

## CARACTERIZACIÓN DEL BOSQUE DE REFERENCIA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL PARQUE NACIONAL BARRANCA DEL CUPATITZIO, URUAPAN, MICHOACÁN

 MOISÉS MÉNDEZ-TORIBIO<sup>1,2\*</sup>,  EMMANUEL SÁNCHEZ-GAMIÑO<sup>3</sup>, Y  EMMANUEL PÉREZ-CÁLIX<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ecología AC, Centro Regional del Bajío, Red de Diversidad Biológica del Occidente Mexicano, Pátzcuaro, Michoacán, México.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), Ciudad de México, México.

<sup>3</sup> Posgrado del Instituto de Ecología, A.C., Red de Diversidad Biológica del Occidente Mexicano, Pátzcuaro, Michoacán, México.

\*Author for correspondence: [moises.mendez@inecol.mx](mailto:moises.mendez@inecol.mx)

### Resumen

**Antecedentes:** La información sobre las comunidades templadas es insuficiente, y esto se manifiesta de manera particular en el estado de Michoacán.

**Preguntas:** ¿Cómo está constituido un ecosistema templado establecido en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) en relación con su composición, estructura y diversidad?

**Sitio y años de estudio:** El análisis se llevó a cabo en el otoño e invierno del 2018 en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio en Uruapan, Michoacán, México.

**Métodos:** En 18 parcelas de 0.1 ha (20 × 50 m) se registraron plantas leñosas con un diámetro a la altura de 1.3 m (DAP)  $\geq$  2.5 cm y se registró el número de individuos y tallos, área basal, cobertura de copa, altura total, la diversidad alfa y se agruparon las unidades con técnicas multivariadas.

**Resultados:** En 1.8 ha se registraron 55 especies, en 42 géneros y 32 familias. Pinaceae fue la más diversa (8) seguida de Asteraceae (9). La densidad (500-1,330 ind. ha<sup>-1</sup>), los tallos (650-3,040 ind. ha<sup>-1</sup>), la cobertura (10,999-46,390 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), el DAP (9.2-18.9 cm), la altura (6.5-12 m) y la riqueza (6-17) varían entre parcelas. El 75 % del área basal (20.1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) fue aportada por los pinos, los encinos contribuyeron con el 14 % (3.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) y el 11 % fue de otras especies (2.9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

**Conclusiones:** Los ecosistemas forestales del parque mantienen propiedades ecológicas características de los bosques templados del CVTM. Este estudio sirve como punto de referencia para establecer metas de restauración ecológica en el parque explícitamente cuantificables.

**Palabras claves:** atributos comunitarios, diversidad, *Pinus*, *Quercus*, valor de importancia relativa.

### Abstract

**Background:** Information about temperate communities is insufficient, and this is particularly evident in the state of Michoacán.

**Questions:** How is a temperate ecosystem established in the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) organized in terms of its composition, structure, and specific diversity?

**Study Site and Date:** The analysis was conducted in the fall and winter of 2018 in the Barranca del Cupatitzio National Park in Uruapan, Michoacán, Mexico.

**Methods:** In 18 plots of 0.1 hectares (20 × 50 m), woody plants with a diameter at breast height (DBH)  $\geq$  2.5 cm were recorded. Information was collected on the number of individuals and stems, basal area, canopy cover, height, alpha diversity, and units were grouped using multivariate techniques.

**Results:** In 1.8 hectares, 55 species were recorded, belonging to 42 genera and 32 families. Pinaceae was the most diverse family with 8 species, followed by Asteraceae with 9 species. Density (500-1,330 individuals per hectare), stems (650-3,040 per hectare), canopy cover (10,999-46,390 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), DBH (9.2-18.9 cm), height (6.5-12 m), and species richness (6-17) varied among plots. 75 % of the basal area (20.1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) was contributed by pines, oaks contributed 14 % (3.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), and 11 % came from other species (2.9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

**Conclusions:** The forest ecosystems in the park exhibit ecological properties typical of temperate forests in the TMVB. This study serves as a reference point for establishing quantifiable ecological restoration goals in the park.

**Keywords:** community attributes, diversity, *Pinus*, *Quercus*, relative importance value.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Los ecosistemas templados en México son importantes por su extensión, riqueza florística y elevado número de especies endémicas. Estos bosques se dividen en dos tipos principales según el clima: templado sub-húmedo o templado húmedo (Challenger & Soberón 2008). Los primeros comprenden asociaciones de coníferas, latifoliadas o bosques mixtos de pino-encino (Challenger 2003), mientras que los bosques mesófilos de montaña se encuentran en el segundo tipo de clima (Sánchez *et al.* 2003). Según los resultados del inventario forestal 2015-2020 se estima que estos bosques ocupan *ca.* de 25.1 % de la superficie forestal total, de los cuales alrededor del 59.1% (20.6 Mha) se encuentran en condición primaria, y el resto, 40.9 % (34. 8 Mha) se consideran bosques secundarios (CONAFOR 2020). Algunas estimaciones indican que los bosques de coníferas y encinos albergan aproximadamente 27 % (5,823 especies) de la riqueza florística total del país (Villaseñor 2016). Estas comunidades están constituidas por especies de *Pinus*, *Quercus* y una mezcla de ambos géneros (Rzedowski 2006, Challenger & Soberón 2008). Los bosques templados en el país se caracterizan también porque albergan el 50 % (50 especies) de todas las especies de pino registradas en el mundo (Challenger 2003) y la mayor riqueza mundial de encinos (~168 especies); género con el 62 % de especies endémicas (Nixon 1993, Koleff *et al.* 2004, Valencia-Avalos 2020). Actualmente, poco más de la mitad de los bosques templados se encuentran en una condición primaria y la presencia de especies endémicas subrayan su valor ecológico.

La mayoría de los estudios que describen las comunidades templadas en México están localizados en unas cuantas entidades federativas del país, y pocas provincias biogeográficas. El 52 % de los trabajos se han realizado en Nuevo León, Durango y Jalisco (García-García *et al.* 2022). Estos estudios describen las comunidades forestales en tres de las seis provincias biogeográficas en las cuales se distribuyen los bosques templados (Takaki Takaki *et al.* 2019). El tipo de comunidad con mayor número de estudios es el bosque mixto de pino-encino (30; García-García *et al.* 2022). Algunas investigaciones llevadas a cabo en el estado de Michoacán describen la fisionomía y la composición florística de la vegetación templada, pero de manera cualitativa. Estos estudios, realizados en comunidades establecidas entre los 2,080 y 3,000 m de altitud, indican consistentemente que las familias Asteraceae, Fabaceae y Solanaceae son las más diversas (Labat 1995, Pérez-Calix 1996, Cornejo-Tenorio *et al.* 2003, Giménez de Azcárate *et al.* 2003, Cornejo-Tenorio & Ibarra-Manríquez 2017). La concentración de investigaciones en ciertas regiones de México resalta la necesidad de diversificar geográficamente los estudios sobre bosques templados.

La escasa información disponible sobre los bosques templados es particularmente notable en el caso de Michoacán. Los trabajos cuantitativos que evalúan la estructura de la vegetación en el estado son únicamente seis, y se han realizado en bosques ubicados entre los 1,400 y 3,050 m de altitud (Carranza González 1987, Labat 1995, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014). Estos estudios muestran que el estrato arbóreo (plantas entre 1-5 cm de DAP) en los bosques de pino suele ser monoespecífico, mientras que la altura total de los árboles es de entre 11 a 28 m (Carranza González 1987, Labat 1995, Maza-Villalobos *et al.* 2014). El área basal en las comunidades analizadas presenta una marcada oscilación, con un intervalo que varía de 17.8 a 39 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (21.2 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), el régimen de temperatura va de 10 a 20.2 °C; y el intervalo de precipitación media anual es de 880 a 1,500 mm anuales (Carranza González 1987, Labat 1995, Maza-Villalobos *et al.* 2014). En cambio, los bosques mixtos de pino-encino estudiados en el estado, se encuentran en altitudes que oscilan entre 2,300 a 2,700 m de altitud. A diferencia de los bosques de pino, estas comunidades presentan una altura menor (10 a 25 m), pero su área basal es similar a la de los bosques de pino (19 a 36.4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>). Además, los datos sobre densidad forestal en Michoacán indican que el intervalo de variación en el número de individuos por hectárea en los bosques mixtos (406-1,240 ind. ha<sup>-1</sup>; 834) es mayor en comparación con los valores reportados para los bosques de pino (642-1,200 ind. ha<sup>-1</sup>; 558). Es fundamental resaltar que la información recopilada en estudios previos es crucial para la gestión y conservación de los bosques.

El análisis de la estructura, diversidad y composición de la vegetación tiene múltiples propósitos. Por ejemplo, durante la planeación de los proyectos de restauración ecológica es fundamental caracterizar los atributos ecológicos del ecosistema de referencia o modelo (Gann *et al.* 2019). Una vía efectiva para lograr este propósito es mediante la descripción de los rasgos ecológicos de las comunidades forestales (Techel *et al.* 2019). En este contexto, analizar las propiedades de la vegetación permite establecer objetivos claros y metas cuantificables en procesos de restauración (Martínez-Garza *et al.* 2021). Esta caracterización también es fundamental para contrastar el avance, progreso y

recuperación de la vegetación después de las intervenciones de restauración (Gann *et al.* 2022). Asimismo, comprender aspectos esenciales de las comunidades permite entender el funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo, la cobertura del dosel es un estimador de la captación de energía solar (Lambers *et al.* 2008, Perry *et al.* 2008), y tanto el área basal como la cobertura son estimadores de la productividad en los bosques (Lang *et al.* 2010, Leites *et al.* 2013, McIntosh *et al.* 2012). La evaluación de la distribución de clases de tamaños en los individuos que conforman una comunidad ayuda a entender la dinámica de la vegetación y su estructura (Chapin III *et al.* 2011). El conocimiento sobre los atributos de diversidad, estructura y composición florística es sustancial para planear acciones orientadas a favorecer el desarrollo de los bosques.

El Parque Nacional Barranca del Cupatitzio es un área natural protegida en el centro occidente de Michoacán con fuertes necesidades de restauración. El objetivo principal del presente estudio está dirigido a realizar una evaluación de los ecosistemas templados (e intervenidos) del área natural protegida ubicada en el municipio de Uruapan. Este trabajo de investigación busca de manera particular, mediante la valoración de parámetros ecológicos, brindar una caracterización (1) de la composición, estructura y diversidad de especies del componente leñoso (árboles, arbustos y trepadoras con  $DAP \geq 2.5$  cm) en los bosques establecidos en el parque, y (2) contrastar el grado de similitud de los atributos de la vegetación del parque con respecto a otros estudios realizados en el estado. Este análisis se justifica ampliamente si se considera el limitado número de contribuciones enfocadas a estimar parámetros cuantitativos de los bosques templados dentro del límite del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM). El estudio se concibió como un insumo fundamental para establecer una línea de base que permita contrastar el avance y progreso de futuras intervenciones de restauración ecológica en el parque, así como para establecer objetivos, y metas claras que puedan ser cuantificables. La información ecológica registrada en 18 parcelas permanentes de 0.1 ha ( $20 \times 50$  m) también es valiosa para la actualización del Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio (CONANP 2006).

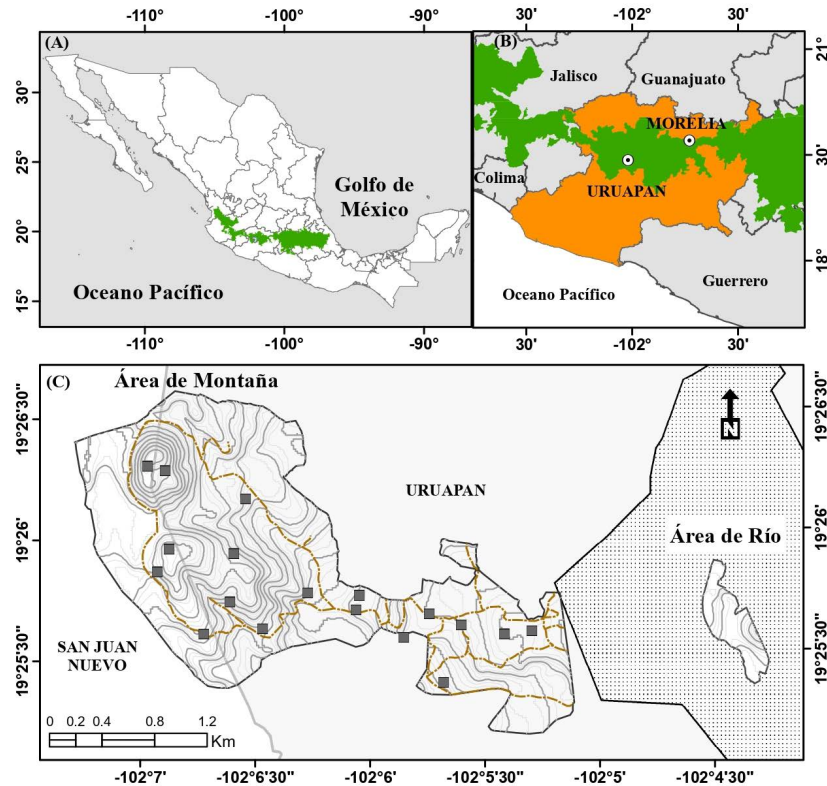
## Materiales y métodos

*Área de estudio.* El Parque Nacional Barranca del Cupatitzio es un área natural protegida que se encuentra situada en la parte centro occidente de Michoacán. El área está a 130 km de la capital, Morelia. El polígono del parque colinda con el área urbana de la ciudad de Uruapan ([Figura 1](#)). El parque está dividido en el Área de Montaña (439 ha) y el Área de Río (19.6 ha) que en total abarcan una superficie de 458 ha. La parte más baja del parque corresponde al extremo sur del Área de Río (1,640 m snm), donde se encuentra la barranca por donde corre el río Cupatitzio y le da su nombre al área natural.

Los puntos más altos son el Cerro Chiquito (2,136 m snm.) y la Loma Larga (2,057 m snm), ambos localizados en el extremo oeste del área de Montaña (Chávez León 2006). El parque está ubicado entre los paralelos  $19^{\circ} 25' 11.28''$  y  $19^{\circ} 26' 24.18''$  de latitud norte y los meridianos  $102^{\circ} 07' 40.04''$  y  $102^{\circ} 04' 20''$  al oeste de Greenwich (Chávez León 2006) y está a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

De acuerdo con los datos de la estación climatológica 16212 Barranca del Cupatitzio y para un periodo de 49 años (1,961-2,010), la temperatura promedio anual en el área es de  $16.6^{\circ}\text{C}$ ; los meses de mayo y junio son los más calientes del año ( $18.8^{\circ}\text{C}$ ). La precipitación total anual es de 1,592 mm de los cuáles el 81 % se concentra entre los meses de junio a septiembre ([Figura 2](#)). Los tipos de vegetación dominantes al interior del polígono de montaña son el bosque de pino, bosque mixto de pino-encino, y relictos de bosque mesófilo de montaña (Bello & Madrigal 1996, Chávez León 2006, CONANP 2006).

*Ubicación de parcelas y muestreo de la vegetación.* Los datos de vegetación se registraron en 18 parcelas de 0.1 ha ( $20 \times 50$  m), divididas en 10 secciones de  $10 \times 10$  m ( $100\text{ m}^2$ ) y distribuidas a lo largo de un gradiente altitudinal de 388 m (1,730-2,118). Las parcelas se delimitaron durante el otoño e invierno de 2018 (noviembre, diciembre) y se les asignó un código que será usado a lo largo del artículo. La localización de las parcelas fue determinada mediante salidas de reconocimiento. Los recorridos en el Área de Montaña fueron principalmente por dos brechas nombradas en el programa de manejo del área natural como Norte y Sur (CONANP 2006).

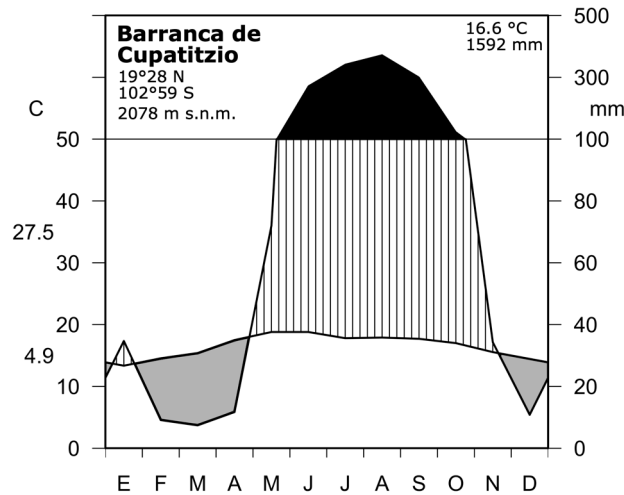


**Figura 1.** Localización del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio. En la figura superior izquierda (A) se muestra en color verde la distribución geográfica del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) en México. En el mapa (B) está señalado de color naranja el estado de Michoacán, y también se indica la ubicación de la ciudad de Uruapan y Morelia en el estado. En la imagen de abajo (C) se muestra el polígono del parque y la disposición de las 18 unidades de muestreo establecidas para caracterizar la vegetación del área natural protegida. El Datum usado corresponde al Sistema Geodésico Mundial 1984 (D WGS\_1984) y el Sistema de Coordenadas Geográficas del Sistema Geodésico Mundial 1984 (GCS-WGS 1984) fue el sistema de coordenadas empleado en los mapas.

Durante las exploraciones se tomaron datos geográficos de referencia. La localización espacial de las parcelas se determinó con base en la información adquirida en el campo, el análisis del paisaje (*e.g.*, topografía), datos sobre el ordenamiento ecológico del área protegida y la inspección de imágenes satelitales RapidEye del año 2012 (Tyc *et al.* 2005) y Maxar (2017), estas últimas disponibles a través de la plataforma de Google Earth Pro Versión 7.3.6.9345 (Gorelick 2017, Google 2023). En campo, la ubicación final estuvo en función del acceso al terreno. En cada parcela se ubicó la esquina suroeste para ser usada como punto de referencia para la ubicación de los cuadros y de la parcela misma. El trazado del perímetro de las unidades de muestreo se realizó con rafia y tubos de PVC de un metro de altura colocados cada 10 m.

*Censo y atributos de la vegetación.* Al interior de las parcelas se registraron, etiquetaron y marcaron los árboles, y arbustos que presentaron un diámetro a la altura de 1.3 m sobre el suelo (DAP: diámetro a la altura del pecho)  $\geq 2.5$  cm y se midió su altura total (m) y la cobertura de copa. Los bejucos o lianas –plantas que necesitan de un soporte para mantenerse erectas– con un diámetro en la base de su tallo  $\geq 2.5$  cm también se registraron. La altura total de los árboles se midió con un flexómetro Milwaukee® de 8 m o con un Telémetro Nikon Forestry Pro II®. La cobertura (C) se estimó a partir de la fórmula de una elipse con dos diámetros de cobertura, lado mayor de la copa ( $d_1$ ) y el perpendicular  $d_2$ ; la fórmula usada fue la siguiente:  $C = 0.25 \times d_1 \times d_2$ . El factor de corrección (0.25) se usa para compensar la subestimación que se produce al usar una elipse como aproximación a la forma real de la copa (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974).

## Atributos del bosque de referencia



**Figure 2.** Descripción climática del área de estudio. Diagrama ombrotérmico basado en datos de la estación meteorológica Barranca de Cupatitzio para un período de 49 años (1961-2010). La gráfica muestra la distribución de la precipitación y la temperatura a lo largo de los meses del año (eje horizontal). El área gris corresponde a la duración de la estación seca. El área con líneas verticales indica la duración de la estación húmeda. La porción de la gráfica en color negro muestra los meses con una precipitación > 100 mm considerado como un período con exceso de agua.

El DAP se midió con cintas diamétricas Forestry Suppliers de Tela modelo 283D o con un vernier de plástico marca FOY®. A partir de los valores de DAP de cada tallo se calculó para cada uno el área basal (AB) usando la siguiente fórmula:  $AB = \pi \times D^2$ , donde  $D = DAP$ . Las plantas de las cuales se tenía certeza de su identidad fueron identificadas en campo. Las especies que no se pudieron reconocer durante el muestro fueron colectadas para ser identificadas posteriormente mediante el uso de literatura especializada. La mayoría de los especímenes tenían estructuras reproductivas. La identificación de los ejemplares estériles se hizo mediante la comparación con muestras botánicas de referencia colectadas en el área de estudio y depositadas en el herbario IEB del Instituto de Ecología A.C. en el Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán.

*Análisis de estructura y diversidad.* El análisis de la vegetación consistió en calcular las variables de estructura y atributos de diversidad a nivel de parcela. De acuerdo con los procedimientos descritos por Mueller-Dombois & Ellenberg (1974) y Curtis & McIntosh (1951), se calculó el valor de importancia relativa (VIR) de cada especie. Los parámetros usados para obtener esta métrica fueron los valores relativos de frecuencia, densidad y área basal de las especies. La diversidad fue estimada mediante técnicas de interpolación y extrapolación a partir de curvas de rarefacción del número efectivo de especies en función de la integridad del muestro (Chao & Jost 2012). Como primera medida de diversidad se obtuvo la riqueza local ( $q^0$ ). Asimismo, se calcularon dos expresiones de diversidad mediante el uso de los números de Hills. El primer estimador fue el número efectivo de especies igualmente comunes ( $q^1$ ) y el segundo que se calculó fue el número efectivo de especies dominantes ( $q^2$ ). Debido a que la integridad del muestro en cada unidad de observación es diferente, algunos autores proponen usar curvas de rarefacción y extrapolación (R / E) para comparar las estimaciones de los atributos de diversidad a un mismo nivel de cobertura del muestro (Colwell *et al.* 2012). En este caso las estimaciones de diversidad se obtuvieron al tamaño mínimo de cobertura que fue de 93 %. Los estimadores de diversidad por parcela y total fueron obtenidos mediante la función “*estimateD*” disponible en la librería iNEXT (Hsieh *et al.* 2024) del software de código abierto R versión 4.2.1 (R Core Team 2023).

*Variación de los atributos comunitarios y agrupación de las comunidades.* El análisis multivariado de los datos se realizó con el software R versión 4.3.1 (R Core Team 2023). Antes de emplear los análisis numéricos, las variables fueron transformadas al logaritmo natural de  $x + 1$ , y escaladas por la desviación estándar de las columnas (Becker

*et al.* 1988). Posteriormente, se obtuvo una matriz de distancias euclidianas entre las filas de los datos con la función “*get\_dist*” de la librería “*factoextra*” (Kassambara & Mundt 2020). El centrado y escalamiento de los datos se realizó con la función “*scale*” (R Core Team 2023). Con la matriz de distancias euclidianas escaladas se ejecutó un análisis de componentes principales (PCA) con la función “*dudi.pca*” disponible en la librería “*ade4*” (Dray & Dufour 2007). Esta técnica fue utilizada para describir la comunidad y reducir la variación que definen la composición (estructura de la comunidad), estructura (*e.g.*, altura, número de individuos, tallos y área basal) y diversidad de especies ( $q^0$ ,  $q^1$  y  $q^2$ ) en la comunidad. El grado de asociación de las variables de respuesta con los ejes del PCA, que mayor porcentaje de variación explicaron, fue evaluado mediante correlaciones de Spearman. El impacto en la tasa de error (falsos positivos) en las comparaciones múltiples se controlaron ajustando los valores de  $P$  mediante la tasa de descubrimiento falso (FDR) de Benjamini-Hochberg (Benjamini & Hochberg 1995). La clasificación de las parcelas se realizó mediante un análisis de agrupamiento “*K-means*” que permite identificar similitudes y diferencias entre las unidades de muestreo en función de las variables de la comunidad (R Core Team 2023). El número óptimo de grupos fue determinado con el algoritmo de silueta promedio con la función “*fviz\_nbclust*” de la librería “*factoextra*” (Kassambara & Mundt 2020). Dicho análisis evalúa la variabilidad entre y dentro de cada grupo. Las pruebas estadísticas fueron consideradas significativas cuando el nivel de  $\alpha \leq 0.05$ .

## Resultados

**Composición florística.** En total se registraron 55 especies, distribuidas en 42 géneros y 32 familias; solo un espécimen permaneció a nivel de morfoespecie. El 15 % de las especies (8) fueron gimnospermas mientras que el 85 % (47) restante fueron magnoliofitas. Este listado incluye 33 especies de árboles, 19 de arbustos y dos especies de lianas: *Rhus aromatica* Aiton y *Vitis tiliifolia* Humb. & Bonpl. ex Schult. La familia Pinaceae fue la más importante respecto al número de especies (8) seguida de Asteraceae (9), Fabaceae (6) y Solanaceae (2). En la [tabla 1](#) se puede observar que estas cuatro familias contienen el 43 % de la riqueza total de las especies registradas y la riqueza de Pinaceae está relacionada con la de género. Las familias con el mayor número de individuos fueron Asteraceae (448 individuos), Pinaceae (338), Fagaceae (213), Garryaceae (84), Clethraceae (76) y Solanaceae (73). En estas cinco familias están incluidas el 79.7 % de todas las plantas registradas en las parcelas. Los géneros que destacan por el número de individuos fueron *Pinus* (338), *Quercus* (213), *Ageratina* (177), *Verbesina* (172) y *Garrya* (84); ya que engloban en conjunto el 67.6 % del total. Las especies registradas como introducidas fueron: *Pinus patula* Schldtl. & Cham., *Pinus herrerae* Martínez, *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche, *Inga vera* subsp. *eriocarpa* (Benth.) J.León y *Persea americana* Mill.

**Tabla 1.** Distribución del número de géneros (%) y especies (%) en las familias más diversas, así como el número de especies en los géneros más importantes en la comunidad de leñosas registradas en 18 parcelas de 0.1 ha (20 × 50 m) establecidas al interior del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio en Uruapan, Michoacán.

Familias	Géneros / Especies	Géneros	Especie
Pinaceae	1 (2) / 8 (14)	<i>Pinus</i>	8 (15)
Asteraceae	6 (14) / 9 (16)	<i>Ageratina</i>	2 (4)
Fagaceae	5 (12) / 6 (11)	<i>Baccharis</i>	3 (5)
Solanaceae	2 (5) / 2 (4)	<i>Roldana</i>	2 (4)
Otras	28 (67) / 28 (53)	Otros	40 (38)

**Estructura.** En total se registraron 1,455 individuos y 2,760 tallos. Ninguna especie estuvo presente en todas las parcelas analizadas. Los árboles de mayor frecuencia fueron: *Quercus obtusata* Bonpl. (13), *Pinus lawsonii* Roehl ex Gordon & Glend. (12), *Pinus leiophylla* Schldtl. & Cham. (12), *Pinus devoniana* Lindl. (12), *Garrya longifolia* Rose (12), *Pinus douglasiana* Martínez (11), *Prunus serotina* Ehrh. (11) y *Quercus castanea* Née (10). Por otro lado, los

Atributos del bosque de referencia

arbustos más frecuentes fueron: *Verbesina fastigiata* B.L.Rob. & Greenm, *Ageratina mairretiana* (DC.) R.M.King & H.Rob, y *Rumfordia floribunda* DC (12, 9, y 7 parcelas, respectivamente). La mayoría de las especies (69 %) aparecieron en menos de cinco parcelas y el 45 % (25 especies) se registraron solo en una.

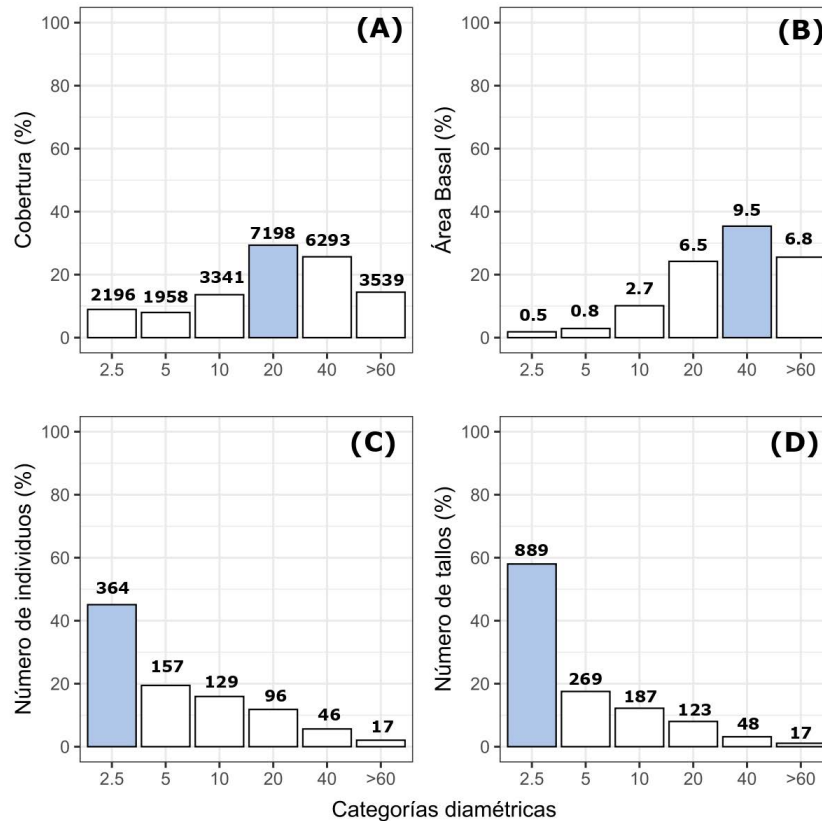
La densidad promedio ( $\pm$  una desviación estándar) de individuos fue de 808 ind. ha<sup>-1</sup> ( $\pm$  261 individuos) y su variación entre parcelas fue de 500 a 1,330 ind. ha<sup>-1</sup> (Tabla 2). Los tres árboles más abundantes se corresponden con los de mayor frecuencia, mientras que las dos especies de arbustos con la mayor abundancia fueron *V. fastigiata* y *A. mairretiana* (Tabla S1). El número de tallos promedio por hectárea registrado fue de 1,533 ( $\pm$  691.49), el valor mínimo

**Tabla 2.** Valores de los atributos estructurales y de diversidad registrados en 18 parcelas de 0.1 ha (20 × 50 m) establecidas al interior del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio en Uruapan Michoacán. Abreviaturas: Ind., es el número de individuos leñosos (árboles, arbustos y lianas) con un diámetro  $\geq$  2.5 cm medido a 1.3 m de altura sobre el suelo (DAP o Diámetro a la Altura del Pecho); CV, Coeficiente de variación; DAP, diámetro a la altura del pecho (altura a 1.3 m); DE, Desviación estándar;  $q^0$ , riqueza de especies,  $q^1$ , número efectivo de especies igualmente comunes y  $q^2$  número efectivo de especies dominantes. Notas: las cifras reportadas para DAP y la altura total son el promedio de los tallos registrados en la unidad de muestreo. Los valores máximos y mínimos de cada variable se indican con negritas y subrayados, respectivamente.

Unidad de muestreo	Estructura									Diversidad		
	Ind. ha <sup>-1</sup>	N° de tallos ha <sup>-1</sup>	Cobertura (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	DAP (cm)	Altura (m)	Área Basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> (%)				$q^0$	$q^1$	$q^2$
						<i>Pinus</i> spp.	<i>Quercus</i> spp.	(%) Otras spp.	Total			
<b>M 1</b>	800	1,630	25,129	11.2	8.4	<u>6.04</u> (27)	<u>0</u> (0)	<b>15.93</b> (73)	21.97	<b>17</b>	10	8
<b>M 2</b>	720	930	28,755	13.8	10.7	12.85 (60)	1.16 (5)	7.35 (34)	21.35	16	6	<u>3</u>
<b>M 3</b>	610	880	<u>10,999</u>	9.3	6.6	13.37 (96)	0.06 (0)	0.54 (4)	<u>13.96</u>	16	7	4
<b>P 1740</b>	610	790	21,949	17.4	9.8	30.71 (94)	0.25 (1)	1.74 (5)	32.70	12	7	5
<b>P 1840</b>	520	880	11,487	10.6	7.0	14.2 (94)	0.39 (3)	0.59 (4)	15.18	24	<b>13</b>	7
<b>P 1940</b>	770	1,140	18,356	16.6	<b>12.0</b>	29.56 (88)	0.31 (1)	3.62 (11)	33.49	12	9	8
<b>P 2040</b>	570	1,900	22,355	14.6	10.8	22.13 (90)	1.18 (5)	1.27 (5)	24.58	9	6	5
<b>PE 2115</b>	1,140	2,480	24,367	9.5	<u>6.5</u>	14.89 (58)	6.5 (25)	4.15 (16)	25.55	8	<u>4</u>	<u>3</u>
<b>PE 1</b>	1,090	1,510	31,751	14.5	13.7	22.5 (63)	11.46 (32)	2.02 (6)	35.98	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>3</u>
<b>PE 2</b>	930	1,620	39,903	14.3	15.3	15.81 (67)	5.86 (25)	1.88 (8)	23.56	12	8	6
<b>PE 3</b>	1,220	1,960	<b>46,390</b>	13.5	14.9	18.29 (61)	9.83 (33)	2.08 (7)	30.20	9	6	5
<b>PE 4</b>	<b>1,330</b>	<b>3,040</b>	32,824	<u>9.2</u>	7.2	28.52 (90)	1.22 (4)	2.07 (7)	31.82	8	5	4
<b>PE 5</b>	820	2,300	19,168	13.1	8.9	5.67 (21)	<b>18.49</b> (70)	2.24 (8)	26.40	<b>17</b>	7	4
<b>PE 6</b>	850	1,530	33,834	13.0	8.4	22.01 (66)	8.63 (26)	2.79 (8)	33.43	13	8	6
<b>PL 1</b>	520	<u>650</u>	15,875	<b>18.9</b>	9.9	<b>39.22</b> (98)	<u>0</u> (0)	0.83 (2)	<b>40.05</b>	9	6	5
<b>PL 3</b>	550	1,000	23,577	14.1	8.4	22.39 (92)	<u>0</u> (0)	2.04 (8)	24.43	15	11	<b>9</b>
<b>PL 4</b>	<u>500</u>	970	18,042	17.8	11.3	26.36 (98)	0.01 (0)	<u>0.49</u> (2)	26.86	7	5	4
<b>PL 5</b>	1,000	2,390	16,686	9.6	7.7	17.75 (89)	<u>0</u> (0)	2.17 (11)	19.92	11	5	<u>3</u>
<b>Total (1.8 ha<sup>-1</sup>)</b>	1,455	2,760	44,145	-	-	36 (75)	7 (14)	5 (11)	48.14	55	21	14
<b>Promedio</b>	808	1,533	24,525	13	10	20.13 (75)	3.63 (13)	2.99 (12)	26.7	12	7	5
<b>DE</b>	261	691	9,551	3.05	2.74	8.71 (24)	5.36 (19)	3.61 (17)	7.04	5	2	2
<b>CV (%)</b>	32	<b>45</b>	39	23	28	43 (31)	148 (148)	121 (137)	26	37	35	37

de 650 y el valor máximo de 3,040 y en consecuencia fue la variable de estructura entre parcelas la que mostró el mayor coeficiente de variación (45 %). En cuanto al número de tallos destacan tres especies de arbustos y dos árboles: *R. floribunda*, *A. mairetiana*, *V. fastigiata*, y *Q. obtusata* y *G. longifolia* (Tabla S1)

La cobertura promedio de las parcelas analizadas fue de  $24,525 \pm 9,551.20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . El valor mínimo de este atributo fue de  $10,999 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y el máximo de  $46,390 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . Esta variable se caracterizó porque los individuos con DAP entre 20 a 39.9 cm presentaron los valores más altos de cobertura (Figura 3). Las cinco especies que destacaron por aportar el 61 % de la cobertura total fueron: *P. douglasiana* (15.4 %), *P. lawsonii* (14.5 %), *Q. obtusata* (11.3 %), *P. devoniana* (10.4 %) y *P. pseudostrobus* Lindl. (9.5 %).



**Figura 3.** Síntesis estructural para la comunidad de leñosas (tallos con un DAP  $\geq 2.5$  cm) en 18 parcelas de 0.1 ha ( $20 \times 50$  m) establecidas en otoño del 2018 en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio en Uruapan, Michoacán, México. Los números por encima de las barras son los valores absolutos por hectárea de las variables en cada categoría diamétrica: (A) Cobertura por  $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ; (B) Área Basal por  $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ; (C) Número de individuos y (D) Número de tallos por hectárea. La barra de color azul muestra el valor más alto del atributo.

El DAP promedio fue de  $13 \pm 3.05$  cm y el intervalo osciló entre 9.2 y 18.9 cm (Tabla 2). Los individuos y los tallos de 2.5 a 4.9 cm representan el 45.1 y 58 % del total registrado, respectivamente (Figura 3C, D). Las especies con los valores promedio de DAP más sobresalientes fueron: *P. herrerae* Martínez ( $75.4 \pm 4.4$ ); *P. patula* ( $42.9 \pm 11$ ); *P. devoniana* ( $40.8 \pm 22.1$ ); *P. pseudostrobus* ( $33 \pm 18.6$ ) y *P. douglasiana* ( $31.6 \pm 20.5$ ).

El promedio de altura entre parcelas muestreadas fue de  $10 \pm 2.74$  m, con un intervalo de 6.5 a 12 m (Tabla 2). Las plantas con un diámetro  $\geq 40$  cm presentaron la mayor altura promedio (Figura 4). En toda la comunidad leñosa, la clase de altura con la mayor frecuencia fue la de 5 m, mientras que en los árboles y arbustos se observaron clases de 5 y 3.8 m como las más comunes, respectivamente (Figura 5A-C). Las cinco especies con mayor estatura en orden decreciente fueron *P. herrerae* ( $24.5 \pm 0.7$  m), *P. pseudostrobus* ( $23.7 \pm 7.8$  m), *P. patula* ( $22.3 \pm 5.6$  m), *P. lawsonii* ( $21.7 \pm 7.6$ ) y *P. devoniana* ( $21.4 \pm 7.0$  m; Tabla S2).



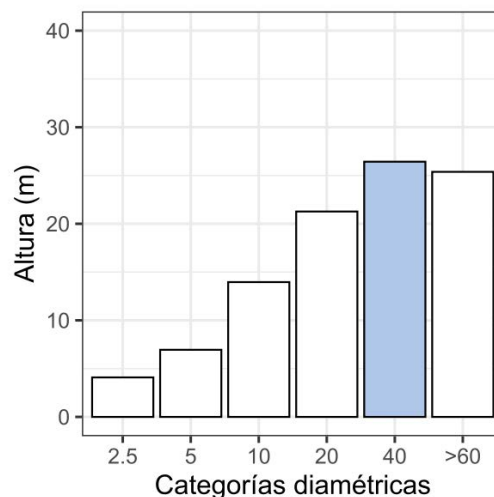
## Atributos del bosque de referencia

El promedio del área basal entre parcelas fue de  $26.7 \pm 7.04 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . El valor más bajo de este atributo fue de  $13.96 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y el mayor de  $40.05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  (Tabla 2). Los individuos con un diámetro de entre 40 y 59.9 cm son los que tuvieron el mayor aporte al valor total de área basal (35.4 %; Figura 3B). Las especies de *Pinus* spp. aportaron el 75 % del área basal total, mientras que los *Quercus* contribuyeron con el 14 y el 11 % restante, fue aportado por otras especies (Tabla 2). Las cinco especies que destacaron por aportar ca. del 80 % del área basal total (Tabla S1) fueron: *P. douglasiana* (19.3 %), *P. lawsonii* (15.1 %) *P. pseudostrobus* (11.9 %), *P. devoniana* (11.9 %), *Q. obtusata* (11 %) y *P. leiophylla* (11 %).

El análisis de los valores de importancia relativa (VIR) muestra que las 5 especies de árboles con la mayor importancia ecológica en orden decreciente fueron (Tabla S1): *P. douglasiana*, *Q. obtusata*, *P. lawsonii*, *P. leiophylla* y *P. devoniana*. En los arbustos, las especies de mayor importancia fueron *V. fastigiata*, *A. mairetiana*, *R. floribunda*, *Solanum nigricans* M.Martens & Galeotti y *A. areolaris*.

**Diversidad.** La riqueza ( $q^0$ ) promedio y su desviación estándar entre las unidades de muestreo fue de  $12 \pm 5$  especies (intervalo: 6-17). El número efectivo de especies igualmente dominantes ( $q^1$ ) en todas las parcelas fue de 21, y su promedio entre parcelas de  $7 \pm 2$  (intervalo: 4-13). El valor global del número efectivo de especies dominantes ( $q^2$ ) fue de 14 con un promedio de  $5 \pm 2$ , con valores de 3 a 9 especies. La variabilidad de los estimadores de diversidad fue de entre 35 a 37 % (Tabla 2).

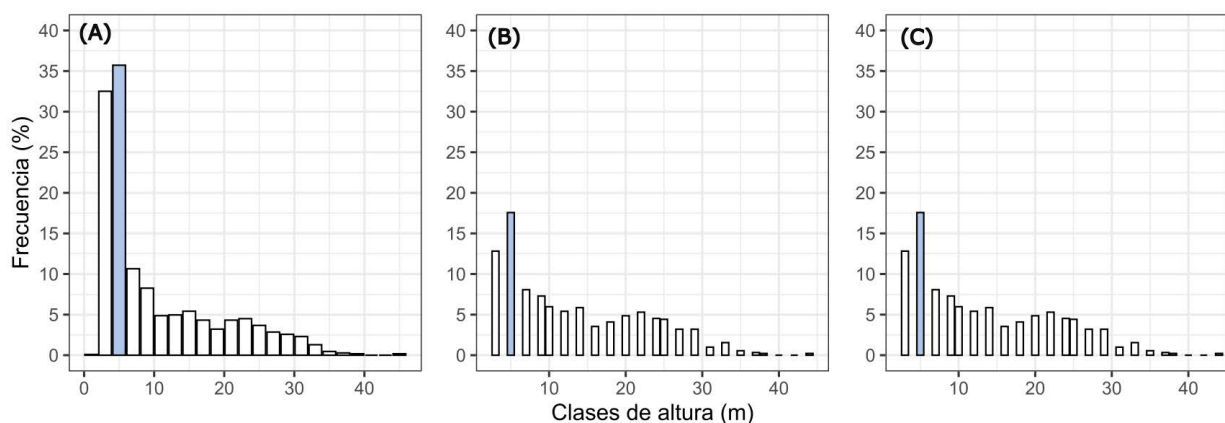
**Análisis multivariados.** El análisis de componentes principales (PCA) indica que el 30.2 % de la variación en los datos es explicada por los dos primeros ejes (eje 1, 15.83 %; eje 2, 14.4 %). El número de individuos, número de tallos y el porcentaje del área basal aportado por especies de *Quercus* spp. se asociaron negativamente y de manera significativa con el eje-1 del PCA (Figura 6; Tabla 3). El porcentaje de área basal aportado por las especies de *Pinus* spp. se correlacionó significativamente con el eje-2 del PCA. La única variable significativamente asociada con el eje-2, y de manera positiva, fue el porcentaje de área basal aportado por otras especies.



**Figura 4.** Categorías de altura en cada clase diamétrica para la comunidad de leñosas con un diámetro a la altura del pecho (DAP)  $\geq 2.5$  cm. El censo de la vegetación se realizó en el otoño del 2018 en 18 parcelas de 0.1 ha ( $20 \times 50$  m) establecidas en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio en Uruapan, Michoacán, México.

El algoritmo de agrupamiento “*K-means*” clasificó a las unidades de muestreo en dos conjuntos constituidos por 8 y 10 parcelas. Estos grupos fueron posteriormente confirmados mediante el método de Silueta promedio (Figura 6B). En el grupo uno (G1) el porcentaje de área basal aportado por encinos es alto (Figura 6B). *Q. obtusata* y *A. areolaris* son las únicas especies relacionadas negativamente y de manera significativa con el eje-1 del PCA (Tabla S3). Este resultado indica que estos dos taxones son elementos importantes en el G1 por su número de individuos y

tallos. El segundo grupo (G2) se caracterizó por contener las parcelas con los valores más altos de riqueza ( $q^0$ ),  $q^1$ , y  $q^2$ ; además, el porcentaje de área basal aportado por los pinos es alto (extremo derecho la gráfica, [Figura 6B](#)). *Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. se asoció positivamente hacia el extremo derecho del eje-1 y de forma significativa indicando que es una especie característica de este grupo ([Tabla S3](#)). Por otro lado, *Roldana michoacana* (B.L. Rob.) H. Rob. & Brettell, y *Baccharis heterophylla* Kunth, se relacionaron de manera positiva y negativamente con el eje-2 del PCA, respectivamente. Ambas relaciones fueron estadísticamente significativas ([Tabla S3](#)). En el G2 también se incluyó a M1, sin embargo, esta unidad de muestreo tiene un alto porcentaje de área basal aportado por especies distintas a *Quercus* sp. y *Pinus* sp. Finalmente, la suma de cuadrados dentro de los grupos (WCSS) fue de 76 %, ésta fue menor en el G1 (28 %) que en el G2 (46 %). La variación entre grupos es del 26 % (BCSS). Estos resultados indican que en general la variación de los atributos de la comunidad es alta pero la separación entre grupos es relativamente modesta.



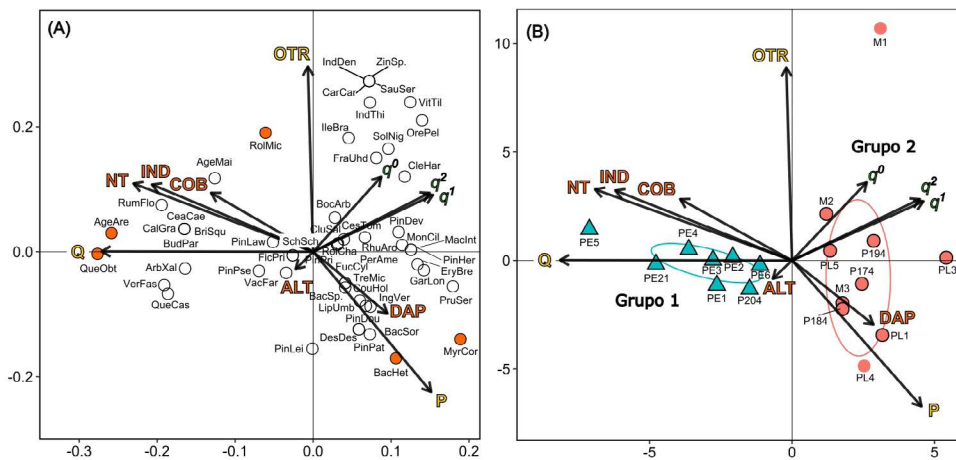
**Figura 5.** Distribución de alturas y frecuencia para distintas clases de altura para la comunidad de leñosas (A), árboles (B) y arbustos (C) registrados en 18 parcelas de 0.1 ha (20 × 50 m) y con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 2.5 cm. El censo de la vegetación se realizó en el otoño del 2018 en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio en Uruapan, Michoacán, México.

## Discusión

Este estudio proporciona una descripción cuantitativa de la composición, estructura (de la vegetación) y diversidad de especies leñosas ≥ 2.5 cm de DAP en 18 unidades de muestreo establecidas en el Parque Nacional Barrancas del Cupatitzio, Uruapan, Michoacán. La información sobre atributos ecológicos de los bosques es fundamental para establecer objetivos y metas claras y cuantificables en proyectos de restauración ecológica. Además, el análisis de las propiedades de la vegetación es conocimiento generalmente escaso, y esto es particularmente indudable para las zonas forestales templadas establecidas en el Cinturón Volcánico Transmexicano del Centro Occidente de México.

**Composición florística.** Los elementos florísticos registrados en el parque presentan similitudes con lo reportado en investigaciones anteriores. Las familias Pinaceae y Asteraceae destacan por ser componentes importantes en las unidades de muestreo del parque. Este hallazgo coincide con estudios previamente realizados en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM; Villaseñor & Ortiz 2007, Suárez-Mota *et al.* 2013). En los bosques de coníferas y los mixtos de latifoliadas de Michoacán, estas dos familias suelen destacar porque, ocupan generalmente posiciones importantes en lo que corresponde al número de especies e individuos; específicamente, la familia Pinaceae es característica del dosel, mientras que algunas especies de la familia Asteraceae forman parte de un estrato arbustivo (Madrigal Sánchez 1994, Pérez-Calix 1996, Cornejo-Tenorio *et al.* 2003, Suárez-Mota *et al.* 2013). En el PNBC las familias Fagaceae, Garryaceae y Clethraceae cuentan también con numerosos individuos, hallazgo que coincide con lo documentado para otros bosques templados de Uruapan y de Michoacán (Bello González 1983, Medina García & Rodríguez Jiménez

nez 1993, Madrigal Sánchez 1994, Bello González & Madrigal Sánchez 1996). A nivel genérico el taxón con mayor número de especies en el parque fue *Pinus* (Tabla 1). Investigaciones previas han documentado que en el CVTM se encuentran más del 55 % de los taxones de pino en México (46), lo que equivale a 26 especies (Sánchez-González 2008). Además, el 60 % de las especies (16) de pino reportadas para esta misma provincia se han registrado en el estado de Michoacán (Silva Sáenz 2019). La presencia abundante de *Pinus*, *Quercus*, *Ageratina*, *Verbesina* y *Garrya* en el bosque no sorprende, ya que estos géneros pertenecen a familias predominantes en el parque. Todos estos taxones han sido previamente mencionados por varios autores, entre los que contienen mayor número de individuos y que habitan preferencial en bosques templados del CVTM de Michoacán y Uruapan (Prado Ortiz 1981, Bello González 1983, Carranza González 1987, Medina García & Rodríguez Jiménez 1993, Labat 1995, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014). Las familias Pinaceae y Asteraceae, son las más diversas, mientras que Fagaceae, Garryaceae y Clethraceae se destacan por que presentan el mayor número de individuos.



**Figura 6.** Análisis de componentes principales (PCA) y clasificación de las unidades de muestreo mediante el método de agrupamiento de “K-means” basado en la abundancia de las especies y variables de estructura y diversidad. (A) Ordenación donde se observa la variación en la composición florística y las variables de estructura y diversidad de especies; en esta gráfica los círculos anaranjados indican cuáles especies están relacionadas significativamente con los ejes del PCA. (B) Ordenación de las parcelas con base en los atributos comunitarios. Los triángulos verdes pertenecen al grupo 1 y los círculos forman parte del grupo 2. Atributos de estructura: ALT, Altura promedio; COB, Cobertura; DAP, diámetro a la altura del pecho; IND, individuos; NT, número de tallos; Q, porcentaje del área basal aportada por encinos, P, porcentaje del área basal aportada por pinos y OTR, porcentaje de área basal aportada por otras especies de latifoliadas. Atributos de diversidad:  $q^0$ , riqueza de especies,  $q^1$ , número efectivo de especies igualmente comunes y  $q^2$ , número efectivo de especies dominantes. La varianza explicada por el eje 1 y el eje 2 del PCA fue del 18.8 % y el 14.4%, respectivamente. El identificador de las especies en (A) se puede consultar en el [Tabla S1](#).

**Estructura y diversidad.** Contrastar y comparar los valores de los atributos de la vegetación y diversidad de los bosques es una tarea complicada. Esto se debe en principio a que aún no existen protocolos suficientemente estandarizados para el muestreo de las comunidades templadas. Por ejemplo, las unidades de observación o el área de muestreo total suelen ser muy variables entre estudios (Tabla 3; [Tabla S2](#) en Zacarias-Eslava *et al.* 2011). La categoría diamétrica mínima para registrar algún espécimen también varía bastante entre las investigaciones y esto afecta el número de individuos y especies que se contabilizan (*e.g.*, Carranza González 1987, Labat 1995, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014). En consecuencia, los datos que aportan algunos de esos estudios son incompletos lo cual impide hacer comparaciones directas (ver [Tabla 4](#)). Otra limitante, generalmente citada, es que la información cuantitativa sobre la estructura de los bosques templados es poca para algunas regiones (Takaki Takaki *et al.* 2019, García-García *et al.* 2022), esto es particularmente un hecho en la porción del CVTM de Michoacán (Carranza González 1987, Labat 1995, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014). La comparación de algunos atributos de la vegetación puede ser realizada con cierta cautela. El número de individuos y la riqueza total de especies (S),

pertenecientes a categorías diamétricas similares, son variables que, al ser expresadas por unidad de área, se pueden contrastar entre estudios sin mayor problema. La altura de la vegetación es otra propiedad que puede ser comparada porque sus valores son independientes de la forma de la unidad de muestreo o del área de muestreo total. A pesar de algunas limitaciones es posible en lo general realizar algunas valiosas comparaciones.

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos de relacionar los atributos de estructura y diversidad con los puntajes de los ejes del análisis de componentes principales (PCA). Entre paréntesis se reportan los valores de P-ajustados con el algoritmo de tasa de descubrimiento falso (fdr; Benjamini & Hochberg 1995). N = 18. El nivel de  $\alpha$  establecido para identificar las correlaciones significativas fue  $\leq 0.05$ .

Variable	Eje 1	Eje 2
<b>Estructura</b>		
Número de individuos	-0.73 (0.01)	0.51 (0.22)
Número de tallos	-0.69 (0.02)	0.5 (0.22)
Cobertura	-0.49 (0.16)	0.42 (0.31)
Diámetro a la altura del pecho	0.42 (0.24)	-0.32 (0.43)
Altura promedio	-0.01 (0.97)	0.02 (0.95)
Área basal aportado por <i>Pinus</i> sp.	0.56 (0.10)	-0.73 (0.02)
Área basal aportado por <i>Quercus</i> sp.	-0.85 (<0.001)	0.14 (0.73)
Área basal aportado por otras especies	-0.17 (0.66)	0.88 (<0.001)
<b>Diversidad</b>		
$q^0$	0.27 (0.46)	0.35 (0.38)
$q^1$	0.50 (0.16)	0.18 (0.66)
$q^2$	0.55 (0.10)	0.05 (0.88)

Los resultados del presente estudio y su análisis permitieron identificar similitudes con otros bosques y particularidades en los atributos de la vegetación del parque. El límite superior en la densidad de individuos  $\geq 2.5$  cm de DAP es mayor (1,330 ind. ha<sup>-1</sup>) en Cupatitzio cuando se comparan con los valores registrados por Carranza González (1987), Labat (1995), Valdez Campos (2012) y Maza-Villalobos (2014; [Tabla 3](#)), pero éste se encuentra dentro de la amplitud de valores (330-2,717 ind. ha<sup>-1</sup>) reportada para otros bosques templados mexicanos ([Tabla S2](#) en Zacarias-Eslava *et al.* 2011, Calderón *et al.* 2022). El número de estratos para los bosques templados de Michoacán (incluyendo este estudio) de manera consistente suele ser de tres ([Tabla 4](#)); en general se presenta un estrato herbáceo-arbustivo, un dosel arbóreo bajo y uno alto. La altura del estrato superior de los árboles (24 m) resultó ser similar a lo obtenido para los bosques de pino-encino (~24 m) establecidos alrededor del lago de Cuitzeo, en Michoacán (Maza-Villalobos 2014). Los valores de altura (12-24 m) se encontraron dentro de la amplitud de cifras obtenidas para los bosques michoacanos (10-28 m; [Tabla 4](#)). Aunque la altura es muy variable entre individuos, unidades de muestreo y estudios, el promedio obtenido (10 m) es similar a la de otros bosques templados mexicanos (8.1 m; *e.g.*, Córdoba & Sotelo 1986, González-Tagle *et al.* 2008). El límite superior del área basal por hectárea registrado en el parque (40) se encuentra por encima de los valores reportados para los bosques de Michoacán ([Tabla 4](#); Carranza González 1987, Labat 1995, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014). Este dato es inferior si se compara con los bosques templados del Cerro del Águila, Michoacán (60.2 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; DAP  $\geq 2.5$  cm; Zacarias-Eslava *et al.* 2011), del Pueblo Nuevo Solistahuacán en Chiapas (56-67 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; DAP  $\geq 5$  cm; Ramírez-Marcial *et al.* 2001) y de El Porvenir municipio de Chiapas (65 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; DAP  $\geq 2.5$  cm; Calderón Pérez *et al.* 2022).

Atributos del bosque de referencia

**Tabla 4.** Características ambientales, de estructura y diversidad de especies (árboles y arbustos) reportadas en los bosques de pinoencino (PE) y pino (P) estudiados en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) en Michoacán. Abreviaturas: TSH = Templado subhúmedo; TSS = Tropical subseco, y TSCH = Templado semicálido húmedo. Formulas: <sup>1</sup>C(W1)(W)b(i'); <sup>2 y 3</sup>Clima con base en la clasificación de Bagnouls y Gausson (1957); <sup>4</sup>A (C) w; <sup>5</sup>Cb(wo)(w)(e)g. \*Valores mínimos y máximos de H, aunque el valor total es de 1.81 y el de  $q^1$  igual a 6, y \*\*valores mínimos y máximos de H, aunque el valor total es de 3.03 y el de  $q^1$  igual a 21.

Variables	Carranza González 1987		Labat 1995		Valdez Campos 2012	Maza-Villalobos 2014		Entre estudios	Este estudio
	PE	P	PE	P	PE	PE	P	Min y Max.	PE
<i>Características de las unidades de muestreo</i>									
<b>Área total muestreada (ha)</b>	0.7	0.6	2.5	0.75	0.3	1.3	0.2	0.2-2.5	1.8
<b>Altitud m snm</b>	2,800	2,770-3,050	2,180-2,700	1,400-2,100	-	~2,300	~2,600	1,400-2,800	1,700-2,115
<b>Tipo de clima</b>	<sup>1</sup> TSH	<sup>1</sup> TSH	<sup>3</sup> SH	<sup>2</sup> TSS	<sup>4</sup> TSCH	<sup>5</sup> TSH	<sup>5</sup> TSH	TSS -TSH	<sup>1</sup> TSH
<b>Temperatura media anual (°C)</b>	12-18	12-18	11.5-18	17.7-20.2	-	15	10	11.5-20.2	16.6
<b>Precipitación (mm)</b>	1,200-1,500	1,200-1,500	1,000-1,400	880-1,000	-	1,000	1,500	880-1,500	1,592
<i>Estructura</i>									
<b>Categoría diamétrica (cm)</b>	>5	>5	≥5	≥5	>3	≥1	≥1	≥1 a >5	≥2.5 y ≥5
<b>Nº de estratos</b>	Tres	Tres	Tres	Tres	Tres	-	-	Tres	Tres
<b>Altura (m) estrato superior</b>	10-22	11-23	15-25	15-20	~25	~24	~28	10-28	12-24
<b>Altura (m) promedio</b>	11	14	-	-	13	-	-	11-14	10 y 7
<b>Área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	36.4	37.3	19-53	17.8-38.9	-	~31	~39	17.8-39	14-40
<b>Número de individuos (ind. ha<sup>-1</sup>)</b>	406	642	232-1024	692-860	799	~1240	~1200	232-1240	500-1,330
<i>Diversidad</i>									
<b>Riqueza total (S)</b>	19	20	19	13	31	26	5	5-31	55
<b>Riqueza árboles (S<sub>A</sub>)</b>	10	7	-	-	-	-	-	10-7	33
<b>Riqueza arbustos (S<sub>AR</sub>)</b>	8	13	-	-	-	-	-	-	19
<b>S ha<sup>-1</sup></b>	27	33	8	17	103	20	25	8-33 (-103)	31
<b>S<sub>A</sub> ha<sup>-1</sup></b>	14	12	-	-	-	-	-	12-14	18
<b>S<sub>AR</sub> ha<sup>-1</sup></b>	11	22	-	-	-	-	-	11-22	11
<b>Shannon</b>	-	-	0.33-2.28**	0.71-1.86*	2.94	0.6	0.23	0.33-2.94	-
<b>Simpson</b>	-	-	-	-	0.06	-	-	0.06	(14)
<b>q<sup>1</sup></b>	-	-	1-10	2-6	19	2	1	1-19	21
<b>q<sup>2</sup></b>	-	-	-	-	17	-	-	17	-

La riqueza de especies total (55) es superior a la reportada para los bosques de Michoacán, aun cuando se compara con los trabajos de Labat (1995) y Maza Villalobos (2014) quienes tuvieron un esfuerzo de muestreo similar (>1.3 ha<sup>-1</sup>) e incluyeron categorías diamétricas comparables entre estudios: ≥ 2.5 cm y ≥ 1 cm, respectivamente. Cuando la riqueza se expresa por unidad de área (33 especies ha<sup>-1</sup>), esta es similar a la estimada en el trabajo de Carranza-González (1987; 33 especies ha<sup>-1</sup>), pero muy inferior a la reportada por Valdez-Campos (2012) quienes reportan 103 especies por hectárea en un área seis veces inferior (0.3 ha) a la evaluada en el parque (1.8 ha). Esta diferencia debe interpretarse con cautela ya que en este último estudio se incluyen también los bosques sucesionales tempranos.

La riqueza total debe estar influida por la convergencia de especies de sucesión temprana y tardía en los sitios (van Breugel *et al.* 2023). Por otro lado, al contrastar la riqueza de árboles y arbustos, con el único estudio que reporta esta información en Michoacán (Carranza González 1987), se puede comprobar que: (1) la riqueza de árboles en Cupatitzio es mayor (18) que la reportada para los Azufres (12-14), y (2) la riqueza de arbustos es igual en ambos estudios (11 especies de arbustos). El análisis de comparación con los estudios disponibles nos permite afirmar que el parque presenta alta diversidad de especies leñosas. No obstante, aún es necesario realizar diversos estudios en el CVTM de Michoacán para corroborar esta afirmación.

*Asociaciones vegetales identificadas.* El análisis multivariado (PCA) muestra que la variación en los rasgos de la vegetación (composición, estructura y diversidad) en el parque es relativamente modesta (30.2 %). Este resultado indica que en general las comunidades templadas constituidas por pinos y/o pinos y encinos son relativamente homogéneas. Esta hipótesis aún es difícil de probar debido a que los estudios cuantitativos en el estado son escasos (Tabla 4; Carranza González 1987, Labat 1995, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014) y por lo tanto es importante fomentar el desarrollo de trabajos que cuantifiquen la variación de rasgos en las zonas forestales del del CVTM del estado. A pesar de la modesta variación en los atributos de la vegetación, el método de agrupamiento muestra que los ecosistemas templados en el parque están constituidos principalmente por dos tipos de asociaciones: pino y pino-encino. La única excepción a esto podría ser la unidad de muestreo M1, que se caracterizó por presentar especies únicas como *Zinowiewia* sp., *Carpinus tropicalis* (Donn. Sm.) Lundell y *Saurauia serrata* DC. Este contingente de entidades taxonómicas generalmente forma parte de comunidades de clima templado húmedo como los bosques mesófilos de montaña establecidos en cañadas (López-Pérez *et al.* 2011). Una situación similar se presenta en este sitio que está en una de las principales cañadas del parque.

*Conclusiones.* Los resultados del presente estudio respaldan la conclusión de que los ecosistemas forestales del parque mantienen propiedades ecológicas características de los bosques templados del CVTM. La comparación de los atributos de composición, estructura y diversidad confirma que estos se encuentran dentro de lo detectado previamente para este tipo de vegetación en otras localidades de Michoacán (Bello González 1983, Medina García & Rodríguez Jiménez 1993, Labat 1995, Pérez-Calix 1996, Cornejo-Tenorio *et al.* 2003, Zacarias-Eslava *et al.* 2011, Valdez Campos 2012, Maza-Villalobos *et al.* 2014, Silva Sáenz 2019). El estudio de la variación de estos atributos comunitarios, y su resiliencia a lo largo de gradientes ambientales ocasionados por factores topográficos, edáficos y regímenes de disturbio ocasionados por la incidencia de plagas e incendios permitiría su mejor entendimiento. En los bosques templados distribuidos en Durango, Tamaulipas y Nuevo León, por mencionar algunos, y en ciertas porciones de nuestro planeta, se cuenta con información que muestra la relación entre los factores mencionados anteriormente con los rasgos comunitarios en los bosques templados (*e.g.*, Diaz-Toribio *et al.* 2020, Maringer *et al.* 2020, Ponce-Calderon *et al.* 2021, Andrus *et al.* 2022). Sin embargo, es importante que sean evaluadas estas relaciones adoptando un enfoque funcional de comunidades (Pausas *et al.* 2017, Keeley & Pausas 2022). Por ejemplo, se requieren estudios donde se exploren los cambios que se presentan, en el mediano y largo plazo, en la dominancia y variación de rasgos funcionales relacionados con la tolerancia y flamabilidad al fuego. El estudio longitudinal de los atributos de los bosques templados permitirá entender su resiliencia, resistencia y recuperación, información crítica y fundamental para diseñar e implementar estrategias de restauración ecológica adecuadas, a disturbios ocasionados por actividades humanas efectivas y pertinentes. También es importante destacar que en futuros estudios será importante incluir otras formas de crecimiento como hierbas y epífitas, grupos generalmente no considerados en muestreos de vegetación.

*Implicaciones para la restauración ecológica del parque.* Esta investigación aporta de manera cuantitativa la definición del ecosistema de referencia (o modelo). Este concepto, en restauración ecológica, proporciona las pautas sobre cómo debe ser un ecosistema en ausencia de impactos humanos significativos o perturbaciones antropogénicas (Gann *et al.* 2019, Gann *et al.* 2022). En otras palabras, este estudio sirve como punto de referencia para establecer metas de restauración ecológica en el parque explícitamente cuantificables. Las metas establecidas para las actividades de restauración que se planeen en el parque deberán aspirar a tener los valores mínimos de cobertura,

densidad, área basal y diversidad reportados en esta investigación. Asimismo, vale la pena destacar que las actividades de restauración deberán contemplar el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas detectadas como ecológicamente importantes, nativas y/o raras (Tabla S1). Teniendo en mente lo anterior será factible cuantificar la efectividad, el avance y el progreso de los resultados de las intervenciones de restauración futuras en el Área de Montaña del parque. Lo anterior será una tarea difícil de lograr sin un programa de reproducción (sexual y vegetativa) de las especies ecológicamente importantes. En este sentido, se hace un llamado urgente a llevar a cabo dicha tarea.

### Material suplementario

El material suplementario de este artículo puede ser descargado en esta liga: <https://doi.org/10.17129/botsci.3450>

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los prestadores de servicio social, voluntarios y estudiantes que participaron en el establecimiento de las parcelas permanentes y en los censos de vegetación: Daniel Espinosa Toral, Fernando Botello G., Jocelyn Marines Vicente, Juan Carlos Paz, Luis Landa Juan, Marcos Oseguera Gutiérrez. Reconocemos la importante labor del personal de la CONANP quienes apoyaron en la logística para delimitar y censar las unidades de muestreo: Iris Rangel Zavala, Rafael García Soriano, y Luis Daniel Hurtado Ríos. MMT agradece el apoyo en el trabajo de laboratorio y procesamiento de ejemplares por parte de Karina M. Grajales, así como a Guadalupe Cornejo Tenorio quien contribuyó en la identificación de algunos especímenes. Agradecemos los comentarios realizados por dos revisores anónimos y al editor de sección que contribuyeron a mejorar la versión final del manuscrito.

### Literatura citada

- Andrus RA, Droske CA, Franz MC, Hudak AT, Lentile LB, Lewis SA, Morgan P, Robichaud PR, Meddens AJH. 2022. Spatial and temporal drivers of post-fire tree establishment and height growth in a managed forest landscape. *Fire Ecology* **18**: 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00153-4>
- Bagnouls, F, Gaussen H. 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie* **66**: 193-220.
- Becker RA, Chambers JM, Wilks AR. 1988. *The new S language. A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*. Pacific Grove, California, United States. Chapman & Hall. ISBN: 053409192X
- Bello González MÁ 1983. *Estudio fenológico de 5 especies de Pinus en la región de Uruapan, Michoacán*. BSc Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bello González MA, Madrigal Sánchez X. 1996. *Estudio florístico del Campo Experimental "Barranca del Cupatitzio" Morelia, México*: INIFAP, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Uruapan: Fundación Produce Michoacán.
- Benjamini Y, Hochberg Y. 1995. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: series B*, **57**: 289-300. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Calderón R, Pérez JEP, Velázquez JRT, Cadena JFA. 2022. Estructura y composición florística de un bosque de *Pinus-Quercus* en El Porvenir, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **13**: 50-74. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1252>
- Carranza González E 1987. *Aspectos botánicos-ecológicos del Campo Geotérmico Los Azufres, Michoacán*. Bsc Thesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Challenger A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. In: Sánchez Ó, Vega E, Peters E, Monroy-Vilchis O eds. *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp. 17-44. ISBN: 968-817-610-9

- Challenger A, Soberón J. 2008. Los ecosistemas terrestres. In: CONABIO, eds. *Capital Natural de México, Conocimiento Actual de la Biodiversidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 87-108. ISBN: 978-607-7607-03-8
- Chao A, Jost L. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* **93**: 2533-2547. DOI: <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Chapin III FS, Chapin MC, Matson PA, Vitousek P. 2011. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York, United States. Springer. ISBN: 1441995048
- Chávez León G. 2006. Inventario florístico y faunístico del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán. DF, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. AS014. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfAS014.pdf> (accessed April 9, 2024)
- Colwell RK, Chao A, Gotelli NJ, Lin S-Y, Mao CX, Chazdon RL, Longino JT. 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology* **5**: 3-21. DOI: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtr044>
- CONAFOR[Comisión Nacional Forestal]. 2020. Informe de Resultados. Inventario Nacional Forestal 2015-2020. México: CONAFOR. <https://snmf.cnf.gob.mx/principalesindicadoresforestalesciclo-2015-2020/> (accessed April 9, 2024).
- CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas]. 2006. Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional Barranca del Cupatitzio. México: CONANP. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/3\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/3_libro_pm.pdf) (accessed April 9, 2024).
- Córdoba JS, Sotelo JMC. 1986. Relación suelo-vegetación del Área Experimental “Madera”. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **11**:43-64.
- Cornejo-Tenorio G, Casas A, Berenice F, Villaseñor JL, Ibarra-Manríquez G. 2003. Flora y Vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Botanical Sciences* **73**: 43-62. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1678>
- Cornejo-Tenorio G, Ibarra-Manríquez G. 2017. Flora of the core zones of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico: Composition, geographical affinities and beta diversity. *Botanical Sciences* **95**: 103-129. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.803>
- 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>
- Díaz-Toribio MH, Carr S, Putz FE. 2020. Pine savanna plant community disassembly after fire suppression. *Journal of Vegetation Science* **31**: 245-254. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12843>
- Dray S, Dufour A. 2007. The ade4 Package: Implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* **22**: 1-20. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>
- Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K, Dixon KW. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* **27**: S1-S46. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Gann GD, Walder B, Gladstone J, Manirajah SM, Roe S. 2022. Restoration project information sharing framework. A resource for coordinated monitoring and reporting on ecosystem restoration. Washington, DC: Society for Ecological Restoration and Climate Focus. <https://globalrestorationobservatory.com/restoration-project-information-sharing-framework/> (accessed April 9, 2024).
- García-García SA, Alanís-Rodríguez E, Aguirre-Calderón OA, Treviño-Garza EJ, Cuellar-Rodríguez LG, Chávez-Costa AC. 2022. Caracterización de comunidades forestales en México: revisión documental. *E-CUCBA* **17**: 201-210. DOI: <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.227>
- Giménez de Azcárate J, Ramírez M, Pinto M. 2003. Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (Estados de Michoacán y México, México): Clasificación, composición y distribución. *Lazaroa* **24**: 87-111.



- González-Tagle MA, Schwendenmann L, Pérez JJ, Schulz R. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management* **256**: 161-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.021>
- Google. 2023. Google Earth [Versión 7.3.6.9345]. <https://www.google.com/earth/> (accessed April 9, 2024).
- Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, **202**: 18-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A. 2024. iNEXT: Interpolation and Extrapolation for Species Diversity. R package [Versión 3.0.1] [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/) (accessed April 9, 2024).
- Kassambara A, Mundt F. 2020. factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package [Versión 1.0.7.] <https://rpkgs.datanovia.com/factoextra/> (accessed April 9, 2024).
- Keeley JE, Pausas JG. 2022. Evolutionary ecology of fire. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **53**: 203-225. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102320-095612>
- Koleff P, Soberón J, Smith A. 2004. Madrean pine oak woodland. In: Mittermier R. eds. *Hotspots. Biodiversidad Amenazada II. Nuevas Ecorregiones Terrestres Prioritarias del Mundo*. México: CMEX [Cementos Mexicanos, SA.], pp. 390. ISBN: 2217791
- Labat PJ-N. 1995. Végétation du nord-ouest du Michoacán, Mexique. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario VIII* **8**: 1-375. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.150.1995.VIII>
- Lambers H, Chapin FS, Pons TL. 2008. *Plant physiological ecology*. New York: Springer Verlag. ISBN: 0387783407
- Lang AC, Härdtle W, Bruelheide H, Geißler C, Nadrowski K, Schuldt A, Yu M. von Oheimb G. 2010. Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China. *Forest Ecology and Management* **260**: 1708-1715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.015>
- Leites LP, Zubizarreta-Gerendiain A, Robinson AP. 2013. Modeling mensurational relationships of plantation-grown loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Uruguay. *Forest Ecology and Management* **289**: 455-462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.016>
- López-Pérez Y, Tejero-Díez JD, Torres-Díaz AN, Luna-Vega I. 2011. Flora del bosque mesófilo de montaña y vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **88**: 35-53. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.304>
- Madrigal Sánchez X 1994. *Características ecológicas generales de la región forestal oriental del estado de Michoacán, México*. Bsc Thesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Maringer J, Wohlgemuth T, Hackett-Pain A, Ascoli D, Berretti R, Conedera M. 2020. Drivers of persistent post-fire recruitment in European beech forests. *Science of The Total Environment* **699**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134006>
- Martínez-Garza C, Méndez-Toribio M, Ceccon E, Guariguata MR. 2021. Ecosystem restoration in Mexico: insights on the project planning phase. *Botanical Sciences* **99**: 242-256. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.2695>
- Maxar. 2017. Satellite imagery and multi-int collection. Detect change and build context at scale <https://www.maxar.com/products/satellite-imagery> (accessed April 9, 2024).
- Maza-Villalobos S, Macedo-Santana F, Rodríguez-Velázquez J, Oyama K, Martínez-Ramos M. 2014. Variación de la estructura y composición de comunidades de árboles y arbustos entre tipos de vegetación en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Botanical Sciences* **92**: 243-258. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.104>
- McIntosh ACS, Gray AN, Garman SL. 2012. Estimating canopy cover from standard forest inventory measurements in western Oregon. *Forest Science* **58**: 154-167. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.09-127>
- Medina García C, Rodríguez Jiménez S. 1993. Estudio florístico de la cuenca del río Chiquito de Morelia, Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario IV*. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.146.1993.IV>
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: John Wiley and Sons. ISBN: 1930665733

- Nixon KC. 1993, The genus *Quercus* in Mexico. In: Nixon KC, Ramamoorthy T, Bye R, Lot A, Fa F. eds. *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. New York: Oxford University Press, pp. 447-458. ISBN: 0-19-506674-X
- Pausas JG, Keeley JE, Schwilk DW. 2017. Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology* **105**: 289-297. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691>
- Pérez-Calix E. 1996. Flora y vegetación de la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XII* **13**: 1-76. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.155.1996.XIII>
- Perry DA, Oren R, Hart SC. 2008. *Forest ecosystems*. Baltimore, United States, The Johns Hopkins University Press. ISBN: 0801888409
- Ponce-Calderon L, Rodriguez-Trejo D, Villanueva-Diaz J, Bilbao B, Alvarez-Gordillo G, Vera-Cortes G. 2021. Historical fire ecology and its effect on vegetation dynamics of the Lagunas de Montebello National Park, Chiapas, México. *iForest - Biogeosciences and Forestry* **14**: 548-559. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3682-014>
- Prado Ortíz A. 1981. Campo experimental forestal Barranca de Cupatitzio, Mich. *Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales* **1**: 39-47.
- R-Core-Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M, Williams-Linera G. 2001. Anthropogenic disturbance and tree diversity in montane rain forests in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* **154**: 311-326. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00639-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00639-3)
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México*. México, DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sánchez O, Vega E, Peters E. 2003. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México: Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT). ISBN: 968-817-610-9
- Silva Sáenz P. 2019, Gimnospermas: ahuehuetes, pinos, cedros y cícadas. In: CONABIO eds. *La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado Vol II*. Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), pp. 203-223. ISBN: 978-607-7607-51
- Suárez-Mota ME, Téllez-Valdés O, Lira-Saade R, Villaseñor JL. 2013. Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences* **91**: 93-105. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.405>
- Takaki Takaki F, Victoria Hernández A, Díaz Ríos R, Malaquías González SD, Carranza González E, Blanco-García A. 2019, Tipos de vegetación conforme al sistema INEGI. In: CONABIO eds. *La Biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, Vol. I*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), pp. 297-318. ISBN: 978-607-7607-51
- Techel G, Lemenih M, Pistorius T. 2019. Planning FLR for the landscape between Chebera Churchura National Park and Kafa Biosphere Reserve. *Land Use Policy*. **104**:104242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104242>
- Tyc G, Tulip J, Schulten D, Krischke M, Oxford M. 2005. The RapidEye mission design. *Acta Astronautica* **56**: 213-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.09.029>
- Valdez Campos E. 2012. *Composición, estructura y diversidad de las comunidades vegetales con diferentes estadios sucesionales del Cupatitzio*. Bsc Thesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Valencia-Avalos S. 2020, I Introducción. Importancia de los encinos. In: Rodríguez-Acosta M, Coombe AJ eds. *Manual para la Propagación de Quercus: Una Guía Fácil y Rápida para Cultivar Encinos en México y América Central*. Puebla, México: Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, pp. 1-4.
- van Breugel M, Bongers F, Norden N, Meave JA, Amisshah L, Chanthorn W, Chazdon R, Craven D, Fariior C, Hall JS. 2023. Feedback loops drive ecological succession; towards a unified conceptual framework. Preprint DOI: <https://doi.org/10.32942/X2R887>

- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Villaseñor JL, Ortiz E. 2007. La Familia Asteraceae en la Faja Volcánica Transmexicana. In: Luna I, Morrone JJ, Espinoza D, eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. DF México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 289-310. ISBN: 970-324871-3
- Whittaker RH. 1975. *Communities and ecosystems*. USA: Macmillan. ISBN: 0024273902
- Woodwell GM, Whittaker RH. 1968. Primary production in terrestrial ecosystems. *American Zoologist* **8**: 19-30. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/8.1.19>
- Zacarias-Eslava LE, Cornejo-Tenorio G, Cortés-Flores J, González-Castañeda N, Ibarra-Manríquez G. 2011. Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 854-869. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.684>

---

**Editor de sección:** Pedro Valverde

**Contribuciones de los autores:** MMT conceptualizó el estudio, realizó trabajo de campo, colectó y revisó los datos, redactó la primera versión del manuscrito y adquirió los recursos financieros. ESG colectó datos, estableció unidades de muestreo, y colectó ejemplares botánicos. EPC colectó datos, contribuyó con la identificación de las especies y adquirió los recursos financieros. Todos los autores contribuyeron críticamente a la versión final del manuscrito.

**Entidades Financiadoras:** Esta investigación fue apoyada de manera participativa por el grupo organizado de ciudadanos en el marco del proyecto denominado “Monitoreo y Conservación de Especies”, con número de folio CONANP/PROCODES/6558/2018. Los recursos financieros para llevar a cabo el proyecto también fueron aportados por Instituto de Ecología A.C., mediante el proyecto No. 20047/90014 otorgado a MMT. El estudio forma parte de las actividades que MMT desarrolla en el proyecto de cátedras CONAHCYT No. 673 “*Etnobiología, interacciones biológicas y restauración ecológica en el Centro-Occidente de México*”.

**Conflictos de interés:** Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, económicos o personales, en la información, presentación de datos y resultados de este artículo.