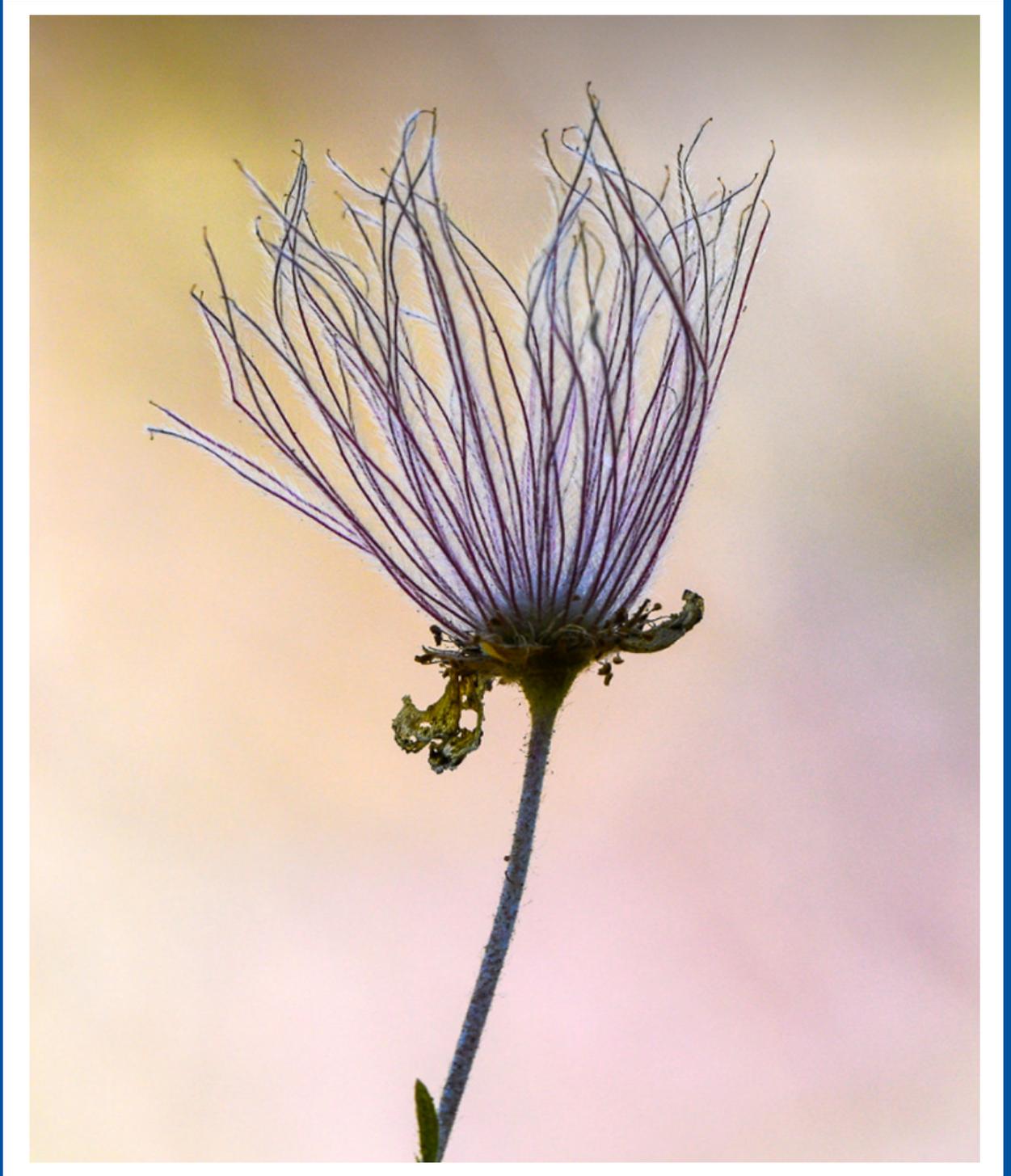


# POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768



Núm. 51

 **CONACYT**  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Enero 2021

SEP



Enero 2021

Núm. 51

POLIBOTÁNICA



CONACYT

## PÁG.

## CONTENIDO

- 1 La familia Rosaceae en México.  
*The Rosaceae family in Mexico.*  
Rzedowski, J.
- 17 Orquídeas de los municipios de Santo Domingo Yanhuitlán y San Pedro y San Pablo Teposcolula, Oaxaca.  
*Orchids from the municipalities of Santo Domingo Yanhuitlán and San Pedro y San Pablo Teposcolula, Oaxaca.*  
Ibarra-Contreras, C.A. | R. Solano | L. Paz-Cruz | C. Pérez-Domínguez | L. Lagunez-Rivera
- 43 Caracterización de la variación morfológica de *Cyanotetras* (Cyanobacteria) en el Lago de Catemaco Veracruz, México.  
*Characterization of morphological variation of Cyanotetras (Cyanobacteria) in Catemaco Lake, Veracruz, Mexico.*  
Muciño-Márquez, R.E. | R.O. Echenique | I. Gárate-Lizárraga | M.G. Figueroa-Torres | A. Esquivel-Herrera
- 55 Estructura vertical de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México.  
*Vertical structure of a gallery forest on an altitude gradient in northwestern of Mexico.*  
Holguín-Estrada, V.A. | Alanís-Rodríguez E. | Aguirre-Calderón O.A. | J.I. Yerena-Yamallel | M.Á. Pequeño-Ledezma
- 73 Diversidad arbórea nativa: base para el diseño de sistemas agroforestales en una comunidad maya en la Península de Yucatán, México.  
*Native tree diversity: basis for the design of agroforestry systems in a mayan community in the Yucatan Peninsula, Mexico.*  
Dzib-Castillo, B. B. | H. Van der Wal | V. Cervantes-Gutiérrez | W. Cetzal-Ix | C. I. Chanatásig-Vaca | F. Casanova-Lugo
- 91 Estructura y diversidad arbórea de un bosque de galería urbano en el Río Camachito, noreste de México.  
*Tree structure and diversity of an urban gallery forest in the Camachito River, northeast Mexico.*  
Canizales-Velázquez, P.A. | E. Alanís-Rodríguez | S. A. García-García | V. A. Holguín-Estrada | A. Collantes-Chávez-Costa
- 107 Estructura y diversidad del matorral xerófilo en el noreste de México.  
*Structure and diversity of the xerophilous scrub in northeast Mexico.*  
Reyna-González, A. M. | P.S. Soto-Borrego | E. Alanís-Rodríguez | V. M. Molina-Guerra | A. Collantes-Chávez-Costa
- 123 Fenología floral de nueve variedades de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch).  
*Floral phenology of nine poinsettia varieties (Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch).*  
Rodríguez-Rojas, T. de J. | M. Andrade-Rodríguez | A. Castillo-Gutiérrez | O.G. Villegas-Torres
- 141 Micropropagación del lirio amazónico (*Eucharis grandiflora* Planch. & Linden) mediante organogénesis directa.  
*Micropropagation of amazon lily (Eucharis grandiflora Planch. & Linden) through direct organogenesis.*  
Guerrero-Valencia, F.A. | J.L. Rodríguez-de la O | M. de J. Juárez-Hernández | J. Ayala-Arreola | G. Ramírez-González
- 155 Caracterización micrográfica de tres frutos tropicales, *Musa paradisii* L., *Persea americana* Mill. y *Physalis peruviana* L. Importancia en el control de calidad botánico de alimentos derivados.  
*Micrographic characterization of three tropical fruits, Musa paradisii L., Persea americana Mill. and Physalis peruviana L. Significance in the definition of botanical quality of derived foods.*  
Gimenez, L. A. S. | M. A. Rivas | N. D. Vignale | A. A. Gurni
- 171 Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus* L.): observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad para estudios de fitotoxicidad.  
*Seeds of radishes (Raphanus sativus L.): observations of its morphology under electron microscopy, germination and usefulness for phytotoxicity studies.*  
Taladrid, I. J. | M.B. Espinosa
- 185 Diversidad genética de la chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I. M. Johnst. ssp. *aconitifolius*) en Yucatán, México, su posible centro de domesticación.  
*Genetic diversity of chaya (Cnidoscolus aconitifolius (Mill.) I. M. Johnst. ssp. aconitifolius) in Yucatan, Mexico, its putative domestication center.*  
Chin-Chan, T. | M.M. Ortiz-García | P.J. Ruiz-Gil | J. Martínez-Castillo
- 203 Caracterización química de los volátiles de *Tagetes nelsonii*.  
*Chemical characterization of the volatiles of Tagetes nelsonii.*  
Cruz Flores, O. | M. Espinoza Ruiz | A. Santiesteban Hernández | L. Cruz-López
- 213 Extractos vegetales para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro, en periodo de floración y poscosecha del fruto de *Carica papaya*.  
*Plant extracts for control of Colletotrichum gloeosporioides in vitro and flowering period and postharvest stage on Carica papaya.*  
García-Mateos, M.R. | M. Acosta-Ramos | E. Rodríguez-Pérez | J. Vásquez-Sánchez | L. Hernández-Ramos
- 229 Importancia relativa de frutos y verduras comercializadas en el Mercado de Izúcar de Matamoros, Puebla, México.  
*Relative importance of fruits and vegetables commercialized in the Izúcar de Matamoros Market, Puebla, Mexico.*  
Martínez Moreno, D. | J. Reyes Matamoros | A.L. López Pérez | F. Basurto Peña

## Portada

*Fallugia paradoxa* (D. Don) Endl. ex Torr.  
Rosaceae. “Penacho de Apache”

Arbustos de hasta 2 m de altura. Hojas de 6-8 mm de largo, en fascículos, usualmente caducas. Flores blancas y vistosas, generalmente unisexuales de 3 cm de diámetro. Aquenios obovoides-fusiformes, cada uno con un estilo que se modifica en una pluma rosada o violácea, retorcida y vellosa, de hasta 3 cm de largo, la “pluma” ayuda a dispersar las semillas por el viento. Prospera en matorral xerófilo. Se usa en la cestería para construir cunas, escobas y flechas, se considera valiosa para el control de la erosión en las zonas desérticas. Distribución: Noroeste de México y Sur de Estados Unidos.



Shrubs up to 2 m tall. Leaves 6-8 mm long, in fascicles, usually deciduous. Flowers white and showy, generally unisexual, 3 cm in diameter. Achenes obovoid-fusiform, each with a style that is modified into a pink or purplish, twisted and hairy feather, up to 3 cm long, the “feather” helps to disperse the seeds by the wind. Prosper in xerophilous scrub. It is used in basketry to build cradles, brooms and arrows, it is considered valuable for erosion control in desert areas. Distribution Northwest of Mexico and South of the USA.

por/by **Rafael Fernández Nava**



## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

Secretaria General: *M.en D.D.C. María Guadalupe Vargas Jacobo*

Secretario Académico: *Dr. Jorge Toro González*

Secretario de Extensión e Integración Social: *Dr. Luis Alfonso Villa Vargas*

Secretario de Investigación y Posgrado: *Dr. Juan Silvestre Aranda Barradas*

Secretario de Servicios Educativos: *Dra. Ana Lilia Coria Páez*

Secretario de Administración: *C.P. Jorge Quintana Reyna*

Director de Educación Superior: *Ing. Juan Manuel Velázquez Peto*

## ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director:

*Dr. Gonzalo Trujillo Chávez*

Subdirectora Académica:

*M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes*

Subdirector Administrativo: *Ing. Raúl Chávez Alviricio*

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

*Dr. Gerardo Aparicio Ozores*

---

**POLIBOTÁNICA**, Año 26, No. 51, enero-junio 2021, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

# REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## EDITOR EN JEFE

*Rafael Fernández Nava*

## EDITORA ASOCIADA

*María de la Luz Arreguín Sánchez*

## COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

*Christiane Anderson*  
University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan, US

*Edith V. Gómez Sosa*  
Instituto de Botánica Darwinion  
Buenos Aires, Argentina

*Heike Vibrans*  
Colegio de Postgraduados  
Estado de México, México

*Jorge Llorente Bousquets*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Graciela Calderón de Rzedowski*  
Instituto de Ecología del Bajío  
Pátzcuaro, Mich., México

*Delia Fernández González*  
Universidad de León  
León, España

*Theodore S. Cochrane*  
University of Wisconsin  
Madison, Wisconsin, US

*Jerzy Rzedowski Rotter*  
Instituto de Ecología del Bajío  
Pátzcuaro, Mich., México

*Hugo Cota Sánchez*  
University of Saskatchewan  
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

*Luis Gerardo Zepeda Vallejo*  
Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, México

*Fernando Chiang Cabrera*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Claude Sastre*  
Muséum National d'Histoire Naturelle  
Paris, Francia

*Thomas F. Daniel*  
California Academy of Sciences  
San Francisco, California, US

*Mauricio Velayos Rodríguez*  
Real Jardín Botánico  
Madrid, España

*Francisco de Asis Dos Santos*  
Universidad Estadual de Feira de Santana  
Feira de Santana, Brasil

*Noemi Waksman de Torres*  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Monterrey, NL, México

*Carlos Fabián Vargas Mendoza*  
Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, México

*Julieta Carranza Velázquez*  
Universidad de Costa Rica  
San Pedro, Costa Rica

*José Luis Godínez Ortega*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Tom Wendt*  
University of Texas  
Austin, Texas, US

*José Manuel Rico Ordaz*  
Universidad de Oviedo  
Oviedo, España

## DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

*Luz Elena Tejeda Hernández*

## OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

*Pedro Aráoz Palomino*

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

**Dr. Rafael Fernández Nava**  
Editor en Jefe de

## POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional  
Apdo. Postal 17-564, CP 11410, Ciudad de México

Correo electrónico:  
*polibotanica@gmail.com*  
*rfernan@ipn.mx*

Dirección Web  
*http://www.polibotanica.mx*

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CONACYT, índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de innovación y conocimiento científico.

LATINDEX, Sistema regional de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

PERIODICA, (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias).



# ESTRUCTURA VERTICAL DE UN BOSQUE DE GALERÍA EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO

## VERTICAL STRUCTURE OF A GALLERY FOREST ON AN ALTITUDE GRADIENT IN NORTHWESTERN OF MÉXICO

**Holguín-Estrada, V.A.; Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O.A., J.I. Yerena-Yamallel y M.Á. Pequeño-Ledezma**

ESTRUCTURA VERTICAL DE UN BOSQUE DE GALERÍA EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO.

VERTICAL STRUCTURE OF A GALLERY FOREST ON AN ALTITUDE GRADIENT IN NORTHWESTERN OF MÉXICO.

## ESTRUCTURA VERTICAL DE UN BOSQUE DE GALERÍA EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO.

### VERTICAL STRUCTURE OF A GALLERY FOREST ON AN ALTITUDE GRADIENT IN NORTHWESTERN OF MÉXICO.

Holguín-Estrada, V.A.;  
Alanís-Rodríguez, E.,  
Aguirre-Calderón, O.A.,  
J.I. Yerena-Yamallel  
y M.Á. Pequeño-Ledezma

ESTRUCTURA VERTICAL  
DE UN BOSQUE DE  
GALERÍA EN UN  
GRADIENTE ALTITUDINAL  
EN EL NOROESTE DE  
MÉXICO.

VERTICAL STRUCTURE OF  
A GALLERY FOREST ON  
AN ALTITUDE GRADIENT  
IN NORTHWESTERN OF  
MÉXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 51: 55-71. Enero 2021

DOI:  
10.18387/polibotanica.51.4

V.A. Holguín-Estrada  
E. Alanís-Rodríguez / [eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx](mailto:eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx)

O. A. Aguirre-Calderón

J.I. Yerena-Yamallel

M.Á. Pequeño-Ledezma

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,  
Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. postal 41, 67700  
Linares, Nuevo León, México.*

**RESUMEN:** La mayoría de los estudios relacionados con estructura y composición de comunidades arbóreas son implementados al nivel horizontal, solamente algunos consideran la vertical. El objetivo de este estudio fue describir la diversidad y estructura vertical de comunidades de árboles a lo largo de un gradiente altitudinal en el arroyo Las Tinajas en Guachochi, Chih, México y brindar un antecedente de la conformación de las especies de dicha área evaluada para favorecer a la toma de decisiones de manejo. Se consideraron tres amplitudes de altitud: 1 (1831-2009 m), 2 (2010-2188 m) y 3 (2189-2368 m), en las cuales se usaron parcelas rectangulares de 500 m<sup>2</sup> (20\*25 m), dentro de estas se midió al arbolado las variables de: diámetro a 1.30 m y altura total, así como en general, la pendiente y altitud. Mediante el índice de Ptrezsch, se hizo la clasificación de tres estratos de altura. Se determinó la composición específica, abundancia, dominancia, frecuencia, diversidad e índice de valor de importancia (IVI) de las especies por estrato de altura por amplitud, así como valores medios, mínimos y máximos de diámetro normal y altura. La estructura vertical, reveló que el Rango 2 fue mayor, con A de 2,79 contra 2,51 del Rango 3 y 2,02 del Rango 1. El estrato bajo de cada amplitud de altitud fue el que concentró mayor número de individuos por hectárea, la altura máxima se observó en el Rango 2 con 32 m, con 27 m el Rango 3 y 17 m en el Rango 1. Los rangos de altitud estudiados están conformados por tres estratos de altura, pero cada uno de ellos difiere entre sí por amplitud de altitud, muestra de que la estructura vertical de cada amplitud de altitud tiene una conformación de alturas, individuos y especies distinta.

**Palabras clave:** Altura máxima; diversidad; distribución continua; estratos; índice de Pretzsch.

**ABSTRACT:** Most of the studies related to the structure and composition of tree communities are implemented at the horizontal level, only some consider the vertical. The objective of this study was to describe the diversity and vertical structure of tree communities along an altitudinal gradient in the Las Tinajas stream in Guachochi, Chih, Mexico, and provide an antecedent of the conformation of the species of said determined area to favor management decision making, three altitude amplitudes were considered: 1 (1831-2009 m), 2 (2010-2188 m) and 3 (2189-2368 m), in which rectangular plots of 500 m<sup>2</sup> (20 \* 25 m) were used, within these, the variables of: diameter at 1.30 m and total height were measured in trees, as well as in general, the slope and altitude. Using the Ptrezsch index, the three strata of height were classified. The specific composition, abundance, dominance, frequency, diversity and importance value index (IVI) of the species by height stratum by amplitude, as well as mean,

minimum and maximum values of normal diameter and height were determined. The vertical structure revealed that Rank 2 was higher, with A 2.79 against 2.51 in Rank 3 and 2.02 in Rank 1. The lower stratum of each altitude range was the one that concentrated the greatest number of individuals per hectare, the maximum height was observed in Range 2 with 32 m, with 27 m in Range 3 and 17 m in Range 1. The studied altitude ranges are made up of three height strata, but each of them differs from each other by altitude amplitude, showing that the vertical structure of each altitude amplitude has a different conformation of heights, individuals and species.

**Keywords:** Maximum height; diversity; continuous distribution; strata; Pretzsch index.

## INTRODUCCIÓN

La vegetación riparia o bosque de galería es un ecosistema exuberante que se diferencia de su entorno, se desarrolla en los márgenes de los cuerpos de agua lóticos (arroyos, ríos, lagos, canales) y forma una franja estrecha de vegetación que cumple en muchas ocasiones la función de corredor biológico entre comunidades aisladas (Alanis Flores *et al.*, 1996; Sánchez M, 2006).

Desde el punto de vista fisonómico y estructural los bosques de galería son un conjunto muy heterogéneo; con alturas de 4 a 40 m, que en pocas ocasiones forman masas de una sola especie; por lo general existe alternancia de especies que, como lo señala Sánchez Silva (1986), pueden cambiar en corta distancia o bien presentarse en asociaciones vegetales.

La estructura de una comunidad biológica se define, básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y temporal de los elementos que lo constituyen (Aguirre Calderon *et al.*, 2003). En consecuencia, estudiar y entender la estructura de los rodales constituye una premisa para lograr una gestión adecuada con fines de conservación y restauración (Clark *et al.*, 2015; Urbietta, 2009). Por su alta fragilidad, la estructura arbórea es un aspecto relevante en el ámbito forestal, lo que repercute en una fácil modificación. Usualmente la estructura, está referida a la forma en que los atributos de los árboles se distribuyen en las comunidades (Bettinger *et al.*, 2008; Gadow *et al.*, 2012). Su importancia biológica es su autorganización, la cual involucra la regeneración, el crecimiento y a la mortalidad de los árboles; así como, una variedad de interacciones entre individuos que, a su vez afecta las propiedades del ecosistema (Carvalho, 2011; Gadow *et al.*, 2012).

En los últimos años se han realizado diversos estudios que evalúan la diversidad y estructura de la vegetación arbórea con interés maderable, algunos de estos se han empleado en bosques templados del noroeste de México (Graciano-Ávila *et al.*, 2017; Hernandez-Salas *et al.*, 2013; Nívar, 2009), sin embargo, estos estudios determinan principalmente la composición y estructura horizontal de las masas forestales y solo algunos consideran la estructura vertical, la cual está determinada por la distribución de distintas especies arbóreas que componen un ecosistema y ocupan sitios definidos en respuesta a los factores microclimáticos, gradientes ambientales, disturbio natural o al provocado por los humanos (Remmert, 1991). Cada ecosistema posee una estratificación y heterogeneidad espacial única, dada por la estructura vertical y horizontal de los taxa que lo integran (Dajoz, 2002), el orden vertical se caracteriza por la diferenciación de categorías de altura (Zarco-espinosa *et al.*, 2010) por lo que es de gran importancia realizar estudios que le den atribución a el análisis de este complemento, dado a que pocos estudios en México consideran la estructura vertical de las especies. En base a esto, el objetivo de este estudio fue evaluar la diversidad y estructura vertical de las especies arbóreas presentes en un gradiente altitudinal en el arroyo las Tinajas en Guachochi, Chih, México y brindar un antecedente de la conformación de las especies de dicha área evaluada para favorecer a la toma de decisiones de manejo, así mismo de esta manera contribuir con información de la composición de comunidades de bosques de galería templados.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área se encuentra en la región suroeste del estado de Chihuahua en lo que se conoce como Alta Sierra Tarahumara, dentro del municipio de Guachochi en el ejido llamado por el mismo nombre. Las coordenadas de ubicación de la parte de mayor altitud son 295107 E, 2965024 N, y de la parte baja son 296108 E, 2960697 N (Figura 1), la longitud del área de estudio es de aproximadamente 5 km. Se caracteriza por tener un clima templado, con temperaturas medias anuales de alrededor de 15°C y precipitaciones medias entre 500 mm y 1 000 mm anuales (García Romero *et al.*, 2009).

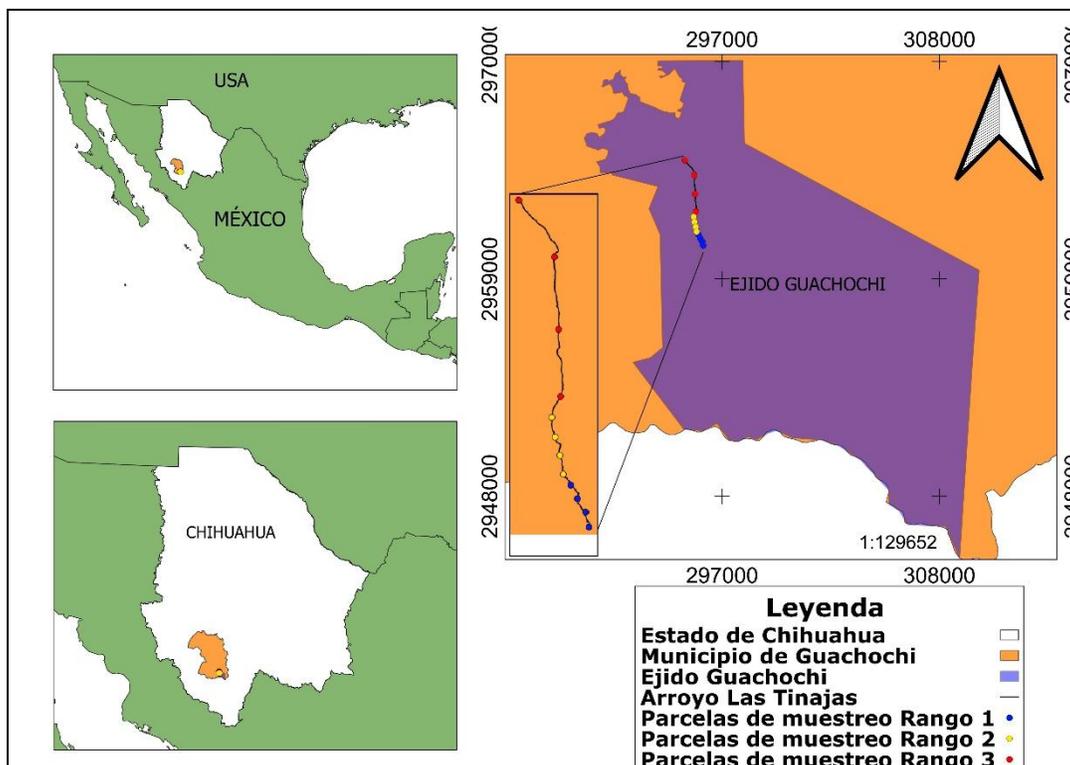


Fig. 1. Localización del área de estudio.

### Análisis muestral

Se realizó un recorrido preliminar y un análisis de imágenes satelitales para determinar las comunidades vegetales y el régimen de agua del arroyo que presentaba heterogeneidad. El régimen del arroyo fueron escorrentías semipermanentes y temporales.

Se realizó un muestreo sistemático estratificado; en este tipo de muestreo la comunidad en estudio se separa en subgrupos o estratos que tienen cierta homogeneidad. Después de la separación de acuerdo con el rango altitudinal y régimen del arroyo, en cada subgrupo se realizó un muestreo sistemático (Mostacedo & Fredericksen, 2000). Los subgrupos fueron denominados Rango 1, Rango 2 y Rango 3; el Rango 1 presenta escorrentías semipermanentes en un rango altitudinal de 1831 a 2009 m, el Rango 2 escorrentías semipermanentes en un rango altitudinal de 2010 a 2188 m y el Rango 3 presenta escorrentías temporales en un rango altitudinal de 2189 a 2368 m.

Se establecieron cuatro parcelas de muestreo en cada rango altitudinal, teniendo 12 parcelas de muestreo en total. Las parcelas fueron rectangulares de 500 m<sup>2</sup> (20\*25 m) para evaluar las especies arbóreas ( $d_{1,30} > 7,5$  cm) y dentro de ellas se estableció una parcela de 100 m<sup>2</sup> (5\*20 m) para evaluar la regeneración ( $d < 7,5$  cm y  $h > 25$  cm). En cada parcela de muestreo se identificaron las especies vegetales y se midió el diámetro normal (diámetro a 1,30 m de altura) mayor a 7,5 cm con una forcípula Haglöf Mantax Blue® 1270 mm y la altura total ( $h$ ) con un hipsómetro Suunto PM-5. Por parcela de muestreo se registró la altitud (m).

#### Análisis de datos

Para cada uno de los estratos de altura por rango de altitud, se determinaron los índices de importancia ecológica de las especies. Se analizaron con base en los valores relativos de abundancia de acuerdo con el número de árboles por hectárea (N/ha), dominancia con respecto al área basal (G m<sup>2</sup>/ha) y frecuencia, como el número de sitios en los que estuvo presente la especie  $i$ . Los valores relativos de los atributos estructurales se combinaron en el valor de importancia relativa (IVI o VIR) (Magurran, 2004; Mostacedo & Fredericksen, 2000). Esto con la intención de analizar la importancia ecológica de cada especie en los tres estratos de altura.

$$IVI = (Ar + Dr + Fr)/3$$

La abundancia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Ar = \left(\frac{n}{N}\right) * 100$$

Donde  $A_r$  es la abundancia relativa de la especie  $i$  con respecto a la abundancia total,  $n$  es el número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  el número total de individuos.

La dominancia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Dr = \left(\frac{g}{G}\right) * 100$$

$$G = \sum_{i=1}^N gi$$

Donde  $D_r$  es la dominancia relativa de la especie  $i$  respecto a la dominancia total,  $g$  es el área basal de la especie  $i$ , siendo  $G$  el área basal total.

La frecuencia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Fr = \left(\frac{m}{M}\right) * 100$$

Donde  $F_r$  es la frecuencia relativa de la especie  $i$  con respecto a la frecuencia total,  $m$  la frecuencia de las especies  $i$  en los sitios de muestreo y  $M$  el número total de sitios de muestreo.

#### Estructura vertical

La estructura vertical se determinó de acuerdo con el índice Pretzsch ( $A$ ) (modificación del índice de Shannon), consiste en dividir la estructura vertical en tres estratos. El estrato I (alto) que corresponde al intervalo de 80-100 %, donde el árbol más alto representa 100%; a partir de este, se clasifican los siguientes estratos: el II (medio), se refiere al intervalo de 50-80% y el III (bajo), de 0-50% (Aguirre Calderon, 2002; Pretzsch, 2009) (fig. 2). Del índice  $A$  se derivan el

$A_{max}$ , que corresponde al valor máximo de  $A$ , dado por el número de especies y zonas de altura; y el  $A_{rel}$ , que es la estandarización en porcentaje del índice  $A$ .

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

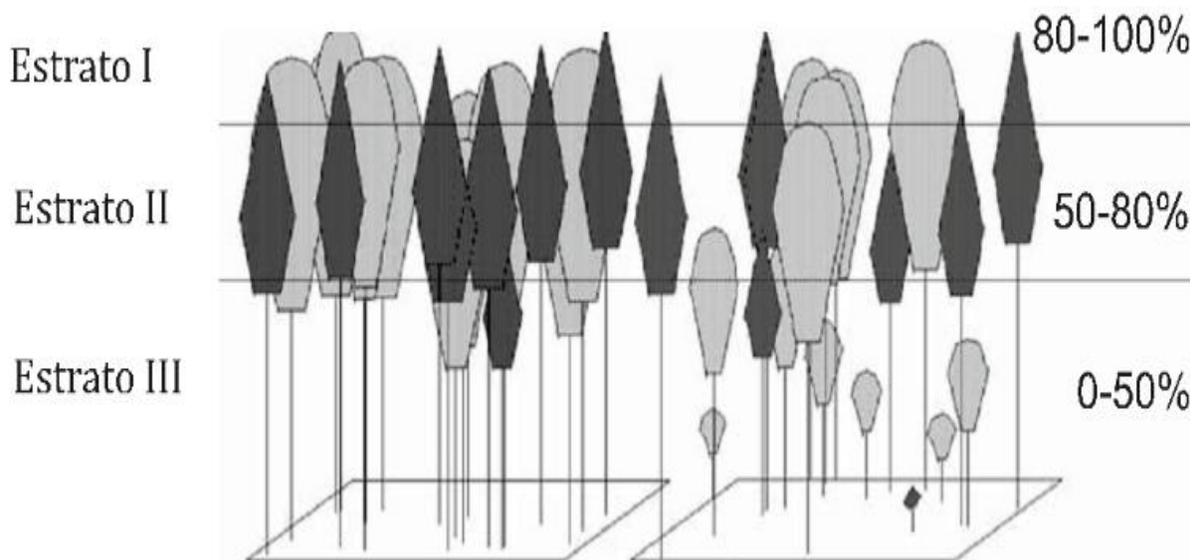
$$A_{max} = \ln (S * Z)$$

$$A_{rel} = \frac{A}{\ln (S * Z)} * 100$$

Donde  $S$  es el número de especies en el área muestreada,  $Z$  es el número de estratos con respecto a la altura del bosque.

$$P_{ij} = n_{i,j} / N$$

Donde  $n_{i,j}$  es el número de individuos de la misma especie ( $i$ ) en la zona ( $j$ ) y  $N$  el número total de individuos.



**Fig. 2.** Clasificación para el análisis de la distribución vertical de especies arbóreas (Imagen tomada de Pretzsch, 2009).

### Diversidad de especies

La mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Dentro de los índices más populares para evaluar las comunidades vegetales basado en la cuantificación del número de especies presentes es el índice de Margalef (Moreno & Halffter, 2001).

El índice de riqueza de Margalef se estimó con la siguiente ecuación.

$$DMg = (S - 1) / \text{Log}N$$

Donde  $S$  es el número de especies y  $N$  el número total de individuos.

Un índice de uso común basado en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de cada especie es el índice de Shannon (Alanís Rodríguez *et al.*, 2015; Shannon, 1948).

El índice de Shannon se estima con la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^S Pi * \ln (Pi)$$

Donde  $S$  es el número de especies presentes,  $\ln$  es logaritmo natural y  $pi$  es la proporción de las especies.  $pi=ni/N$ ; donde  $ni$  es el número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  es el número total de individuos.

#### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía ( $p < 0,05$ ) para determinar diferencias significativas respecto a el índice de Pretzsch, densidad (individuos por ha) y área basal por rango altitudinal, para analizar la altura, se seleccionó el 20 % de los individuos más altos y se estimó la altura media (Kramer & Akça, 1995). Para la comparación de medias se empleó la prueba post hoc de Tukey's HSD ( $p < 0,05$ ). Las pruebas se realizaron utilizando Minitab® 18.1.

## RESULTADOS

Se registraron 279 individuos de árboles en el muestreo realizado, pertenecientes a 18 especies, seis familias y ocho géneros. De ellas, en el Rango 1 se obtuvo 250 individuos por ha de siete especies, en el Rango 2, 505 individuos por ha de 15 especies y en el Rango 3, 15 especies y 640 individuos por ha. (Tabla 1).

**Tabla 1.** Número de especies, géneros, familias y densidad por rango altitudinal.

Variable	Rango (altitud, m)		
	Rango 3 (2189-2368)	Rango 2 (2010-2188)	Rango 1 (1831-2009)
Número de especies	15	15	7
Densidad	640	505	250

#### Índice A de Pretzsch

Se obtuvieron para cada rango de altitud las diferentes clases de altura (Tabla 2), en dependencia de la altura máxima de la especie registrada en cada rango con base en Pretzsch (2009).

**Tabla 2.** Clasificación de clases de altura del arbolado por rango de altitud (m).

	Clase de altura %	Rango 1 (1831-2009)	Rango 2 (2010-2188)	Rango 3 (2189-2368)
<b>Estrato I</b>	<b>80 – 100</b>	13,6 – 17,0	25,6 – 32,0	21,6 – 27,0
<b>Estrato II</b>	<b>50 – 80</b>	8,5 – 13,5	16 – 25,5	13,5 – 21,5
<b>Estrato III</b>	<b>0 – 50</b>	0 – 8,4	0 – 15,9	0 – 13,4

**Distribución vertical (Rango 1)**

El valor del índice  $A$  obtenido en el Rango 1 fue de 2,02, con  $A_{max}$  de 3,04 y un  $A_{rel}$  de 66,24 %, valores parecidos al Rango 3, con un 33,76 % de la máxima diferenciación dimensional.

*Valores de importancia.* *Cupressus lusitanica* y *Alnus oblongifolia* son las especies que tienen distribución en todos los estratos de altura, *C. lusitanica* es la especie más importante en el Estrato I y Estrato II aportando valores de importancia de 46,61 % y 41,57% respectivamente, esta especie ocupa el tercer lugar en valor de importancia en el Estrato III 7,70%. El Estrato I de los rangos 3 y 2, cuenta con dos especies que lo conforman, a diferencia del Estrato I del Rango 1 que presenta a *C. lusitanica*, *P. durangensis* y *A. oblongifolia* como las especies que lo conforman. En el Estrato III *Q. crassifolia* es la especie con mayor importancia 59,96% de  $IVI$ , seguida de *A. oblongifolia* con 19,31% y *C. lusitanica* como se mencionó anteriormente (Tabla 3).

*Variables de sitio.* El Estrato I presenta 58,29 cm de diámetro promedio para *P. durangensis*, y 37,90 cm de diámetro promedio para *C. lusitanica*; la altura máxima es de 17 m. El Estrato II tiene un diámetro promedio mayor de 39,26 cm en *P. ayacahuite* y diámetro promedio menor para *Q. crassifolia* de 22,42 cm; la altura máxima es de 13 m. Por último, se tiene un diámetro de 27,50 cm como promedio mayor para la especie de *A. oblongifolia* y menor de 12,19 cm en *P. engelmannii*, altura máxima de sus especies de 8,00 m (Tabla 3).

Para el Rango 1 en general se obtuvo una media de 26,19 cm, con una desviación estándar de 13,59, y una altura media de 8,90 con desviación estándar de 3,75; el estrato 1 presentó una media de 40,49 cm de diámetro, desviación estándar de 15,47, altura media de 14,00 m y desviación estándar de 1,53; el estrato 2 presentó una media de 26,21 cm de diámetro y desviación estándar de 8,49, altura media de 9,47 m y desviación estándar de 1,61 y el estrato 3 presentó una media de 17,15 cm de diámetro con desviación estándar de 7,85, una altura media de 5,10 m con desviación estándar de 1,24.

**Tabla 3.** Resultados para el Rango 1.

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	Dn (cm)			At (m)		
		%	%	%	%	Media	Mín	Max	Media	Mín	Max
I	<i>Cupressus lusitanica</i>	57,14	42,69	40	46,61	37,90	18,00	50,80	15,00	14,00	17,00
	<i>Pinus durangensis</i>	28,57	45,76	40	38,11	58,29	52,07	64,52	15,50	15,00	16,00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	14,29	11,55	20	15,28	41,66	41,66	41,66	14,00	14,00	14,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	–	–	–	–	–	–
II	<i>Cupressus lusitanica</i>	41,18	53,54	30	41,57	34,08	20,00	61,98	11,43	9,00	13,00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	29,41	18,59	30	26,00	24,38	15,00	32,00	11,20	9,00	13,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	11,76	18,75	20	16,84	39,26	30,00	48,51	11,00	11,00	11,00

	<i>Quercus crassifolia</i>	17,65	9,12	20	15,59	22,42	18,80	29,46	10,00	10,00	10,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
<b>III</b>	<i>Quercus crassifolia</i>	73,08	63,94	42,86	59,96	17,65	8,38	37,08	5,47	4,00	8,00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	15,38	28,26	14,29	19,31	27,50	24,13	35,05	8,00	8,00	8,00
	<i>Cupressus lusitanica</i>	3,85	4,98	14,29	7,70	23,37	23,37	23,37	3,00	3,00	3,00
	<i>Ilex toluicana</i>	3,85	1,47	14,29	6,53	12,70	12,70	12,70	5,00	5,00	5,00
	<i>Pinus engelmannii</i>	3,85	1,35	14,29	6,50	12,19	12,19	12,19	5,00	5,00	5,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-

### Distribución vertical (Rango 2)

El valor del índice  $A$  para el Rango 2 fue de 2,79, con un  $A_{max}$  de 3,81 y un  $A_{rel}$  de 73,18 %, para este Rango se presenta un mayor porcentaje de uniformidad en la diversidad de las alturas, al encontrarse a 26,82% de la máxima diferenciación dimensional.

Valores de importancia: Para el Rango 2, al igual que el Rango 3 existe la presencia de dos especies distribuidas en todos los estratos de altura, pero a diferencia del Rango 3, *P. durangensis* es remplazado por *Abies durangensis* con una representación de 56,66 % de IVI en el Estrato I, 41,26% en el Estrato II y 18,24% en el Estrato III. La especie que comparte esta misma distribución es *P. ayacahuite* el cual tiene una representación de 43,34% de IVI en el Estrato I, 16,24% en el Estrato II y 8,58% en el III. Éstas dos especies son las de mayor importancia ecológica para el Estrato III y Estrato II; en el Estrato III también se encuentran dentro de las tres primeras especies importantes, pero en éste, *I. toluicana* ocupa el segundo lugar de importancia con 13.48 % remplazando a *P. ayacahuite* y colocándolo en tercer lugar de importancia (Tabla 4).

Variables del sitio: *A. durangensis* fue la especie que tuvo el mayor diámetro en el Estrato I con 100,83 cm seguido por *P. ayacahuite* con 66,04 cm y una altura de 32 m y 26 m respectivamente. En el Estrato II el diámetro mayor de 84,33 cm corresponde a *Q. crassifolia* con altura promedio de 25 m, que corresponde a la altura mayor de este estrato, al igual que *Abies durangensis*. El Estrato III tiene un diámetro mayor promedio de 35,81 cm para la especie de *A. oblongifolia* con 13.50 m de altura promedio y un diámetro menor promedio de 11,81 cm para *P. durangensis*, y la altura promedio menor corresponde a *Q. hypoleucoides* con 4,75 m (Tabla 4).

Para el Rango 2 en general se obtuvo una media de 24,95 cm, con una desviación estándar de 18,62, y una altura media de 9,47 con desviación estándar de 5,90; el estrato 1 presentó una media de 59,9 cm de diámetro, desviación estándar de 22,45, altura media de 20,67 m y desviación estándar de 5,23; el estrato 2 presentó una media de 37,39 cm de diámetro y desviación estándar de 12,91, altura media de 14,38 m y desviación estándar de 3,97 y el estrato 3 presentó una media de 15,89 cm de diámetro con desviación estándar de 6,55, una altura media de 6,33 m con desviación estándar de 2,0.

Tabla 4. Resultados para el Rango 2.

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	Dn (cm)			At (m)		
		%	%	%	%	Media	Mín	Max	Media	Mín	Max
I	<i>Abies durangensis</i>	50,00	69,98	50,00	56,66	100,83	100,83	100,83	32,00	32,00	32,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	50,00	30,02	50,00	43,34	66,04	66,04	66,04	26,00	26,00	26,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
II	<i>Abies durangensis</i>	46,15	44,28	33,33	41,26	53,59	29,21	79,50	19,83	17,00	25,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	15,38	11,13	22,22	16,24	48,77	46,74	50,80	16,50	16,00	17,00
	<i>Pinus durangensis</i>	15,38	10,87	11,11	12,46	47,88	41,91	53,84	22,50	22,00	23,00
	<i>Quercus crassifolia</i>	7,69	16,61	11,11	11,80	84,33	84,33	84,33	25,00	25,00	25,00
	<i>Quercus hypoleucoides</i>	7,69	9,42	11,11	9,41	63,50	63,50	63,50	17,00	17,00	17,00
	<i>Pinus engelmannii</i>	7,69	7,70	11,11	8,83	57,40	57,40	57,40	18,00	18,00	18,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
III	<i>Abies durangensis</i>	22,09	17,24	15,38	18,24	18,14	8,89	29,21	8,79	4,00	14,00
	<i>Ilex tolucana</i>	11,63	13,42	15,38	13,48	20,40	8,89	47,24	5,40	3,00	11,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	9,30	8,73	7,69	8,58	18,95	8,89	33,78	7,25	4,00	11,00
	<i>Quercus crassifolia</i>	8,14	11,80	3,85	7,93	21,34	9,14	56,90	7,57	4,00	15,00
	<i>Cupressus lusitanica</i>	5,81	9,21	7,69	7,57	25,65	13,72	38,35	10,00	5,00	15,00
	<i>Pinus engelmannii</i>	5,81	11,95	3,85	7,20	24,59	11,68	61,98	8,40	5,00	15,00
	<i>Ilex rubra</i>	6,98	3,50	7,69	6,06	13,93	7,62	24,38	7,17	5,00	15,00
	<i>Quercus sideroxylla</i>	5,81	7,23	3,85	5,63	20,32	10,16	45,72	6,40	5,00	10,00
	<i>Pinus durangensis</i>	6,98	2,13	7,69	5,60	11,81	9,40	15,24	6,17	3,00	9,00
	<i>Quercus hypoleucoides</i>	4,65	2,18	7,69	4,84	14,41	10,41	19,56	4,75	4,00	6,00
	<i>Quercus oblongifolia</i>	5,81	3,58	3,85	4,41	16,56	13,21	23,11	7,20	5,00	9,00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	2,33	6,39	3,85	4,19	35,81	34,54	37,08	13,50	13,00	14,00
	<i>Juniperus deppeana</i>	2,33	0,94	3,85	2,37	13,72	12,70	14,73	6,00	6,00	6,00
	<i>Arbutus xalapensis</i>	1,16	0,98	3,85	2,00	19,81	19,81	19,81	5,00	5,00	5,00
<i>Quercus rugosa</i>	1,16	0,72	3,85	1,91	17,08	17,08	17,08	7,00	7,00	7,00	
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-

### Distribución vertical (Rango 3)

En el Rango 3 se obtuvo un índice de Pretzsch de 2,51 con un  $A_{max}$  de 3,81 y un  $A_{rel}$  de 65,93 %. Estos resultados indican que la distribución de las especies en los estratos de altura se encuentra en un 34,07 % de la máxima diferenciación dimensional.

Valores de importancia: *Pinus durangensis* y *P. ayacahuite* se presentaron en los tres estratos de altura para el Rango 3. *P. durangensis* contribuye con 65,80 % de IVI para el Estrato I, 16,69 % para el Estrato II y 19,80 % para el Estrato III. *P. ayacahuite* contribuye con el 34,20

%, 16,47 % y 14,38 % para cada uno de los tres estratos, respectivamente. A pesar de ello *P. duranguensis* únicamente domina en el Estrato I y Estrato III, en el Estrato II domina *Q. hypoleucoides* como la especie dominante, con un IVI de 21,56 % (Tabla 5).

Variabes del sitio: Se muestran valores promedio de 48,26 cm en diámetro para *P. duranguensis*, en el Estrato I; sin embargo, el diámetro mayor corresponde a *P. ayacahuite*, con 67,82 cm. En el Estrato II, el diámetro mayor corresponde a *Q. hypoleucoides* con 58,40 cm; en el Estrato III *Q. hypoleucoides* presenta el mayor diámetro con 48,40 cm, no obstante, éste diámetro pertenece a una abundancia muy baja tan solo de 0,92 %, por lo que las especies con diámetros más representativos de este estrato son las especies con mayor IVI: *P. duranguensis* y *Q. sideroxyla*, con diámetros promedio de 18,61 cm y 13,26 cm respectivamente (Tabla 5).

En el caso de las alturas se encontró que, *P. duranguensis* cuenta con 25 m de altura en promedio en el estrato alto, siendo esta la altura en promedio mayor. En el estrato medio la especie *P. ayacahuite*, presenta en promedio 19,50 m de altura. En el estrato bajo sucede lo mismo que para la variable diámetro donde *Q. hypoleucoides* y *P. lumholtzii* son especies que presentan mayor altura, pero con baja abundancia, por lo que considerando el grado de abundancia y altura promedio de este Rango, *P. duranguensis*, *Q. sideroxyla*, *P. ayacahuite* y *P. arizonica* representan a el estrato bajo con una altura promedio de 7,05 m (Tabla 5).

Para el Rango 3 en general se obtuvo una media de 20,09 cm, con una desviación estándar de 13,49, y una altura media de 8,36 con desviación estándar de 5,26; el estrato 1 presentó una media de 41,16 cm de diámetro, desviación estándar de 14,53, altura media de 17,81 m y desviación estándar de 5,02; el estrato 2 presentó una media de 25,09 cm de diámetro y desviación estándar de 10,70, altura media de 12,42 m y desviación estándar de 2,98 y el estrato 3 presentó una media de 14,66 cm de diámetro con desviación estándar de 8,94, una altura media de 5,38 m con desviación estándar de 1,88.

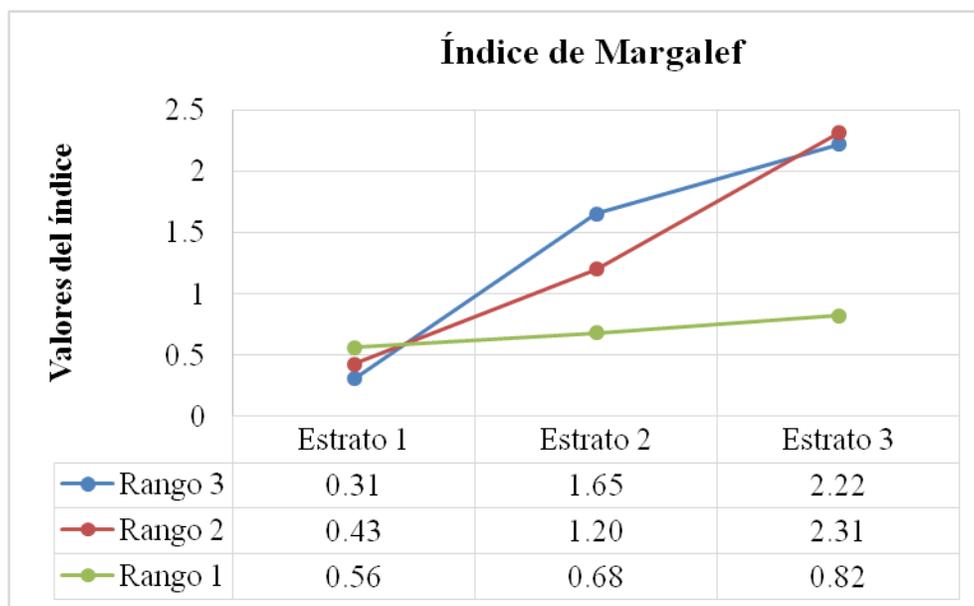
Tabla 5. Resultados para el Rango 3.

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	Dn (cm)			A <sub>t</sub> (m)		
		%	%	%	%	Media	Mín	Max	Media	Mín	Max
I	<i>Pinus duranguensis</i>	80	67,40	50	65,80	48,26	40,89	59,69	25,00	23,00	27,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	20	32,60	50	34,20	67,82	67,82	67,82	22,00	22,00	22,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
II	<i>Quercus hypoleucoides</i>	21,43	33,25	10	21,56	46,90	38,90	58,40	15,33	15,00	16,00
	<i>Quercus sideroxyla</i>	14,29	21,09	20	18,46	46,46	45,72	47,20	15,00	15,00	15,00
	<i>Pinus duranguensis</i>	14,29	15,78	20	16,69	39,75	33,78	45,72	17,50	15,00	20,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	14,29	15,13	20	16,47	38,74	31,75	45,72	19,50	19,00	20,00
	<i>Pinus arizonica</i>	21,43	12,48	10	14,64	28,96	25,40	34,04	15,00	15,00	15,00
	<i>Ilex toluhana</i>	7,14	1,67	10	6,27	18,50	18,50	18,50	17,00	17,00	17,00
	<i>Ilex rubra</i>	7,14	0,59	10	5,91	11,00	11,00	11,00	15,00	15,00	15,00
	<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
III	<i>Pinus duranguensis</i>	17,43	28,19	13,79	19,80	18,61	7,62	39,37	7,53	3,00	13,00
	<i>Quercus sideroxyla</i>	30,28	15,11	13,79	19,73	13,26	7,62	26,90	5,30	3,00	13,00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	13,76	19,02	10,34	14,38	16,84	7,87	59,00	7,67	5,00	13,00

<i>Pinus arizonica</i>	12,84	10,26	3,45	8,85	17,98	8,13	34,29	7,71	5,00	11,00
<i>Juniperus deppeana</i>	6,42	1,43	13,79	7,21	11,88	8,38	19,40	4,29	3,00	5,00
<i>Quercus hypoleucoides</i>	0,92	12,23	3,45	5,53	48,40	48,40	48,40	13,00	13,00	13,00
<i>Quercus crassifolia</i>	2,75	2,20	10,34	5,10	19,13	7,62	38,10	6,00	3,00	11,00
<i>Arbutus xalapensis</i>	3,67	3,70	6,90	4,76	21,78	7,62	46,48	5,00	3,00	8,00
<i>Ilex rubra</i>	5,50	1,53	3,45	3,50	12,82	10,40	16,50	8,83	7,00	12,00
<i>Quercus oblongifolia</i>	1,83	1,98	3,45	2,42	27,15	25,60	28,70	9,00	8,00	10,00
<i>Pinus lumholtzii</i>	0,92	1,94	3,45	2,10	38,10	38,10	38,10	12,00	12,00	12,00
<i>Pinus engelmannii</i>	0,92	1,53	3,45	1,96	33,80	33,80	33,80	6,00	6,00	6,00
<i>Ilex toluicana</i>	0,92	0,72	3,45	1,69	13,97	13,97	13,97	4,00	4,00	4,00
<i>Pinus leiophylla</i>	0,92	0,08	3,45	1,48	7,62	7,62	7,62	3,00	3,00	3,00
<i>Quercus rugosa</i>	0,92	0,08	3,45	1,48	7,62	7,62	7,62	4,00	4,00	4,00
<b>Total</b>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-

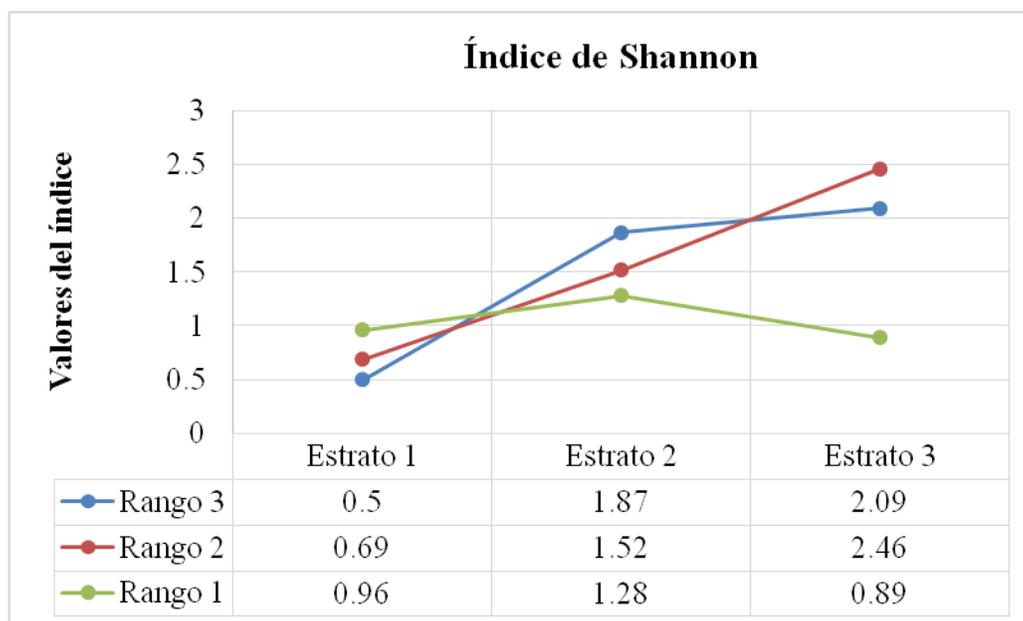
### Diversidad y riqueza de especies

La riqueza de especies mediante el índice de Margalef presentó en su mayoría valores bajos, para el Rango 3 y 2 el Estrato III presentó el mayor valor de riqueza de Margalef con 2,22 para el Rango 3 y 2,31 para el Rango 2 (fig. 3).



**Fig. 3.** Índice de riqueza de Margalef por Rango y por estrato arbóreo.

La diversidad del índice de Shannon-Wiener tuvo valores de diversidad superiores a 2, en el Estrato III para los Rangos 3 y 2, por lo que estos estratos presentan una diversidad media y los demás estratos presentaron valores menores a 2 considerados de baja diversidad (fig. 4).



**Fig. 4.** Índice de diversidad de Shannon por Rango y por estrato arbóreo.

#### **Análisis estadístico**

De acuerdo al análisis de varianza para las variables: índice de Pretzsch, densidad y área basal por rango altitudinal se encontró que, el índice de Pretzsch no presentó diferencia significativa, obteniendo un valor de ( $gl = 11, f = 3,03$  y  $p = 0,099$ ) lo que indica que los valores obtenidos son similares estadísticamente. La densidad presentó un valor de ( $gl = 11, f = 9,45$   $p = 0,006$ ) indicando que si existe diferencia significativa en al menos uno de los rangos de altitud, en base a la prueba post hoc realizada para la comparación de medias se obtuvo que el Rango 1 presenta diferencia significativa respecto al Rango 2 y Rango 3. Referente a la densidad se obtuvieron valores de  $p = 0,050$  en la comparación Rango 2 – Rango 1,  $p = 0,005$  en la comparación Rango 3 – Rango 1 y un valor de  $p = 0,344$  en la comparación Rango 2 – Rango 3. El análisis de varianza para el área basal presentó diferencia significativa con valores de ( $gl = 11, f = 4,90$  y  $p = 0,036$ ), en prueba post hoc de la comparación de medias se obtuvo un valor de  $p = 0,030$  en la comparación Rango 2 – Rango 1, siendo esta donde se presentó la diferencia en área basal. En el caso de las alturas, no se obtuvieron diferencias significativas entre los rangos, obteniendo valores de ( $gl = 11, f = 1,89$  y  $p = 0,206$ ).

#### **DISCUSIÓN**

Para la estructura vertical en general de todos los Rangos de altitud, los valores del índice de Pretzsch fueron similares entre sí, tanto valores de  $A$  como valores de  $A_{max}$  y  $A_{rel}$ , con valores de  $A$  desde 2,02 a 2,51,  $A_{max}$  de 3,04 a 3,81 y  $A_{rel}$  de 66 % a 73 %. Los valores sugieren alta diversidad de especies en la estructura vertical, pero sin una distribución uniforme en todos los estratos (Buendía-rodríguez *et al.*, 2019). Los resultados coinciden con los consignados por Rubio Camacho *et al.* (2014), con  $A_{max}$  de 3,74 y  $A$  de 2,01 en bosques mixtos; pero se encuentran por arriba de los obtenidos por Cuahutémoc Méndez *et al.* (2014) para un bosque de pino-encino con  $A$  de 1,81 y un  $A_{max}$  de 2,70, esto dependerá de si es una comunidad con perturbación o no, esto en base a que Rubio Camacho *et al.* (2014) y Cuahutémoc Méndez *et al.* (2014) evaluaron áreas con cierto grado de perturbación por incendios.

De acuerdo con Lamprecht (1990), todas las especies que se encuentren en los estratos de altura son las que presentan un comportamiento de “especies con distribución vertical continua” es decir, podremos encontrar a estas especies en todas las etapas de desarrollo de la comunidad arbórea, sin interrupción en su estructura. De igual manera Acosta *et al.* (2006) afirman que cuando una especie se ubica en todos los estratos de altura tiene asegurada su permanencia en la composición y estructura del bosque.

Por otro lado, la mayoría de las especies e individuos se ubicaron en el Estrato III para todos los Rangos de altitud, lo cual concuerda con lo registrado por Zarco-espinoza *et al.* (2010), Castellanos-Bolaños *et al.* (2010) en un bosque de clima templado frío en Oaxaca; Rubio Camacho *et al.* (2014) indican que cuando el estrato de altura inferior es superior en número de individuos y especies a los estratos sucesivos, el área evaluada corresponderá a un bosque en estado de regeneración (Acosta *et al.*, 2006).

La alta incidencia de especies y número de individuos en estratos bajos se puede explicar, debido a que las especies pueden establecerse y desarrollarse en dependencia de sus necesidades de captación lumínica (Gadow *et al.*, 2007; Louman, 2001). El crecimiento en altura depende mayormente de reaccionar a las intensidades lumínicas, lo que indica que algunas especies de porte menor no son árboles suprimidos dentro del bosque, sino que son especies (por ejemplo *Arbutus xalapensis*), que no requieren de un porte mayor para alcanzar los niveles del estrato superior, porque tienen la capacidad adaptativa para desarrollarse a plenitud en los estratos inferiores, un poco más umbríos (Lamprecht, 1990).

Los valores obtenidos en la riqueza de especies con base al índice de Margalef son indicadores de una riqueza de especies baja en general y tomando en cuenta que se realizaron por estrato de altura, ya que valores inferiores a 2 son considerados como baja diversidad y riqueza y valores superiores a 5 se consideran como indicativos de alta diversidad (Margalef, 1972), estos valores son similares a los reportados por Cuahutémoc Méndez *et al.* (2014) quien obtuvo 0,761 en el análisis postincendio en un bosque de pino-encino en la Sierra de Guerrerro, México y a Villavicencio García *et al.* (2005), quien reporto valores desde 0,92 hasta 3,67 en comunidades arbóreas de la Sierra de Quila.

Los valores obtenidos mediante el índice de Shannon-Wiener ( $< 3,0$ ) se consideran de baja diversidad (Shannon, 1948), estos resultados son similares a los graficados por Alanís Rodríguez *et al.* (2020) donde contrastaron diversas investigaciones realizadas en bosques templados en México. Estos valores están por debajo de los reportados por García García *et al.* (2019) para un bosque de pino-encino. Asimismo, otros autores reportan índices similares para bosques templados (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2008; Cuahutémoc Méndez *et al.*, 2014) y también lo que encontró Santiago-Pérez *et al.* (2014) en un bosque de galería de la sierra de Quila, Jalisco con valores de 1,8 a 2,6.

Se presentó una tendencia de decremento en el valor de los índices de riqueza y diversidad de especies de Margalef y Shannon a medida que incrementaba el estrato de altura del arbolado, esto coincide con lo reportado por Jiménez *et al.* (2001) en bosques multietáneos de pino-encino, solamente el Estrato II del Rango 1 presentó un incremento en el índice de Shannon.

## CONCLUSIONES

Los Rangos de altitud estudiados están conformados por tres estratos de altura, pero cada uno de ellos difiere entre sí por Rango de altitud, muestra de que la estructura vertical de cada Rango de altitud tiene una conformación de alturas, individuos y especies distintas, sin embargo el índice de Pretzsch fue similar entre los rangos de altitud. Los estratos bajos presentaron una diversidad media a excepción del Estrato III del Rango 1, el cual obtuvo una diversidad baja.

Escasas especies están presentes en el estrato superior, indicando que no todas las especies son capaces o necesitan alcanzar pisos superiores para desarrollarse plenamente.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor para los estudios de posgrado.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, V. H., Araujo, P. A., & Iturre, M. C. (2006). *Caracteres estructurales de las masas* (22nd ed.). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Santiago del Estero. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-22-Caracteres-estructurales-ACOSTA.pdf>
- Aguirre Calderon, O. A. (2002). Índices para la caracterización de la estructura del estrato arboreo de ecosistemas forestales. *Ciencia Forestal En México*, 27(92), 5–27.
- Aguirre Calderon, O. A., Jiménez Pérez, J., Kramer, H., & Akça, A. (2003). Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, 6(2), 219–225. <http://eprints.uanl.mx/1220/1/analisisecosistemas.pdf>
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinoza-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O. A., & González-Tagle, M. A. (2008). Evaluación del estrato arboreo en un área restaurada post-incendio en el parque ecológico chipinque, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 14(2), 113–118. <https://www.researchgate.net/publication/236587983>
- Alanís Flores, G. J., Geronimo, C. y C., & Rovalo Merino, M. (1996). *Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánico-ecológica* (Patronato). CEMEX. <https://es.scribd.com/doc/51539597/VEGETACION-Y-FLORA-DE-NUEVO-LEON-una-guia-botanico-ecologica>
- Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Canizales Velázquez, P. A., Gonzalez Rodriguez, H., & Mora- Olivo, A. (2015). Estado actual del conocimiento de la estructura arborea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(7), 69–80. <https://www.researchgate.net/publication/328729600>
- Alanís Rodríguez, E., Mora Olivo, A., & Marroquin de la Fuente, J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L. (2008). *Forest Management and Planning* (2nd ed.). Academic Press- Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128094761/forest-management-and-planning#browse-content>
- Buendía-rodríguez, E., Treviño-garza, E. J., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., Gonzalez-Tagle, M. A., & Pompa-García, M. (2019). Estructura de un ecosistema forestal y su relación con el contenido de carbono en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 4–25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>
- Carvalho, J. P. F. (2011). Composition and structure of natural mixed-oak stands in northern and central Portugal. *Forest Ecology and Management*, 262(10), 1928–1937. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.020>
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Velázquez-Martínez, A. (2010). Diversidad Arborea Y Estructura Espacial De Bosques De Pino-Encino En Ixtlán De Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 39–52. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.636>

- Clark, D. B., Hurtado, J., & Saatchi, S. S. (2015). Tropical rain forest structure, tree growth and dynamics along a 2700-m elevational transect in Costa Rica. *PLoS ONE*, *10*(4), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122905>
- Cuahutémoc Méndez, O., Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, Ó. A., & Treviño Garza, E. J. (2014). Análisis de la regeneración postincendio en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero, México. *Ciencia UANL*, *17*(69), 63–70.
- Dajoz, R. (2002). *Tratado de Ecología* (2nd ed.). Mundiprensa.
- Gadow, K. v, Sánchez Orois, S., & Gabriel, Á. G. J. (2007). *Estructura y crecimiento del bosque*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/265270198\\_Estructura\\_y\\_Crecimiento\\_del\\_Bosque](https://www.researchgate.net/publication/265270198_Estructura_y_Crecimiento_del_Bosque)
- Gadow, K. V, Zhang, C. Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., Hui, G. Y., Kiviste, A., & Zhao, X. H. (2012). Forest structure and diversity. In P. T & von G. K (Eds.), *Continuous Cover Forestry* (pp. 29–83). Springer Science. [https://doi.org/DOI: 10.1007/978-94-007-2202-6\\_2](https://doi.org/DOI: 10.1007/978-94-007-2202-6_2)
- García García, S. A., Narváez Flores, R., Olivas-García, J. M., & Hernández Salas, J. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino – encino en Guadalupe y Calvo , Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *10*(53), 41–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>
- García Romero, M. G., Narváez Flores, R., Castruita Esparza, L. U., Ayala Martínez, N. G., Núñez López, D., Loera García, F. J., Gutiérrez Jurado, I. H., Bustillos Sandoval, R. D., Ayala Martínez, Y. L., Castruita Esparza, G., & Vélez Máñez, S. L. (2009). *Estudio regional forestal: Region de manejo silvicola de Guachochi*, A. C. Comision Nacional Forestal.
- Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Luján-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *4*(12), 535–542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Hernandez-Salas, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., Gonzalez-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *19*(2), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Jiménez, J., Aguirre, O., & Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, *10*(2), 355–366. [https://www.researchgate.net/publication/28052703\\_Analisis\\_de\\_la\\_estructura\\_horiz\\_ontal\\_y\\_vertical\\_en\\_un\\_ecosistema\\_multicohortal\\_de\\_pino-encino\\_en\\_el\\_norte\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/28052703_Analisis_de_la_estructura_horiz_ontal_y_vertical_en_un_ecosistema_multicohortal_de_pino-encino_en_el_norte_de_Mexico)
- Kramer, H., & Akça, A. (1995). *Leitfaden zur Waldmeßlehre*. J.D. Saurländer's Verlag.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Eschborn (Alemania) GTZ.
- Louman, B. (2001). Bases ecologicas. In B. Louman, D. Quiros, & M. Nilsson (Eds.), *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (pp. 57–62). CATIE. <http://hdl.handle.net/11554/3971>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing company. [https://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002\\_2011/maio10/Magurran\\_2004\\_c2-4.pdf](https://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002_2011/maio10/Magurran_2004_c2-4.pdf)
- Margalef, R. (1972). *Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity*. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences.
- Moreno, C. E., & Halffter, G. (2001). Spatial and temporal analysis of  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation*, *10*, 367–382. <https://doi.org/10.1023/A:1016614510040>

**Recibido:**  
17/febrero/2020

**Aceptado:**  
8/febrero/2021

- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologivegetal.pdf>
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>
- Pretzsch, H. (2009). *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>
- Remmert, H. (1991). *The Mosaic-Cycle Concept of Ecosystems* (1st ed.). Springer-Verlag Berlín Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-75650-4>
- Rubio Camacho, E., González Tagle, M., Jiménez Pérez, J., Alanís Rodríguez, E., & Ávila Flores, D. (2014). Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL*, 17(65), 34–41. <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=799>
- Sánchez M, W. K. (2006). *Estudio de las comunidades de plantas riparias y sus asociaciones florísticas en la cuenca del Río Sabinas, Coahuila, México*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sánchez Silva, R. (1986). *Vegetación en galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas*. Ingeniería Hidráulica En México. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/527/449>.
- Santiago-Pérez, A. L., Ayón Escobedo, A., Rosas-Espinoza, V. C., Rodríguez Zaragoza, F. A., & Toledo González, S. L. (2014). Estructura del bosque templado de galería en la sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 144–159. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.326>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Urbietá, I. R. (2009). Estructura, dinámica y regeneración de los bosques mixtos de alcornoque (*Quercus suber* L.) y quejigo moruno (*Q. canariensis* Willd.) del sur de la Península Ibérica: una aproximación multiescala. *Ecosistemas*, 18(2), 116–121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54012144013>
- Villavicencio García, R., Bauche Petersen, P., Gallegos Rodríguez, A., Santiago Pérez, A. L., & Martínez Huerta, F. (2005). Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila. *Boletín IBUG*, 13(1), 67–76. [https://www.researchgate.net/publication/271177387\\_Caracterizacion\\_estructural\\_y\\_diversidad\\_de\\_comunidades\\_arboreas\\_de\\_la\\_Sierra\\_de\\_Quila](https://www.researchgate.net/publication/271177387_Caracterizacion_estructural_y_diversidad_de_comunidades_arboreas_de_la_Sierra_de_Quila)
- Zarco-espinoza, V. M., Valdez-Hernández, J. L., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura Y Diversidad De La Vegetación Arbórea Del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Tropico Humedo*, 26(1), 1–17. <https://doi.org/10.19136/era.a26n1.179>