaño de los parches. *Revista de Biología Tropical* **66**: 937-951.
- Villarreal JÁ, Mares O, Cornejo E, Capó MA. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta Botánica Mexicana* **89**: 87-124. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm89.2009.308>

Editor de sección: Marta Martínez Gordillo

Contribuciones de los autores: CSC, trabajo de campo, escribió el manuscrito; CAW, revisó el artículo, asesoró en el diseño del estudio; JG, asesoró en el diseño del estudio; VVE, asesoró en el diseño del estudio y análisis de datos; RMG colaboró en la descripción de los sitios de estudio, así como en la elaboración de mapas; EDM, revisó el artículo y lo editó en su versión final; JATC, asesoró en el diseño del estudio, revisó el artículo; JGMA, realizó la dirección del estudio y contribuyó con la redacción del manuscrito.