



DOI: 10.29298/rmcf.v16i88.1506

Artículo de Investigación

Riqueza de especies, estructura horizontal y diversidad arbórea en un gradiente altitudinal en cafetales de *Chiapas*

Tree richness, structure, and diversity in an altitudinal gradient in coffee plantations in *Chiapas*

Edwin Geyner Verdugo Morales¹, María Inés Yáñez Díaz¹, Eduardo Alanís Rodríguez^{1*}, Humberto González Rodríguez¹, Fortunato Garza Ocañas¹, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi²

Fecha de recepción/Reception date: 22 de julio de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 23 de enero de 2025.

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

²Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

*Corresponding author; e-mail: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

Resumen

Se comparó la riqueza, estructura horizontal y diversidad del componente arbóreo en tres intervalos altitudinales en cultivo de café bajo sombra: Inferior 800 a 1 200 msnm, Intermedio 1 200-1 600 msnm, Superior de 1 600-2 000 msnm, en Motozintla, Chiapas. Se registraron 1 736 árboles de 146 especies. La riqueza de especies fue significativamente mayor en los intervalos Inferior y Superior (91 spp.), con menos registros en el Intermedio (59 spp.). Los valores del Índice de *Shannon-Wiener* fueron de 3.37, 3.25 y 3.90 para los intervalos Inferior, Intermedio y Superior, respectivamente; con diferencia significativa para el Superior, equivalentes a 29, 26 y 50 especies efectivas, respectivamente. Los intervalos Intermedio y Superior presentaron una similitud de 40 % de especies en el Índice de *Jaccard*, mientras que ambos solo compartieron 28 % con el intervalo Inferior. El área basal y la densidad de individuos por hectárea fueron de 17.97±4.9, 10.91±4.5 y 17.05±10 m² ha⁻¹ en la parte Inferior, Intermedio y Superior, para la parte Inferior fue significativa ($p=0.04$). La densidad de individuos por hectárea no fue significativa en el gradiente altitudinal analizado. *Pinus maximinoi*, *Inga vera* y *Chamaedorea tepejilote* fueron las especies de mayor importancia ecológica. Las variables estudiadas no presentaron un patrón lineal a lo largo del gradiente como ocurre en los ecosistemas forestales. Los cafetales que se traslapan con bosque mesófilo y selva mediana mantienen gran diversidad de árboles como sombra.

Palabras clave: Café, diversidad, *Inga vera* Willd., *Pinus maximinoi* H. E. Moore, riqueza de especies, similitud.

Abstract

The richness, horizontal structure and diversity of the tree component were compared in three altitudinal intervals in shade-grown coffee: Lower from 800 to 1 200 masl, Intermediate 1 200-1 600 masl, Upper from 1 600-2 000 masl, in *Motozintla*, state of *Chiapas*. 1 736 trees of 146 species were recorded. Species richness was significantly higher in the Lower and Upper intervals (91 sp.) and lower in the Intermediate (59 sp.). The Shannon-Wiener index values were 3.37, 3.25 and 3.90 for the Lower, Intermediate and Upper ranges with a significant difference for the Upper interval, equivalent to 29, 26 and 50 effective species respectively. The Intermediate and Upper ranges showed a similarity of 40 % of species in the Jaccard index, while both only shared 28 % with the Lower interval. The basimetric area and the density of individuals per hectare were 17.97 ± 4.9 , 10.91 ± 4.5 and 17.05 ± 10 m² ha⁻¹ in the Lower, Intermediate and Upper parts, being significant for the Lower one ($p=0.04$). Tree density per hectare was not significant in the altitudinal gradient analyzed. *Pinus maximinoi*, *Inga vera* and *Chamaedorea tepejilote* were the species of greatest ecological importance. The variables studied did not present a linear pattern along the gradient as occurs with forest ecosystems. The coffee plantations that overlap with Mesophilous forest and Medium-sized evergreen forest maintain a great diversity of trees as shade.

Keywords: Coffee, diversity, *Inga vera* Willd., *Pinus maximinoi* H. E. Moore, species richness, similitude.

Introducción

Numerosos estudios han revelado que existe correlación entre factores ambientales y los cambios en la composición, estructura y diversidad de los ecosistemas forestales en un gradiente altitudinal (Ávila-Sánchez et al., 2018; Sánchez-González & López-Mata, 2005).

Existen pocos estudios de este tipo en ecosistemas intervenidos, como en los sistemas agroforestales que, si bien no son bosques íntegros, mantienen gran parte de la complejidad de la estructura y su funcionalidad (Farfán, 2014; Soto-Pinto et al., 2001). Por ejemplo, cafetales ubicados en bosques mesófilos en Veracruz, conservan hasta 89 % de las especies de todos los grupos de vida (Manson et al., 2018).

Moguel y Toledo (1999) no determinaron correlación entre la riqueza de especies del dosel arbóreo en cafetales tradicionales con la altitud, y señalan que la diversidad existente es producto del manejo. Sin embargo, reconocen que sus datos eran limitados.

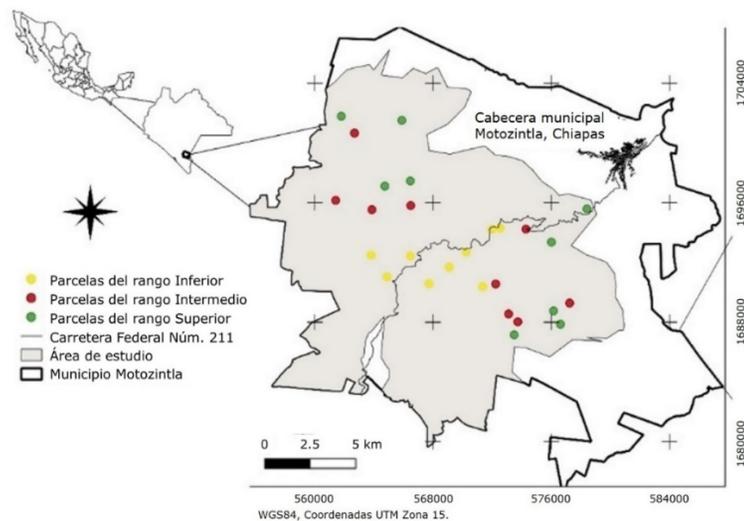
Los cafetales ubicados en la región Sierra Madre de Chiapas se establecieron bajo la sombra de bosques primarios, conservando gran parte de las especies arbóreas nativas (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio],

2015). Con esta base, se realizó el trabajo que se describe a continuación para describir el dosel arbóreo de los cafetales de la región, en un gradiente de altitud. La hipótesis propuesta es que, en el componente arbóreo asociado al cultivo de café en esquemas agroforestales, hay cambios en la riqueza de especies ($q=0$), diversidad ($q=2$) y estructura horizontal en un patrón lineal similar a los bosques nativos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio Motozintla, Chiapas (566515.64 m E, 1691655.35 m N), en cafetales con café arábica (*Coffea arabica* L.), ubicados entre 2 000 y 800 msnm (Figura 1). Este gradiente se dividió en tres intervalos: Inferior de 800 a 1 200 msnm, Intermedio de 1 200 a 1 600 msnm y Superior entre 1 600 a 2 000 msnm.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2023).

Figura 1. Área de estudio con ubicación de las parcelas de muestreo.

En la zona, la precipitación media anual oscila entre 3 000 y 3 500 mm (INEGI, 2006). La temperatura media anual en el intervalo Inferior es de 24 °C, en el Intermedio de 22 °C y en el Superior de 20 °C (INEGI, 2007). En la parte Inferior, los cafetales se entrelazan con selva mediana; en la Intermedia con vegetación de pino-encino y selva baja caducifolia, en la Superior con bosque mesófilo de montaña (Inegi, 2017; observación en campo).

En la parte baja, los cafetales son de varietales resistentes a la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome, 1869) como los *catimores* (Julca-Otiniano et al., 2023). En las zonas Intermedia y Superior además, se cultivan la típica, la *bourbon* y la *caturras*, principalmente. Las densidades de siembra están entre 1 600 y 3 000 plantas por hectárea. Las actividades de manejo como poda de tejido productivo, regulación de sombra, control de arvenses y nutrición se realizan de forma manual.

Materiales y Métodos

Se establecieron al azar nueve parcelas circulares de 2 000 m² en cada intervalo altitudinal. En las parcelas se cuantificó y midió el diámetro normal (cm) con cinta diamétrica *Forestry Suppliers*[®] 283d a las plantas que proyectaron sombra sobre los cafetos. Se identificaron taxonómicamente con apoyo de especialistas de la plataforma Inaturalistmx (iNaturalist, 2024), y la nomenclatura se corroboró en Enciclovida (Conabio, 2024a) y *World Flora Online* (2024).

Las fórmulas para obtener las variables se describen en el Cuadro 1. Para el muestreo se utilizó el método de cobertura de muestra basado en la rarefacción y extrapolación (independiente del tamaño del área muestreada), con el fin de determinar la riqueza de especies arbóreas en los intervalos altitudinales (Chao & Jost, 2012) (Fórmula 1). López-Mejía et al. (2017) usaron este método en diversos grupos biológicos, en los

cuales consideraron una cobertura mínima de 90 %. Los cálculos se hicieron con el programa *iNEXT* versión 2024 (Chao *et al.*, 2024).

Cuadro 1. Fórmulas utilizadas para el cálculo de las variables.

Variable	Fórmula	Cita
Riqueza de especies ($q=0$)	$\hat{C} = 1 - \frac{f_1}{n} \left[\frac{(n-1)f_1}{(n-1)f_1 + 2f_2} \right] \quad (1)$	Chao y Jost (2012)
<p>Donde:</p> <p>\hat{C} = Estimación de cobertura de muestra (%)</p> <p>f_1 = <i>Singletons</i></p> <p>f_2 = <i>Doubletons</i></p> <p>n = Número de individuos observados</p>		
Diversidad alfa ($q=2$)	$H' = - \sum_{i=1}^n pi \times (\ln pi) \quad (2)$	Shannon (1964)
<p>Donde:</p> <p>H' = Índice de <i>Shannon-Wiener</i></p> <p>\ln = Logaritmo natural</p> <p>pi = Proporción de las especies $pi=(ni \times N^{-1})$</p> <p>ni = Número de individuos de la especie i</p> <p>N = Número total de individuos</p>		
	$D^1 = \exp (H') \quad (3)$	Moreno <i>et al.</i> (2011)
<p>Donde:</p> <p>D^1 = Número efectivo de especies o diversidad de orden uno ($q=1$)</p> <p>H' = Índice de <i>Shannon-Wiener</i></p>		
Diversidad beta	$I_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (4)$	Moreno (2001)
<p>Donde:</p> <p>I_j = Coeficiente de <i>Jaccard</i></p> <p>c = Especies presentes en ambos intervalos</p> <p>a = Especies presentes en el intervalo a</p> <p>b = Especies presentes en el intervalo b</p>		
Estructura horizontal	$AB_{ha} = \left[\sum_{i=1}^{ni} \left(\frac{\pi}{4} \times dn^2 \right) \right] \times n \quad (5)$	Alanís <i>et al.</i> (2020)
<p>Donde:</p> <p>AB_{ha} = Área basal por hectárea ($m^2 \text{ ha}^{-1}$)</p>		

d_n = Diámetro normal (m)

$$n = \frac{10\,000\ m^2}{\text{Superficie de la parcela de muestreo (m}^2\text{)}}$$

$$d_{ha} = \left(n_p \times \left(\frac{10\,000\ m^2}{t} \right) \right) \quad (6)$$

Donde:

d_{ha} = Densidad de individuos por hectárea (individuos ha^{-1})

n_p = Individuos observados en parcela de muestreo

t = Tamaño de la parcela de muestreo (m^2)

$$IVI = \frac{\sum_{i=1}^{i-1} (AR_i \times DR_i \times FR_i)}{3} \quad (7) \quad \text{Curtis y McIntosh (1951)}$$

Donde:

IVI = Índice de Valor de Importancia

AR_i = Abundancia relativa

DR_i = Dominancia relativa

FR_i = Frecuencia relativa

La riqueza de especies se calculó con una extrapolación de 96.7 % y un nivel de confianza de 95 % (Chao & Jost, 2012).

A partir de los valores de la riqueza de especies y su abundancia, se determinó la diversidad alfa mediante el Índice de *Shannon-Wiener* (Fórmula 2), con apoyo del *software Species-richness Prediction And Diversity Estimation in R (SPADE)* (Chao et al., 2024). En el procedimiento se consideró el estimador *Bias-corrected Shannon diversity estimator*, que corrige el submuestreo (Chao & Shen, 2003). Los valores que se obtuvieron se expresaron en número efectivo de especies (Jost, 2006; Moreno et al., 2011) (Fórmula 3), con base en un intervalo de confianza de 95 % que resultó de la aplicación del método de *Bootstrap* (Chao & Shen, 2003).

Para conocer la similitud de especies, se elaboró un dendrograma *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Means (UPGMA)*, con base en el Coeficiente de *Jaccard* (Fórmula 4), y el apoyo del *software PAST 4.17* (Hammer et al., 2001).

La estructura horizontal se describió y comparó mediante el cálculo de los valores de área basal por hectárea (Fórmula 5) y la densidad de individuos por hectárea (Fórmula 6). Los

resultados se contrastaron en un ANOVA a 95 % de confianza con el programa *IBM SPSS Statistics* versión 22.0 (International Business Machines Corp. [IBM], 2021).

Para conocer la importancia de las especies en la comunidad vegetal, se determinó el Índice de Valor de Importancia (Fórmula 7) (Alanís *et al.*, 2020).

Resultados

Riqueza de especies

Se registraron 1 736 árboles correspondientes a 146 especies (Cuadro 2). En el intervalo Inferior se registraron 782 individuos y 90 especies, correspondiente a una cobertura de 96.42 % de la riqueza de especies estimada; en el Intermedio, 457 individuos en 59 especies arbóreas equivalente a una cobertura de 96.73 %; y en el Superior, 497 individuos en 82 especies, que implicó una cobertura de 94.98 %.

Cuadro 2. Listado de especies arbóreas asociado a cafetales.

Núm.	Nombre científico	Intervalos			Total	Núm.	Nombre científico	Intervalos			Total
		1	2	3				1	2	3	
1	<i>Acaciella angustissima</i> (Mill.) Britton & Rose			1	1	74	<i>Inga inicuil</i> G. Don	1			1
2	<i>Aiouea</i> sp.	2		4	6	75	<i>Inga paterno</i> Harms	25	2	5	32
3	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	1	2	2	5	76	<i>Inga punctata</i> Willd.	15	31	11	57
4	<i>Alnus acuminata</i> Kunth			7	7	77	<i>Inga vera</i> Willd.	46	127	49	222
5	<i>Alstonia longifolia</i> (A. DC.) Pichon	1			1	78	<i>Lasianthaea fruticosa</i> (L.) K. M. Becker		1	1	2
6	<i>Anacardium occidentale</i> L.	2			2	79	<i>Lepidaploa polypleura</i> (S. F. Blake) H. Rob.			7	7
7	<i>Annona cherimola</i> Mill.	1		1	2	80	<i>Lippia</i> sp.	1		8	9
8	<i>Annona muricata</i> L.	5	1		6	81	<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i> (Poir.) DC.	54	2		56
9	<i>Aphananthe monoica</i> (Hemsl.) J.-F. Leroy		1	1	2	82	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> Donn. Sm.	5			5
10	<i>Ardisia</i> sp.		2	6	8	83	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.	1			1

Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 16 (88)
Enero - Febrero (2025)

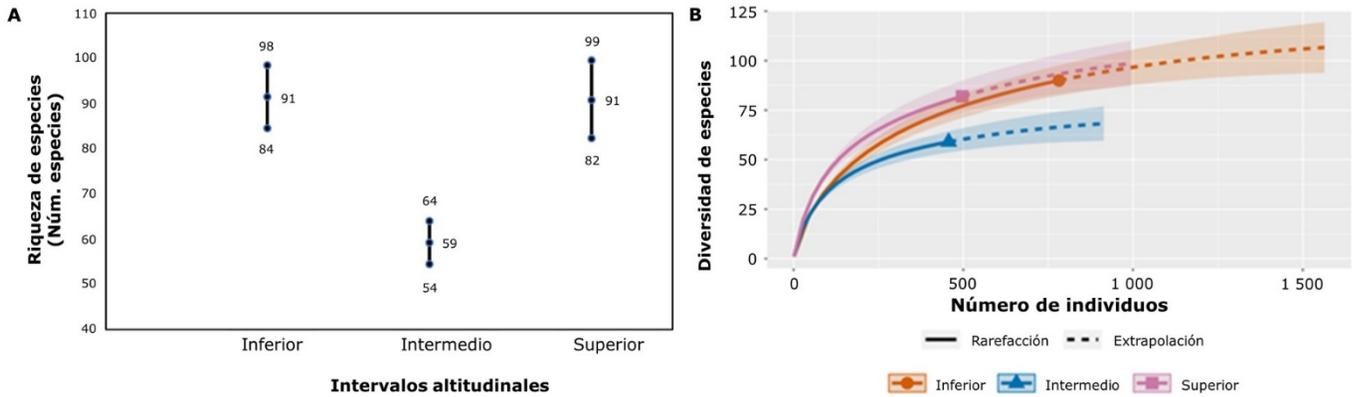
11	<i>Ardisia paschalis</i> Donn. Sm.	5		5	84	<i>Machaerium</i> sp.		6		6
12	<i>Ardisia verapazensi</i> Donn. Sm.		1	1	85	Malvaceae			1	1
13	<i>Averrhoa carambola</i> L.	1		1	86	<i>Mangifera indica</i> L.	4	1	2	7
14	<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J. C. Wendl. var. <i>vulgaris</i>	1		1	87	<i>Matayba oppositifolia</i> (A. Rich.) Britton	5			5
15	<i>Bixa orellana</i> L.	2		2	88	<i>Miconia xalapensis</i> (Bonpl.) M. Gómez		9		9
16	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	4		4	89	<i>Montanoa</i> sp.			2	2
17	<i>Brugmansia aurea</i> Lagerh.		1	1	90	<i>Muntingia calabura</i> L.			1	1
18	<i>Bunchosia</i> sp.	8		8	91	<i>Musa</i> × <i>paradisiaca</i> L.	63	15	9	87
19	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth		1	1	92	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.			3	3
20	<i>Calliandra houstoniana</i> (Mill.) Standl.	2		2	93	<i>Ocotea sinuata</i> (Mez) Rohwer	8			8
21	<i>Carica papaya</i> L.		1	1	94	<i>Oreopanax echinops</i> (Schltdl. & Cham.) Decne. & Planch.			4	4
22	<i>Casimiroa edulis</i> La Llave		2	2	95	<i>Oreopanax sanderianus</i> Hemsl.	1		1	2
23	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	3	3	6	96	<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch			14	14
24	<i>Cedrela odorata</i> L.	27		27	97	<i>Persea americana</i> Mill.	9	5	25	39
25	<i>Cestrum guatemalense</i> Francey	1	1	2	98	<i>Perymenium grande</i> Hemsl.	1	3	6	10
26	<i>Cestrum nocturnum</i> L.	4		4	99	<i>Phyllanthus acuminatus</i> Vahl	4			4
27	<i>Cestrum tomentosum</i> L. f.		2	2	100	<i>Pinus devoniana</i> Lindl.		4		4
28	<i>Chamaedorea tepejilote</i> Liebm.	221	7	4	232	101 <i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore		1	23	24
29	<i>Chionanthus</i> sp.	1		1	102	102 <i>Pinus teocote</i> Schltdl. & Cham.			7	7
30	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	7		7	103	103 <i>Piper aduncum</i> L.	1			1
31	<i>Citrus deliciosa</i> Ten.	1		1	104	104 <i>Piper auritum</i> Kunth	2			2
32	<i>Citrus</i> × <i>aurantium</i> L.	2		2	105	105 <i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn. Sm.	1			1
33	<i>Citrus</i> × <i>limetta</i> Risso	4	1	5	106	106 <i>Podachaenium eminens</i> (Lag.) Sch. Bip.			2	2
34	<i>Citrus</i> × <i>limon</i> (L.) Osbeck	2		2	107	107 <i>Prunus</i> sp.			3	3
35	<i>Citrus</i> × <i>limonia</i> (L.) Osbeck		7	1	8	108 <i>Psidium guajava</i> L.	2	7	2	11
36	<i>Citrus medica</i> L.	11	5	5	21	109 <i>Quercus acutifolia</i> Née	1			1
37	<i>Clethra pachecoana</i> Standl. & Steyerl.	2	4	9	15	110 <i>Quercus segoviensis</i> Liebm.			3	3
38	<i>Clibadium arboreum</i> Donn. Sm.		1	1	111	111 <i>Quercus calophylla</i> Schltdl. & Cham.	3	12		15
39	<i>Coccoloba</i> sp.	3		3	112	112 <i>Quercus peduncularis</i> Née	3			3
40	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	9	1		10	113 <i>Quercus sapotifolia</i> Liebm.	5	1		6
41	<i>Cordia collococca</i> L.	12	6	3	21	114 <i>Quercus skinneri</i> Benth.			3	3
42	<i>Coussapoa purpusii</i> Standl.		6	6	115	115 <i>Quercus vicentensis</i> Trel.	3	7		10
43	<i>Crateva tapia</i> L.	2		2	116	116 <i>Ricinus communis</i> L.	1			1
44	<i>Critonia morifolia</i> (Mill.) R. M. King & H. Rob.	25	43	11	79	117 Rubiaceae	2			2

Verdugo Morales *et al.*, **Riqueza de especies, estructura horizontal...**

45	<i>Croton draco</i> Schltld. & Cham.	6	8	14	118	Rubiaceae 2			1	1	
46	<i>Croton guatemalensis</i> Lotsy	3		1	4	119	<i>Sapindus saponaria</i> L.	3		3	
47	<i>Cupania dentata</i> DC.	8	9	3	20	120	<i>Saurauia kegeliana</i> Schltld.		2	29	31
48	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	2		4	6	121	<i>Saurauia madrensis</i> B. T. Keller & Breedlove			1	1
49	<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M. Sousa	1	7	9	17	122	<i>Sideroxylon capiri</i> (A. DC.) Pittier	2			2
50	<i>Dombeya × cayeuxii</i> André		1		1	123	<i>Sinclairia andrieuxii</i> (DC.) H. Rob. & Brettell	1		6	7
51	<i>Eremosis leiocarpa</i> (DC.) Gleason			6	6	124	<i>Solanum aphyodendron</i> S. Knapp	1			1
52	<i>Eremosis triflosculosa</i> (Kunth) Gleason	13	2		15	125	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	1	6	14	21
53	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	4	13	9	26	126	<i>Spondias purpurea</i> L.		1	1	2
54	<i>Erythrina americana</i> Mill.	2		1	3	127	<i>Symplocos limoncillo</i> Bonpl.			4	4
55	<i>Erythroxylum macrophyllum</i> Cav.	1			1	128	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	11	1	1	13
56	<i>Eugenia axillaris</i> (Sw.) Willd.	6			6	129	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	3			3
57	<i>Eugenia</i> sp.	5			5	130	<i>Tabernaemontana donnell smithii</i> Rose	2			2
58	<i>Eysenhardtia adenostylis</i> Baill.		4	2	6	131	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	5			5
59	Fabaceae	2			2	132	<i>Ternstroemia tepezapote</i> Schltld. & Cham.			3	3
60	<i>Ficus costaricana</i> (Liebm.) Miq.	5	1		6	133	<i>Theobroma cacao</i> L.	8			8
61	<i>Ficus</i> sp.			1	1	134	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	1	14	15	30
62	<i>Frangula discolor</i> (Donn. Sm.) Grubov		2	2	2	135	<i>Trichilia martiana</i> C. DC.	6	1		7
63	<i>Fuchsia paniculata</i> Lindl.		4	4	4	136	<i>Trichilia</i> sp.		1		1
64	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	1	3	4	4	137	<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.		11		11
65	<i>Gonzalagunia tacanensis</i> Lundell		3		3	138	<i>Turpinia</i> sp.			1	1
66	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	3			3	139	<i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planch.	3		2	5
67	<i>Hauya elegans</i> DC.		1		1	140	<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Gaudich. ex Griseb.	1	2	2	5
68	<i>Heliconia collinsiana</i> Griggs	3	4	7	7	141	<i>Verbesina</i> sp.		3	2	5
69	<i>Heliocarpus donnellsmithii</i> Rose	4	5		9	142	<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	3	15	17	35
70	<i>Hesperocyparis lusitanica</i> (Mill.) Bartel		3	7	10	143	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth.	1	14	6	21
71	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1			1	144	<i>Wimmeria concolor</i> Schltld. & Cham.			1	1
72	<i>Inga calderonii</i> Standl.	1			1	145	<i>Witheringia solanacea</i> L'Hér.	1	9	1	11
73	<i>Inga edulis</i> Mart.	5			5	146	<i>Yucca gigantea</i> Lem.	32	11	45	88

Al extrapolar y comparar la riqueza de especies a 96.7 % de cobertura, se estimó para los intervalos Inferior y Superior 91 especies, y para el Intermedio 59 especies (Figura 2A). La relación de la riqueza de especies entre los intervalos Inferior y

Superior fue de 1:1. El intervalo Inferior tuvo 1.54 veces más especies que el Intermedio. Si se extrapola la completitud de la muestra a 98 % se mantienen las diferencias significativas (Figura 2B).

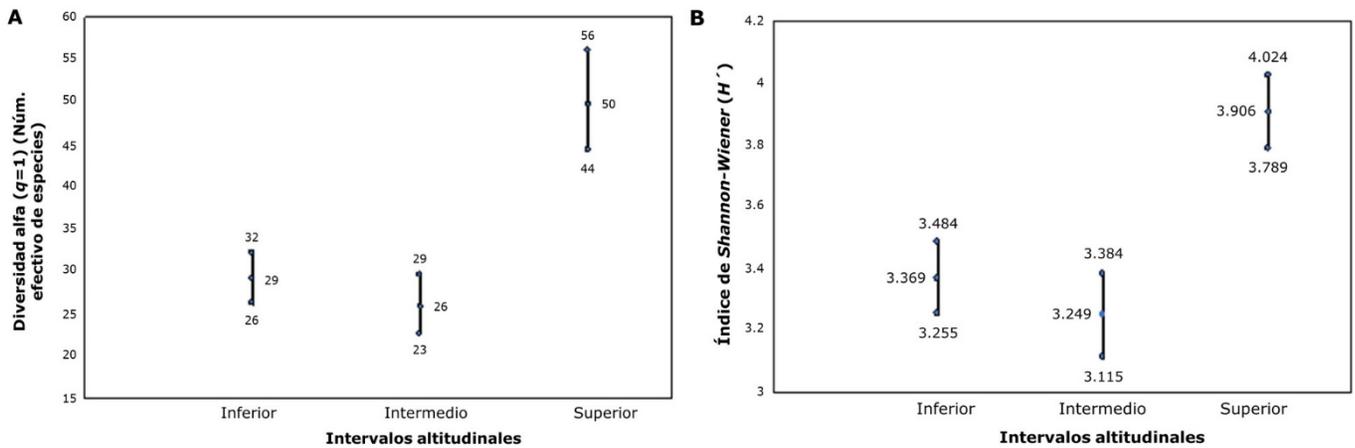


A = Comparación de riqueza de especies a 96.73 % de cobertura de muestra; B = Extrapolación de la riqueza de especies al doble de tamaño de muestra.

Figura 2. Riqueza de especies.

Diversidad alfa

Los índices de diversidad de *Shannon-Wiener* fueron H' : 3.37, 3.25 y 3.90 en el intervalo Inferior, Intermedio y Superior, respectivamente con diferencia significativa para el intervalo Superior (Figura 3). En números efectivos de especies (Jost, 2006), equivale a que el intervalo Inferior tuvo una diversidad equivalente a 29 especies equitativamente abundantes, el Intermedio 26 y el Superior 50. El intervalo Superior fue 1.72 más diverso que el Inferior y 1.92 más diverso que el Intermedio.



A = Número efectivo de especies; B = Índice de *Shannon-Wiener*.

Figura 3. Diversidad alfa con intervalos de confianza.

Diversidad beta o similitud de especies

El dendrograma *UPGMA* mostró que los intervalos Intermedio y Superior registraron una similitud de 40 %. Este primer grupo y el intervalo Inferior compartieron alrededor de 28 % de las especies (Figura 4).

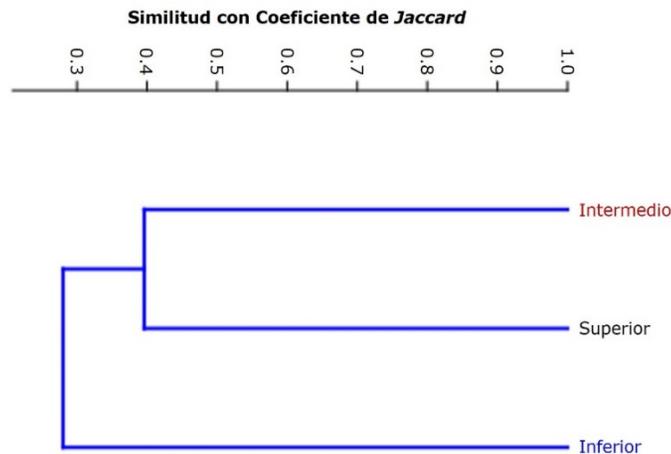


Figura 4. Dendrograma que muestra la similitud entre los intervalos de altitud, usando el método de presencia/ausencia de *Jaccard*.

Estructura

Las densidades de individuos por hectárea fueron de 434 ± 251 ($\mu \pm$ Desviación Estándar), 254 ± 80 y 276 ± 195 ind ha⁻¹ para el intervalo Inferior, Intermedio y Superior. El ANOVA evidenció que no hubo diferencias significativas ($p=0.07$).

Se graficó la distribución de los individuos en categorías diamétricas, para hacer una comparación entre los tres intervalos (Figura 5). La gráfica reveló que, en todas las categorías, en el intervalo Inferior hubo más individuos por hectárea.

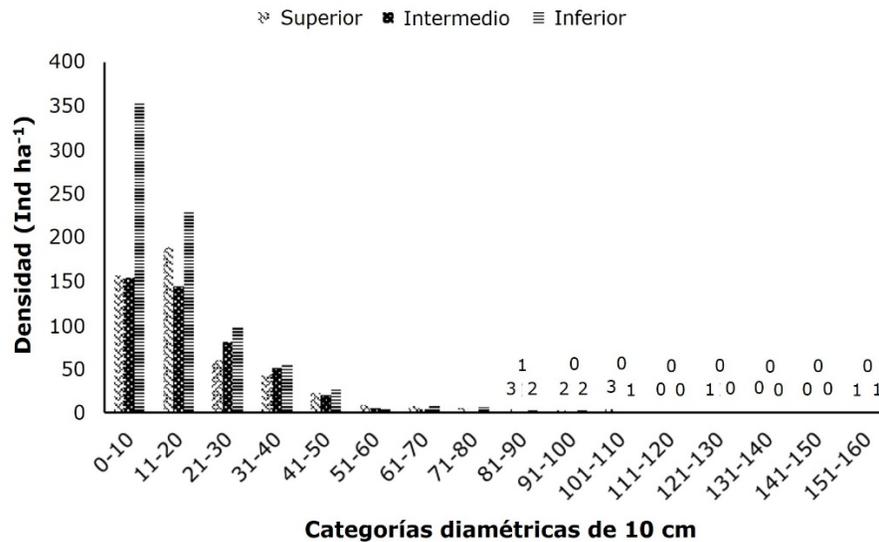


Figura 5. Distribución en clases diamétricas de los individuos registrados en los tres intervalos altitudinales.

En el área basal se registraron valores de 17.97 ± 4.9 , 10.91 ± 4.5 y 17.05 ± 10 m² ha⁻¹ en los intervalos Inferior, Intermedio y Superior, respectivamente con diferencias significativas ($p=0.04$).

Índice de Valor de Importancia (IVI)

La forma en cómo se ordenaron las especies ayudó a interpretar el resultado ponderado de la abundancia, dominancia y frecuencia de las especies en un solo número (Cuadro 3).

Cuadro 3. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) por cada intervalo de altitud.

Intervalo	Especie	AR	DR	FR	IVI
Superior	<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	4.6	22.9	2.0	29.5
	<i>Inga vera</i> Willd.	9.9	6.0	4.7	20.5
	<i>Yucca gigantea</i> Lem.	9.1	2.5	1.4	12.9
Intermedio	<i>Inga vera</i> Willd.	27.8	38.1	7.7	73.6
	<i>Critonia morifolia</i> (Mill.) R. M. King & H. Rob.	9.4	2.3	6.8	18.6
	<i>Inga punctata</i> Willd.	6.8	5.1	6.0	17.9
Inferior	<i>Chamaedorea tepejilote</i> Liebm.	28.3	28.3	3.5	60.1
	<i>Musa × paradisiaca</i> L.	8.1	8.1	2.0	18.1
	<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i> (Poir.) DC.	6.8	6.8	3.5	17.1

AR = Abundancia relativa; DR = Dominancia relativa; FR = Frecuencia relativa;
IVI = Índice de Valor de Importancia.

En el intervalo Superior, *Pinus maximinoi* H. E. Moore (pino colorado) fue el de mayor valor ecológico debido a su dominancia. En el intervalo Intermedio fue *Inga vera* Willd.

(Chalun) por su dominancia, abundancia y frecuencia. En el Inferior, *Chamaedorea tepejilote* Liebm. (pacaya) destacó por sus valores de abundancia y dominancia.

Discusión

Riqueza de especies arbóreas

La riqueza de especies ($q=0$) fue mayor en los intervalos Superior e Inferior. La parte Superior del área de estudio se traslapa con uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad: el bosque mesófilo de montaña (BMM) (Conabio, 2014). Verdugo-Morales et al. (2022) describieron que entre 1 800 y 2 000 msnm de BMM en esta región, se ubica la franja de mayor riqueza de especies arbóreas, con 44 ± 5 taxa en un sitio de 1 000 m².

Los cafetales del intervalo Inferior se traslapan con la selva mediana, que también es un ecosistema de gran riqueza florística (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2014). Asimismo, se ha documentado que los árboles de este tipo de vegetación son funcionales como sombra en los cafetales (García et al., 2015). El intervalo Intermedio registró menor riqueza de especies arbóreas; uno de los factores que puede explicarlo son los tipos de vegetación con los que se traslapa, los cuales corresponden a bosques de pino-encino y selva baja caducifolia (Inegi, 2017; observaciones en campo).

Las selvas bajas tienen alta riqueza de especies y endemismos (Gallardo-Cruz et al., 2005); en contraste con las selvas y los BMM, en los bosques de pino-encino se consigna menos riqueza de especies arbóreas (Barrios-Calderón et al., 2022; Castellanos-Bolaños et al., 2010; Méndez et al., 2018). Muchos taxones arbóreos de ambos tipos de vegetación son caducifolios; por lo tanto, no son muy apreciadas como sombra en los

cafetales y han sido sustituidos por taxa perenes, principalmente por individuos del género *Inga* sp., que históricamente se ha promovido como sombra en cafetales (Jarquín, 2003), por lo que se ha convertido en uno de los géneros más usados en cafetales tradicionales de México (Sánchez et al., 2017).

Por lo anteriormente descrito, la distribución de la riqueza de especies a lo largo del gradiente altitudinal no mostró un patrón descendente o ascendente, como en los ecosistemas naturales (Ávila-Sánchez et al., 2018; Sánchez-González & López-Mata, 2005). Además, las 146 especies arbóreas identificadas en este trabajo es mayor a lo referido para cafetales tradicionales en Veracruz (Ramos et al., 2020) y Guerrero (Silva et al., 2024).

Diversidad alfa

La diversidad medida con el Índice de *Shannon-Wiener* ($q=1$), así como el número efectivo de especies no definieron un patrón lineal a lo largo del gradiente altitudinal. El valor del Índice de *Shannon-Wiener* para el intervalo Superior se clasifica como de alta diversidad (Medrano et al., 2017), y se debe a la alta riqueza arbórea y a que no hubo especies dominantes (Jost, 2006; Pla, 2006). El taxón más abundante solo concentró 9.9 % de los individuos.

En los intervalos Inferior e Intermedio, la diversidad se clasifica como media (Medrano et al., 2017). Esto se explica porque en ambos se presentan especies dominantes (Jost, 2006; Pla, 2006) que reunieron 27.7 % de los individuos en cada uno de los intervalos.

Los valores de diversidad expresados en número efectivo de especies facilita su comprensión y permite establecer una relación de diversidad entre los intervalos (Jost, 2006).

Los valores de diversidad alfa ($q=1$) de este estudio son similares a los obtenidos en cafetales de Ixhuatlán (3.59), Amatlán (3.04) (Ramos et al., 2020) y Atoyac (3.56) (García et al., 2015) en Veracruz. La diversidad alfa no muestra correlación con el

gradiente altitudinal como se ha registrado en ecosistemas naturales (Ávila-Sánchez et al., 2018; Verdugo-Morales et al., 2022).

Diversidad beta o similitud de especies

En bosques naturales con poca intervención humana, los índices de similitud suelen ser bajos debido a que la estructura del bosque cambia en respuesta a las variaciones de los factores ambientales (Mazzola et al., 2008). En los bosques mesófilos aledaños a los cafetales, se identificó que en 700 m de gradiente altitudinal, la similitud entre el intervalo Superior e Inferior fue de 16 % (Verdugo-Morales et al., 2022). Williams-Linera et al. (1996) refieren 10 % de similitud entre un sitio ubicado a 2 050 msnm y otro a 1 250 msnm en Cofre de Perote, Veracruz.

En el presente trabajo, en 1 200 metros de gradiente altitudinal, se determinó 28 % de similitud entre el intervalo Superior y el Inferior. Este alto porcentaje está influenciado por las especies cultivadas en los cafetales como *Citrus* sp., *Inga* sp., *Musa* × *paradisiaca* L., *Persea americana* Mill., *Chamaedorea tepejilote*, *Yucca gigantea* Lem. y *Critonia morifolia* (Mill.) R. M. King & H. Rob.

Estructura

El comportamiento de los valores de densidad (individuos ha⁻¹) no definieron una tendencia ascendente o descendente como se observa en ecosistemas forestales (Bauters et al., 2017; Gairola et al., 2008; Silva-García et al., 2022).

El número de árboles por hectárea no es homogéneo entre las parcelas, y está determinado por el manejo agrícola de cada productor. En un bosque mesófilo de montaña aledaño, el número de árboles por hectárea presentó coeficientes de

variación ($CV = \frac{\mu}{SD}$) de 10.34 y 7 % en un gradiente altitudinal (Verdugo-Morales *et al.*, 2022). En este trabajo, los valores fueron de 71.31 y 58 % de Coeficiente de Variación en los intervalos de altitud considerados.

La densidad arbórea es menor a 928, 428 y 678 ind ha⁻¹ registrados en cafetales tradicionales en Veracruz (García *et al.*, 2015).

En ecosistemas forestales, el área basal, al igual que la densidad, presenta patrones de distribución como lo registraron Bauters *et al.* (2017), Kharal *et al.* (2014) y Silva-García *et al.* (2022). En los cafetales estudiados no se reconoció un patrón lineal.

Los resultados de área basal por hectárea son menores a los citados en porciones de bosques mesófilos aledaños de 34, 53 y 55 m² ha⁻¹ en los intervalos Superior, Intermedio e Inferior, respectivamente (Verdugo-Morales *et al.*, 2022), y menores a los 22, 27 y 25 m² ha⁻¹ en cafetales tradicionales de Veracruz (García *et al.*, 2015).

Índice de Valor de Importancia

En el intervalo Superior, *Pinus maximinoi* fue la especie de mayor peso ecológico debido a su dominancia, ya que se registraron individuos de diámetro normal arriba de 100 cm.

En el intervalo Intermedio, *Inga vera* fue la de mayor importancia debido a que es preferida como sombra por su hábito perene, se adapta a climas secos, genera hojarasca, se usa como leña (Carrera *et al.*, 2022; Conabio, 2024b; Reyes *et al.*, 2022); y porque en estado adulto, proyecta sombra para los cafetos. Se cultiva y es apreciada por su importancia alimentaria y ornamental (Rodríguez *et al.*, 2024) desde tiempos prehispánicos (Meléndez *et al.*, 2013).

Conclusiones

Existen diferencias significativas en la estructura del bosque en las variables de riqueza, diversidad alfa, y área basal, pero dichas diferencias no siguen un patrón lineal en el gradiente altitudinal, como ocurre en los ecosistemas forestales. La modificación del ecosistema, acentuado en el intervalo Intermedio, ocurre para adecuarlo a las necesidades del cultivo de café (sombra). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis propuesta.

Los cafetales conservan la riqueza y diversidad arbórea, principalmente las que se traslapan con ecosistemas de alta biodiversidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por otorgar una beca al primer autor para realizar su doctorado en ciencias con orientación en manejo de recursos naturales. De igual manera, se extiende un reconocimiento a los productores de café de la Sierra Madre de Chiapas por permitir el acceso al área de estudio, y al grupo de colaboradores del presente artículo.

Conflicto de intereses

No existe conflicto de interés en la realización de este trabajo de investigación. Eduardo Alanís Rodríguez, declara no haber participado en el proceso editorial del documento.

Contribución por autor

Edwin Geyner Verdugo Morales: trabajo de campo, análisis de datos y elaboración del manuscrito; María Inés Yáñez Díaz y Eduardo Alanís Rodríguez: análisis de datos, redacción y revisión del manuscrito; Humberto González Rodríguez, Fortunato Garza Ocañas y Luis Alfredo Rodríguez Larramendi: trabajo de campo, revisión y corrección del manuscrito. Todos los autores participaron en la concepción de la investigación y aprobación de la versión final del escrito.

Referencias

- Alanís R., E., Mora O., A., y Marroquín de la F., J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Universidad Autónoma de Nuevo León. https://www.researchgate.net/publication/343137042_Muestreo_Ecologico_de_la_vegetacion
- Ávila-Sánchez, P., Sánchez-González, A., Catalán-Heverástico, C., Almazán-Núñez, R. C., y Jiménez-Hernández, J. (2018). Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, 45(23), 101-113. <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/230>
- Barrios-Calderón, R. de J., Pérez P., J. E., Torres V., J. R., y Aguirre-Cadena, J. F. (2022). Estructura y composición florística de un bosque de *Pinus-Quercus* en El Porvenir, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 50-74. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1252>
- Bauters, M., Verbeeck, H., Demol, M., Bruneel, S., Taveirne, C., van der Heyden, D., Cizungu, L., & Boeckx, P. (2017). Parallel functional and stoichiometric trait shifts in South American and African forest communities with elevation. *Biogeosciences*, 14, 5313-5321. <https://doi.org/10.5194/bg-14-5313-2017>
- Carrera M., D. M., Carrera M., B. J., Pilaloe D., W. O., y Fernández T., M. S. (2022). Beneficios del establecimiento de *Inga* spp. en sistemas agroforestales de la zona

agrícola del cantón El Triunfo. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 6(43), 1-11. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp1-11>

Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., y Velázquez-Martínez, A. (2010). Diversidad arbórea 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>

Chao, A., & Jost, L. (2012): Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>

Chao, A., & Shen, T. J. (2003). Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in samples. *Environmental and Ecological Statistics*, 10, 429-443. <https://doi.org/10.1023/A:1026096204727>

Chao, A., Ma, K. H., & Hsieh, T. C. (2024, March). *A Brief Introduction to iNEXT Online: software for interpolation and extrapolation of species diversity. Interpolation/Extrapolation (iNEXT)*. iNEXT. <https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2014, 13 de mayo). *Bosques mesófilos de montaña de México. Uno de los Ecosistemas más Diversos y Amenazados*. Prensa. <https://www.gob.mx/conabio/prensa/bosques-mesofilos-de-montana-de-mexico?idiom=es>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2015, 13 de agosto). *Bosques, selvas y cafés de Chiapas. El café bajo sombra conserva la biodiversidad*. Prensa. <https://www.gob.mx/conabio/prensa/bosques-selvas-y-cafes-de-chiapas>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2024a, 20 noviembre). *Enciclovida*. Conabio. <https://enciclovida.mx/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2024b, 25 de noviembre). *Inga vera Willd.* (1806). Conabio.

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/43-legum24m.pdf

Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border Region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496. <https://doi.org/10.2307/1931725>

Farfán V., F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Centro Nacional de Investigaciones en Café. https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Gairola, S., Rawal, R. S., & Todaria, N. P. (2008). Forest vegetation patterns along an altitudinal gradient in sub-alpine zone of west Himalaya, India. *African Journal of Plant Science*, 2(6), 42-48. https://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1379512762_Gairola%20et%20al.pdf

Gallardo-Cruz, J. A., Meave, J. A., y Pérez-García, E. A. (2005). Estructura, composición y diversidad de la Selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 76, 19-35. <https://www.redalyc.org/pdf/577/57707602.pdf>

García M., L. E., Valdés H., J. I., Luna C., M., y López M., R. (2015). Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21(3), 69-82. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213457>

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), Article 4. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

iNaturalist. (2024, 28 de noviembre). *iNaturalist Mexico*. Red iNaturalist. https://mexico.inaturalist.org/observations?place_id=any&user_id=edwinverdugom&verifiable=any

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2006). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Precipitación media anual*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267544>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Temperatura media anual*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267551>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Conjunto Nacional*. INEGI. https://www.google.com/search?q=inegi+2007&rlz=1C1NHXL_esMX958MX958&oq=inegi+2007+&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyCggAEEUYFhgeGDkyCAgBEAAYFhgeMgoIAhAAGIAEGKIE MgoIAxAAGIAEGKIEMgcIBBAAGO8FMgoIBRAAGIAEGKIE0gEIMzQ3MWowajeoAgiwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Conjunto Nacional de Datos Topográficos a Escala 1: 250 000*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551091968>

International Bussines Machines Corp. (2021, May 21). *Downloading IBM SPSS Statistics (22.0) [Software]*. IBM Corp. <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-22>

Jarquín G., R. (2003). Agroecosistemas cafetaleros en Los Altos de Chiapas. Una Revisión. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 4(7), 83-92. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/79>

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

Julca-Otiniano, A., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Castro-Cepero, V., León R., F., Valderrama P., D., y Bello A., S. (2023). Variedades de café (*Coffea arabica*), una revisión y algunas experiencias en el Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 134-155. <https://doi.org/10.53287/ruyx4519vm15b>

Kharal, D. K., Meilby, H., Rayamajhi, S., Bhujju, D., & Thapa, U. K. (2014). Tree ring variability and climate response of *Abies spectabilis* along an elevation gradient in Mustang, Nepal. *Banko Janakari*, 24(1), 3-13. <https://doi.org/10.3126/banko.v24i1.13473>

- López-Mejía, M., Moreno, C. E., Zuria, I., Sánchez-Rojas, G., y Rojas-Martínez, A. (2017). Comparación de dos métodos para analizar la proporción de riqueza de especies entre comunidades: un ejemplo con murciélagos de selvas y hábitats modificados. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.008>
- Manson, R. H., López B., F., Sosa F., V., y Ortega P., A. (2018). *Biodiversidad y otros servicios ambientales en cafetales. Manual de mejores prácticas*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. http://www1.incol.edu.mx/publicaciones/Biodiversidad_en_cafetales_webx.pdf
- Mazzola, M. B., Kin, A. G., Morici, E. F., Babinec, F. J., y Tamborini, G. (2008). Efecto del gradiente altitudinal sobre la vegetación de las Sierras de Lihue Calel (La Pampa, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 43(1-2), 113-119. <https://botanicaargentina.org.ar/wp-content/uploads/2017/05/Mazzola.pdf>
- Medrano M., M. de J., Hernández, F. J., Corral R., S., y Nájera L., J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57-68. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.36>
- Meléndez G., L., Trabanino, F., y Caballero R., A. (2013). Tres perspectivas en torno al uso comestible de las inflorescencias de las palmas pacay(a) y chapay(a) en Chiapas, México: enfoques paleoetnobotánico, nutricional y lingüístico. *Estudios de Cultura Maya*, 41, 175-199. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ecm/v41/v41a7.pdf>
- Méndez O., C., Mora D., C. A., Alanís R., E., Jiménez P., J., Aguirre C., O. A., Treviño G., E. J., y Pequeño L., M. Á. (2018). Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 35-53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236>
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology*, 13(1), 11-21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de

Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de Unesco y Sociedad Entomológica Aragonesa.

https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249-1261. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.745>

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>

Ramos R., S., Pérez O., M. A., Illescas P., G., Cruz R., J. A., Vibrans, H., & Flores S., D. (2020). Diversity and traditional use of shade trees in agroecological coffee plantations. *Revista de Geografía Agrícola*, (64), 260-273. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2020.64.12>

Reyes R., J., Rodríguez M., J. A., Pimienta de la T., D. de J., Fuentes P., M. A., Marroquín M., P., Merino G., A., y Aguirre M., J. F. (2022). Diversidad y estructura de los árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 4-27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1191>

Rodríguez, M. J., Padilla, S. J., y Ferrufino-Acosta, L. (2024). Breve panorama de los usos etnobotánicos del tepejilote (*Chamaedorea tepejilote*) en Honduras. *Revista Etnobiología*, 22(1), 90-99. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/593>

Sánchez-González, A., & López-Mata, L. (2005). Plant species richness and diversity along an altitudinal gradient in the Sierra Nevada, Mexico. *Diversity and Distributions*, 11(6), 567-575. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00186.x>

Sánchez H., S., Mendoza B., M. A., y García H., R. V. (2017). Diversificación de la sombra tradicional de cafetales en Veracruz mediante especies maderables. *Revista*

Mexicana de Ciencias Forestales, 8(40), 7-18.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.32>

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014, 26 de junio). *México posee 31 millones de hectáreas de bosques tropicales*. Prensa.

<https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-posee-31-millones-de-hectareas-de-bosques-tropicales-9977>

Shannon, C. E. (1964). The Mathematical Theory of Communication. In C. E. Shannon & W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (1st Ed., pp. 29-35).

University of Illinois Press, Urbana.

https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164_3/component/file_2383163/content

Silva A., M., Olgún, C. F., y Cruz, S. J. (2024). Árboles asociados a los cafetales en comunidades de la Montaña de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(83), 80-106. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i83.1420>

Silva-García, J. E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jurado-Ybarra, E., Jiménez-Pérez, J., Vargas-Larreta, B., y Corral R., J. J. (2022). Influencia de la altitud y exposición en la estructura y composición de un bosque templado en Durango.

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 13(70), 64-84.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1163>

Soto-Pinto, L., Romero-Alvarado, Y., Caballero-Nieto, J., & Segura W., S. (2001).

Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 49(3-4), 977-987.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/18046>

Verdugo-Morales, E. G., Alanís-Rodríguez, E., Cuellar-Rodríguez, G., Yerena-Yamallel, J. I., Collantes-Chavez-Costa, A., y Silva-García, J. E. (2022). Composición, estructura y diversidad arbórea en un gradiente altitudinal en un bosque mesófilo de

montaña de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Interciencia*, 47(6), 218-224.

[https://www.interciencia.net/wp-](https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/07/02_6825_Com_Alanis_v47n6_7.pdf)

[content/uploads/2022/07/02_6825_Com_Alanis_v47n6_7.pdf](https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/07/02_6825_Com_Alanis_v47n6_7.pdf)

Williams-Linera, G., Pérez-García, I., y Tolome, J. (1996). El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal en el centro de Veracruz, México. *La Ciencia y el*

Hombre, (23), 149-161. <https://cdigital.uv.mx/items/1d5a3a59-ae5d-4067-b820-42d1b5ca790b>

World Flora Online. (2024, 20 de noviembre). *WFO The World Flora Online*.
Convention on Biological Diversity. <https://www.worldfloraonline.org/>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.