



# Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz

## Structure and diversity of arboreal vegetation in coffee agroforestry systems in Sierra de Atoyac, Veracruz

Luis E. García Mayoral<sup>1\*</sup>, Juan I. Valdez Hernández<sup>2</sup>, Mario Luna Cavazos<sup>2</sup> y Rosalío López Morgado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa Forestal. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Estado de México, México.

<sup>2</sup> Programa de Botánica. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Estado de México, México.

<sup>3</sup> Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México.

\*Autor para correspondencia. garcia.luis@colpos.mx

### Resumen

Se estudió la estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café (SAF-Café): rústico (RU), policultivo complejo (PC) y policultivo simple (PS), así como en una selva mediana subperennifolia (SM) de la Sierra de Atoyac, Veracruz, estableciéndose tres unidades de muestreo (UM) por cada franja altitudinal (600-900 y 900-1200) m snm en cada sistema y selva mencionados, para un total de 24 UM de 600 m<sup>2</sup> (20 m x 30 m) cada una. Caracterizándose cada sistema mediante la distribución diamétrica y de alturas de sus individuos así como con el cálculo de índices de valor de importancia (IVI), de valor forestal (IVF), de diversidad (*Shannon: H'*, *α Fisher*) y de semejanza florística (Sorensen: *S<sub>i</sub>*). Para analizar patrones de distribución de especies, se aplicaron técnicas de clasificación (agrupamiento: *β flex*) y ordenación (correspondencia canónica: CCA) de la vegetación. Fueron determinadas 79 especies arbóreas, la riqueza por sistema fue: SM=65; PC=61; RU=32; PS=18. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. resultó ser la especie más importante estructuralmente en los SAF-café, *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Myriocarpa longipes* Liebm. en la SM. La diversidad fue significativamente mayor en PC (*H'*=3.56) y SM (*H'*=3.58) sin presentar diferencias significativas (*p* < 0.05) entre estos. La semejanza florística mayor fue entre SM y PC (*S<sub>i</sub>*=0.69). Asimismo la altitud fue el factor ambiental que más influyó en la composición florística de los sistemas.

**PALABRAS CLAVE:** clasificación, índices de diversidad, ordenación, semejanza florística, valor de importancia, valor forestal.

### ABSTRACT

Structure and tree diversity was studied in coffee agroforestry systems (SAF-café): rustic (RU), polyculture complex (PC), simple polyculture (PS), and as semi-evergreen forest (SM) from the Sierra de Atoyac, Veracruz, establishing three sampling units (UM) per altitudinal band (600-900 and 900-1200) m on each system and forest above mentioned, for a total 24 UM of 600 m<sup>2</sup> (20 m x 30 m) each one. Each system was characterized by the diameter and height distribution of individuals as well as the calculated importance value (IVI), forest value (IVF), diversity (*Shannon H'*, *α Fisher*) and floristic similarity (Sorensen: *S<sub>i</sub>*) indices. To analyze patterns of species distribution of vegetation classification (cluster analysis: *β flex*) and ordination (canonical correspondence analysis: CCA) techniques were applied. 79 tree species were determined, richness per system was: SM= 65; PC= 61; RU= 32; PS= 18. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. was the most important structurally species in the SAF-café coffee and *Myriocarpa longipes* Liebm., and *Bursera simaruba* (L.) Sarg. in the SM. The diversity was significantly higher in PC (*H'*= 3.56) and SM (*H'*= 3.58) without significant differences (*p* < 0.05) between them. The highest floristic similarity was between SM and PC (*S<sub>i</sub>* = 0.69). Also the altitude was the most influential environmental factor in the floristic composition of the systems.

**KEYWORDS:** classification, diversity indices, ordination, floristic similarity, importance value, forest value.

## INTRODUCCIÓN

Las características físicas, climáticas, orográficas y geológicas que presenta el estado de Veracruz ha generado una riqueza de plantas vasculares calculada entre 7700 (Rama-moorthy *et al.*, 1993) y 9136 especies (Vázquez-Torres, 1998), lo que representa alrededor de 27.7% del total publicado para el país (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). El bosque tropical perennifolio (*sensu* Rzedowski, 1978) es el tipo de vegetación que alberga más especies de plantas en el estado, alrededor de 2230 especies; de las cuales 160 están bajo alguna categoría de riesgo (54 son árboles) de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 (Castillo-Campos *et al.*, 2011).

Debido a que los ecosistemas primarios se han sustituido por actividades agropecuarias, en el estado de Veracruz, la vegetación prístina ha mermado su superficie original en más de 85% (Castillo-Campos *et al.*, 2011). Esta situación ha ocasionado que Veracruz sea la segunda entidad, con mayor cambio de uso del suelo, en una magnitud de 77% de su superficie (Semarnat, 2013). Sin embargo aún quedan áreas que mantienen masas de vegetación forestal como la Sierra de Atoyac, considerándose a esta dentro de las áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad (*hotspot*) en el estado. No obstante debido a la expansión agrícola, ganadera y urbana, así como la explotación forestal y extracción de especies (Ellis *et al.*, 2011), la masa forestal está siendo disminuida a un grado acelerado, viéndose amortiguada esta situación por la presencia de plantaciones de café bajo sistemas agroforestales (Villavicencio y Valdez, 2003).

Las plantaciones de café bajo sombra son importantes en la conservación de la diversidad biológica, debido a que ciertos sistemas productivos conservan en gran medida la estructura y funcionamiento de los bosques nativos que reemplazaron (Perfecto *et al.*, 1996; Moguel y Toledo 2004; Schroth *et al.*, 2004); es decir, desempeñan un importante papel como refugio para la vida silvestre (Richter *et al.*, 2007; Toledo y Moguel, 2012), propician la infiltración de agua y conservación del suelo (Beer *et al.*, 1998; Soto-Pinto *et al.*, 2001), favorecen la captura de carbono (Pineda-López *et al.*, 2005; Roncal-García *et al.*,

2008) y proporcionan otros servicios ambientales que aún no han sido valorados (Bishop y Landell-Mills, 2003; Manson *et al.*, 2008). Además de ofrecer diferentes productos que contribuyen en la economía de los productores (Moguel y Toledo, 1999).

Así, el estudio de los sistemas agroforestales de café (SAF-Café) ha ganado importancia en los últimos años (Manson *et al.*, 2008), vistos estos como una alternativa que contribuye a disminuir la degradación de los recursos base; agua, suelo y biodiversidad, en las regiones cafetaleras del país (López *et al.*, 2013). No obstante, son escasos los estudios que describen las características estructurales y de la diversidad de especies arbóreas en cafetales (Soto-Pinto *et al.*, 2001; Méndez *et al.*, 2007), ya que frecuentemente se analizan de manera indirecta o en el mejor de los casos de manera general.

Las plantaciones de café bajo sombra en México son descritas, en su estructura arbórea, como un agroecosistema complejo (Soto-Pinto *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2007). En México, se estima que el café se cultiva por lo menos en dos terceras partes bajo los llamados sistemas sombreados (Moguel y Toledo, 2004), en un gradiente amplio de modalidades que van desde los sistemas tradicionales con árboles de la vegetación original y sombra diversificada (rusticano y de policultivo), pasando por un sistema de policultivo comercial con árboles escasos y especies introducidas, hasta los sistemas especializados: uno con sombra monoespecífica y otro sin sombra (Perfecto *et al.*, 1996; Beer *et al.*, 1998; Toledo y Moguel, 2012).

La caracterización de estos sistemas mediante el uso de índices que midan elementos de su diversidad es el indicador principal de la salud de los mismos (Magurran, 1988). Asimismo estos indicadores permiten comparar comunidades modificadas y naturales, a fin de medir el efecto de las actividades humanas sobre los ecosistemas (Halffter, 1998). Lo anterior posibilita diseñar estrategias de conservación a escala local (Moreno, 2001).

## OBJETIVO

Caracterizar la estructura y diversidad de la vegetación arbórea en tres sistemas agroforestales de café y en una



selva mediana subperennifolia de la Sierra de Atoyac, Veracruz. Debido a que esta selva representa la cobertura forestal original, se espera que su riqueza y diversidad de especies arbóreas sea mayor que en los tres sistemas agroforestales que la han modificado o parcialmente reemplazado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se localiza en la zona centro de Veracruz, en la región cafetalera de Córdoba, entre las coordenadas 18° 55' a 19° 00' de latitud norte y 96° 54' a 96° 49' de longitud oeste. Abarca los municipios de Atoyac, Amatlán de los Reyes y Córdoba, los cuales presentan elevaciones de 298 m hasta 1800 m snm; precipitación anual de 1930 mm y temperatura media anual de 21.3 °C (Guajardo *et al.*, 2013). El tipo de clima es (A) C (m) w"o y la vegetación se clasifica como selva mediana subperennifolia, debido a que entre 25 y 50 por ciento de los árboles pierden sus hojas en lo más acentuado de la época seca (Miranda y Hernández, 1963).

La Sierra de Atoyac se ubica dentro de la provincia geomorfológica de la Sierra Madre del Sur, en la subprovincia de sierras orientales de Oaxaca (Lugo y Córdoba, 1992), su unidad geomorfológica es de montañas de laderas abruptas (pendiente >35°), de altura superior a 600 m con relieve modelado en barrancas del plioceno-cuaternario, de origen estructural por plegamiento, constituidas por rocas sedimentarias mesozoicas (Geisert y Enríquez, 2011). Hidrológicamente, el área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del río Papaloapan, formando parte de la cuenca del río Jamapa; y tiene como principal afluente al río Atoyac, que nace en este sistema montañoso.

### Muestreo

Se llevaron a cabo recorridos previos con habitantes de las comunidades de la zona de estudio en dos franjas altitudinales (600 a 900 y 900 a 1200) m snm para localizar cuatro sistemas a estudiar: selva mediana subperennifolia

(SM), rústicano (RU), policultivo complejo (PC) y policultivo simple (PS), en los cuales se establecieron aleatoriamente tres unidades de muestreo (UM) por cada franja altitudinal en cada sistema y selva mencionados, obteniendo un total de 24 UM. Las superficies de cada UM fue de 600 m<sup>2</sup> (30 m x 20 m), que se dividió en seis cuadros de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) en donde se cuantificaron todos los árboles con un diámetro normal (DN: 1.3 m sobre el suelo) ≥ 2.5 cm. A cada individuo se le registraron las siguientes variables: altura total (con flexómetro en individuos ≤ 8 m y con clisímetro para aquellos > 8m), diámetro mayor y menor de proyección de copa (con cinta métrica), DN (con cinta diamétrica) y área basal (a partir de la variable anterior).

Asimismo, a cada individuo se le determinó su identidad taxonómica con base en los trabajos realizados anteriormente (Acevedo, 1988; Gómez Pompa, 1978; Pennington y Sarukhán, 2005); además, se recolectaron especímenes por triplicado los cuales fueron procesados y herborizados (Lot y Chiang, 1986), para cotejarlos en los herbarios XAL (Instituto de Ecología, A.C.) y CHAPA (Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo); quedando depositados en este último.

### Análisis de datos

Los atributos estructurales de área basal, densidad, altura promedio y cobertura se analizaron con una prueba de *Shapiro Wilk* para determinar si se ajustaban a una distribución normal. En los casos necesarios, los datos fueron transformados logarítmicamente para obtener dicha distribución. Posteriormente, se realizó un ANOVA multifactorial (franja altitudinal, sistema, UM) y cuando se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) se realizaron comparaciones de medias mediante la prueba de *Tukey Honest Significant Difference* (HSD). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Minitab versión 17 (Mckenzie *et al.*, 1997). Las distribuciones de frecuencias de individuos por clase diamétrica (5 cm de amplitud) se obtuvieron basándose en Zarco *et al.* (2010). La delimitación de estratos verticales se llevó a cabo a partir de las inflexiones de una curva generada entre el

número de individuos y su altura (López *et al.*, 2012) y la curva de acumulación de especies se elaboró al graficar el número de especies encontradas respecto de la superficie muestreada (Greig-Smith, 1983).

Se calcularon en cada UM, de manera independiente así como por cada sistema, valores de densidad, dominancia y frecuencia por especie y familia, con el fin de obtener dos índices de valoración estructural:

- a) Índice de valor de importancia (IVI = densidad relativa + dominancia relativa + frecuencia relativa) (Curtis y McIntosh, 1951; Villavicencio y Valdez, 2003).
- b) Índice de valor forestal (IVF= DN relativo + altura relativa + cobertura relativa) (Corella *et al.*, 2001; López *et al.*, 2012; Carreón y Valdez, 2014).

Estos índices jerarquizan la importancia ecológica de las especies, sin embargo el primero lo hace de manera horizontal y el segundo, de manera bidimensional al incluir el parámetro altura.

Para comparar la diversidad entre sistemas y UM se calculó el índice de *Shannon-Wiener* ( $H' = -\sum(p_i \ln p_i)$ ), donde  $p_i$  es la proporción de individuos de la  $i$ -ésima especie. Del mismo modo, para contrastar la diversidad con otros estudios, se obtuvo el índice alfa de *Fisher* ( $\alpha$ ):  $\{S = \alpha \ln[1 + (N / \alpha)]\}$ , donde  $S$  es el número de especies y  $N$  el número de individuos. Asimismo, se evaluó la equidad de las especies ( $E = H' / \ln S$ ) y la semejanza florística con el coeficiente de *Sorensen* [ $S_1 = 2C / (A + B)$ ], el cual relaciona el número de especies en común ( $C$ ) con la media aritmética de las especies en ambos sitios comparados ( $A$  y  $B$ ) (Sørensen, 1948; Magurran, 1988; Zarco *et al.*, 2010).

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre la diversidad de  $H'$  de los sistemas estudiados, se aplicó el método de *Hutcheson* para calcular el valor de “ $t$ ” modificado (Magurran, 2004; Villavicencio y Valdez, 2003; Carreón y Valdez, 2014); para la diversidad alfa y equidad se utilizó una prueba de aleatoriedad por “*bootstrapping*” (1000 muestras de pares al azar), la cual fue realizada por medio del programa PAST (Hammer *et al.*, 2001).

Se llevó a cabo un análisis de agrupamiento (técnica multivariada para clasificación; programa PC-ORD Ver. 6.0) usando datos de ausencia-presencia de especies en cada UM, tomando beta flexible ( $\beta = -0.25$ ) como método de unión de grupos, ya que puede variar la distancia entre estos y en consecuencia aumentar la agrupación de los elementos (McCune y Grace, 2002). Como medida de proximidad, se empleó el coeficiente de *Sorensen* por ser de los más robustos para datos ecológicos (McCune y Mefford, 1999) y evitar el efecto de encadenamiento generado con otros métodos de unión (Digby y Kempton, 1987).

Se efectuó un análisis de correspondencia canónica (técnica multivariada para ordenación; programa PC-ORD Ver 6.0) usando el IVI como atributo estructural de la vegetación para la primera matriz de datos, que se ajustó de acuerdo con lo sugerido por McCune y Grace (2002), al eliminar especies raras (presencia menor al cinco por ciento del total de sitios muestreados), quedando solo 64 especies. Además, los datos se balancearon mediante una estandarización por el máximo, al dividir el valor del atributo entre el mayor valor del mismo en la columna respectiva; esto se hizo para igualar la importancia relativa de las especies en el análisis (McCune y Grace, 2002; Peck, 2010). En la segunda matriz se utilizaron cinco variables ambientales (altitud, inclinación y exposición de la pendiente, temperatura media anual y precipitación total anual) las cuales fueron obtenidas a partir de lecturas en campo (tres primeras) y del WorldClim Global Climate GIS database (Hijmans *et al.*, 2004); las variables ambientales fueron estandarizadas mediante transformación logarítmica, de acuerdo con (McCune y Mefford, 1999), para reducir el efecto de diferentes unidades de medida.

## RESULTADOS

Se registraron un total de 917 individuos que corresponden con 90 taxones; 79 se determinaron a nivel de especie, cuatro a género, tres solo familia y cuatro desconocidos. Las especies identificadas quedaron distribuidas en 32 familias y 65 géneros. Las familias más ricas en especies (cerca de 40% del total) fueron Fabaceae con 11, Mora-



ceae con siete, Lauraceae con seis, Euphorbiaceae y Malvaceae con cinco cada una. Los géneros más ricos en especies fueron: *Coccoloba* y *Ficus* con cuatro cada uno, así como *Cordia* e *Inga* con tres cada uno.

La selva mediana subperennifolia (SM) acumuló 65 especies, mientras que los tres sistemas agroforestales de café (SAF-café) acumularon en conjunto 73 especies: policultivo complejo (PC) con 61, rusticano (RU) con 32 y policultivo simple (PS) con 18 (Fig. 1).

Se observaron dos estratos verticales (inferior y superior) generados por los siguientes puntos de inflexión: a los 10 m para SM y RU, a los 12 m para PS y a los 14 m para PC (Fig. 2). Las especies más importantes del estrato inferior y superior fueron: *Myriocarpa longipes* Liebm. y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham., respectivamente. En el estrato superior se encontraron árboles emergentes de más de 30 m de altura, tales como: *Ficus tecolutensis* (Liebm.) Miq.; *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (SM); *Myroxylon balsamum* (L.) Harms y *Bernoullia flammea* Oliver (PC); *Cupania dentata* DC. (PS); *C. alliodora* y *Sideroxylon persimile* (Hemsl.) T. D. Penn. (RU).

El porcentaje acumulado de individuos en las tres primeras categorías diamétricas fue mayor para la SM (79.8%), seguida del RU (77.6%), PC (64.3%) y el PS (56.7%). En la última categoría diamétrica (> 45 cm) el RU presentó un porcentaje de individuos superior respecto a los demás sistemas (8.6%) (Fig. 3). Las especies con mayor DN fueron *Coccoloba hirtella* Lundell y *F. tecolutensis* (SM), *Sideroxylon capiri* (DC.) Cronq. (PC), *S. persimile* (Hemsl.) T. D. Penn., *Heliocarpus appendiculatus* Turcz., Cronq. y *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill (RU).

La SM presentó los valores más elevados en densidad y área basal, el RU en cobertura (Tabla 1). En esta última variable, más la altura y DN, la SM fue significativamente ( $p < 0.05$ ) menor que los tres SAF-Café.

Las especies con mayor importancia estructural fueron *M. longipes* y *B. simaruba* en la SM, así como *C. alliodora* y *C. dentata* en dos de los tres SAF-Café (PC y RU). La mayor cantidad de especies exclusivas se encontró en la SM (14), seguida por el PC (10) y el RU (6) (Tabla 2).

En general, los valores de diversidad (*Shannon H'*, *Fisher  $\alpha$* ) fueron significativamente ( $p < 0.05$ ) mayores en

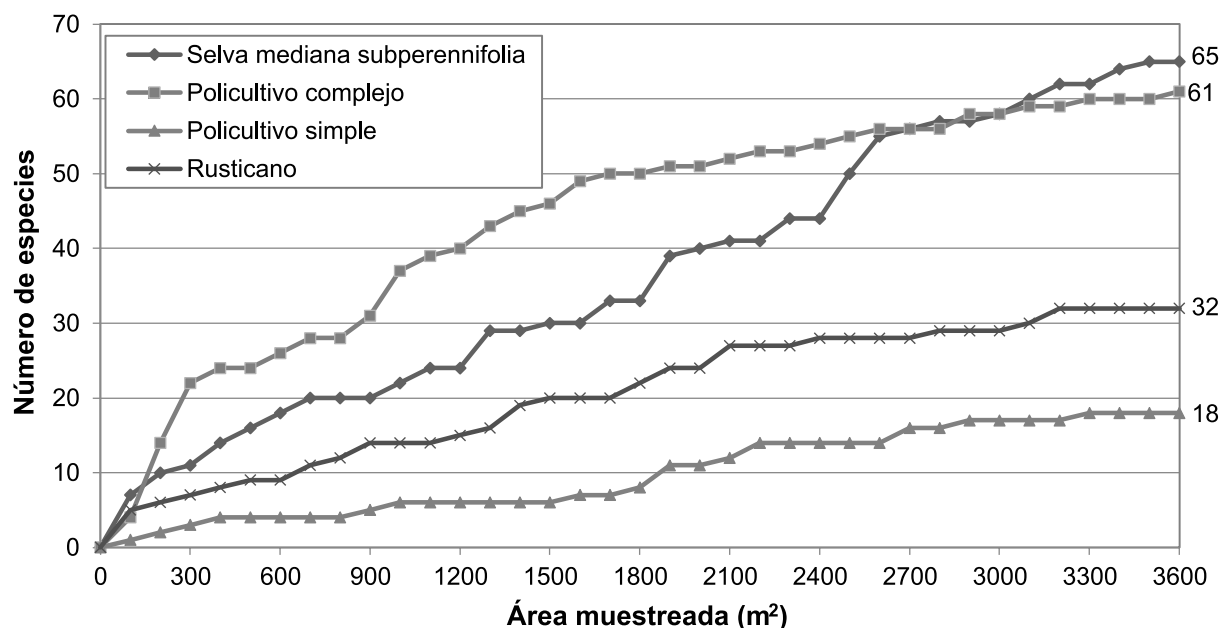


FIGURA 1. Curvas especies-área de tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

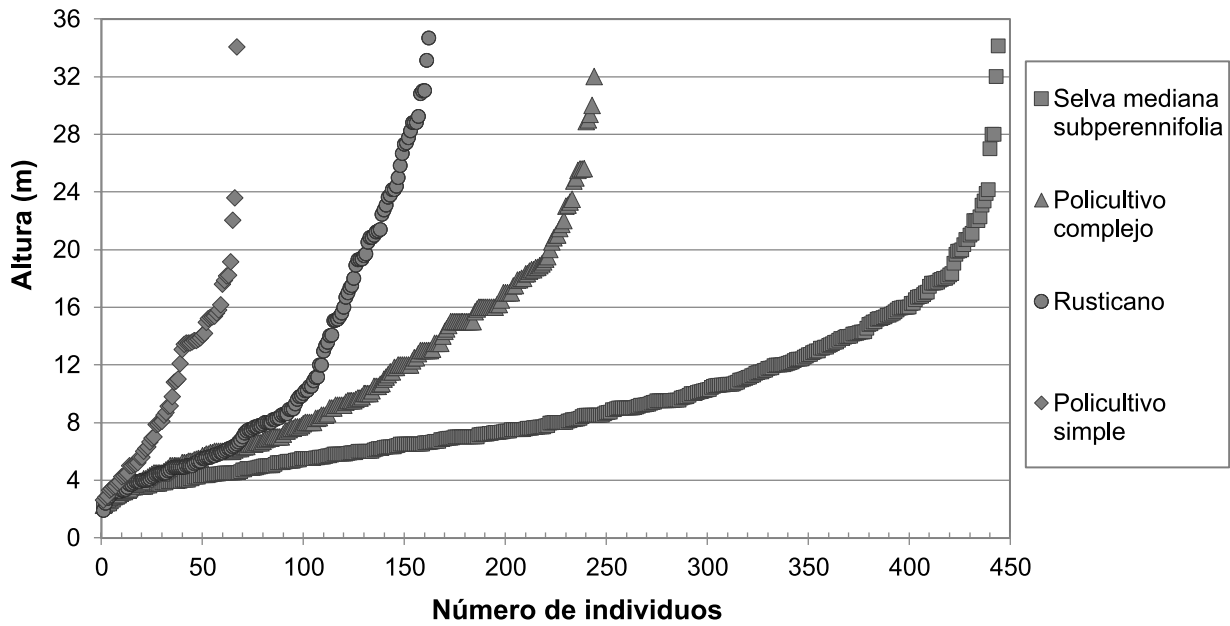


FIGURA 2. Distribución de frecuencias de altura de árboles en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

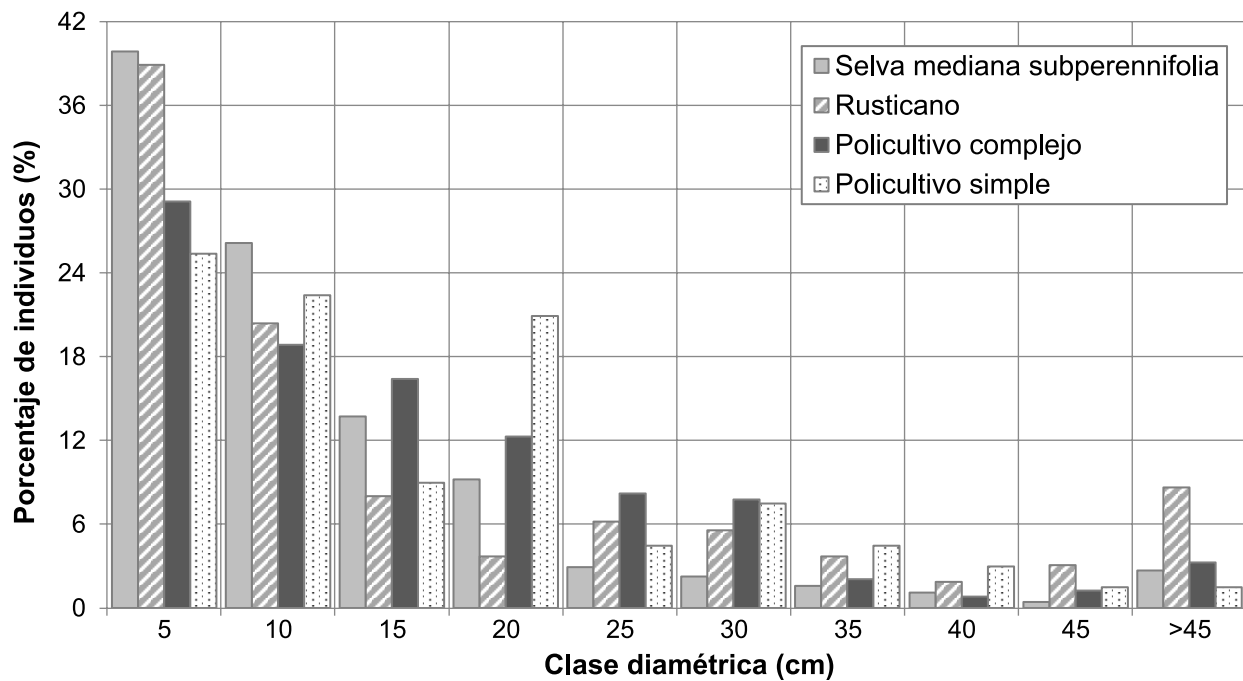


FIGURA 3. Distribución diamétrica de árboles en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.



TABLA 1. Atributos estructurales de la vegetación arbórea en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

Franja altitudinal	Sistema	Densidad (ind. ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Cobertura (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Diámetro normal (cm)
(600-900) m snm	PC	928	22.89	23.75 <sup>ab</sup>	10.40 <sup>a</sup>	14.44 <sup>ab</sup>
	PS	111	4.55	29.89 <sup>a</sup>	12.92 <sup>a</sup>	19.83 <sup>a</sup>
	RU	528	21.17	24.40 <sup>ab</sup>	8.52 <sup>b</sup>	14.66 <sup>ab</sup>
	SM	1094	31.95	21.08 <sup>b</sup>	9.77 <sup>ab</sup>	13.38 <sup>b</sup>
(900-1200) m snm	PC	428	27.47	38.53 <sup>ab</sup>	12.58 <sup>ab</sup>	21.21 <sup>a</sup>
	PS	261	8.66	22.03 <sup>bc</sup>	9.46 <sup>bc</sup>	15.41 <sup>ab</sup>
	RU	372	34.53	51.54 <sup>a</sup>	15.39 <sup>a</sup>	24.96 <sup>a</sup>
	SM	1372	35.28	18.07 <sup>c</sup>	8.91 <sup>c</sup>	12.36 <sup>b</sup>
General (600-1200) m snm	PC	678	25.18	28.42 <sup>a</sup>	11.09 <sup>a</sup>	16.58 <sup>a</sup>
	PS	187	6.60	24.38 <sup>ab</sup>	10.49 <sup>ab</sup>	16.73 <sup>a</sup>
	RU	450	27.85	35.62 <sup>a</sup>	11.36 <sup>a</sup>	18.92 <sup>a</sup>
	SM	1234	33.62	19.41 <sup>b</sup>	9.29 <sup>b</sup>	12.81 <sup>b</sup>

Letras diferentes entre sistemas indican diferencias significativas (*Tukey*,  $p < 0.05$ ); SM=selva mediana subperennifolia; RU=rusticano; PC=policultivo complejo; PS=policultivo simple.

la SM y el PC que en el RU y el PS; en contraste, los valores de equidad fueron significativamente ( $p < 0.05$ ) menores en el RU que en el PC (Tabla 3).

La semejanza florística fue máxima entre la SM y el PC (70%) y mínima entre la SM y el PS (Tabla 4).

El dendrograma presentó un porcentaje de encadenamiento bajo (4.81%), lo que indica buena formación de grupos. Se observan dos grupos principales (1, 2) que se diferencian por la franja altitudinal a la que pertenecen la mayoría de las UM. Dentro de estos, se observan subgrupos bastante homogéneos (1.3, 2.2) y heterogéneos (1.1, 1.2, 2.1), estos últimos con UM de la SM y PC principalmente, lo que describe la semejanza florística entre ellos (Fig. 4).

En el análisis de correspondencia canónica, las pruebas de permutación de Monte Carlo resultaron significativas ( $p=0.02$ ) entre la relación especies-ambiente y los ejes de ordenación; estos últimos explicaron 20.3% de la variación de los datos. Las variables ambientales más importan-

tes fueron: altitud (eje 1; -0.903), exposición y precipitación media anual (eje 2; 0.485 y -0.497 respectivamente).

## DISCUSIÓN

La selva mediana subperennifolia (SM), en el área del presente estudio coincide en su composición de familias botánicas con Acevedo (1988) y al nivel de géneros con Chiang (1970). Asimismo especies del estrato superior como *Aphanante monoica* (Hemsley) Leroy, *Astronium graveolens* Jacq., *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Brosimum alicastrum* Sw., *Bernulia flamea* Oliver, *Manilkara zapota* (L.) Royen, *Myroxylon balsamum* (L.) Harms, *Sideroxylon capiri* (DC.) Cronq. y del estrato inferior como *Guairella glabra* Vahl, *Protium copal* (Schltdl. & Cham.) Engl. y *Simira salvadorensis* (Standl.) Steyererm., coinciden con lo descrito por Castillo-Campos *et al.* (2003) y Pennington y Sarukhán (2005).

Los sistemas agroforestales de café (SAF-Café) en el área de estudio concuerdan en la presencia de familias

TABLA 2. Especies con mayor valor de importancia (IVI), valor forestal (IVF) y especies exclusivas en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

Sistema	Especie	IVI	IVF	Especies exclusivas
Selva mediana subperennifolia	<i>Myriocarpa longipes</i> Liebm.	21.2	20.4	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw., <i>Coccoloba</i> aff. <i>montana</i> , <i>C. hirtella</i>
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	20.0	27.5	Lundell, <i>C. aff. humboldtii</i> , <i>Cupania guatemalensis</i> (Turcz.) Radlk.,
	<i>Bauhinia</i> sp.	16.6	21.8	<i>Hampea integerrima</i> Schldtl., <i>Inga jinicuil</i> G. Don, <i>Miconia</i>
	<i>Alchornea latifolia</i> Swartz	14.2	16.3	<i>mexicana</i> (Bonpl.) Naudin, <i>M. trinervia</i> (Sw.) D. Don ex Loudon,
	<i>Ficus tecolutensis</i> (Liebm.) Miq.	13.1	13.4	<i>Protium copal</i> (Schldtl. & Cham.) Engl., <i>Psidium sartorianum</i> (O.
	60 especies restantes	214.9	200.6	Berg) Nied., <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC., <i>Tapirira mexicana</i> Marchand, <i>Telanthophora grandifolia</i> (Less.) H. Rob. & Brettell.
Rusticano	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	58.6	66.9	
	<i>Cupania dentata</i> DC.	27.0	28.1	<i>Chrysophyllum mexicanum</i> Brand. ex Standl., <i>Citrus aurantifolium</i> L.,
	<i>Cedrela odorata</i> L.	22.9	17.6	<i>Cordia megalantha</i> S.F. Blake, <i>Diospyros digyna</i> Jacq.,
	<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill	19.0	20.8	<i>Ficus</i> sp., <i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.
	<i>Sideroxylon persimile</i> (Hemsl.) TD Penn.	16.6	19.4	
27 especies restantes	155.9	147.2		
Policultivo complejo	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	36.0	41.6	<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose, <i>Cordia diversifolia</i> Pavon
	<i>Cupania dentata</i> DC.	20.3	21.8	ex A. DC., <i>Critonia morifolia</i> (Mill.) R.M. King & H. Rob., <i>Croton</i>
	<i>Myriocarpa longipes</i> Liebm.	17.8	13.2	<i>draco</i> Schldtl., <i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth., <i>Quararibea</i>
	<i>Spondias radlkoferi</i> J. D. Smith.	13.2	11.8	<i>funnebris</i> (La Llave) Vischer, <i>Saurauia pedunculata</i> Hook.,
	<i>Sideroxylon capiri</i> (DC.) Cronq.	11.8	9.7	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston, <i>Talauma mexicana</i> (DC.) Don.,
56 especies restantes	200.9	201.9	<i>Zanthoxylum procerum</i> Donn. Smith.	
Policultivo simple	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	74.1	92.1	
	<i>Persea schiedeana</i> Nees.	54.6	53.8	
	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	34.4	37.0	<i>Leucaena diversifolia</i> (Lam.) de Wit, <i>Mangifera indica</i> L.
	<i>Cupania dentata</i> DC.	23.4	22.9	
	<i>Inga vera</i> Willd.	21.8	21.6	
13 especies restantes	91.7	72.6		

más ricas en especies con lo encontrado por Williams-Linera y López-Gómez (2008) en Veracruz (Fabaceae, Moraceae, Lauraceae) y en la riqueza de especies arbóreas (74) encontradas en cafetales bajo sombra por Soto-Pinto *et al.* (2007) en Chiapas. El policultivo complejo (PC) fue más rico en especies que el rusticano (RU) y el policultivo simple (PS), confirmando lo descrito por López-Gómez *et al.* (2008) mediante técnicas de rarefacción.

La vegetación arbórea en el área de estudio mostró dos estratos verticales para la SM, lo cual difiere de los tres estratos identificados para otras selvas medianas subperennifolias por Basáñez *et al.* (2008), Godínez-Ibarrá y López-Mata (2002) y Castillo-Campos *et al.* (2003). Asimismo, el PC tuvo dos estratos verticales, a diferencia de la estructura multiestrato señalada por Raintree (1990), la cual puede deberse a la presencia de distintas cohortes generadas por el manejo de los productores





TABLA 3. Riqueza y diversidad de especies arbóreas en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

Franja altitudinal	Sistema	Riqueza	Shannon H'	Varianza	Fisher $\alpha$	Equidad
(600-900) m snm	SM	33	2.91 <sup>b</sup>	0.00590	11.34 <sup>b</sup>	0.83 <sup>a</sup>
	PC	50	3.40 <sup>a</sup>	0.00726	24.18 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>
	PS	6	1.88 <sup>d</sup>	0.02746	4.94 <sup>b</sup>	0.90 <sup>a</sup>
	RU	22	2.47 <sup>c</sup>	0.01546	8.98 <sup>b</sup>	0.80 <sup>a</sup>
(900-1200) m snm	SM	43	3.06 <sup>a</sup>	0.00531	15.05 <sup>ab</sup>	0.81 <sup>c</sup>
	PC	25	2.93 <sup>a</sup>	0.00943	12.86 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>
	PS	16	2.31 <sup>b</sup>	0.02388	8.55 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>bc</sup>
	RU	17	2.54 <sup>b</sup>	0.00896	7.34 <sup>b</sup>	0.90 <sup>ab</sup>
General	SM	65	3.56 <sup>a</sup>	0.00258	20.98 <sup>a</sup>	0.85 <sup>ab</sup>
	PC	61	3.58 <sup>a</sup>	0.00507	26.11 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>
	PS	18	2.39 <sup>b</sup>	0.01652	8.07 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>ab</sup>
	RU	32	2.81 <sup>c</sup>	0.00899	11.95 <sup>c</sup>	0.81 <sup>b</sup>

Letras diferentes entre sistemas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ); SM=selva mediana subperennifolia; RU=rusticano; PC=policultivo complejo; PS=policultivo simple.

TABLA 4. Semejanza florística en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac Veracruz.

Sistemas comparados		Especies			Sorensen
A	B	En A	En B	Compartidas	( $S_j$ )
SM	PC	65	61	44	0.698
SM	PS	65	18	14	0.337
SM	RU	65	32	21	0.432
PC	PS	61	18	15	0.379
PC	RU	61	32	23	0.494
PS	RU	18	32	9	0.360

SM= selva mediana subperennifolia; PC= policultivo complejo; PS=policultivo simple; RU= rusticano.

para varios usos (p.ej. frutal, maderable, ornamental) (Moguel y Toledo, 2004).

La distribución diamétrica en la SM y el PC coinciden con lo descrito por Bongers *et al.* (1988) para un comportamiento tipo I: alta cantidad de individuos en las prime-

ras clases diamétricas, disminuyendo gradualmente hacia las últimas, lo que indica buena reproducción, establecimiento y regeneración natural. En contraste, un comportamiento tipo II: alta cantidad de individuos en las primeras e intermedias clases diamétricas, disminuyendo hacia las últimas, se presentó en mayor medida en el PS y en menor medida en el RU. Lo anterior puede deberse a prácticas de manejo para fomentar especies de interés económico (*Citrus* spp., *Musa* sp., *Chamaedorea* sp.) en el estrato inferior (Moguel y Toledo 1996) y de interés maderable (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham., *Cedrella odorata* L., *Ocotea puberula* (Rich.) Nees) con individuos de DN grandes para su aprovechamiento y sombreado de café (*Inga vera* Willd.), en el estrato superior (Bandeira *et al.*, 2005).

Los valores en área basal, densidad y altura de los SAF-Café en el área de estudio coinciden con los hallados para sistemas similares en Veracruz (López-Gómez *et al.*, 2008) y Chiapas (Peeters *et al.*, 2003; Bandeira *et al.*, 2005). Pero esto no ocurrió con los valores de área basal para la SM (33.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), los cuales fueron menores a los

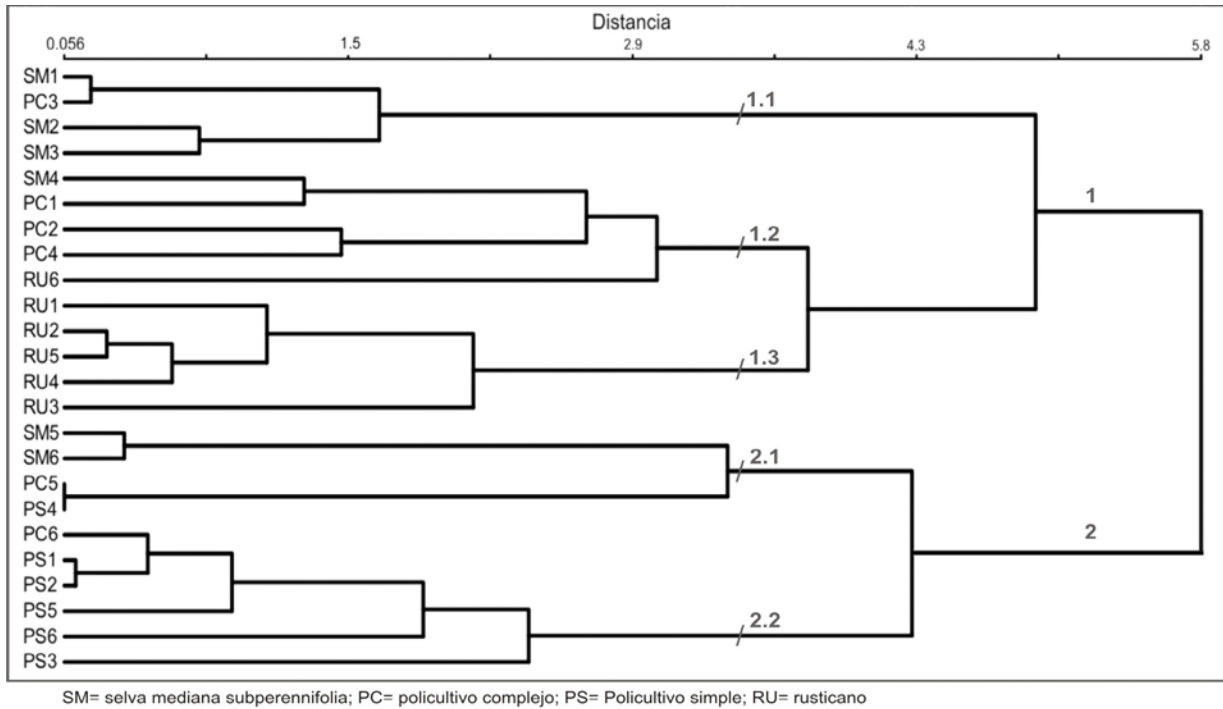


FIGURA 4. Dendrograma de semejanza florística entre las 24 unidades de muestreo agrupadas con base en el coeficiente de *Sorensen* por el método de beta flexible.

obtenidos en Vega de Alatorre (38.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; Godínez-Ibarra y López-Mata, 2002) y Papantla (76.7 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; Basáñez *et al.*, 2008), Veracruz. Lo anterior puede deberse a que individuos de grandes diámetros (> 35 cm), los cuales contribuyen a tener grandes áreas basales (Galloway, 2003), representan el menor porcentaje en la SM (< 10%); a diferencia de lo calculado en RU, donde estos individuos (> 35 cm DN) representan casi el doble en porcentaje (18%).

Las especies con alto valor de importancia estructural en los tres SAF-Café del área de estudio, *C. alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham., *C. dentata* DC. y *C. odorata* L., concuerdan con lo encontrado tanto por Villavicencio y Valdez (2003) como por Soto-Pinto *et al.* (2007) en otros SAF-Café; esto puede explicarse en el contexto del beneficio económico que se genera, por ejemplo, al vender su madera (Bandeira *et al.*, 2005), ya que otra especie con valor similar en el mercado local es *Ocotea puberula* (Rich.) Nees y, al igual que las anteriores, son apreciadas y cultivadas por los productores de café (López *et al.*, 2013).

Los valores obtenidos del índice de *Shannon* para la SM en este estudio ( $H' = 3.5$ ) fueron superiores a los encontrados en las selvas medianas subperennifolias de Vega de Alatorre ( $H' = 3.3$ ; Godínez-Ibarra y López Mata, 2002) y Papantla ( $H' = 2.1$ ; Basáñez *et al.*, 2008). Con base en los resultados obtenidos, la SM difiere estructuralmente de los tres SAF-Café, tanto en las variables dendrométricas como en las especies más importantes; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas del índice de *Shannon* entre la SM y el PC, por lo que existen evidencias para apoyar la hipótesis que este tipo de SAF-Café conserva en gran medida la diversidad de la vegetación original en el área de estudio (Perfecto *et al.*, 1996; Moguel y Toledo, 1999).

El análisis de clasificación mostró la semejanza entre los sistemas de PC y SM lo que apoya la afirmación de que los SAF-café (policultivo complejo) tienen potencial en la conservación de la diversidad de especies arbóreas (Gordon *et al.*, 2003); ya que a pesar de que la altitud fue la variable ambiental de mayor influencia en la composición



florística, la semejanza entre los sistemas mencionados está presente tal como lo afirma Hernández-Martínez (2008), mediante técnicas de ordenación, lo que afirma la importancia de estudios para la caracterización de los SAF-Café.

## CONCLUSIONES

La especie más importante en la estructura de los SAF-café fue *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham., con características maderables apreciadas por los productores de café, así como *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Myriocarpa longipes* Liebm. para la selva mediana subperennifolia.

Valores semejantes en riqueza y diversidad se encontraron entre el policultivo complejo y la selva mediana subperennifolia, sin presentar diferencias estadísticas significativas respecto al índice de *Shannon Wiener*. Valores intermedios fueron para el sistema rusticano y los más bajos para el policultivo simple.

Se registraron especies catalogadas en la NOM-059 dentro de la categoría de amenazadas, tales como: *Astرونium graveolens* Jacq. y *Spondias raldkoferi* J. D. Smith., con lo cual se apoya la hipótesis de que algunos SAF-café conservan en gran medida la diversidad de especies de la vegetación original.

## RECONOCIMIENTOS

El primer autor agradece al Conacyt por la beca otorgada para la realización de estudios de Maestría en Ciencias. A la Línea Prioritaria de Investigación 1 (Manejo sustentable de recursos naturales) del Colegio de Postgraduados, por su apoyo económico para la realización de este estudio. Al C. Hilario Barragán y familia por su amplia disponibilidad y atenciones. Al C. Adrián López Cervantes por su apoyo en los muestreos en campo.

## REFERENCIAS

- Acevedo R., R. 1988. La vegetación en la Sierra de Atoyac, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México. 102 p.
- Bandeira, F.P., C. Martorell, J.A. Meave y J. Caballero. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14(5):1225-1240.
- Basáñez, A.J., J.L. Alanís y E. Badillo. 2008. Composición florística y estructura arbórea de la selva mediana subperennifolia del ejido "El Remolino", Papantla Veracruz. *Avances en Investigación Agropecuaria* 12(2):3-21.
- Beer, J., R. Muschler, D. Kass y E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bishop, J. y N. Landell-Mills. 2003. Los servicios ambientales de los bosques: información general. In: S. Pagiola, J. Bishop y N. Landell-Mills, eds. La venta de servicios ambientales forestales: mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. Semarnat-INE. México. p:43-75.
- Bongers, F., J. Pompa, J. Meave del Castillo y J. Carabias. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, México. *Vegetatio* 74(1):55-80.
- Carreón-Santos, R.J. y J.I. Valdez-Hernández. 2014. Estructura y diversidad arbórea de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(1):119-130.
- Castillo-Campos, G., R. Robles G. y M.E. Medina A. 2003. Flora y vegetación de la Sierra Cruz Tetela, Veracruz, México. *Polibotánica* 15:41-87.
- Castillo-Campos, G., S. Avendaño-Reyes y M.E. Medina-Abreo. 2011. Flora y Vegetación. In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), ed. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Conabio, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México, D.F. p:163-180.
- Chiang C., F. 1970. La vegetación de Córdoba, Ver. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 51 p.
- Corella J., F., J.I. Valdez H., V.M. Cetina A., F.V. González C., A. Trinidad S. y J.R. Aguirre R. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México* 26(90):73-102.

- Curtis, J.T. y R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.
- Digby, P.G.N. y R.A. Kempton. 1987. Multivariate analysis of ecological communities. Chapman and Hall Ltd. Londres. 206 p.
- Ellis, E.A., M. Martínez-Bello y R. Monroy-Ibarra. 2011. Focos rojos para la conservación de la biodiversidad. *In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio)*, eds. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Conabio, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México, D.F. p:351-368.
- Galloway, G. 2003. Plantaciones forestales de pequeña escala. *In: J. Cordero y D. Boshier*, eds. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (OFI-CATIE). Turrialba, Costa Rica. p:243-282.
- Geissert K., D. y E. Enríquez Fernández. 2011. Geomorfología. *In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio)*. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Conabio, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México, D.F. p:53-68.
- Godínez-Ibarra, O. y L. López-Mata. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de selva mediana subperennifolia. *Anales del Instituto de Biología serie Botánica* 73(2):283-314.
- Gómez-Pompa, A. 1978. Ecología de la vegetación del estado de Veracruz. Editorial Continental. México. 75 p.
- Gordon, J.E., W.D. Hawthorne, G. Sandoval y A.J. Barrance. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras II: the potential for tree diversity conservation. *Agroforestry Systems* 59(2):107-117.
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative Plant Ecology. 3a edition. University of California Press. Berkeley, CA. 347 p.
- Guajardo P., R., G. Díaz P., R. López M., R.H. Manson y G. Hernández M. 2014. Ordenamiento e implementación de un observatorio cafetalero en la zona centro del estado de Veracruz (OC-ZCEV). *In: R. López M., G. Díaz P.*, eds. Cafecultura en la zona centro del estado de Veracruz: diagnóstico, productividad y servicios ambientales. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz. 405 p.
- Halffter, G. 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International* 36:3-17.
- Hammer, Ø, D.A.T. Harper y P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):9.
- Hernández-Martínez, G. 2008. Clasificación agroecológica. *In: R.H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter*, eds. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación. Inecol, INE-Semarnat. México, D.F. p:15-34.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis. 2004. The WorldClim Interpolated Global Terrestrial Climate Surfaces. Version 1.3 Computer program available at <http://bioge.berkeley.edu/> (Cons. 02/2013).
- Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota. *In: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. p:283-322.
- López-Gómez, A.M., G. Williams-Linera y R.H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124(3):160-172.
- López M., R., J.M.P. Vázquez A., R. Martínez V. y M.A. López R. 2013. Rentabilidad de fincas de café. *In: R. López M., G. Díaz P. y A. Zamarripa C.*, eds. El sistema productivo de café en México: problemática y tecnología de producción. Inifap-Cirgoc. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz. 462 p.
- López T., J.F., J.I. Valdez H., M.A. Pérez F. y V.M. Cetina A. 2012. Composición y estructura arbórea de un bosque tropical estacionalmente seco en la Reserva de la Biosfera la Sepultura, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(12):43-56.
- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. UNAM, Instituto de Biología. México, D.F. 142 p.



- Lugo, H.J. y F.C. Córdova. 1992. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía* 25:25-63.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Cambridge University Press. 179 p.
- Magurran, A.E. 2004. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Science. 256 p.
- Manson, R.H., A. Contreras y F. López-Barrera. 2008. Estudios de la biodiversidad en cafetales. In: R.H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter, eds. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación. Inecol, INE-Semarnat. México, D.F. p:1-14.
- Martínez, M.A., V. Evangelista, F. Basurto, M. Mendoza y A. Cruz-Rivas. 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78(1):15-40.
- McCune, B. y J.B. Grace, 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon. 304 p.
- McCune, B. y M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 4.0. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon. 237 p.
- Mckenzie, J.; R.L. Shaefer y E. Farber. 1997. The student edition of minitab for windows, statistical software. Adapted for education. Addison Wesley Publishing Company. Menlo Park, California, USA. 622 p.
- Méndez, V.E., S.R. Gliessman y G.S. Gilbert. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape western El Salvador. *Agriculture Ecosystems Environment* 119(1):145-159.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la sociedad Botánica de México* 28:29-79.
- Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- Moguel, P. y V.M. Toledo. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas* 55:2-7.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. 1ª ed. M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, España. 84 p.
- Peck, J.E. 2010. Multivariate analysis for community ecologists: Step by step using PC-ORD. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, EUA. 162 p.
- Peeters, L.Y.K., L. Soto-Pinto, H. Perales, G. Montoya y M. Ishiki. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95(2):481-493.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3a ed. Ediciones científicas universitarias. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 523 p.
- Perfecto, I., R.A. Rice, R. Greenberg y M.E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8):598-608.
- Pineda-López, M. del R., G. Ortiz-Ceballos y L.R. Sánchez-Velásquez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2):3-14.
- Raintree, J.B. 1990. Theory and practice of agroforestry diagnosis and design. In: MacDicken, K.G. y N.T. Vergara, eds. Agroforestry: Classification and Management. John Wiley & Sons. Nueva York, EUA. p:58-97.
- Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. 1993. Biological diversity of México: origins and distribution. Oxford University Press. Nueva York. 812 p.
- Richter, A., M.A. Klein, T. Tscharntke y M. Jason. 2007. Abandonment of coffee agroforests increases insect abundance and diversity. *Agroforestry Systems* 69(3):175-182.
- Roncal-García, S., L. Soto-Pinto, J., Castellanos-Albores, N. Ramírez-Marcial y B. de Jong. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33(3):200-206.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 504 p.
- Schroth, G., C.A. Harvey y G. Vincent. 2004. Complex Agroforests: Their Structure, Diversity, and Potential Role in Landscape Conservation. In: G. Schroth, G.A.B. Fonseca, C.A. Harvey, C. Gascon, H.L. Vasconcelos y A.M.N. Izac, eds. Agroforestry and biodiversity conser-

- vation in tropical landscapes. Island Press, Washington, DC. p:227-260.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012. México, D.F. 361 p.
- Sørensen, T.A. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociobiology based on similarity of species content and its application to analyses of vegetation in Danish commons. *Biologiske Skrifter* 5:1-40.
- Soto-Pinto, L., V. Villalvazo-López, G. Jiménez-Ferrer, N. Ramírez-Marcial, G. Montoya y F.L. Sinclair. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16(2):419-436.
- Soto-Pinto, L., Y. Romero-Alvarado, J. Caballero-Nieto y G. Segura Warnholtz. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 49:977-987.
- Toledo, V.M. y P. Moguel. 2012. Coffee and sustainability: the multiple values of traditional shaded coffee. *Journal of Sustainable Agriculture* 36(3):353-377.
- Vázquez-Torres, M., 1998. Humedal de Alvarado: diversidad vegetal. *In:* M. Vázquez T., ed. Biodiversidad y problemática en el humedal de Alvarado, Veracruz, México. Universidad Veracruzana. Xalapa. p:143-168.
- Villavicencio E., L. y J.I. Valdez H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37(4):413-423.
- Williams-Linera, G. y A. López Gómez. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. *In:* R.H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter, eds. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación. Inecol, INE-Semarnat. México, D.F. p:55-63.
- Zarco E., V.M., J.I. Valdez H., G. Ángeles P. y O. Castillo A. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal de Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 21(1):1-17.

Manuscrito recibido el 19 de mayo de 2014.  
Aceptado el 16 de junio de 2015.

Este documento se debe citar como:  
García M. L.E., J.I. Valdez H., M. Luna C. y R. López M. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques* 21(3):69-82.