

Diversidad y estructura arbórea en sistemas agroforestales de café en dos comunidades de Zongolica, Veracruz.

Diversity and tree structure in coffee agroforestry systems in two communities of Zongolica, Veracruz

Rolando Misael Tlaxcala-Méndez¹, Martín Aquino-Ramírez^{2*}, José Antonio Hernández-Moreno¹, Elías Ortiz-Cervantes¹, Julio César Ríos-Saucedo³, Carlos Alberto Martínez-Márquez¹

¹INIFAP-Campo Experimental El Palmar. Carretera Tezonapa-El Palmar Km 15. Tezonapa, Veracruz, México. C. P. 95080.

²INIFAP-Campo Experimental Edzná. Carretera Campeche-Pocayaxum km 15.1. Campeche, Camp. México. C.P. 24520.

³INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo. México. C. P. 34170.

*Autor para correspondencia: aquino.martin@inifap.gob.mx

RESUMEN

Los árboles en los sistemas agroforestales de café (SAFC) son importantes para la conservación de la diversidad en varios grupos funcionales, conocer su estructura y diversidad puede permitir desarrollar estrategias para su manejo y conservación. El presente estudio se realizó con el objetivo de cuantificar la estructura y la diversidad de los árboles de sombra en SAFC de dos localidades contiguas en el municipio de Zongolica, Veracruz. Para ello, en 2022 y 2024 se establecieron aleatoriamente 24 y 45 unidades de muestreo (UM) en las localidades de Coapa Pinopa (L1) y Xochiojca (L2), respectivamente. Se registraron las especies y se midieron las variables dasométricas del arbolado. Se estimó la representatividad del muestreo con modelos no paramétricos y se calculó el índice de valor de importancia (IVI). La diversidad alfa se cuantificó con los índices de Shannon-Wiener (H), Margalef (D_{MG}) y Pielou (E_J) y se compararon con pruebas estadísticas. La diversidad beta se estimó por medio del coeficiente de semejanza de Jaccard (C_J). Los resultados indicaron que se muestreó más del 90% de las especies, los IVI más altos en la L1 fueron para *Cordia alliodora*, *Inga vera* y *Cedrela odorata*, para la L2 fueron *Quercus* sp, *Cedrela odorata* y *Cupania glabra*. La diversidad alfa fue intermedia sin diferencias significativas en H y D_{MG} ($p>0.05$). Sin embargo, el C_J sugiere una semejanza del 49.3%, por lo tanto, el recambio de especies de una localidad a otra es alta. Los resultados son útiles para establecer estrategias de conservación y manejo en los SAFC.

Palabras clave: abundancia, dominancia, SAFC, semejanza, valor de importancia.

ABSTRACT

Coffee agroforestry systems (CAFS) are important for the conservation of diversity in various functional groups; understanding their structure and diversity can allow the development of strategies for their management and conservation. The present study was carried out with the objective of quantifying the structure and diversity of shade trees in SAFC of two contiguous localities in the municipality of Zongolica, Veracruz. For this, in 2022 and 2024, 24 and 45 sampling units (SU) were randomly established in the localities of Coapa Pinopa (L1) and Xochiojca (L2), respectively. The species were recorded and the dasometric variables of the trees were measured. The representativeness of the sampling was estimated using non-parametric models and the importance value index (IVI) was calculated. Alpha diversity was quantified using the Shannon-Wiener (H), Margalef (D_{MG}) and Pielou (E_J) indices and compared with statistical tests. Beta diversity was estimated using the Jaccard similarity coefficient (J_C). The results indicated that more than 90% of the species were sampled, the highest IVI in L1 were for *Cordia alliodora*, *Inga vera* and *Cedrela odorata*, for L2 were *Quercus* sp, *Cedrela odorata* and *Cupania glabra*. Alpha

diversity was intermediate with no significant differences in H and D_{MG} ($p>0.05$). However, the C_J suggests a similarity of 49.3%, therefore, the difference in species from one location to another is high. The results are useful for establishing conservation and management strategies in the CAFS.

Keywords: abundance, dominance, CAFS, similarity, importance value.

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales conservan una alta biodiversidad ofreciendo múltiples servicios ambientales de inestimable valor, sin embargo, las actividades antropogénicas ejercen fuerte presión sobre estos ecosistemas forestales. Estudios demuestran que es posible aliviar esta presión mediante el diseño de arquitecturas vegetales que mantengan y conserven las poblaciones de plantas y animales (Bhagwat *et al.*, 2008). En este sentido, los sistemas agroforestales de café (SAFC) son pequeñas unidades de producción importantes para la conservación de la biodiversidad local, por su estructura arbórea multiestratificada proporcionan hábitat, recursos y alimento a una variedad de especies de plantas y animales (Guiracocha *et al.*, 2001). La diversidad biológica en diferentes grupos funcionales dentro de las fincas de café bajo sombra se conserva, ya que el componente principal que la promueve es el estrato arbóreo, una gran parte de especies vive sobre o dentro de los árboles, entonces, la primera medida de conservación de la biodiversidad es favorecer el establecimiento y crecimiento de las especies de árboles locales (Sosa-Fernández *et al.*, 2020). Además, las especies arbóreas incrementan la productividad y la calidad del café, aumentan el vigor de los cafetos, conservan el suelo y agua, mejoran los nutrientes del suelo, ayudan a controlar plagas y enfermedades, moderan el microclima y permiten que se produzcan otros productos además del café (Manson *et al.*, 2018). Así pues, los SAFC por su parecido a los bosques han recibido una atención, especialmente por su importancia en la conservación de la biodiversidad y en los servicios ambientales que brindan.

Los SAFC funcionan como corredores biológicos al facilitar el flujo de fauna y la conectividad entre fragmentos de masa forestal. Asimismo, atenúan los efectos negativos asociados al borde en los remanentes de bosque aledaños, al generar transiciones más graduales y estructuralmente coherentes entre los distintos parches del paisaje forestal, formando transiciones más suaves entre el bosque-SAFC-bosque (Manson *et al.*, 2018). Por lo tanto, los SAFC son sistemas sumamente complejos que requieren de un entendimiento

profundo en sus diferentes grupos funcionales (árboles, aves, anfibios, epífitas, hongos, insectos, reptiles, mamíferos, entre otros) y de los servicios ambientales que generan. En este contexto, la investigación en los agroecosistemas de café es importante para generar conocimiento que permita desarrollar estrategias de manejo sustentable para la conservación de la biodiversidad y el bienestar socioeconómico de las familias productoras (Manson *et al.* 2008). Por lo anterior, y debido a la escasez de conocimiento local en los agroecosistemas de café en la región de la Sierra de Zongolica, Veracruz, el objetivo del presente estudio fue cuantificar la estructura y la diversidad arbórea en SAFC de las localidades de Coapa Pinopa y Xochiojca del municipio de Zongolica, Veracruz.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio y registro de datos

Este trabajo fue realizado en SAFC bajo manejo tradicional en las localidades de Coapa Pinopa (L1) y Xochiojca (L2) ubicados en el centro del municipio de Zongolica, Veracruz (Figura 1). Las condiciones ambientales en la zona de estudio son las siguientes: clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (Acf), temperaturas de 14 a 26°C, precipitaciones de 2,400 a 3,100 mm, la altitud es de 900 a 1,200 m, la topografía es de sierra de cumbres tendidas, los tipos de suelos predominantes son luvisoles y acrisoles (INEGI, 2010).

En 2020 y 2022 se establecieron de manera aleatoria 20 unidades de muestreo (UM) en la localidad de Coapa Pinopa (L1) y 45 UM en la localidad de Xochiojca (L2), en un área colectiva de 30.5 ha y 42 ha, respectivamente; la geometría de las UM fue cuadrada de 20 x 20 m (400 m²), el diámetro mínimo inventariable de los árboles fue ≥ 5 cm. En las UM se registró la identidad taxonómica de cada árbol a nivel familia, género y en la mayoría hasta nivel especie a través de los nombres comunes y con la ayuda de manuales de identificación (Lascurain *et al.*, 2010; Niembro *et al.*, 2010; Pennington y Sarukhán, 2005), en algunos ejemplares se empleó la aplicación móvil iNaturalist para su identificación. A los árboles se les midió el diámetro normal (DN en cm) a 1.30 m

sobre el suelo con una cinta diamétrica Forestry Suppliers®, Inc., la altura total (H en m) con un clinómetro Suunto® y el diámetro de la copa (DC en m) con una cinta métrica Truper®, considerando la proyección de la misma sobre el suelo.

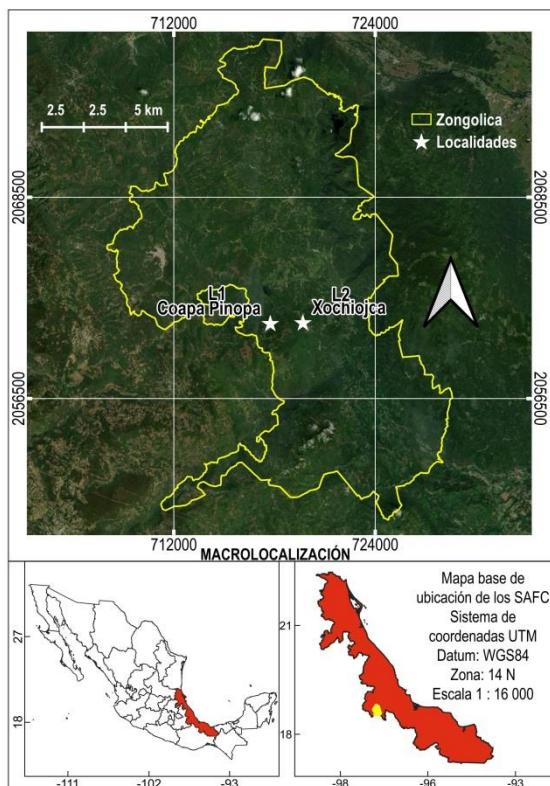


Figura 1. Localización del área de estudio.

Estructura de las especies arbóreas en los SAFC

En primer lugar, para determinar la representatividad del muestreo arbóreo en cada localidad se ajustaron dos modelos no paramétricos, Bootstrap y Coleman, estos estiman y grafican el número de especies acumuladas conforme se va aumentando el esfuerzo de muestreo, de tal manera que la curva de riqueza aumentará hasta llegar un momento en que se estabiliza en una asíntota horizontal (Escalante-Espinosa, 2003) y las estimaciones fueron realizadas con el programa EstimateS Versión 9.10. En segundo lugar, para comparar gráficamente los patrones de abundancia de especies entre las localidades se elaboraron las curvas de Whittaker (rango-abundancia), la forma de la curva muestra la estructura de la comunidad, una pendiente fuerte indica una alta dominancia de pocas especies y una pendiente suave muestra uniformidad en las abundancias entre especies (Leyte-Manrique *et al.*, 2016). En tercer lugar, para evaluar la estructura horizontal del arbolado por

localidad se empleó el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual es un indicador de la importancia fitosociológica de cada especie arbórea en una comunidad, considera la abundancia relativa (AR_i) según el número de individuos por especie, la frecuencia relativa (FR_i) basada la presencia de cada especie en las unidades de muestreo y la dominancia relativa (DR_i) de acuerdo al área basal por especie, el IVI toma valores en una escala porcentual del 0 al 100% (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2018). El IVI se calculó con la ayuda de las tablas dinámicas de Excel y empleando las siguientes formulas:

$$IVI_i = \frac{AR_i + FR_i + DR_i}{3}$$

$$AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum A_i} \right) \times 100, \quad A_i = \frac{N_i}{S}$$

$$FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum F_i} \right) \times 100, \quad F_i = \frac{P_i}{NS}$$

$$DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum D_i} \right) \times 100, \quad D_i = \frac{AB_i}{S}$$

$$AB = \frac{\pi}{40,000} \times DN$$

$$i = 1 \dots n$$

Donde: A_i es la abundancia absoluta, N_i es el número de individuos de la especie i , y S la superficie de muestreo en hectáreas. F_i es la frecuencia absoluta, P_i es el número de sitios de presencia de la especie i , y NS es el número total de UM. D_i es la dominancia absoluta, AB es el área basal de la especie i (m^2) y DN es el diámetro normal (cm).

Diversidad alfa y beta de las especies de árboles en los SAFC

Se estimó la diversidad alfa de las especies arbóreas por localidad empleando tres índices. El primero fue el índice de Shannon-Wiener (H), es el más empleado en SAFC, este mide el grado promedio de incertidumbre de que un individuo seleccionado al azar pertenezca a una especie en particular, se expresa como un valor positivo, en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0.5 a 5 unidades, aunque su valor normal está entre 2 a 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad (Mora-Donjuán, 2017). El segundo, el

índice de Margalef (D_{MG}) que mide la riqueza específica de especies, valores menores a 2 muestran una baja riqueza de especies y por el contrario valores cercanos a 5 o superiores revelan una riqueza de especies alta (Mora-Donjuán, 2017). El tercero, el índice de Pielou (E_J) que mide la equidad o la uniformidad de especies en una comunidad, un valor cercano a cero indica que una especie domina sobre todas las demás en la comunidad y se acerca a 1 cuando todas las especies comparten abundancias similares (Soler *et al.*, 2012). Por otro lado, la diversidad beta se cuantificó con el coeficiente de Jaccard (C_J) que mide en porcentaje el grado de similitud entre dos conjuntos de comunidades (Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández, 2003). Las fórmulas de los índices empleados fueron las siguientes:

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

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

$$E_J = \frac{H}{\ln(S)}$$

$$C_J = \frac{C}{A + B - C}$$

Donde: n_i es el número de individuos de la especie i , N es el número de individuos total, \ln es el logaritmo natural, S es el número de especies, A es el número de especies encontradas en la comunidad A; B es el número de especies encontradas en la comunidad B y C es el número de especies comunes en ambas comunidades.

Adicionalmente, para los valores obtenidos de los tres índices de diversidad alfa se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de F de igualdad de varianzas, luego para determinar si existían diferencias significativas en los SAFC de las dos localidades muestreadas se les realizó la prueba paramétrica t de Student para dos muestras independientes de tamaño diferente o su equivalente, la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney con corrección por empates, dependiendo del cumplimiento de los supuestos. Para ello, se empleó el programa estadístico SAS® OnDemand for Academics y los procedimientos PROC TTEST y PROC NPAR1WAY.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Especies registradas, estimadas e importancia estructural

El número de especies arbóreas registradas fue de 51 en los SAFC de Coapa Pinopa (L1), Coleman estimó 51 y Bootstrap 53 especies, ambos modelos no paramétricos presentan una asintota horizontal con un esfuerzo de muestreo a partir de 20 UM, mientras que en los SAFC de Xochiojca (L2) se encontraron 61 especies de árboles, Coleman estimó 61 y Bootstrap 62, la asintota horizontal en estos modelos no paramétricos se observa desde las 25 UM (Figura 2). Por lo tanto, las curvas de acumulación en ambas localidades sugieren que se registró más del 90% de las especies predichas por los estimadores no paramétricos, valor que se considera suficiente para representar la diversidad en comunidades locales (López-Mejía *et al.*, 2027). En contraste, en un estudio realizado en SAFC activos y abandonados de la región de Xalapa, Ver., se registraron 51 y 61 especies leñosas, con un esfuerzo de muestreo de 40 UM para cada SAFC, los estimadores no paramétricos de ACE, ICE, Chao 1, Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 y Bootstrap no alcanzaron una asintota horizontal, estimando una riqueza esperada en un rango de 64 - 93 especies de plantas leñosas (López-Gómez y Williams-Linera, 2006).

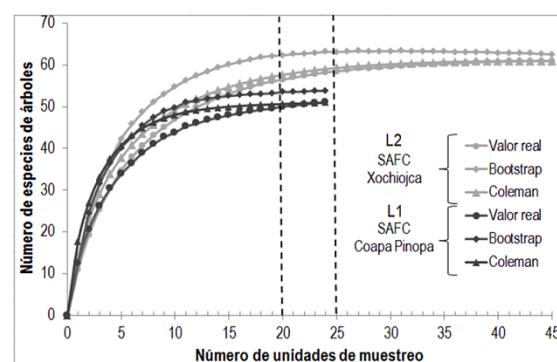


Figura 2. Curvas de acumulación de especies de la riqueza observada y estimada por dos estimadores no paramétricos.

Las curvas de Whittaker (rango-abundancia) mostraron que las cinco especies más abundantes en los SAFC de Coapa Pinopa (L1) son *Cordia alliodora* (116), *Inga vera* (74), *Cupania glabra* (44), *Diphysa robinioides* (36) y *Fraxinus uhdei* (32) y de Xochiojca (L2) fueron *Cupania glabra* (57), *Cordia alliodora* (51), *Pinus patula* (41), *Cedrela odorata* (40) y *Citrus* sp. (40). La abundancia de estas especie se debe al uso principal con fines

maderables, sombra, leña y producción de fruta para el autoconsumo. En la L1 es evidente la fuerte dominancia de pocas especies (principalmente *Cordia alliodora*) generando una pendiente más pronuncia en el gráfico, mientras que en la L2 la pendiente disminuye de forma gradual indicando una mejor equitatividad en la disminución del número de árboles por especie (Figura 3).

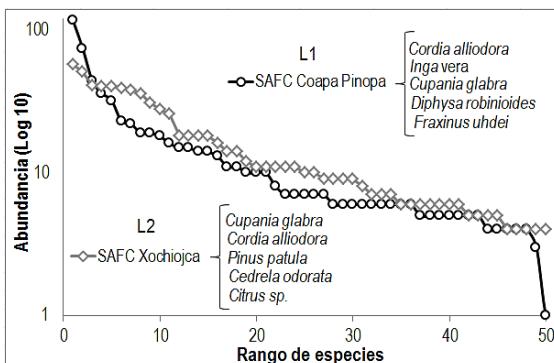


Figura 3. Curvas de rango-abundancia o de Whittaker. Las agrupaciones representan a las cinco especies de árboles más abundantes de cada localidad.

El índice de valor de importancia (IVI) determina en la estructura horizontal a las especies con mayor importancia ecológica relativa en los SAFC, en las Figuras 4 y 5 se observan las primeras 15 especies arbóreas con mayor IVI, el resto fueron agrupadas. En la L1 es evidente la superioridad de *Cordia alliodora* debido alto número de individuos encontrados y a la fuerte dominancia derivada de las áreas basales logrando ocupar mayor espacio en la estructura horizontal dentro de las unidades de producción, también destaca *Inga vera* debido a la alta abundancia y frecuencia, aun cuando los árboles son no dominantes y, *Cedrela odorata* con individuos altamente dominantes, sin embargo, son escasos y poco frecuentes. Por otra parte, en la L2 la especie con mayor IVI fue *Quercus sp1* caracterizada principalmente por su alta dominancia en el espacio horizontal, de manera similar destacó *Cedrela odorata*, *Cupania glabra* fue la especie más abundante coincidiendo con la curva de Whittaker posicionándolo en cuarto lugar en los IVI. De manera similar en un estudio realizado en SAFC de la Sierra de Atoyac, Veracruz, las especies con mayor IVI fueron *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Cupania dentata*, especies valoradas para la producción de madera e *Inga vera* apreciada para el sombreado de los cafetos (García-Mayoral et al., 2015), mientras que en los SAFC de Cundinamarca, Colombia, las especies con alto IVI son *Cordia alliodora*, *Inga edulis* y *Citrus sinensis*, estos valores están relacionados con las preferencias de los

productores asociadas al uso principal y características de las especies que determinan interacciones favorables en coexistencia con el café (Zapata-Arango, 2019).

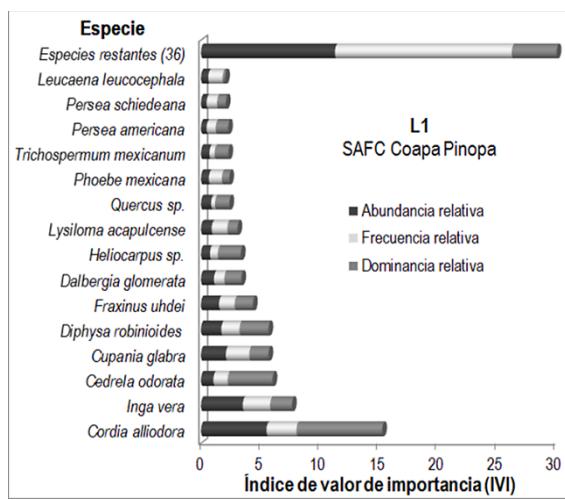


Figura 4. Importancia estructural de especies de árboles en la L1.

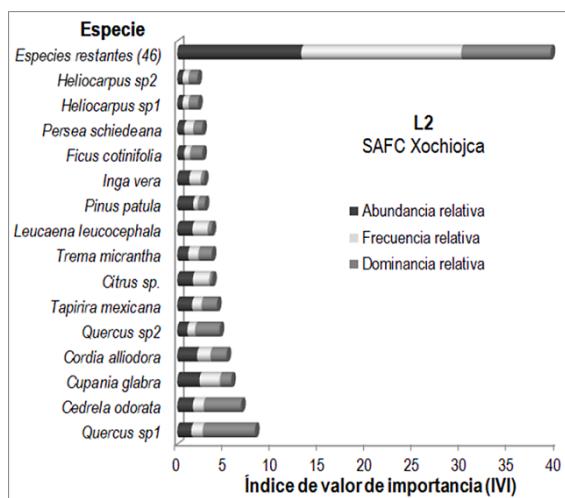


Figura 5. Importancia estructural de especies de árboles en la L2.

Diversidad alfa y beta de especies leñosas en los SAFC

Las pruebas estadísticas en los valores de los índices de diversidad alfa para los SAFC de la L1 y L2 se muestran en la Tabla 1, así como su distribución y comparación de medias en la Figura 6, los valores en los índices de Shannon-Wiener (H) y Margalef (D_{MG}) cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas ($p>0.05$), la prueba t de Student en ambos índices sugiere que las localidades L1 y L2 no presentan diferencias significativas ($p>0.05$) e indicando riqueza y diversidad arbórea con nivel intermedio. No obstante, los valores en el índice de Pielou (E_J) de la L1 y L2 no cumplen con el supuesto de

normalidad ($p<0.05$), en este contexto, la prueba U de Mann-Whitney con corrección por empates sugiere diferencias significativas ($p = <.0001$). En este tenor, en la L2 hay una mejor uniformidad en la abundancia de especies que en la L1 como se observa en las medias del índice de Pielou (E_J), este resultado también fue observado en las curvas de Whittaker y en los IVI. Los resultados del presente estudio son semejantes con las estimaciones realizadas en SAFC de la Sierra de Atoyac con valores en el índice de Shannon-Wiener (H) de 1.88 a 3.58 y en el índice de Pielou (E_J) de 0.80 a 0.91 (García-Mayoral *et al.*, 2015). En SAFC de Cundinamarca, Colombia, el índice de Shannon-Wiener (H) es de 0.7 a 1.6 (Zapata-Arango, 2019), mientras que en los SAFC de la región occidental de Camerún el índice de Shannon-Wiener (H) es de 0.48 a 2.16 y en el índice de Pielou (E_J) de 0.25 a 0.71 (Temgoua *et al.*, 2020).

Tabla 1. Pruebas estadísticas en los valores de los índices de diversidad alfa en los SAFC.

	I	M	L	PSW	PFV	PTS/ PUMW
H	2.22	L1		W = 0.96 p = 0.51	F = 1.17 p = 0.63	t = 0.02 p = 0.98
	2.22	L2		W = 0.95 p = 0.08		
D_{MG}	3.45	L1		W = 0.92 p = 0.08	F = 1.10 p = 0.76	t = -0.41 p = 0.68
	3.51	L2		W = 0.97 p = 0.37		
E_J	0.88	L1		W = 0.90 p = 0.02		W = 16.718
	0.93	L2		W = 0.76 p=<0.0001	F = 1.12 p = 0.73	p = <.0001

Donde: I es el índice, M es la media, L es la localidad, PSW es prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, PFV es la Prueba F de varianzas, PTS es la prueba t de Student, PUMW es la prueba U de Mann-Whitney.

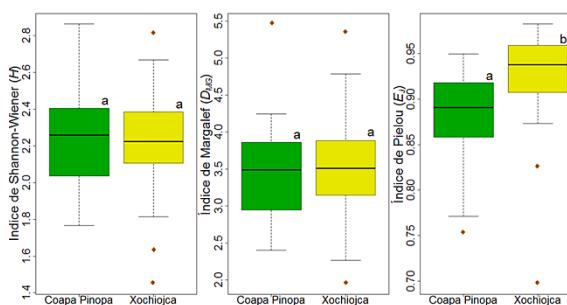


Figura 6. Distribución de los datos de diversidad alfa y comparación de las medias ($\alpha=0.05$).

Por otra parte, el coeficiente de Jaccard (C_j) sugiere una similitud de especies de árboles del 49.3% en las dos localidades estudiadas. Por lo tanto, si bien los valores en los índices de diversidad son estadísticamente iguales con excepción de la equitatividad, el recambio de especies de una localidad a otra es alto, lo que significa que si se suman todas las especies de ambas localidades encontramos una alta diversidad, al aportar cada uno de estos una parte del total de especies, a esto se le conoce como complementariedad (Manson *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

Las especies de árboles de sombra en los SAFC registrados fueron 51 para la L1 y 61 para la L2, los modelos no paramétricos de Coleman y Bootstrap sugieren que se muestreó más del 90% de las especies en las dos localidades, suficiente para representar la diversidad arbórea local de los SAFC. La especie con mayor abundancia en la L1 fue *Cordia alliodora* y en la L2 es *Cupania glabra*, así mismo, se observó mejor equitatividad en la L2 de acuerdo a los observado en las curvas de Whittaker. Las cinco especies con mayor importancia ecológica relativa en la estructura horizontal según el IVI en la L1 fueron *Cordia alliodora*, *Inga vera*, *Cedrela odorata*, *Cupania glabra* y *Diphyesa robiniooides*; mientras en la L2 fueron *Quercus* sp1, *Cedrela odorata*, *Cupania glabra*, *Cordia alliodora* y *Quercus* sp 2, revelando las preferencias de los productores. Los índices de diversidad alfa sugieren que los SAFC conservan una diversidad intermedia, sin embargo, la similitud de especies en la dos localidades solo es del 49.3%, por lo tanto, el recambio de especies de una localidad a otra es alta. Los resultados presentados se pueden utilizar para desarrollar estrategias de manejo sustentable para la conservación de la biodiversidad en los SAFC de las localidades estudiadas.

Agradecimientos

Se agradece a los productores que facilitaron el acceso a las fincas de café para la realización del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., Valdecantos-Dema, A., Canizales-Velázquez, P. A., Collantes Chávez-Costa, A., Rubio-Camacho, E., & Mora-Olivo, A. (2018). Análisis estructural de un área agroforestal en una porción del matorral xerófilo del noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*, 125, 133-156.
- Bhagwat, S. A., Willis, K. J., Birks, H. J. B., & Whittaker, R. J. (2008). Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity?. *Trends in ecology & evolution*, 23(5), 261-267.
- Escalante-Espinosa, T. (2003). ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: ciencia y cultura*, 52, 53-56.
- García-Mayoral, L. E., Valdez-Hernández, J. I., Luna-Cavazos, M., & López-Morgado, R. (2015). Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y bosques*, 21(3), 69-82.
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Mora-Olivo, A. (2017). Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noreste de México. *Madera y bosques*, 23(3), 137-146.
- Guiracocha, G., Harvey, C., Somarriba, E., Krauss, U., y Carrillo, E. (2001). Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8(30), 7-11.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendios de información geográfica municipal. Zongolica, Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Lascurain, M., S. Avendaño, S. del Amo y A. Niembro. (2010). Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Conafor-Conacyt, México, 144 p.
- Leyte-Manrique, A., Morales-Castorena, J. P., y Escobedo-Morales, L. A. (2016). Variación estacional de la herpetofauna en el cerro del Veinte, Irapuato, Guanajuato, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(1), 150-155.
- López-Gómez, A. M., & Williams-Linera, G. (2006). Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78, 7-15.
- López-Mejía, M., Moreno, C. E., Zuria, I., Sánchez-Rojas, G., & 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.
- Manson R. H., Hernández-Ortiz V., Gallina S. y Mehltreter K. (editores). (2008). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, 348 p.
- Manson, R. H., López, F., Sosa, V., y Ortega, A. (2018). Biodiversidad y otros servicios ambientales en cafetales: manual de mejores prácticas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Ed. Ciudad de México.
- Mora-Donjuán, C. A., Burbano-Vargas, O. N., Méndez-Osorio, C., & Castro-Rojas, D. F. (2017). Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus L.*) en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35), 68-75.
- Niembro, R. A., M. Vázquez y O. Sánchez. (2010). Árboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica. Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Centro de Investigaciones Tropicales. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, México 256 p.
- Pennington, T. D., y Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. UNAM. México: Fondo de Cultura Económica. 523 p.
- Soler, P. E., Berroterán, J. L., Gil, J., & Acosta, R. (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), 25-37.

- SAS Institute Inc. (2025). SAS OnDemand for Academics [Software]. <https://welcome.oda.sas.com/>
- Sosa-Fernández, V., López-Barrera, F., Hunter-Manson R. y Jiménez-Valdez L. (2020). Capítulo XV. Biodiversidad en cafetales. López-Morgado, R. y Díaz-Padilla, G. (Primera edición electrónica). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ciudad de México, México. 361-395 pp.
- Temgoua LF, Etchike ABD, Marie Solefack CM, Tumenta P, Nkwelle J. (2020). Woody species diversity conservation and carbon sequestration potential of coffee agroforestry systems in the Western Region of Cameroon. *Journal of Horticulture and Forestry*. 12(2):35–48.
- Villavicencio-Enríquez, L., & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rustico de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), 413-423.
- Zapata-Arango, P. C. (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciencia Florestal*, 29 (2), 685-697.
- Zarco-Espinoza, V.M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., y Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque Estatal Agua Blanca Macuspana Tabasco, Rama. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 1-1.