



<http://dx.doi.org/10.5154/r.ctasci.2023.03.03>

Versión en español

## Índices de diversidad arbórea en los agroecosistemas cafetaleros de la selva Loxicha, Oaxaca

Mario Castelán-Lorenzo\* & Gerardo Noriega Altamirano

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Preparatoria Agrícola, Área de Agronomía, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

### Historial del artículo:

Recibido: 24 de Marzo, 2023

Aceptado: 26 de Octubre, 2023

### \*Autor de correspondencia:

mcastelanl@chapingo.mx

### Resumen

Se exploraron y evaluaron diez predios cafetaleros ubicados en la selva del municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca, México, donde se encuentra, por lo general, una gran diversidad de árboles asociados al café que, como agroecosistemas, son en su mayoría complejos, siendo un ejemplo de sistema agroforestal. El objetivo fue registrar los árboles de sombra existentes y evaluar su importancia en el agroecosistema a través de índices de diversidad. Se aplicó la metodología propuesta por el Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC), delimitando sitios de 2000 m<sup>2</sup> al azar, tomando como centro de cada sitio un árbol emergente. Se contaron 136 especies arbóreas empleadas como sombra, en su mayoría nativas y, además de la sombra que proporcionan a los cafetos, los productores obtienen madera, leña, frutos y usos medicinales. La especie dominante fue el árbol de cuil (*Inga edulis* Mart.), seguido del aguacatillo (*Phoebe ehrenbergii* Nees) y el palo mujer (*Alchornea latifolia* Sw.). La diversidad arbórea constituye una gran riqueza biológica junto con las plantas arbustivas, epífitas y la gran cantidad de aves que se avistan entre los árboles.

► **Palabras clave:** *Inga edulis*, *Phoebe ehrenbergii*, *Alchornea latifolia*, árbol emergente, riqueza biológica.

### Introducción

En un esfuerzo por conservar los agroecosistemas cafetaleros de Latinoamérica, el Instituto Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC) inspecciona y certifica los cafetales como orgánicos y amigables con las aves, considerando como características más importantes el dosel, la altura y número de estratos, la diversidad arbórea y la presencia de epífitas y enredaderas; una mayor diversidad fomenta una mayor estabilidad en un sistema natural y esto aplica igualmente para un cafetal, partiendo de que una finca cafetalera en la que se produce café bajo sombra, debe tener una estructura similar a los bosques naturales, que se componen de árboles de varios tamaños y alturas, ya que un solo estrato o nivel único de cubierta de sombra no se asemeja mucho a un bosque natural (Rice y Drenning, 2003 y García et al., 2015).

Los estudios de vegetación en los trópicos se han enfrentado a los problemas de identificación y conocimiento de las numerosas especies que constituyen los bosques para determinar los patrones de su dinámica de crecimiento, en el espacio y a través del tiempo (Astudillo et al., 2019). Particularmente, la selva alta y mediana subperennifolia, ha sido el principal ecosistema donde se han establecido los cafetales desde la época de 1795, año en que fue introducido a México, sobre todo, la variedad *Coffea arabica* o *Coffea canephora* (robusta), que requiere de sombra para su cultivo. Al respecto, un 40 % de la superficie donde se produce el café corresponde a selvas altas y medianas, 23 % a bosques de pino encino, 21 % a selvas bajas caducifolias y un 15 % a bosque mesófilo de montaña (Moguel y Toledo, 1996; Sánchez et al., 2017; Reyes et al., 2022).

Se han realizado algunos trabajos en cafetales con respecto a su estructura y funcionamiento, por ejemplo, los de Moguel y Toledo (1999); Ruelas et al. (2014); García et al. (2015); Espinoza-Guzmán et al. (2020); Ramos-Reyes et al. (2020) principalmente, en las zonas de Xalapa, Coatepec y Córdoba, Veracruz, donde describen los diversos tipos de cafetales de acuerdo al tipo y uso de los árboles de sombra, abarcando un complejo mosaico de agroecosistemas y niveles productivos, donde, por un lado, se presenta una fuerte competencia por luz, nutrientes, agua y espacio y, por otro, se tiene la influencia étnica y socio-económica de las zonas cafetaleras.

Por otro lado, como parte de las técnicas para medir la biodiversidad en ecosistemas naturales, se han empleado diversos índices de diversidad, principalmente enfocados a conocer la riqueza de especies arbóreas leñosas, siendo ampliamente usados los índices de Margalef, Simpson, Menhinick, Pielou, Berger-Parker, McIntosh y Shannon, por cumplir con los requisitos de ser cuantificables, comparables, representativos, controlables, viables, georreferenciables y predecibles para medir la diversidad alfa (Soler et al., 2012; Valdez et al., 2018; Manzanilla et al., 2020); Montalvo (2006), empleando el índice de similitud de Jaccard, encontró una diversidad arbórea alta en los municipios de Candelaria Loxicha, Pluma Hidalgo y San Agustín Loxicha, ubicados en el rango altitudinal de 600 a 1200 msnm.

Sánchez y Schwentesius (2015) reportaron una diversidad vegetal arbórea de media a alta en cafetales de San Vicente Yogondoy, perteneciente a la selva Loxicha, empleando los índices de Margalef, Simpson y Berger Parker, superando considerablemente los requerimientos mínimos que se piden para que el cafetal sea diverso en cuanto a especies arbóreas y pueda certificarse como un cafetal amigable con las aves, señalando que los árboles no solo contribuyen a proporcionar sombra a los cafetos, sino que además brindan diversos beneficios a los dueños, quienes los usan como fuente de alimento, ornamentales, medicinales, material de construcción y para la captación de agua, entre otros servicios.

Rojas et al. (2012), señalaron los cambios y la transformación que ha sufrido el paisaje por el sistema de producción de café en Colombia, determinando que la fragilidad de las selvas ha llevado a la pérdida de la biodiversidad, siendo los paisajes que más se han transformados para establecer cafetales junto con el bosque mesófilo de montaña. En el caso de las fincas cafetaleras de la selva Loxicha en el estado de Oaxaca, se encuentra, por lo general, una gran diversidad arbórea, misma que los pequeños productores ven como una necesidad de conservar (Noriega et al. 2011). Así, partiendo de la necesidad de evaluar la biodiversidad arbórea en general, para la selva Loxicha y su importancia en el agroecosistema, el objetivo de este trabajo fue estimar índices de diversidad y registrar los árboles de sombra existentes.

## Materiales y métodos

La zona de estudio se ubica en la región Loxicha, localizada a 120 km al sur de la ciudad de Oaxaca. Dicha región constituye la parte alta de la cuenca del Río Copalita; abarca las comunidades extremas de Candelaria Loxicha, ubicada a los 450 msnm, hasta San Agustín Loxicha, comunidad ubicada a los 1 820 msnm. La vegetación corresponde al tipo de selva mediana subperennifolia (Pennington y Sarukhán, 2005) modificada por el agroecosistema cafetalero.

Como consecuencia de los factores ambientales, se presentan los tipos climáticos: (A)C(w2), Aw1, Aw0, cálidos subhúmedos en la zona próxima al litoral del pacífico y C(w2), Cb'(W2), templados subhúmedos en la parte alta de la serranía, caracterizándose por observar la mayor parte del año altas temperaturas con poca oscilación (García, 2004). Por su cercanía al mar, se origina la circulación en la planicie de vientos cálidos húmedos que chocan con la sierra en la exposición de barlovento y, además de la convección local, el aire se enfría, propiciando la condensación, hecho que deja importantes cantidades de humedad. Además, los ciclones tropicales influyen en el régimen de precipitación, ocasionando lluvias prolongadas en los meses de julio a octubre que, aunado a la acción de los vientos, causan efectos físicos tanto en los ecosistemas como en los cultivos.

## Sitios de muestreo y tamaño de muestra

Para evaluar la diversidad de especies arbóreas y caracterizar los cafetales, se muestrearon diez predios cafetaleros aplicando la metodología propuesta por el Instituto Smithsonian para evaluación y certificación de cafetales orgánicos y amigables con las aves (Rice y Drenning, 2003). En cada predio se delimitaron sitios o parcelas al azar, tomando como centro de cada sitio un árbol emergente o dominante, a una intensidad de muestreo del 20 %, que equivale a 1 sitio·ha<sup>-1</sup>, considerando una superficie de 2000 m<sup>2</sup>·hectárea<sup>-1</sup>, contando y registrando el número de las especies arbóreas existentes y sus alturas. Además, se contaron los estratos arbóreos y la cobertura de sombra, así como la georreferenciación del predio. Para ello, se contó con el acompañamiento de los productores de café y conocedores de los árboles de sombra.

Se recorrieron los cafetales seleccionados contando con cámara fotográfica, libreta de campo, GPS (GARMIN), clinómetro Suunto, densiómetro y machete. Se colectaron muestras de algunas especies para su identificación. Con el registro del número de árboles se procedió a calcular diversos índices de diversidad; el índice de diversidad de Margalef, índice de Menhinick, índice de Simpson, índice de McIntosh e índice de Shannon-Wiener. El índice de Margalef se expresa mediante la Ecuación (1), donde  $S$  es el número de especies y  $N$  el número total de individuos.

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1)$$

La expresión representa el número de especies en función del logaritmo de la extensión de la muestra, con lo cual puede usarse como índice de diversidad y refleja bien los atributos de esta, tanto en el número total de especies, como en la relación entre el número de individuos respectivos (Margalef, 1995). Este índice transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Asimismo, supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos donde  $k$  es constante. Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando  $S-1$ , en lugar de  $S$ , da  $D_{Mg} = 0$ , cuando hay una sola especie (Magurrán, 1989; Moreno et al., 2011).

Por su parte, el índice de diversidad de Menhinick se expresa con la Ecuación (2). Al igual que el índice de Margalef, este índice se basa en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que crece al aumentar el tamaño de la muestra.

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Para conocer la dominancia de las especies se obtuvo el índice de Simpson, dado por la Ecuación (3), donde  $p_i$  es abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra:

$$\lambda = \sum p_i^2 \quad (3)$$

Este índice de dominancia manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Asimismo, como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como  $1 - \lambda$  (Magurrán, 1989; Medrano et al., 2017; Salmerón et al., 2017).

Por su parte, el índice de McIntosh se expresa por la Ecuación (4), donde  $U$  se evalúa en la forma descrita por la Ecuación (5) para  $i=1, 2, 3, \dots, S$ . Este índice de dominancia resulta independiente de  $N$ , es decir, del número total de individuos registrados en la muestra (Magurrán, 1989).

$$D = \frac{N-U}{N-\sqrt{N}} \quad (4)$$

$$U = \sqrt{\sum n_i^2} \quad (5)$$

Finalmente, se estimó el índice de equidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), que define la diversidad con base en el

número de individuos por especies y se evalúa con la Ecuación (6), donde  $p_i$  representa la abundancia proporcional por especie.

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \quad (6)$$

Este índice expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Asimismo, el valor de este índice es mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una misma especie y es máximo cuando cada especie corresponde a una especie distinta (Daniel, 1998; Pla, 2006).

## Resultados y discusión

Los 10 cafetales muestreados tuvieron las siguientes superficies: 5, 3, 3, 6, 4, 7, 4, 2, 9 y 2 ha, respectivamente. Al sumarlas, resultó un total de 45 ha, por lo que, para cubrir la intensidad de muestreo del 20 % sugerido por el Instituto Smithsonian, el tamaño de la muestra fue de 9 ha, por lo cual se levantaron 45 sitios de 2000 m<sup>2</sup>. Se registraron 136 especies arbóreas que constituyen los árboles de sombra del agroecosistema cafetalero, en su mayoría son especies nativas, obteniendo, además, madera, leña y otros usos locales. Se presenta el listado de las especies arbóreas en el Cuadro 1, con el número de individuos contabilizados por cafetal, ordenados por nivel de importancia dentro del agroecosistema.

De acuerdo con Campo y Duval (2014), la cantidad de individuos se ordena de mayor a menor, donde el mayor se considera como la especie más importante dentro del ecosistema y donde el ordenamiento por importancia toma en cuenta la dominancia, la abundancia y la frecuencia de cada especie. Así, la especie dominante es el árbol de cuil (*Inga edulis* Mart.), seguido del aguacatillo (*Phoebe ehrenbergii* Nees) y el palo mujer (*Alchornea latifolia* Sw.), que constituyen el estrato principal del agroecosistema cafetalero, con alturas que van de los 16 a los 20 m. Los árboles emergentes o dominantes tienen una altura mayor a los 30 m, donde destacan los árboles guapinol (*Hymenaea courbaril* L.), ceiba (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), palo maría (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), macuil (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.) y hormiguillo (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken), al igual que para la región Chatina, reportados por Castelán (2016), siendo árboles clave en el agroecosistema cafetalero. En general, para la selva Loxicha, además de los mencionados, destacan el palo cobre (*Sommera grandis* Standl.), ocote (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) y el chalum (*Ficus tecolutensis* (Liebm.) Miq.).

Los parámetros estimados necesarios para obtener los índices se presentan en el Cuadro 2. Los valores de los índices obtenidos fueron: Margalef 16.4027, Menhinick 2.2199, Simpson 0.9624, McIntosh 0.8194 y Shannon-Wiener 3.9034. Para el índice de Margalef, los valores inferiores a 2.0 son considerados como relacionados con

Cuadro 1. Registro de los árboles de sombra en el agroecosistema cafetalero de la Selva Loxicha, Oaxaca.

Árbol	Nombre científico	Individuos por cafetal									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<i>Inga edulis</i> Mart.	43	21	24	56	35	64	39	16	75	19
2	<i>Phoebe ehrenbergii</i> Mez	36	23	26	47	26	55	30	20	68	11
3	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	22	9	11	31	21	42	18	13	43	8
4	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	17	12	16	34	21	37	15	11	36	7
5	<i>Musa paradisiaca</i> L.	16	13	11	26	16	33	20	13	48	10
6	<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	20	8	5	16	10	22	15	12	32	11
7	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. Ex Kunth	14	6	7	8	10	17	13	9	21	7
8	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	12	9	10	11	6	20	6	2	28	3
9	<i>Senna pallida</i> (Vahl) Irwin & Barneby	7	6	8	10	7	11	5	7	16	5
10	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	10	6	4	11	10	12	6	4	15	2
11	<i>Saurauia serrata</i> DC.	9	5	7	10	13	8	5	6	13	4
12	<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.	6	7	5	12	8	10	3	7	11	6
13	<i>Sommeria guatemalensis</i> Standl.	8	4	5	10	8	12	5	4	13	2
14	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	10	6	3	12	7	10	6	2	12	1
15	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	9	7	4	9	6	7	7	4	11	3
16	<i>Sommeria grandis</i> Standl.	7	4	6	8	5	10	5	4	12	5
17	<i>Croton draco</i> Schltld.	6	5	7	8	2	9	4	6	13	4
18	<i>Archibaccharis</i> spp. H.B.K.	4	6	6	9	3	9	5	6	11	3
19	<i>Eriobotrya japónica</i> (Thunb.) Lindl.	5	3	3	7	6	8	6	4	9	3
20	<i>Psidium guajava</i> L.	5	3	4	6	4	7	5	5	8	3
21	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	4	1	2	5	3	5	4	2	10	2
22	<i>Sommeria</i> spp. Schltld.	5	1	0	4	6	7	3	0	7	3
23	<i>Ficus tecolutensis</i> (Liebm.) Miq.	3	2	1	5	2	6	2	1	8	3
24	<i>Mangifera indica</i> (L.) Blume Wall.	4	1	2	5	3	5	1	1	6	2
25	<i>Homalium trichostemon</i> S. F. Blake	3	3	0	4	5	6	0	2	6	1
26	<i>Leucaena leucocephala</i> Benth.	2	4	1	2	3	3	2	5	5	2
27	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	1	0	1	5	1	7	2	3	7	1
28	<i>Quercus</i> spp. L. (encino rojo)	3	1	3	4	0	5	0	3	6	2
29	<i>Annona muricata</i> L.	4	0	1	4	1	4	2	2	7	1
30	<i>Persea</i> spp. Mill. (aguacate piedra)	2	1	3	5	3	2	3	0	5	0
31	<i>Dendropanax</i> spp. Decne. & Planch.	3	0	2	4	3	2	1	1	7	1
32	<i>Trophis</i> spp. L.	1	0	1	5	0	6	0	2	6	3
33	<i>Rhus striata</i> (Ruiz & Pav.)	0	1	1	4	1	5	3	0	8	1
34	<i>Andira</i> spp. Lam.	3	1	0	0	3	5	4	2	5	0
35	<i>Yucca</i> spp. L.	2	1	1	5	2	4	2	0	5	1
36	<i>Miconia</i> spp. (Ruiz & Pav.)	4	0	0	6	1	0	5	0	7	0
37	<i>Quercus oleoides</i> Cham. & Schltld.	3	1	2	5	2	0	3	0	6	0
38	<i>Musa</i> spp. L. (plátano morado)	0	0	0	6	3	1	2	2	6	2
39	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) DC.	1	0	1	3	3	2	1	4	5	2
40	<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	2	0	0	3	1	4	4	1	6	0
41	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Planch. & D	1	1	2	1	3	3	2	0	5	3
42	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil blanco)	3	0	1	3	2	4	1	1	4	1
43	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil de perico)	2	2	1	4	1	5	0	0	5	0
44	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	3	0	2	3	0	5	0	1	6	0
45	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	3	1	1	5	0	3	0	0	7	0

Cuadro 1. Registro de los árboles de sombra en el agroecosistema cafetalero de la Selva Loxicha, Oaxaca.

Árbol	Nombre científico	Individuos por cafetal									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	<i>Persea americana</i> Mill.	2	0	0	3	2	5	0	0	6	1
47	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	0	1	1	4	2	3	1	1	4	2
48	<i>Theobroma cacao</i> L.	1	2	2	3	3	1	1	0	4	1
49	<i>Ficus carica</i> L.	2	1	0	4	2	3	0	2	3	1
50	<i>Siparuna</i> spp. Aublet	2	0	0	4	1	4	0	0	6	0
51	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn	1	0	1	5	0	5	1	0	4	0
52	<i>Solanum aff. Chiapasense</i> K. E. Roe.	0	2	0	3	2	4	2	1	3	0
53	<i>Coccoloba</i> spp. P. Browne	1	1	1	2	1	5	1	0	4	0
54	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.	0	0	0	4	0	3	2	0	5	1
55	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	2	0	1	4	1	2	0	0	4	1
56	<i>Erythrina americana</i> Mill.	2	1	1	3	0	4	0	0	3	1
57	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil de cera)	1	1	2	2	0	3	1	1	2	1
58	<i>Leucaena</i> spp. Benth.	2	0	1	2	1	4	2	0	0	2
59	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuiloch)	2	1	0	3	1	2	0	1	1	1
60	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil peludo)	1	3	0	2	1	2	0	2	0	1
61	<i>Juglans styraciflua</i> L.	2	0	0	2	0	2	1	0	5	0
62	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schldtl.	1	1	0	2	1	2	0	1	3	1
63	<i>Diospyros digyna</i> Jacq.	0	0	1	2	0	2	1	1	4	0
64	<i>Persea</i> spp. Mill. (aguacate montez)	2	0	0	1	0	3	2	1	0	1
65	<i>Albizia</i> spp. Durazz.	0	2	0	2	1	4	1	0	0	0
66	<i>Rollinia membranacea</i> Triana & Planch.	1	0	0	1	1	2	1	0	3	0
67	<i>Cedrela odorata</i> L.	0	0	0	2	0	1	1	1	3	1
68	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil sierra)	1	0	1	1	1	0	2	0	2	1
69	<i>Lysiloma acapulcensis</i> (Kunth) Benth.	1	2	1	0	1	1	0	1	1	1
70	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	1	1	2	0	1	1	0	0	2	0
71	<i>Persea donell-smith</i> Mez.	0	1	0	2	0	1	1	1	1	1
72	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil delgado)	2	1	1	0	0	1	0	0	2	1
73	<i>Guarea glabra</i> Vahl	0	0	1	1	2	3	0	1	0	0
74	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	1	0	1	1	1	0	2	0	2	0
75	<i>Citrus</i> spp. L.	0	0	0	2	0	1	1	0	1	2
76	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil chauixtle)	2	1	1	0	1	0	1	0	0	1
77	<i>Ficus</i> spp. L.	1	0	1	1	0	1	2	0	1	0
78	<i>Brunellia mexicana</i> Standl.	0	0	0	1	0	2	1	1	2	0
79	<i>Zanthoxylum melanostictum</i> Schldtl. & Cham.	1	0	0	2	0	1	1	0	1	1
80	<i>Oreopanax langlassei</i> Standl.	1	0	1	0	1	0	2	0	1	0
81	<i>Coccoloba</i> spp. P. Browne	2	0	0	1	0	1	1	0	1	0
82	<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	0	2	1	0	1	0	0	1	0	1
83	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil rojo)	3	0	0	2	0	0	1	0	0	0
84	<i>Leucaena</i> spp. Benth.	2	0	1	0	1	1	0	0	0	1
85	<i>Chrysophyllum mexicanum</i> Brandege	0	1	1	0	1	0	0	1	2	0
86	<i>Citrus aurantifolia</i> Swing.	1	1	0	1	0	2	0	1	0	0
87	<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.	0	1	1	0	2	0	1	0	1	0
88	<i>Tamarindus indica</i> L.	1	0	1	1	1	0	2	0	0	0
89	<i>Trichilia</i> spp. P. Browne	1	2	0	0	0	1	0	1	1	0
90	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil peine)	0	1	1	0	1	2	0	0	0	0

**Cuadro 1. Registro de los árboles de sombra en el agroecosistema cafetalero de la Selva Loxicha, Oaxaca.**

Árbol	Nombre científico	Individuos por cafetal									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
91	<i>Enterolobium ciclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	1	0	0	1	0	2	0	0	1	0
92	<i>Crescentia</i> spp. L.	1	0	1	1	0	0	2	0	0	0
93	<i>Miconia impetiolearis</i> (Sw.) D. Don ex DC.	0	0	0	0	2	1	0	0	1	1
94	<i>Persea</i> spp. Mill.	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
95	<i>Inga jinicuil</i> Schlttdl. & Cham. Ex. G. Don	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
96	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
97	<i>Castilla elástica</i> Cerv.	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
98	<i>Genipa americana</i> L.	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0
99	<i>Spondias mombin</i> L.	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0
100	<i>Spondias purpurea</i> L.	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
101	<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
102	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
103	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
104	<i>Zanthoxylum</i> spp. L.	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
105	<i>Persea</i> spp. Mill. (aguacatillo)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
106	<i>Persea</i> spp. Mill. (aguacatillo rojo)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
107	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
108	<i>Spondias</i> spp. L.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
109	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil verde)	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
110	<i>Inga</i> spp. Mill. (guajinicuil)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
111	<i>Inga</i> spp. Mill. (guajinicuil liso)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
112	<i>Sommeria</i> spp. Standl.	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
113	<i>Ficus</i> spp. L. (matapalo)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
114	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
115	<i>Swietenia macrophylla</i> King	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
116	<i>Eugenia jambos</i> (L.) Alston	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
117	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
118	<i>Curatella americana</i> L.	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
119	<i>Diospyros</i> spp. L.	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
120	<i>Persea americana</i> Mill. (aguacate negro)										1
121	<i>Persea</i> spp. Mill. (aguacate apestoso)										1
122	<i>Cornus disciflora</i> Moc. & Sessé ex DC.										1
123	<i>Acacia cornígera</i> (L.) Willd.					1					
124	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil de cerro)							1			
125	<i>Inga</i> spp. Mill. (cuil montés)										1
126	<i>Couepia poliantra</i> (Kunth) Rose			1							
127	<i>Licania platypus</i> (Hemsl.) Fritsch						1				
128	<i>Rondeletia buddleioides</i> Benth.								1		
129	<i>Musa</i> spp. L. (plátano camote)					1					
130	<i>Musa</i> spp. L. (plátano costilla)	1									
131	<i>Musa</i> spp. L. (plátano macho)			1							
132	<i>Musa</i> spp. L. (plátano perón)										1
133	<i>Musa</i> spp. L. (plátano raután)							1			
134	<i>Aphanante monoica</i> (Hemsl.) Leroy										1
135	<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.										1
136	<i>Lysiloma</i> spp. Benth.										1

Cuadro 2. Valores estimados para la obtención de los distintos índices de diversidad.

S	N	lnN	$\Sigma pi^2$	U	$\Sigma ni^2$
136	3753	8.2303	0.03759	727.647	529471

zonas de baja diversidad por efectos antropogénicos, en tanto que valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad. Estos índices, junto con el de Menhinick expresan la riqueza específica de una forma sencilla, teniendo en cuenta simultáneamente el número de especies y el número de individuos presentes en las muestras (Magurran, 1989; Cué et al., 2019).

El valor de pi va desde 0.10444 para *Inga edulis* hasta 0.00026 para *Lysiloma* spp., es decir, desde la más abundante hasta la más escasa.

Los índices de Simpson y McIntosh expresan la dominancia de las especies, influenciados por la abundancia de las especies más comunes; el de Simpson expresa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a la misma especie; si la dominancia es grande la probabilidad es baja y máxima si las abundancias relativas de las especies son iguales. Con ambos índices se obtuvo una alta probabilidad, lo que indica que en el agroecosistema cafetalero la dominancia relativa de la mayoría de las especies es igual.

Por su parte, el índice de Shannon-Wiener indica una alta diversidad, con rango normal que varía de 2 a 3, pero cuanto más cercano sea de 5 mayor es la diversidad (Medrano et al., 2017), ubicándose dentro del rango elevado de las selvas tropicales en buen estado de conservación como Veracruz y Campeche. El valor de 3.9 obtenido para la selva Loxicha apenas si supera al valor de 3.5 obtenido para los cafetales de Veracruz que reporta García et al. (2015). Giménez et al. (2011) señalaron que el índice de Shannon es un buen indicador de la diversidad arbórea.

Medir la abundancia relativa de cada especie, permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales. Además, permite identificar un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en la dominancia, alertando acerca de procesos empobrecedores (Magurran, 1989). Para el caso de la diversidad en el agroecosistema cafetalero, las especies más escasas son *Couepia polyandra* (Kunth) Rose, *Aphananthe monoica* (Hemsl.) Leroy, *Xylopiya frutescens* Aubl., *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch, entre otras, las que probablemente requieran de algún tipo especial de medio, además de su poca adaptación a las condiciones ambientales cambiantes.

Magurran (2004), mencionó que la diversidad es un concepto que de manera intuitiva es fácil de entender y

se tiene poca dificultad en aceptar cuando un ecosistema es más diverso que otro, por ejemplo, que una selva tropical es más diversa que un bosque de coníferas, como lo señalan Manzanilla et al. (2020), al obtener un índice de Shannon que fue de 1.02 a 1.68 en bosques templados del Sur de Nuevo León. Bajo esta consideración, los habitantes de la región Loxicha, saben que sus cafetales tienen una gran diversidad de especies vegetales; sin embargo, por las tendencias actuales de promoción a las actividades ganaderas y por la crisis del café (Rojas et al., 2012), los cafetaleros consideran la posibilidad de cambiar de cultivo o actividad agrícola, lo que se reflejaría en la pérdida de la diversidad biológica que alberga el agroecosistema. Entonces, debe considerarse la evaluación a través de estudios secuenciales para averiguar los cambios en función de las alteraciones al agroecosistema (Espinoza-Guzmán et al., 2020) y, como lo sugiere Daniel (1998), con una modificación al índice de Shannon-Wiener, por ser uno de los índices más empleados para evaluar la biodiversidad.

Otra preocupación es la que señalan Reyes et al. (2022) que, en la actualidad, la diversidad biológica de los árboles de sombra de los cafetales ha disminuido considerablemente, ya que se ha generalizado la recomendación de establecer sombra monoespecífica con taxa del género *Inga*, principalmente, como ha ocurrido en algunas regiones cafetaleras de México, como Veracruz, Puebla y Chiapas. En este último estado, en la región de Soconusco, obtuvieron un índice de Shannon de 1.2 que se considera bajo en riqueza vegetal arbórea.

## Conclusiones

Los índices obtenidos indican una alta riqueza de especies arbóreas, en general para los cafetales asociados a la selva. Sin embargo, los cafetos, en promedio, tienen una edad de 15 a 30 años, lo que indica que la mayoría de las parcelas se han mantenido sin manejo desde que fueron establecidas; así también, la condición de los cafetos no es la más adecuada, son en su mayoría viejos y no han sido renovados. Como una práctica de manejo, no se ha regulado la sombra, encontrándose más de tres estratos arbóreos con una densidad o cobertura de sombra de 80 a 90 %. La mayoría de los árboles de sombra son especies nativas, las cuales representan un importante valor para los cafetaleros y, en general, para la población local, además de las plantas arbustivas, herbáceas y epífitas y, por supuesto, a la gran cantidad de aves que se avistan en los árboles; ellos saben la importancia que tienen los árboles de sombra en cuanto a la condensación de humedad y los múltiples servicios ambientales que generan sus bosques.

## Referencias

- Astudillo, S. E.; Pérez J., Troccoli, L., y Aponte H. (2019). Composición, estructura y diversidad vegetal de la Reserva Ecológica Comunal Loma Alta, Santa Elena, Ecuador. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2019), 1-25. doi:10.22201/ib.20078706e.2019.90.2871
- Campo, A. M., y Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 34 (2), 25-42. doi: [https://doi.org/10.5209/rev\\_AGUC.2014.v34.n2.47071](https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071)
- Castelán, L. M. (2016). Diversidad arbórea y silvicultura comunitaria en la región Chatina de Oaxaca. En: F. Pérez Soto, E. Figueroa Hernández y L. Godínez-Montoya (Eds.), *Desarrollo Económico en México* (pp.105-111). ECORFAN.
- Cué, G. J. L., Chagna, E., Carrión, M., Vallejos, H. Ipiates, C., Lara, J., Navarrete, P., Noquez, A., Muñoz, N., Mejía, A., Paillacho, J. C., Yamberla, J., y Toctaguano, C. (2019). Indicadores de biodiversidad del componente arbóreo de la granja yuyucocha, Ibarra, Ecuador. *Journal Recinatur International of Applied Sciences Nature and Tourism* 1(1), 1-10. <https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/recinatur/article/view/Como%20citar%3A/267>
- Daniel, O. (1998). *Subsidios al uso del índice de diversidad de Shannon*. Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. <https://studylib.es/doc/5709026/>
- Espinoza-Guzmán, M. A., Sánchez-Velásquez, L. R., Pineda-López, M. Del R., Sahagún-Sánchez F. J., Aragones-Borrego, D., y Reyes-García, Z. F. (2020). Dinámica de cambios en el agroecosistema de cafetal bajo sombra en la cuenca alta de La Antigua, Veracruz. *Madera y Bosques* 26(2), 1-13. Doi: 10.21829/myb.2020.2621974
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- García, M. L. E., Valdez, 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://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n3/v21n3a5.pdf>
- Giménez, A. M., Hernández P., Figueroa, M. E., y Barrionuevo, I. (2011). Diversidad del estrato arbóreo en los bosques del Chaco Semiárido. *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*. 19 (1-2), 24-37. ISSN: 0328-0543. <https://www.redalyc.org/pdf/481/48122207003.pdf>
- Magurran, A. E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición*. VEDRA. Barcelona, España.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Science.
- Manzanilla, Q. G. E., Mata B. J. M., Treviño G. E. J., Aguirre C. O. A., Alanís R. E., y Yerena Y. J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(61), 94-123. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Margalef, R. (1995). *Ecología*. OMEGA. Barcelona, España.
- Medrano, M. M. 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://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322017000200057&script=sci\\_abstract&lng=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322017000200057&script=sci_abstract&lng=es)
- Moguel, P., y Toledo, V. M. (1996). El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*, (43), 40-51. <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/43/CNS04306.pdf>
- Moguel, P., y Toledo, V. M. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11-21. doi:10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x
- Montalvo, E. L. (2006). *Composición florística y manejo de la vegetación leñosa de los cafetales en la Sierra Madre del Sur, Oaxaca*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- 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. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000400019&lng=es&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400019&lng=es&lng=es)
- Noriega, A. G., Cárcamo, R. B., Castelán, L. M., Leyva, B. J., García, D. E., Cruz, H. S., y Martínez, H. A. (2011). Biodiversidad arbórea en los cafetales de Pluma Hidalgo. En: Sepúlveda-Jiménez D. (Ed.) *Investigación científica en ciencias básicas y agronómicas* (pp. 57-64). Universidad Autónoma Chapingo.
- Pennington, T. D., y Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. 3era. Ed. UNAM. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911906>
- Ramos-Reyes, S., Pérez-Olvera, M. A., Illescas-Palma, G., Cruz-Rodríguez, J. A., Vibrans, H., y Flores-Sánchez, D. (2020). Diversidad y uso tradicional de árboles de sombra en cafetales agroecológicos. *Revista de Geografía Agrícola*, (64), 259-273. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2020.64.12>
- Reyes, R. J., Rodríguez M. J. A., Pimienta D. D. 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. Doi:10.29298/rmcf.v13i71.1191
- Rice, A. R., y Drenning, J. (2003). *Manual de café bajo sombra*. Smithsonian Migratory Bird Center. National Zoological Park. Washington, DC. EUA.

- Rojas, S. A., Hartman, U. K. R., y Marques R. A. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 93-104. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/3198>
- Ruelas, M. L. C., Nava, M. E., Cervantes, T. J., y Barradas, L. V. (2014). Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 27-40. doi: 10.21829/myb.2014.203149
- Salmerón, L. A., Geada, L. G., y Fagilde, E. M. Del C. (2017). Propuesta de un índice de diversidad funcional. Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *BOSQUE* 38(3): 457-466. Doi: 10.4067/S0717-92002017000300003
- Sánchez, H. S., y Schwentesius, R. R. E. (2015). Diversidad arbórea en cafetales de San Vicente Yogondoy, Pochutla, Oaxaca. *Revista de Geografía Agrícola*, 54 (enero-junio 2015), 25-34. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749285003.pdf>
- 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. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322017000200007&lng=es&tln g=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000200007&lng=es&tln g=es).
- Soler, P. E., Berroterán, J. L., Gil, J. L., y Acosta, R. A. (2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 62(1-4), 025-038. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X201200010003&lng=es&tln g=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X201200010003&lng=es&tln g=es).
- Valdez, M. C. G., Guzmán, L. M. A., Valdés, G. A., Forougbakhch, P. R., Alvarado, V. M. A., y Rocha, E. A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674-1682. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32135>.