

# Structure and diversity of tree vegetation in three reliefs on the Oaxaca coast

Estructura y diversidad de la vegetación arbórea en tres relieves de la costa de Oaxaca

Verónica Ortega-Baranda<sup>1\*</sup>; Juan I. Valdez-Hernández<sup>2</sup>; Edmundo García-Moya<sup>2</sup>; Dante A. Rodríguez-Trejo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Mar, Instituto de Ecología, Campus Puerto Escondido. km 2.5 carretera Sola de Vega. C. P. 71980. San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México.

\*Corresponding author: ortegabarandav@gmail.com, tel.: 52+ (954) 5824995, ext. 312.

## Abstract

**Introduction:** Relief has a significant influence on the spatial distribution and heterogeneity of arboreal vegetation in tropical forests.

**Objective:** Tree structure and diversity were analyzed in three reliefs on the Oaxaca coast: plain, premountain and low mountain.

**Materials and methods:** Three 1,000 m<sup>2</sup> randomly selected sampling units were established in each relief to record total height, canopy cover and diameter at breast height (DBH) in three size classes: poles (Po), saplings (Sa) and seedlings (Se). The structure was characterized by vertical stratification, diameter distribution, Importance Value Index (IVI) and Forestry Value Index (FVI). The diversity was estimated with the Shannon-Wiener Index ( $H'$ ) and floristic similarity with the Sorensen Index (SI).

**Results and discussion:** The species with the highest IVI and FVI were: *Bravaisia integerrima* (poles) and *Pithecellobium dulce* (saplings and seedlings) in premountain; *Cecropia obtusifolia* and *Swartzia cubensis* (poles), *Cupania dentata* (saplings) and *Nectandra globosa* (seedlings) in low mountain. The diversity ( $H'$ ) was significantly ( $P < 0.05$ ) higher in low mountain (3.24) than in premountain (1.76) and plain (2.07). Floristic similarity (SI) of poles and saplings was lower between plain and premountain, and for seedlings it was lower between plain and low mountain.

**Conclusion:** Species richness and diversity were different in each size class in at least one relief.

**Keywords:** Seedlings, poles, Shannon-Wiener Index, forestry value index, saplings, tropical forests.

## Resumen

**Introducción:** La influencia del relieve es importante en la distribución espacial y heterogeneidad de la vegetación arbórea en las selvas.

**Objetivo:** La estructura y diversidad arbórea se analizaron en tres relieves de la costa de Oaxaca: planicie, premontaña y montaña baja.

**Materiales y métodos:** En cada relieve, con tres unidades de muestreo de 1,000 m<sup>2</sup>, se registraron altura total, cobertura de copa y diámetro normal de tres clases de tamaños: fustales, latizales y brinzales. La estructura se caracterizó mediante estratificación vertical, distribución diamétrica, índice de valor de importancia (IVI) y forestal (IVF); la diversidad con el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ); y la semejanza florística con el coeficiente de Sorensen.

**Resultados y discusión:** Las especies con mayores IVI e IVF fueron *Bravaisia integerrima* (fustales) y *Pithecellobium dulce* (latizales y brinzales) en planicie; *Faramea occidentalis* (fustales, latizales y brinzales) en premontaña; *Cecropia obtusifolia* (fustales), *Cupania dentata* (latizales) y *Nectandra globosa* (brinzales) en montaña baja. La diversidad  $H'$  fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en montaña baja (3.24) que en premontaña (1.76) y planicie (2.07). La semejanza florística de fustales y latizales fue menor entre planicie y premontaña, y para brinzales fue menor entre planicie y montaña baja.

**Conclusión:** La riqueza y diversidad de especies fueron diferentes en cada clase de tamaño en al menos un relieve.

**Palabras clave:** Brinzales, fustales, índice de Shannon-Wiener, índice de valor forestal, latizales, selvas.

## Introduction

Studies on arboreal vegetation in semi-evergreen and semideciduous tropical forests have mainly focused on determining their structure and diversity (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003; Zarco-Espinosa, Valdez-Hernández, Ángeles-Pérez, & Castillo-Acosta, 2010). In order to better understand the spatial distribution and heterogeneity of the arboreal vegetation in tropical forests, it is important to consider the influence of relief on the establishment and growth of vegetation (Condit et al., 2002; Valencia et al., 2004). Some authors such as Hernández, Ortiz, and Figueroa (2009) classify reliefs based on different elevational ranges and morphological and morphometric relationships in the territorial context.

In Mexico, studies related to the variation in arboreal structure and diversity in response to relief are limited, as is the case of the tropical dry forests in the state of Guerrero (Galicia, Zarco-Arista, Mendoza-Robles, Palacio-Prieto, & García-Romero, 2008) and the northern Sierra Madre de Chiapas (López-Pérez, Castillo-Acosta, Zavala-Cruz, & Hernández-Trejo, 2014). In the particular case of the coastal region of Oaxaca, only floristic lists (Salas-Morales, Saynes-Vázquez, & Schibli, 2003; Salas-Morales, Schibli, Nava-Zafra, & Saynes-Vásquez, 2007) and a comparative case study between the seasonally dry tropical forests of southern Honduras and Oaxaca (Gordon, Hawthorne, Reyes-García, Sandoval, & Barrance, 2004) are available. Therefore, in this work the composition, vertical stratification and diameter distribution were described, by estimating the tree structural and diversity indexes by size classes, with the aim of contributing to the generation of knowledge concerning arboreal vegetation in three reliefs on the Oaxaca coast.

## Materials and methods

The study area is located in the Pacific coastal plains and mountains of the municipality of Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, Oaxaca, between coordinates 16° 02' 43" N, 97° 38' 48" W; 16° 11' 18" N, 97° 29' 17" W and 16° 05' 58" N, 97° 24' 04" W. The climate is warm sub-humid with average annual temperature and precipitation of 27 °C and 1,365 mm, respectively (Serrano-Altamirano, Silva-Serna, Cano-García, Medina-García, & Ruiz-Corral, 2005). The predominant soils are Acrisol, Cambisol, Phaeozem, Gleysol and Regosol (Sánchez-Bernal, Camacho-Escobar, Rodríguez-León, & Ortega-Escobar, 2012). The study vegetation was classified as *Bravaisia integerrima* forest (with flooded soils), a semi-evergreen tropical forest (Rzedowski, 2006) with harvesting of the fruit of *Attalea cohune* Mart. until the year 1980, and a coffee agroforestry system (coffee AFS) (García, Valdez, Luna, & López, 2015) since 1976. The plain (PI),

## Introducción

Los estudios de vegetación arbórea en selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias se han enfocado principalmente al conocimiento de su estructura y diversidad (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003; Zarco-Espinosa, Valdez-Hernández, Ángeles-Pérez, & Castillo-Acosta, 2010). Para comprender mejor la distribución espacial y heterogeneidad de la vegetación arbórea en las selvas, es importante considerar la influencia del relieve en el establecimiento y crecimiento de la vegetación (Condit et al., 2002; Valencia et al., 2004). Algunos autores como Hernández, Ortiz, y Figueroa (2009) clasifican los relieves con base en los diferentes pisos altitudinales y en las relaciones morfológicas y morfométricas del contexto territorial.

En México, los estudios relacionados con la variación de la estructura y diversidad arbórea en respuesta al relieve son limitados, como es el caso de las selvas secas del estado de Guerrero (Galicia, Zarco-Arista, Mendoza-Robles, Palacio-Prieto, & García-Romero, 2008) y sierra norte de Chiapas (López-Pérez, Castillo-Acosta, Zavala-Cruz, & Hernández-Trejo, 2014). En el caso particular de la región costa de Oaxaca, sólo se cuentan con listados florísticos (Salas-Morales, Saynes-Vázquez, & Schibli, 2003; Salas-Morales, Schibli, Nava-Zafra, & Saynes-Vásquez, 2007) y un estudio de caso comparativo entre selvas estacionalmente secas del sur de Honduras y Oaxaca (Gordon, Hawthorne, Reyes-García, Sandoval, & Barrance, 2004). Por lo anterior, en este trabajo se describió la composición, estratificación vertical y distribución diamétrica, estimándose los índices estructurales y de diversidad arbórea por clases de tamaño, con la finalidad de contribuir a la generación de conocimiento de la vegetación arbórea en tres relieves de la costa de Oaxaca.

## Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en las planicies y montañas costeras del Pacífico del municipio de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, Oaxaca, entre las coordenadas 16° 02' 43" N, 97° 38' 48" O; 16° 11' 18" N, 97° 29' 17" O y 16° 05' 58" N, 97° 24' 04" O. El clima es cálido subhúmedo con temperatura y precipitación media anual de 27 °C y 1,365 mm, respectivamente (Serrano-Altamirano, Silva-Serna, Cano-García, Medina-García, & Ruiz-Corral, 2005). Los suelos predominantes son Acrisol, Cambisol, Feozem, Gleysol y Regosol (Sánchez-Bernal, Camacho-Escobar, Rodríguez-León, & Ortega-Escobar, 2012). La vegetación de estudio se clasificó como un canacoital (con presencia de suelos inundados), una selva mediana subperennifolia (Rzedowski, 2006) con aprovechamiento del fruto de *Attalea cohune* Mart. hasta el año de 1980, y un sistema agroforestal de café (SAF-café) (García, Valdez, Luna, & López, 2015) desde

premountain (Pm) and low mountain (Lm) reliefs were considered on the basis of the characterization of the different elevational ranges and on the morphological and morphometric relationships of the territorial context of basins, intramontane valleys and coastal basins of Oaxaca (Hernández et al., 2009).

Three 20 x 50 m (1,000 m<sup>2</sup>) sampling units (SU) were randomly located for the plain (0-13 m), premountain (690-726 m) and low mountain (810-846 m) reliefs. Each SU was divided into 10, 10 x 10 m (100 m<sup>2</sup>) subunits in which two 4 x 4 m (16 m<sup>2</sup>) squares and five 1 x 1 m (1 m<sup>2</sup>) ones were established, in accordance with the methodology of Villavicencio-Enríquez and Valdez-Hernández (2003). Three size classes were surveyed in each SU: a) poles (Po > 2.5 cm in diameter at breast height [DBH] measured at 1.3 m from the ground) were recorded in the 100 m<sup>2</sup> subunits, b) saplings (Sa < 2.5 cm in DBH but > 1.5 m in height) were recorded in those of 16 m<sup>2</sup>, and c) seedlings (Se < 1.5 m but > 0.3 m in height) were measured in those of 1 m<sup>2</sup> (Interián-Ku et al., 2009). Diameter at breast height, total height, and major and minor crown diameter were recorded. The arboreal species were collected in triplicate, botanized, collated and deposited in the CHAPA herbarium at the Colegio de Postgraduados, Montecillo Campus. At the same time the plant database in Tropicos® (Missouri Botanical Garden), available online (<http://www.tropicos.org/>), as well as in Pennington and Sarukhán (2005), was consulted.

The number of species per relief and size class, with respect to the sampled area, was plotted to obtain the species-area curve (García et al., 2015). The forest mensuration attributes were analyzed considering the delimitation of the vertical strata by relief for the Po size class, from the inflections of the curves generated between the number of individuals and their height (López-Toledo, Valdez-Hernández, Pérez-Farrera, & Cetina-Alcalá, 2012). The diameter distribution per relief was organized by diameter category (cat), “n” classes of 10 cm of amplitude for Po: 2.5-12.5 (cat 10), 12.6-22.5 (cat 20) to 92.6-102.5 (cat 100) (Zarco-Espinosa et al., 2010) and less than 2.5 cm (cat < 10) for Se and Sa.

In order to rank the ecological importance of species per relief and size class, two structural valuation indices were obtained: importance value index (IVI) and forestry value index (FVI) (Corella et al., 2001):

$IVI = \text{relative dominance} + \text{relative density} + \text{relative frequency}$

$FVI = \text{relative DBH} + \text{relative height} + \text{relative cover}$

The diversity, equity and similarity of tree species per relief and size class were determined as follows:

1976. Los relieves planicie (Pl), premontaña (Pm) y montaña baja (Mb) fueron considerados con base en la caracterización de los diferentes pisos altitudinales y en las relaciones morfológicas y morfométricas del contexto territorial de cuencas, valles intramontanos y cuencas costeras de Oaxaca (Hernández et al., 2009).

Tres unidades de muestreo (UM) de 20 x 50 m (1,000 m<sup>2</sup>) se localizaron al azar para los relieves planicie (0-13 m), premontaña (690-726 m) y montaña baja (810-846 m). Cada UM se dividió en 10 subunidades de 10 x 10 m (100 m<sup>2</sup>) en las que se establecieron dos cuadros de 4 x 4 m (16 m<sup>2</sup>) y cinco cuadros de 1 x 1 m (1 m<sup>2</sup>), de acuerdo con la metodología de Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández (2003). En cada UM se censaron tres clases de tamaños: a) Los fustales (Ft > 2.5 cm de diámetro normal [DN] medido a 1.3 m del suelo) se registraron en las subunidades de 100 m<sup>2</sup>, b) los latizales (Lt < 2.5 cm de DN pero > 1.5 m de altura) se registraron en las de 16 m<sup>2</sup>, y c) los brinzales (Br < 1.5 m pero > 0.3 m de altura) se midieron en las de 1 m<sup>2</sup> (Interián-Ku et al., 2009). Se registraron el diámetro normal, altura total, diámetro mayor y menor de la copa. Las especies arbóreas se colectaron por triplicado, se herborizaron, cotejaron y depositaron en el herbario CHAPA del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. A la par se consultó la base de datos de plantas en Tropicos® (Missouri Botanical Garden), disponible en internet (<http://www.tropicos.org/>), así como en Pennington y Sarukhán (2005).

El número de especies por relieve y clases de tamaño, con respecto a la superficie muestreada, se graficó para obtener la curva de especies-área (García et al., 2015). Los atributos dasométricos se analizaron considerando la delimitación de los estratos verticales por relieve para la clase de tamaño Ft, a partir de las inflexiones de las curvas generadas entre el número de individuos y su altura (López-Toledo, Valdez-Hernández, Pérez-Farrera, & Cetina-Alcalá, 2012). La distribución diamétrica por relieve fue organizada por categoría diamétrica (cat), “n” clases de 10 cm de amplitud para Ft: 2.5-12.5 (cat 10), 12.6-22.5 (cat 20) hasta 92.6-102.5 (cat 100) (Zarco-Espinosa et al., 2010) y menor de 2.5 cm (cat < 10) para Br y Lt.

Con el fin de jerarquizar la importancia ecológica de las especies por relieve y clases de tamaños, se obtuvieron dos índices de valoración estructural: índice de valor de importancia (IVI) y el índice de valor forestal (IVF) (Corella et al., 2001):

$IVI = \text{dominancia relativa} + \text{densidad relativa} + \text{frecuencia relativa}$

$IVF = \text{diámetro normal relativo} + \text{altura relativa} + \text{cobertura relativa}$

Shannon-Wiener Index ( $H'$ ). Measures the degree of uncertainty associated with the random selection of an individual in the community (Pla, 2006).

$$H' = -\sum P_i \ln(P_i)$$

where:

$P_i$  = proportion of individuals in species  $i$ .  
 $i$  = degree of uncertainty associated with the random selection of a species in the SU or community.

The “ $t$ ” method modified by Hutchenson (Magurran, 2004) was applied to determine the existence of significant differences ( $P < 0.05$ ) between the  $H'$  diversity for the size classes per relief and reliefs per size class.

Equity index ( $E$ ). To the extent that this index is higher means that different species tend to have the same number of individuals (Rodríguez, 2014).

$$E = H'/\ln(S)$$

where:

$H'$  = Shannon-Wiener Index  
 $S$  = total number of species.

Sorensen coefficient ( $SI$ ). Relates the number of species in common with the arithmetic mean of the species in both sites (Magurran, 2004).

$$IS = (2C / A+B)*100$$

where:

$A$  = number of species found in community A  
 $B$  = number of species found in community B  
 $C$  = number of common species in both communities C

In the case of richness,  $H'$  and equity, analysis of variance and comparison of means tests (Tukey,  $P < 0.05$ ) were performed between reliefs per size class and between size classes per relief using the SAS statistical package (Statistical Analysis System [SAS], 2004).

## Results and discussion

Figure 1 shows the cumulative number of species per relief and size class on the Oaxaca coast. The cumulative number of species in the seedling size class was higher in Lm, whereas in the pole class it was higher in Pm; the cumulative number of species per relief was higher in Lm, followed by Pm and Pl. This is similar to what was reported in a coffee AFS in Veracruz, where the number of species was similar to that of Lm (García

La diversidad, equidad y semejanza de especies arbóreas por relieves y clases de tamaños, se determinaron de la siguiente forma:

Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ). Mide el grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Pla, 2006).

$$H' = -\sum P_i \ln(P_i)$$

donde:

$P_i$  = proporción de individuos en la especie  $i$ .  
 $i$  = grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de una especie en la UM o comunidad.

Se aplicó el método de “ $t$ ” modificado por Hutchenson (Magurran, 2004), para determinar la existencia de diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la diversidad  $H'$ , para las clases de tamaños por relieves y relieves por clases de tamaños.

Índice de equidad ( $E$ ). En la medida que este índice sea más alto significa que las diferentes especies tienden a tener el mismo número de individuos (Rodríguez, 2014).

$$E = H'/\ln(S)$$

donde:

$H'$  = índice de Shannon-Wiener  
 $S$  = número total de especies.

Coefficiente de Sorensen ( $IS$ ). Relaciona el número de especies en común con la media aritmética de las especies en ambos sitios (Magurran, 2004).

$$IS = (2C / A+B)*100$$

donde:

$A$  = número de especies encontradas en la comunidad A  
 $B$  = número de especies encontradas en la comunidad B  
 $C$  = número de especies comunes en ambas comunidades C

Para el caso de la riqueza,  $H'$  y equidad se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey,  $P < 0.05$ ) entre relieves por clase de tamaño y entre clases de tamaños por relieve, empleando el paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System [SAS], 2004).

## Resultados y discusión

La Figura 1 muestra el número acumulado de especies por relieve y clase de tamaño en la costa de Oaxaca. El número acumulado de especies en la clase de tamaño

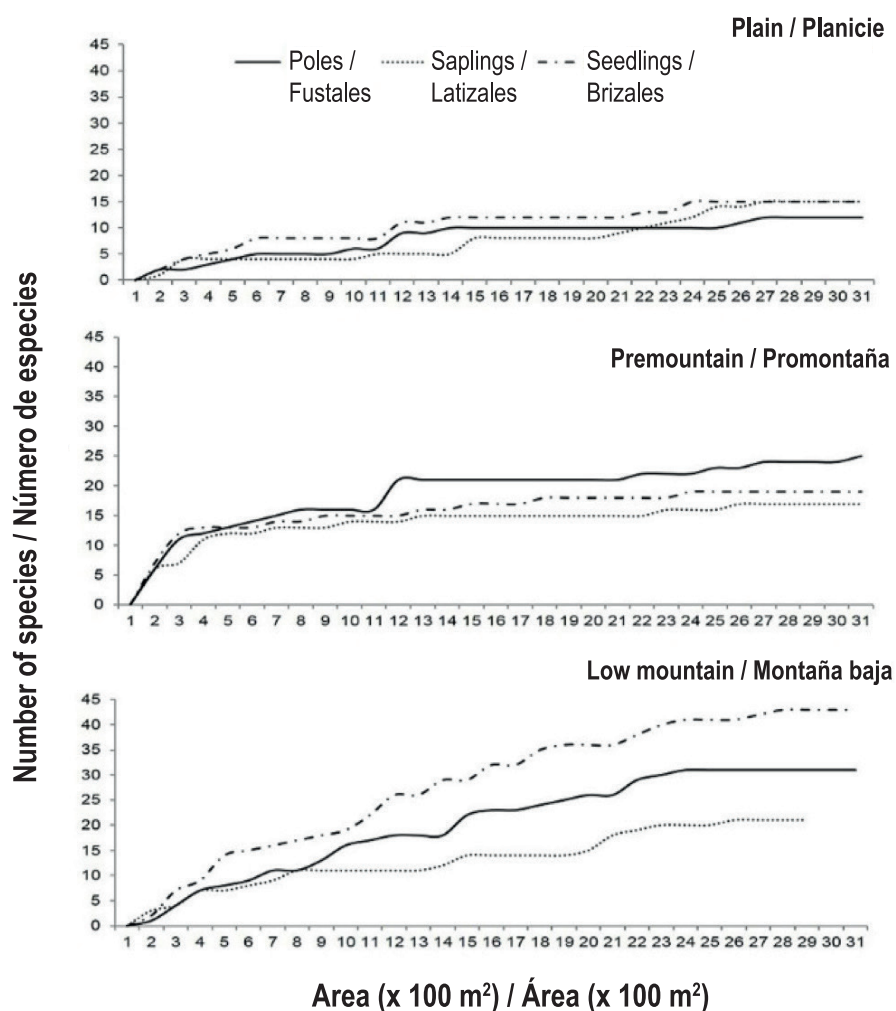


Figure 1. Species-area curves by relief and size class on the Oaxaca coast.

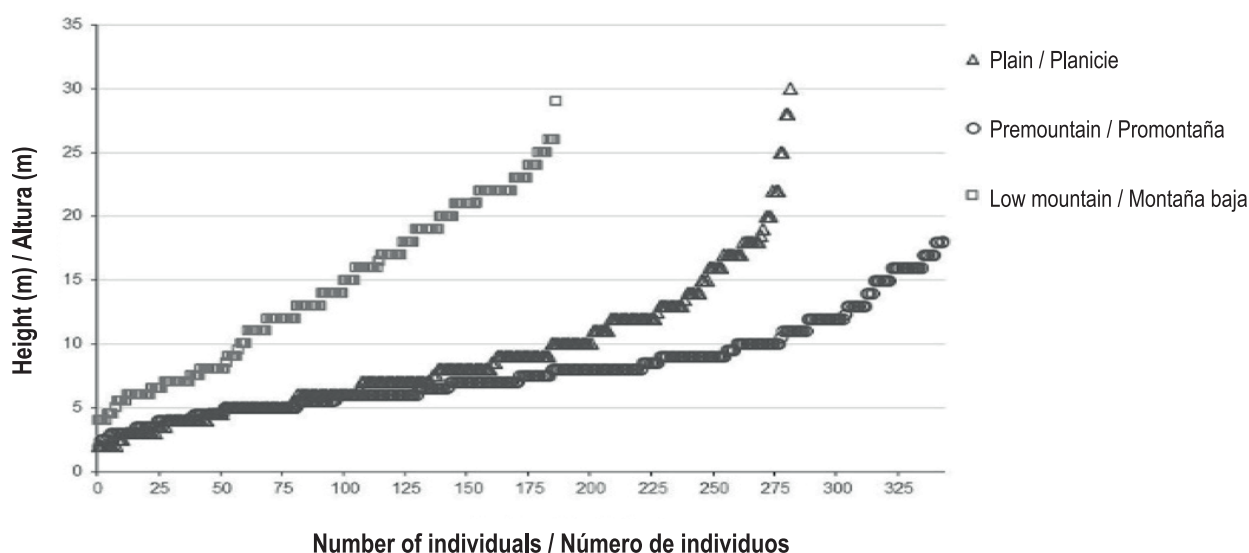
Figura 1. Curvas de especies-área por relieve y clase de tamaño en la costa de Oaxaca.

et al., 2015), and also suggests a possible trend in the floristic composition of the repopulation as a result of the management (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014) in the coffee AFS.

Figure 2 shows the vertical stratification of poles. The three reliefs presented two strata (lower and upper); in Lm, the highest number of individuals (81 %) had heights of less than 21.0 m, while individuals of Pl and Pm (62 and 58 %, respectively) were concentrated at heights greater than 6.5 m. Something similar was reported by Vázquez-Negrín, Castillo-Acosta, Valdez-Hernández, Zavala-Cruz, and Martínez-Sánchez (2011) and Zarco-Espinosa et al. (2010) regarding the presence of two strata in Tabasco forests. The upper stratum in Pl was represented by *Bravaisia integerrima* (Spreng.) Standl (523 individuals·ha<sup>-1</sup>) with heights greater than 6.5 m (62 % of total individuals) as a result of good repopulation by regrowth in flooded areas; this species had a high importance value in the three size classes.

brinzal fue mayor en Mb, mientras que en la clase fustales fue mayor en Pm; el número acumulado de especies por relieve fue mayor en Mb, seguido de Pm y Pl. Esto se asemeja a lo reportado en un SAF-café en Veracruz, donde el número de especies fue semejante al de Mb (García et al., 2015), además de sugerir una posible tendencia en la composición florística de la repoblación como resultado del manejo (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014) en los SAF-café.

La Figura 2 presenta la estratificación vertical de fustales. Los tres relieves presentaron dos estratos (inferior y superior); en Mb, la mayor cantidad de individuos (81 %) tuvieron alturas menores de 21.0 m, mientras que los individuos de Pl y Pm (62 y 58 %, respectivamente) se concentraron en alturas mayores de 6.5 m. Algo similar reportaron Vázquez-Negrín, Castillo-Acosta, Valdez-Hernández, Zavala-Cruz, y Martínez-Sánchez (2011) y Zarco-Espinosa et al. (2010) respecto a la presencia de dos estratos de selvas de Tabasco. El estrato superior en



**Figure 2. Vertical stratification of poles in three reliefs on the Oaxaca coast.**  
**Figura 2. Estratificación vertical de fustales en tres relieves de la costa de Oaxaca.**

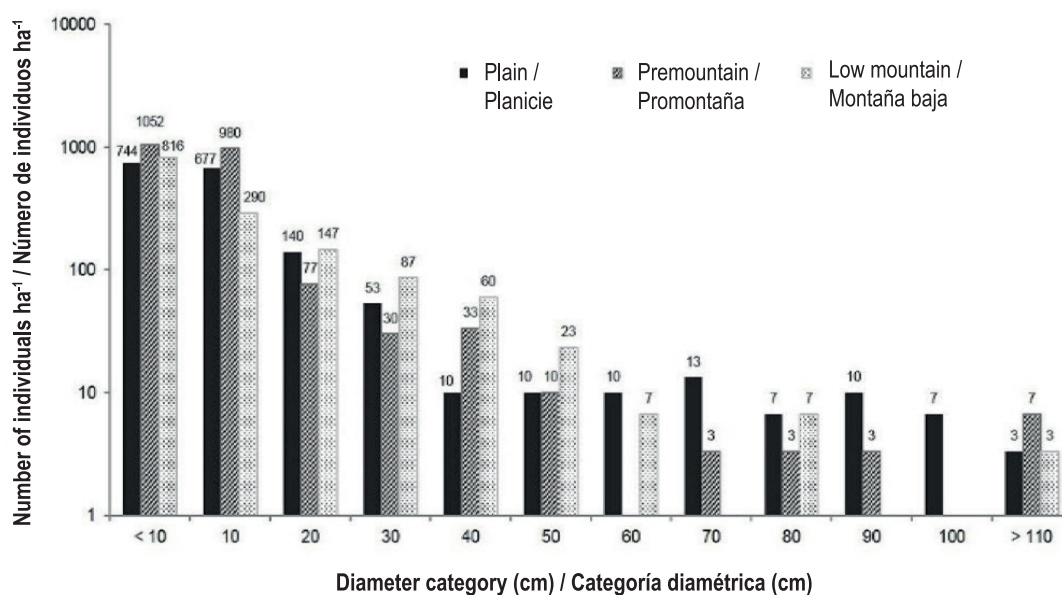
This situation also occurs in the forests of Tacotalpa, Tabasco (Maldonado-Sánchez & Maldonado-Mares, 2010), and Huatulco, Oaxaca (Salas-Morales et al., 2007). It is important to mention that the species not only has a very restricted habitat, but is also included in NOM-059 with threatened status (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010).

Figure 3 shows the diameter distribution of trees by size class and relief. The diameter distribution was concentrated in the cat < 10 (Se and Sa) and cat > 10 (Po); the cumulative percentage of individuals in Pl (75 %), Pm (70 %) and Lm (73 %) was similar for both categories, as reported in forests of Quintana Roo (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014), Tabasco and Chiapas (Vázquez-Negrín et al., 2011), where they suggest an inverted J-shaped distribution. The presence of some disturbances promotes the establishment of the repopulation (Rodríguez, 2014; Smith & Smith, 2004), as observed in Pl with soils constantly saturated with water, resulting in the phenomenon of policaulcescence (Gallardo, Meave, & Pérez, 2005) and generating a high regeneration frequency by resprouting; in the case of Pm, the repopulation was due to the opening of clearings due to the fall of trees and branches, whereas in Lm it was due to weed control activities for the coffee AFS. Martínez (1994) named these regeneration processes repopulation routes.

Tables 1, 2 and 3 report the species with the highest IVI and FVI by size class in each relief. The species with the greatest structural importance in Pl in the three size classes were *B. integerrima*, *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth and *Nectandra ambigens* (S. F. Blake), considering

Pl fue representado por *Bravaisia integerrima* (Spreng.) Standl (523 individuos·ha<sup>-1</sup>) con alturas mayores de 6.5 m (62 % del total de individuos), como resultado de una buena repoblación por rebrotes en áreas inundadas; dicha especie tuvo un alto valor de importancia en las tres clases de tamaños. Esta situación igualmente se presenta en selvas de Tacotalpa, Tabasco (Maldonado-Sánchez & Maldonado-Mares, 2010), y Huatulco, Oaxaca (Salas-Morales et al., 2007). Es importante mencionar que la especie no solo tiene un hábitat muy restringido, sino que también está incluida en la NOM-059 con estatus de amenazada (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010).

La Figura 3 muestra la distribución diamétrica de los árboles por clase de tamaño y relieve. La distribución diamétrica se concentró en la cat < 10 (Br y Lt) y cat > 10 (Ft); el porcentaje acumulado de individuos en Pl (75 %), Pm (70 %) y Mb (73 %) fue similar para ambas categorías, como lo reportado en selvas de Quintana Roo (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014), Tabasco y Chiapas (Vázquez-Negrín et al., 2011), donde sugieren una distribución en forma de J invertida. La presencia de algunas perturbaciones promueve el establecimiento de la repoblación (Rodríguez, 2014; Smith & Smith, 2004), tal como se observó en Pl con suelos constantemente saturados de agua, provocando el fenómeno de policaulcescencia (Gallardo, Meave, & Pérez, 2005) y generando una alta frecuencia de regeneración por rebrotes; en el caso de Pm, la repoblación se debió a la apertura de claros por la caída de arbolado y ramas; y en Mb por las actividades de control de maleza para el SAF-café. Martínez (1994) denominó estos procesos de regeneración como rutas de repoblación.



**Figure 3. Diametric distribution of trees by size class (< 10 cm = seedlings and saplings; > 10 cm = poles) and reliefs on the Oaxaca coast.**

**Figura 3. Distribución diamétrica de los árboles por clase de tamaño (< 10 cm = brinzales y latizales; > 10 cm = fustales) y relieves en la costa de Oaxaca.**

this relief as having semideciduous tropical forest vegetation; however, because Pl is found in low-lying areas and flooded soils, and in the presence of *B. integerrima* as a dominant species, Pennington and Sarukhán (2005) consider that the vegetation type is *B. integerrima* forest (canacoital). For the case of Pm, the species with the highest structural value were *F. occidentalis*, which is present in early serial conditions (Maldonado-Sánchez & Maldonado-Mares, 2010) and *M. zapota*, which can be found in both early (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014) and late serial conditions (Sánchez, Islebe, & Valdez-Hernández, 2007). It has been reported that *Faramea occidentalis* (L.) A. Rich., *Brosimum alicastrum* Sw., *Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *Guarea glabra* Vahl and *Diospyros* sp. are part of the semi-evergreen tropical forests of Veracruz (Godínez-Ibarra & López-Mata, 2002) and Chiapas (López-Pérez et al., 2014; Soto-Pinto, Romero-Alvarado, Caballero-Nieto, & Segura, 2001). In Lm, the species with the highest values in the structural index were *Swartzia cubensis* (Britton & P. Wilson) Standl, *Nectandra globosa* (Aubl.) Mez and *Guarea glabra* Vahl, species that are part of the medium-elevation semi-evergreen forests, and *Cecropia obtusifolia* Bertol., *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch. and *Cupania dentata* DC, which are early serials, indicative of structural changes (Niembro, Vázquez, & Sánchez, 2010; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003).

Differences in species diversity were significant ( $P < 0.05$ ) between Po, Sa and Se for low mountain, pre-mountain

Los Cuadros 1, 2 y 3 reportan las especies con mayores IVI e IVF por clase de tamaño en cada relieve. Las especies con mayor importancia estructural en la Pl en las tres clases de tamaño fueron *B. integerrima*, *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth y *Nectandra ambigens* (S. F. Blake), considerando a dicho relieve como una vegetación de selva mediana subcaducifolia; sin embargo, debido a que la Pl se encuentra en zonas bajas y suelos inundados, y a la presencia de *B. integerrima* como especie dominante, Pennington y Sarukhán (2005) consideran que el tipo de vegetación es canacoital. Para el caso de Pm, las especies con mayor valor estructural fueron *F. occidentalis* que está presente en condiciones seriales tempranas (Maldonado-Sánchez & Maldonado-Mares, 2010) y *M. zapota* que puede encontrarse tanto en condiciones seriales tempranas (Carreón-Santos & Valdez-Hernández, 2014) como tardías (Sánchez, Islebe, & Valdez-Hernández, 2007). Se ha reportado que *Faramea occidentalis* (L.) A. Rich., *Brosimum alicastrum* Sw., *Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *Guarea glabra* Vahl y *Diospyros* sp. forman parte de las selvas medianas subperennifolias de Veracruz (Godínez-Ibarra & López-Mata, 2002) y Chiapas (López-Pérez et al., 2014; Soto-Pinto, Romero-Alvarado, Caballero-Nieto, & Segura, 2001). En Mb, las especies con valores más altos en el índice estructural fueron *Swartzia cubensis* (Britton & P. Wilson) Standl, *Nectandra globosa* (Aubl.) Mez y *Guarea glabra* Vahl, especies que forman parte de las selvas medianas subperennifolias, y *Cecropia obtusifolia* Bertol., *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch. y *Cupania dentata* DC que son especies seriales tempranas, indicadoras de cambios estructurales (Niembro,

**Table 1. Species of poles with the highest importance (IVI) and forest value indices (FVI) in three reliefs on the Oaxaca coast.****Cuadro 1. Especies de fustales con mayores índices de valor de importancia (IVI) y forestal (IVF) en tres relieves de la costa de Oaxaca.**

Species/Especie	IVI	FVI/IVF
<b>Plain/Planicie</b>		
<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl.	124.55	132.60
<i>Ficus glabrata</i> Kunth	64.05	54.62
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	35.84	37.78
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	29.61	38.30
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	20.90	16.44
<b>Premountain/Premontaña</b>		
<i>Faramea occidentalis</i> (L.) A. Rich.	98.05	114.06
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	44.21	34.43
<i>Ouratea</i> sp.	30.31	22.95
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	29.90	35.33
<b>Low mountain/Montaña baja</b>		
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	60.11	31.13
<i>Swartzia cubensis</i> (Britton & P. Wilson) Standl.	37.89	60.30
<i>Inga pavoniana</i> G. Don	22.38	20.80
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	18.17	22.54

**Table 2. Species of saplings with the highest importance (IVI) and forest value indices (FVI) in three reliefs on the Oaxaca coast.****Cuadro 2. Especies de latizales con mayores índices de valor de importancia (IVI) y forestal (IVF) en tres relieves de la costa de Oaxaca.**

Species/Especie	IVI	FVI/IVF
<b>Plain/Planicie</b>		
<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl.	76.34	67.97
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	74.80	85.47
<i>Capparis odoratissima</i> Jacq.	62.77	72.99
<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	14.46	12.27
<i>Ficus glabrata</i> Kunth	10.81	9.30
<b>Premountain/Premontaña</b>		
<i>Faramea occidentalis</i> (L.) A. Rich	120.13	172.61
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	57.12	1.20
<i>Parathesis</i> sp.	19.68	21.85
<i>Guarea glabra</i> Vahl	15.22	14.34
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	14.57	14.92
<b>Low mountain/Montaña baja</b>		
<i>Cupania dentata</i> DC.	90.75	94.17
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	28.75	35.82
<i>Ocotea helicterifolia</i> (Meisn.) Hemsl.	21.21	22.42
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	19.51	19.27



**Table 3. Species of seedlings with the highest importance (IVI) and forest value indices (FVI) in three reliefs on the Oaxaca coast.****Cuadro 3. Especies de brinzales con mayores índices de valor de importancia (IVI) y forestal (IVF) en tres relieves de la costa de Oaxaca.**

Species / Especie	IVI	FVI / IVF
<b>Plain / Planicie</b>		
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	94.51	100.17
<i>Nectandra ambigens</i> (S. F. Blake) C. K. Allen	49.51	50.79
<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl.	43.40	50.07
<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	28.90	24.78
<b>Premountain / Premontaña</b>		
<i>Faramea occidentalis</i> (L.) A. Rich.	180.03	194.67
<i>Diospyros</i> sp.	16.20	15.20
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	14.31	13.06
<i>Guarea glabra</i> Vahl	14.10	15.12
<b>Low mountain / Montaña baja</b>		
<i>Nectandra globosa</i> (Aubl.) Mez	76.69	48.74
<i>Guarea glabra</i> Vahl	33.35	23.44
<i>Cupania dentata</i> DC.	25.01	38.29
<i>Vitex</i> sp.	15.78	19.38

and plain (Table 4). This is supported by the results obtained in the Sorensen coefficient values, where Po, Sa and Se shared on average less than 20 % of the species among the three reliefs (Table 5). Also, the total value of the Shannon index ( $H'$ ) for low mountain ( $H' = 3.24$ ) was higher than for plain ( $H' = 2.07$ ) and premountain ( $H' = 1.76$ ), just as in Atoyac, Veracruz ( $H' = 2.47$ ; García et al., 2015) and in Hampolol, Campeche ( $H' = 2.28$ ; Gutiérrez, Zamora-Crescencio, & Puc-Garrido, 2013), but it was similar to that in San Miguel ( $H' = 3.16$ ; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003) and Vega de Alatorre, Veracruz ( $H' = 3.3$ ; Godínez-Ibarra & López Mata, 2002). This confirms that coffee AFS have potential for the conservation of tree species diversity (García et al., 2015). This may be due to the low impact or traditional management of coffee that helps to preserve the structure and diversity of the species (Manson, Contreras, & López-Barrera, 2008). Similarly, the establishment of arboreal species of commercial interest is promoted (Bandeira, Martorell, Meave, & Caballero, 2005; Soto-Pinto et al., 2001).

## Conclusions

The tree species with the highest structural importance values were different in two reliefs for the three size classes: in plain, *Bravaisia integerrima* for poles and *Pithecellobium dulce* for saplings and seedlings; in low

Vázquez, & Sánchez, 2010; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003).

Las diferencias en la diversidad de especies fueron significativas ( $P < 0.05$ ) entre Ft, Lt y Br para montaña baja, premontaña y planicie (Cuadro 4). Esto se apoya con los resultados obtenidos en los valores del coeficiente de Sorensen, donde los Ft, Lt y Br compartieron en promedio menos de 20 % de las especies entre los tres relieves (Cuadro 5). Asimismo, el valor total del índice de Shannon ( $H'$ ) para montaña baja ( $H' = 3.24$ ) fue superior a planicie ( $H' = 2.07$ ) y premontaña ( $H' = 1.76$ ), de igual forma que en Atoyac, Veracruz ( $H' = 2.47$ ; García et al., 2015) y en Hampolol, Campeche ( $H' = 2.28$ ; Gutiérrez, Zamora-Crescencio, & Puc-Garrido, 2013), pero fue similar que en San Miguel ( $H' = 3.16$ ; Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003) y Vega de Alatorre, Veracruz ( $H' = 3.3$ ; Godínez-Ibarra & López Mata, 2002). Lo anterior confirma que los SAF-café tienen potencial en la conservación de la diversidad de especies arbóreas (García et al., 2015). Esto podría deberse al manejo de bajo impacto o tradicional del café que ayuda a conservar la estructura y diversidad de las especies (Manson, Contreras, & López-Barrera, 2008). De igual forma, se promueve el establecimiento de especies arbóreas de interés comercial (Bandeira, Martorell, Meave, & Caballero, 2005; Soto-Pinto et al., 2001).

**Table 4. Richness, diversity and equity of tree vegetation by size class and relief.****Cuadro 4. Riqueza, diversidad y equidad de la vegetación arbórea por clase de tamaño y relieve.**

Indicators by relief/ Indicadores por relieve	Size class / Clase de tamaño			Overall relief value/ Valor general por relieve
	Poles / Fustales	Saplings / Latizales	Seedlings / Brinzales	
<b>Plain / Planicie</b>				
Species richness (S) / Riqueza de especie (S)	12ad	15ad	15ae	19
Shannon-Wiener Index (H') / Índice de Shannon-Wiener (H')	1.48ad	1.95ae	2.01ae	2.07
Equity (E) / Equidad (E)	0.60ad	0.72ad	0.74ad	0.70
<b>Premountain / Premontaña</b>				
Species richness (S) / Riqueza de especie (S)	25bd	17ad	19ad	32
Shannon-Wiener Index (H') / Índice de Shannon-Wiener (H')	1.70bd	1.78ad	1.57be	1.76
Equity (E) / Equidad (E)	0.53ad	0.63ad	0.53ad	0.50
<b>Low mountain / Montaña baja</b>				
Species richness (S) / Riqueza de especie (S)	31bd	23ae	41bf	49
Shannon-Wiener index (H') / Índice de Shannon-Wiener (H')	3.03cd	2.52be	3.11cd	3.24
Equity (E) / Equidad (E)	0.88ad	0.80ad	0.84ad	0.83

Means followed by different letters (a, b, c = size between reliefs; d, e, f = relief between sizes) indicate significant differences (Tukey,  $P < 0.05$ ).

Medias seguidas de letras diferentes (a, b, c = tamaño entre relieves; d, e, f = relieve entre tamaños) indican diferencias significativas (Tukey,  $P < 0.05$ ).

**Table 5. Floristic similarity coefficients (Sorensen: IS) by reliefs and size classes.****Cuadro 5. Coeficientes de semejanza florística (Sorensen: IS) por relieves y clases de tamaño.**

Reliefs / Relieves	SI (%) / IS (%)		
	Poles / Fustales	Saplings / Latizales	Seedlings / Brinzales
Plain – Low mountain / Planicie - Montaña baja	14	16	11
Plain – Premountain / Planicie - Premontaña	5	13	18
Low mountain - Premountain / Montaña baja - Premontaña	18	20	20

mountain, *Cecropia obtusifolia* and *Swartzia cubensis* for poles, *Cupania dentata* for saplings and *Nectandra globosa* for seedlings. The exception occurred in the premountain relief, where *Faramea occidentalis* was the most important species in the three size classes. The richness and diversity of tree species were different in each size class in at least one relief against the other two. The exception arose in species richness in saplings that was equal in the plain, premountain and low mountain reliefs. The seedling size class obtained the highest richness and diversity values in plain and low mountain. The richness and diversity of tree species was different within each relief in at least one size

## Conclusiones

Las especies arbóreas con los valores más altos de importancia estructural fueron diferentes en dos relieves para las tres clases de tamaños: en planicie, *Bravaisia integerrima* para fustales y *Pithecellobium dulce* para latizales y brinzales; en montaña baja, *Cecropia obtusifolia* y *Swartzia cubensis* para fustales, *Cupania dentata* para latizales y *Nectandra globosa* para brinzales. La excepción se presentó en el relieve premontaña, donde *Faramea occidentalis* fue la especie más importante en las tres clases de tamaños. La riqueza y diversidad de especies arbóreas fueron diferentes en cada clase de

class against the other two. The exception was species richness in premountain that was equal among poles, saplings and seedlings. The low mountain was the relief that showed the highest richness and diversity values in the three size classes.

#### End of English version

## References / Referencias

- Bandeira, F. P., Martorell, C., Meave, J. A., & Caballero, J. (2005). The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 14, 1225–1240. doi: 10.1007/s10531-004-7843-2
- Carreón-Santos, R. J. & Valdez-Hernández, J. I. (2014). Estructura y diversidad de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 119–130. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.06.023
- Condit, R., Pitman, N., Leigh, G. E. Jr., Chave, J., Terborgh J., Foster, B. R., & Hubbell, P. S. (2002). Beta-diversity in tropical forest trees. *Science*, 295, 666–669. doi: 10.1126/science.1066854
- Corella, J. F., Valdez, H. J. I., Cetina, A. V. M., González, C. F. V., Trinidad, S. A., & Aguirre, R. J. R. (2001). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Revista Ciencia Forestal en México*, 26(90), 73–102.
- Galicia, L., Zarco-Arista, A. E., Mendoza-Robles, K. I., Palacio-Prieto, J. L., & García-Romero, A. (2008). Land use/cover, landforms and fragmentation patterns in a tropical dry forest in the southern Pacific region of Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 29, 137–154. doi:10.1111/j.1467-9493.2008.00326.x
- Gallardo, C. A. J., Meave, J. A., & Pérez, G. A. E. (2005). Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 76, 19–35. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707602>
- García, M. L. E., Valdez, H. J. I., Luna, C. M., & 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. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61743002005>
- Godínez-Ibarra, O. & López-Mata, L. (2002). Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de la selva mediana subperennifolia. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 73(2), 283–314. Retrieved from <http://www.ejournal.unam.mx/bot/073-02/BOT73206.pdf>
- Gordon, E. J., Hawthorne, W. D., Reyes-García, A., Sandoval, G., & Barrance, A. J. (2004). Assessing landscapes: A

tamaño en al menos un relieve contra los otros. La excepción se presenta en la riqueza de especies en latizales que fue igual entre planicie, premontaña y montaña baja. La clase de tamaño brinzales obtuvo los valores más altos de riqueza y diversidad en planicie y montaña baja. La riqueza y diversidad de especies arbóreas fue diferente dentro de cada relieve en al menos una clase de tamaño contra los otros dos. La excepción fue la riqueza de especies en premontaña que fue igual entre fustales, latizales y brinzales. La montaña baja fue el relieve que presentó los valores más altos de riqueza y diversidad en las tres clases de tamaños.

#### Fin de la versión en español

- case study of tree and shrub diversity in the seasonally dry tropical forests of Oaxaca, Mexico and southern Honduras. *Biological Conservation*, 117, 29–442. doi: 10.1016/j.biocon.2003.08.011
- Gutiérrez, B. C., Zamora-Crescencio, P., & Puc-Garrido, E. C. (2013). Estructura y composición florística de la selva mediana subperennifolia de Hampolol, Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 15(1), 1–8. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49728291001>
- Hernández, S. J. R., Ortiz, P. M. A., & Figueroa, M. E. M. (2009). Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve. *Investigaciones Geográficas*, 68, 7–24. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56912236002>
- Interián-Ku, V. M., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., Borja-de-la-Rosa, M. A., & Vaquera-Huerta, H. (2009). Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85, 17–29. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/577/57712090003.pdf>
- López-Pérez, D., Castillo-Acosta, O., Zavala-Cruz, J., & Hernández-Trejo, H. (2014). Estructura y composición florística de la vegetación secundaria en tres regiones de la sierra norte de Chiapas, México. *Polibotánica*, 37, 1–23. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62129967001>
- López-Toledo, J. F., Valdez-Hernández, J. I., Pérez-Farrera, M. A., & Cetina-Alcalá, V. M. (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. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62129967001>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Maldonado-Sánchez, E. A. & Maldonado-Mares, F. (2010). Estructura y diversidad arbórea de una selva alta perennifolia en Tacotalpa, Tabasco, México.

- Universidad y Ciencia, Trópico húmedo*, 26(3), 235–245. Retrieved from <http://www.universidadyciencia.ujat.mx/sistema/documentos/volumenes/26-3-2010/3-414.pdf>
- Manson, R. H., Contreras, H. A., & López-Barrera, F. (2008). Estudios de la biodiversidad en cafetales. En R. H. Hanson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina, & K. Mehlreter (Eds.), *Agrosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (pp. 1-14). México: Instituto de Ecología A. C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Retrieved from [http://www3.inecol.edu.mx/biocalife/?option=com\\_content&view=article&id=26:acv&catid=13:libros&Itemid=22](http://www3.inecol.edu.mx/biocalife/?option=com_content&view=article&id=26:acv&catid=13:libros&Itemid=22)
- Martínez, R. M. (1994). Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 54, 179–224. Retrieved from [http://www.oikos.unam.mx/LECT/images/publicaciones-2000/mmr\\_regeneracion\\_1994.pdf](http://www.oikos.unam.mx/LECT/images/publicaciones-2000/mmr_regeneracion_1994.pdf)
- Missouri Botanical Garden. Tropicos®. Retrieved November 9, 2014 from <http://www.tropicos.org>
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M., & Sánchez, S. O. (2010). Árboles de Veracruz, 100 especies para la reforestación estratégica. México: Secretaría de Educación del Estado de Veracruz. Retrieved from [http://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec\\_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf](http://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf)
- Pennington, T. D. & Sarukhán J. (2005). Árboles tropicales de México, manual para la identificación de las principales especies (3a ed.). México: UNAM.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583–590. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911906>
- Rodríguez, T. D. A. (2014). *Incendios de vegetación: Su ecología, manejo e historia* (vol. 1). México: Biblioteca básica de agricultura.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra. ed. digital). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Retrieved from [http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx\\_Cont.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf)
- Salas-Morales, S. H., Saynes-Vázquez, A., & Schibli, L. (2003). Flora de la costa de Oaxaca, México: Lista florística de la región de Zimatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 27, 21–58. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707202>
- Salas-Morales, S. H., Schibli, L., Nava-Zafra, A., & Saynes-Vásquez, A. (2007). Flora de la costa de Oaxaca, México (2): lista florística comentada del Parque Nacional Huatulco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 81, 101–130. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57708107>
- Sánchez-Bernal, E., Camacho-Escobar, M., Rodríguez-León, A., Ortega-Escobar, M. (2012). Characterization of soils affected by salts in irrigation district 110 “Río Verde”, Oaxaca, Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 7(6), 943–957. doi: 10.5897/AJAR11.1479
- Sánchez, S. O., Islebe, A. G., & Valdez-Hernández, M. (2007). Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9(2), 17–26. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49790203>
- Serrano-Altamirano, V., Silva-Serna, M. M., Cano-García, M. A., Medina-García, G., & Ruiz-Corral, A. (2005). *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Oaxaca (periodo 1961-2003)*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3412>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México: Autor. Retrieved from [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)
- Soto-Pinto, L., Romero-Alvarado, Y., Caballero-Nieto, J., & Segura, G. (2001). Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 49(3-4), 977-987. Retrieved from <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/18046/18231>
- Smith, L. R. & Smith, M. T. (2004). *Ecología* (4a ed.). España: Pearson.
- Statistical Analysis System Institute Inc. (SAS). (2004). SAS/STAT® 9.1 User’s Guide. Cary, NC, USA: Author.
- Valencia, R., Foster, R. B., Villa, G., Condit, R., Svenning, J-C., Hernández, C., & Balslev, H. (2004). Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: Large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology*, 92, 214–229. doi: 10.1111/j.0022-0477.2004.00876.x/epdf
- Vázquez-Negrín, I., Castillo-Acosta, O., Valdez-Hernández, J. I., Zavala-Cruz, J., & Martínez-Sánchez, J. L. (2011). Estructura y composición florística de la selva alta perennifolia en el ejido Niños Héros Tenosique, Tabasco, México. *Polibotánica*, 32, 41–61. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n32/n32a3.pdf>
- Villavicencio-Enríquez, L. & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37, 413–423. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2003/jul-ago/art-10.pdf>
- Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(1), 1–17. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf>