



**DIVERSIDAD DE COMUNIDADES DE LEÑOSAS DEL BOSQUE  
TROPICAL SECO EN PITAYERAS DE LA SIERRA DE HUAUTLA,  
MÉXICO †**

**[DIVERSITY OF WOODY COMMUNITIES IN PITAYERAS OF A  
TROPICAL DRY FOREST IN THE SIERRA DE HUAUTLA, MEXICO]**

**Dante López-Carmona<sup>1\*</sup>, Alejandro Hernández-Tapia<sup>1</sup>,  
Juan Antonio Cruz-Rodríguez<sup>1</sup>, Giovany Tonatiuh González-Bonilla<sup>2</sup>,  
Enrique Cortés-Díaz<sup>3</sup> and Langen Corlay-Chee<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Agroecología, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230, México. E-mails: dantelopezcar@gmail.com, ahtapia@gmail.com, jacr66@hotmail.com

<sup>2</sup> Wild Forest Consulting. Galeana s/n Huitchila C.P. 62923 Tepalcingo, Morelos, México. E-mail: gtonatiuhgb@gmail.com

<sup>3</sup> Centro Regional Universitario del Anáhuac. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México C.P. 56230, México. E-mail: ecodia@yahoo.com.mx

<sup>4</sup> Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, México. E-mail: lcorlayc@chapingo.mx

\*Corresponding author

## SUMMARY

**Background.** Pitayeras are traditional agroforestry harvesting systems that have been poorly studied but can harbor a diversity of trees and shrubs as in tropical dry forest (TDF). **Objective.** We described the diversity of woody communities in *Pitayeras* of the Sierra de Huautla to identify their importance in the conservation of TDF species. **Methodology.** 150 plots with a defined area (10 x 10 m) divided into three *Pitayeras* (Plain, Hillside, and Orchard) were sampled. All individuals with a diameter  $\geq 1$  cm were quantified, and all species were identified. The alpha ( $H'$ ,  ${}^0D$ ,  ${}^1D$ ,  ${}^2D$ ) and the beta (Bray-Curtis) diversity were estimated. A tree classification was performed to classify the plant communities of the *Pitayeras*. **Results.** 57 species and 22 families were identified, which Fabaceae, Burseraceae, and Cactaceae were the most diverse. The most dominant species were *Euphorbia schlechtendalii*, *Stenocereus stellatus* and *Mimosa polyantha*. La Huerta was the most diverse *Pitayera*, while the Plain had the least diversity. The Plain and Orchard were the most similar *Pitayeras*. **Implications.** The diversity of trees and shrubs of the *Pitayeras* might be associated with particular edaphic, climatological and management conditions; however, these socio-ecological elements were not monitored. **Conclusions.** The *Pitayeras* harbor a diversity of trees and shrubs similar to the DTF of the Sierra de Huautla Biosphere Reserve and other parts of Mexico. **Key words.** Deciduous forest; *Euphorbia schlechtendalii*; *Stenocereus stellatus*; forest conservation; traditional agroforestry systems.

## RESUMEN

**Antecedentes.** Las Pitayeras son sistemas agroforestales tradicionales pobremente estudiados que podrían albergar una diversidad de árboles y arbustos similar al Bosque Tropical Seco (BTS). **Objetivo.** Describir la diversidad de árboles y arbustos en Pitayeras de la Sierra de Huautla para de identificar su importancia en la conservación de especies del BTS. **Metodología.** Se muestrearon 150 parcelas con área definida (10 x 10 m) divididas en tres Pitayeras (Planicie, Ladera y Huerta). Se cuantificó el número de individuos con diámetro normal  $\geq 1$  cm y se identificaron todas las especies. Se estimó la diversidad alfa ( $H'$ ,  ${}^0D$ ,  ${}^1D$  y  ${}^2D$ ) y beta (Bray-Curtis). Para clasificar las Pitayeras según su composición florística, se realizó un árbol de clasificación mediante minería de datos. **Resultados.** Se identificaron 57 especies y 22 familias, de las cuales, Fabaceae, Burseraceae y Cactaceae fueron las más diversas. Las especies dominantes fueron *Euphorbia schlechtendalii*, *Stenocereus stellatus* y *Mimosa polyantha*. La Huerta fue la Pitayera más diversa, mientras que en la Planicie se obtuvo la menor diversidad. La Ladera y la Huerta fueron las Pitayeras más similares. **Implicaciones.** La diversidad de árboles y arbustos de las Pitayeras puede estar asociada a condiciones edáficas, climatológicas y de manejo particulares, sin embargo, no se monitorearon

† Submitted April 13, 2021 – Accepted September 15, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462.

estos elementos socioecológicos. **Conclusiones.** Las Pitayeras albergan una diversidad de especies leñosas similar al BTS de la Reserva de la Biósfera de la Sierra de Huautla y otras partes de México.

**Palabras clave.** Selva baja caducifolia: *Euphorbia schlechtendalii*; *Stenocereus stellatus*; conservación forestal; sistemas agroforestales tradicionales.

## INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han reportado que al menos el 66 % de la superficie originalmente ocupada por Bosque Tropical Seco (BTS) en México y otras partes del mundo tiene algún grado de perturbación (Miles *et al.*, 2006). El cambio de uso de suelo como consecuencia de la expansión de la frontera agrícola es la principal causa de su deterioro (Semotiuk *et al.*, 2017; Trejo y Dirzo, 2000). Además, la degradación de este ecosistema pone en riesgo el funcionamiento de importantes servicios ecosistémicos como el ciclaje de nutrientes, el secuestro de carbono, la regulación climática, la filtración de agua, y la obtención de alimentos, fibras y energía (Cortés-Calderón *et al.*, 2021; Maass *et al.*, 2005). Por esto, es necesario mantener y desarrollar agroecosistemas que permitan la producción de alimentos y a su vez, favorezcan la conservación del BTS y sus servicios ecosistémicos.

El BTS se caracteriza por una marcada estacionalidad entre la época de lluvias y la de secas; debido a esto, la mayoría de la vegetación pierde su follaje entre los meses de octubre a mayo (Casanova-Lugo *et al.*, 2014; Rzedowski, 2006). La flora del BTS es dominada por las familias Fabaceae, Burseraceae y Euphorbiaceae (Gentry, 1995). Asimismo, la vegetación del BTS es una de las más diversas debido a la interacción de factores geológicos, climáticos, edáficos y de relieve que tiene incidencia a escala local y regional (Rodrigues *et al.*, 2019; Pulla *et al.*, 2016). Por esta razón, son pertinentes los estudios locales que permitan registrar los cambios en la composición y diversidad de especies vegetales del BTS.

Los sistemas agroforestales integran uno o varios estratos arbóreos junto con el cultivo de plantas anuales y/o animales domésticos. Estos sistemas pueden disminuir la erosión del suelo, mejorar las propiedades edáficas (por ejemplo, la retención de humedad, la conservación de carbono, el ciclaje de nutrientes) y reducir la expansión e intensificación de los sistemas agroalimentarios debido a que son sistemas más cerrados y eficientes en términos energéticos (Cortés-Calderón *et al.*, 2021; Coelho, 2017). Un tipo particular de sistemas agroforestales son los tradicionales (SAFT), los cuales son sistemas de manejo campesino de la flora conservada o en sucesión que pueden albergar una diversidad de árboles y arbustos similar a los ecosistemas naturales (Ruiz-García *et al.*, 2020; Moreno-Calles *et al.*, 2013). De esta manera, el mantenimiento de sistemas

SAFT puede ser una estrategia de conservación de la biodiversidad.

Las Pitayeras son SAFT que tienen valor económico y cultural debido a que los pobladores han desarrollado prácticas de manejo local para el aprovechamiento de la leña, el forraje, las plantas medicinales y alimenticias (pitayas, ciruelas, garambullos, tunas, nopales, etc.) para el autoconsumo y comercio local (Moreno-Calles *et al.*, 2010; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Aunque han sido pobremente estudiadas, las Pitayeras se distinguen por la composición florística que albergan (Matorral o BTS) y la especie presente del género *Stenocereus*; estos sistemas, se distribuyen en los estados de Oaxaca (*S. pruinosus*, *S. stellatus*), Sonora (*S. thurberi*, *S. griseus*), Morelos (*S. stellatus*), Jalisco, Querétaro y San Luis Potosí (*S. queretaroensis*) (Abd El-Ghani *et al.*, 2017; Lott y Atkinson, 2006; Luna-Morales y Aguirre-Rivera, 2001). Ante esto, diversos reportes de la flora de la Reserva de la Biósfera de la Sierra de Huautla, Morelos (RBSH), una de las áreas mexicanas más importantes de conservación del BTS, coinciden en que *S. stellatus* no es una especie dominante o abundante (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018; Sánchez-Hernández *et al.*, 2018; Hernández-Silva *et al.*, 2011). No obstante, existen Pitayeras aledañas a la RBSH en las que se observa una alta densidad de *S. stellatus*, aunque no existen estudios florísticos en estos sistemas. Además, en estos sitios se recolecta la mayoría de frutos de pitaya que se consumen en la región, lo cual pone en riesgo la conservación del sistema debido a que su aprovechamiento no está regulada.

Los estudios sobre biodiversidad contribuyen al registro de las especies en los sistemas naturales o manejados, pero también, pueden indicar los recursos bióticos aprovechables y los que requieren acciones de conservación por su importancia intrínseca o por su papel en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (Magurran, 2013). Entre las herramientas de análisis de los ecosistemas que han sido adaptadas al estudio de agroecosistemas destacan los estimadores de riqueza, la comparación de la diversidad biológica y los índices de similitud o disimilitud (Gliessman, 2014; Moreno, 2019). Aunado a esto, nuevas técnicas que han emergido de las ciencias de datos podrían contribuir al entendimiento de los agroecosistemas. Entre estas, destaca la minería de datos, la cual puede clasificar datos cuantitativos y cualitativos con base en patrones y correlaciones de la información (Si *et al.*, 2020). Sin

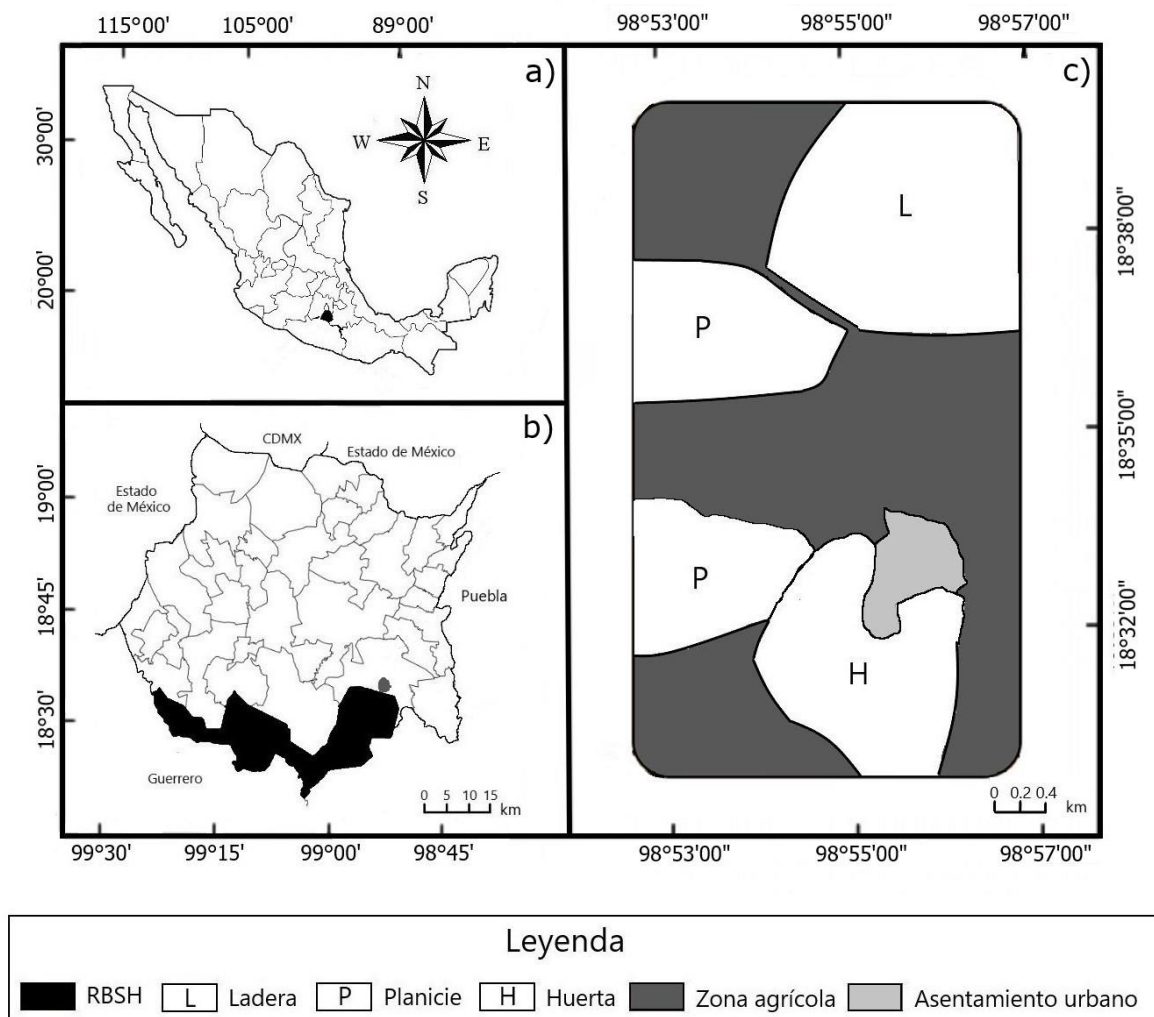
embargo esta técnica ha sido muy poco utilizada en el análisis ecológico de agroecosistemas.

Con base en lo anterior, conocer la composición y diversidad de árboles y arbustos de las Pitayeras cercanas a la RBSH es un primer paso para la elaboración estrategias de manejo y conservación de la vegetación de estos sistemas. Además, esta información es clave para el diseño sistemas agroforestales que incluyan a *S. stellatus* para mantener la producción de pitaya. De esta manera, en el presente trabajo hipotetizamos si: 1) Las Pitayeras del estado de Morelos tienen una composición y diversidad de árboles y arbustos similar al BTS y 2) El manejo puede modificar la composición de árboles y arbustos de las Pitayeras de Morelos. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue describir la diversidad de árboles y arbustos en Pitayeras de la Sierra de Huautla para de identificar su importancia en la conservación de especies del BTS.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio

El área de estudio se localiza en una zona circundante al polígono de la RBSH en el Municipio de Tepalcingo, Morelos ( $18^{\circ}35'41''\text{N}$  y  $98^{\circ}50'39''\text{O}$ ), dentro de los ejidos de Pitzotlán y Tepalcingo (Figura 1). Se ubica en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano dentro de la cuenca del río Balsas a una altura de 1156 msnm. Las rocas dominantes son sedimentarias e ígneas extrusivas. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano ( $\text{Aw}_2$ ). La precipitación y la temperatura promedio anual son de 900 mm y  $29^{\circ}\text{C}$  respectivamente. La vegetación dominante es BTS con diferentes niveles de perturbación, inmersos en una matriz agrícola a pesar de ser tierras no aptas para la agricultura. Los suelos dominantes son Leptosols (INEGI, 2017).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio. Se muestra en a) la República Mexicana, b) el estado de Morelos; y c) la localización de las Pitayeras.

Se estudiaron tres Pitayeras con características diferentes en cuanto al manejo y el relieve. Dos de ellas fueron la Planicie y la Ladera, que cuentan con un relieve de planicie y lomeríos respectivamente, ambas con un manejo incipiente de la vegetación principalmente a través de ganadería extensiva y recolección de frutos y leña. La tercera fue la Huerta, la cual tiene un relieve de tipo planicie y un manejo principalmente a través del control de las plantas alrededor de los pitayos; la recolección de plantas forrajeras, para leña, medicinales y una mayor presencia de ganado en la época de lluvias.

### Método de muestreo de la vegetación

Se utilizó un método de muestreo con área definida de 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m) por parcela. Cada Pitayera contó con un total de 50 parcelas (0.5 ha) distribuidas en cinco transectos de 450 metros de largo (10 parcelas cada uno). La distancia entre transectos fue de 100 metros y estos fueron trazados en el sentido de la pendiente (Cox, 1976). Dentro de cada parcela se cuantificaron todos los individuos y se midió el diámetro normal (DN= 1.3 m de altura) de las plantas con más de 1 cm de diámetro y con al menos 30 centímetros de altura (Moreno, 2019; Cox, 1976). Todas las especies fueron identificadas en campo y cotejadas en el herbario de la Universidad Autónoma Chapingo.

### Métricas de diversidad

Para cada sistema, se construyeron las curvas de riqueza (<sup>0</sup>D) y rarefacción con el estimador de Chao 1 (95 %), esta última, con base en el análisis de las frecuencias y abundancias (Chao *et al.*, 2017). Para cada Pitayera, se construyó una curva de rango – abundancia, también llamada de dominancia - riqueza (Log10 Pi, donde, Log10 es el logaritmo base 10 y Pi la abundancia de la especie i) la cual permite

comparar el ensamblaje de las comunidades vegetales a través del análisis de la composición y la distribución de cada una de las especies (Rodrigues *et al.*, 2019b, Feinsinger, 2001). Para cada especie se determinó el índice de valor de importancia relativo con base en el análisis de la densidad, frecuencia y dominancia relativas (Lyons, 1981). La densidad fue el número de individuos totales (100 m<sup>2</sup>); la frecuencia dependió de la presencia o ausencia de cada especie en las parcelas y la dominancia se estimó con base en el área basal.

Para identificar la equidad en la distribución o agregación de las especies, se determinó el coeficiente de variación (CV) (Tabla 1 [1]). La cobertura de muestreo ( $\hat{C}_n$ ) es un estimador de la bondad del muestreo realizado con base en el análisis de las especies raras (Tabla 1 [2]) (Chao y Jost, 2012). Se estimó la riqueza de especies (<sup>0</sup>D), así como el índice Shannon-Wiener (H') el cual es uno de los índices que más se han empleado en los estudios de diversidad (Tabla 1 [3]) (Magurran, 2013). También se estimó la riqueza verdadera o el número efectivo de especies de orden 1 y 2; este concepto hace referencia al número de especies de una comunidad en la que todas las especies son igual de frecuentes (<sup>1</sup>D) o abundantes (<sup>2</sup>D) (Tabla 1 [4 y 5]) (Jost, 2006). La diversidad entre sistemas se comparó a través de un dendrograma de clasificación con base en el índice de Bray-Curtis, el cual permite comparar la similitud de especies y sus abundancias entre dos sistemas y a su vez, hace referencia al recambio de especies entre comunidades (Tabla 1 [6]) (Bray y Curtis, 1957).

### Análisis estadísticos

Se realizó un ANOVA de un factor con una prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para comparar cada una de las métricas de diversidad, el área basal y la densidad de

**Tabla 1. Ecuaciones métricas de diversidad.**

No.	Métrica	Ecuación	Donde:
1	Coeficiente de variación	$CV = \frac{S}{x}$	S= desviación estándar x= promedio de especies
2	Cobertura de muestreo	$\hat{C}_n = 1 - \left(\frac{f_1}{n}\right)$	$f_1$ = número de especies con un solo individuo (singletons) n= número total de individuos
3	Índice Shannon-Wiener	$H' = - \sum p_i \ln p_i$	$p_i$ es la abundancia proporcional de la especie i
4	Riqueza verdadera de orden 1	${}^1D = e^{H'}$	H'= índice Shannon-Wiener e es la base del logaritmo natural
5	Riqueza verdadera de orden 2	${}^2D = \frac{1}{\lambda}$	$\lambda$ = índice de dominancia de Simpson
6	Índice de Bray-Curtis	$\beta BC = 1 - \frac{\sum (x_i - y_i)}{\sum (x_i + y_i)}$	$x_i$ y $y_i$ son el número de individuos del sistema A y B respectivamente

individuos / 100 m<sup>2</sup>. Los cinco transectos fueron considerados como réplicas (n= 5) y las parcelas dentro de cada transecto como pseudoréplicas (10 por transecto). Los índices de diversidad fueron estimados en el software EstimateS 9.1.0 (Colwell y Elsensohn, 2014). Se elaboró un dendrograma de similitud con base en el índice de Bray-Curtis en el software Past 4.03 (Hammer *et al.*, 2001). Además, se construyó un árbol de decisión mediante minería de datos para clasificar los sistemas con base en la densidad de individuos por especie. Este análisis se realizó en el software WEKA 3.8.4 con el algoritmo J48, el cual es frecuentemente utilizado para clasificar variables cualitativas (Pitayeras). Estos análisis han sido probados en trabajos para estimar las dinámicas de carbono y perturbación en bosques tropicales (Pradhan y Mezaal, 2018; Thayamkottu y Joseph, 2018).

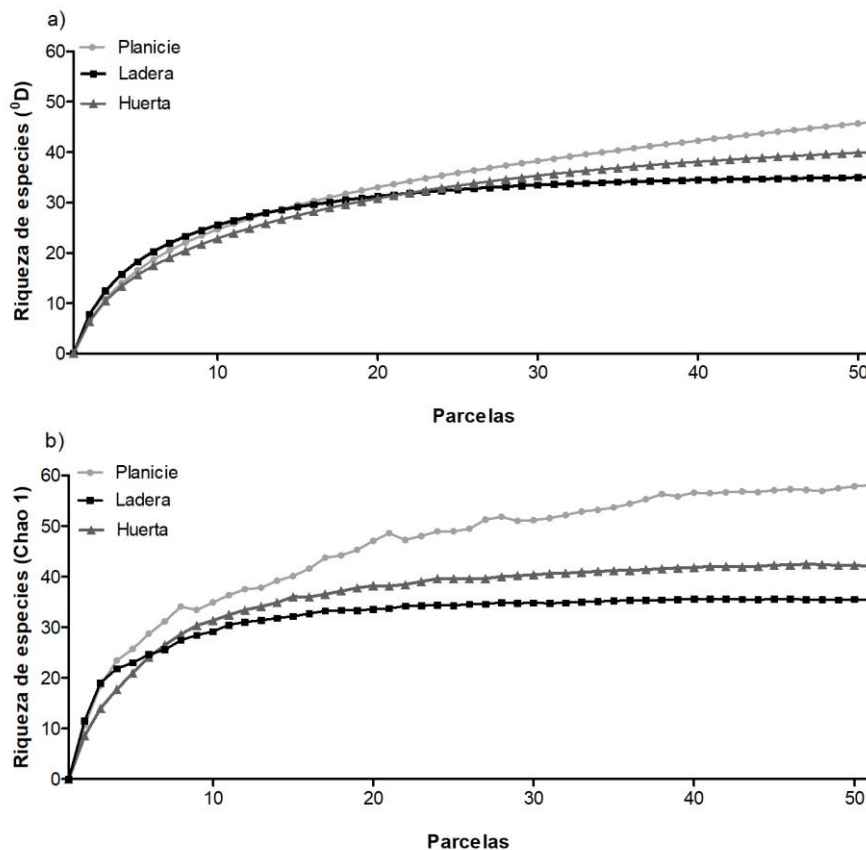
## RESULTADOS

### Riqueza de especies

Las curvas acumulación de especies de la Ladera y la Huerta se acercaron a la asíntota, mientras que la

Planicie no logró esta condición geométrica. En concordancia, el índice de Chao 1 estimó que la Planicie es el sistema donde se infirió la mayor riqueza (58 especies), mientras que en la Ladera y la Huerta el número de especies esperadas fue muy similar a la riqueza registrada con 36 y 43 especies respectivamente (Figura 2).

La riqueza total fue de 57 especies distribuidas en las tres Pitayeras. Cuatro familias concentraron el 57.9 % del total de la riqueza: Fabaceae con 20 especies, Burseraceae y Cactacea con ocho y cinco especies respectivamente. Seis familias (Anacardiaceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Malpighiaceae y Malvaceae) agruparon el 24.6 % de la riqueza y el 17.5 % se concentró en el resto de taxa. Por otra parte, los géneros *Bursera*, *Acacia* y *Mimosa* agruparon el 29.8 % de la riqueza con ocho (14 %), seis (10.5 %) y tres (5.3 %) especies respectivamente. Los géneros *Ceiba*, *Euphorbia*, *Ipomoea*, *Lysiloma*, *Senna*, *Stenocereus* y *Vitex* agruparon 2 especies cada una (24.6 %). El restante 45.6 % de la riqueza se concentró en 26 géneros (Tabla 2).



**Figura 2.** a) Curva de acumulación de riqueza de especies (<sup>0</sup>D) y, b) Curva de rarefacción construida a partir del estimador de Chao 1 de tres Pitayeras en la Sierra de Huautla, Morelos.

La Pitayera que registró la mayor riqueza fue la Planicie (46), seguido de la Huerta (40) y la menor riqueza se identificó en la Ladera (35). Además, la Planicie compartió 31 y 30 especies con la Ladera y la Huerta respectivamente. La Ladera presentó 28

especies compartidas con la Huerta. De las 57 especies sólo 25 fueron comunes en los tres sistemas. La Planicie presentó 10 especies exclusivas, mientras que la Huerta tuvo 7 y la Ladera solo 1 (Tabla 2).

**Tabla 2. Listado florístico de tres Pitayeras, obtenido a partir de 50 sitios de muestreo por sistema. Se muestra el nombre común, nombre científico y familia taxonómica. Las X indican la Pitayera donde se identificó cada especie.**

Clave	Familia	Nombre científico	Nombre común	Planicie	Ladera	Huerta
Aac	Fabaceae	<i>Acacia acatlensis</i> Benth.	Cubata blanca	X	X	X
Aad	Anacardiaceae	<i>Amphipterygium adstringens</i> Schide ex Schlecht	Cuachalalate	X	X	X
Aan	Fabaceae	<i>Acacia angustisisima</i> (Mill.) Kuntze	Cubata roja	X	X	X
Aco	Fabaceae	<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl.	Cubata prieta	X	X	X
Acu	Fabaceae	<i>Acacia coulteri</i> Benth.	Palo Bco.		X	X
Afa	Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	X	X	X
Aga	Asparagaceae	<i>Agave angustifolia</i> Haw	Agave mezcalero		X	
Ape	Fabaceae	<i>Acacia pennatula</i> (Schlecht. & Cham) Benth.	Espino Bco.			X
Bap	Burseraceae	<i>Bursera aptera</i> Ramírez	Cuacitlal Am	X	X	
Bbi	Burseraceae	<i>Bursera bicolor</i> (Willd. & Schlecht.) Engler	Ticumaca		X	X
Bca	Malpighiaceae	<i>Bunchosia canescens</i> DC.	Hierba del coyote	X	X	X
Bco	Burseraceae	<i>Bursera copallifera</i> (Moc. & Sessé ) Bullock	Copal ancho	X	X	X
Bgl	Burseraceae	<i>Bursera glabrifolia</i> (Kunth) Engl.	Copal manso	X	X	X
Bla	Burseraceae	<i>Bursera lancifolia</i> (Schltdl.) Engl.	Cuajote blanco	X		
Bpi	Burseraceae	<i>Bursera bippinata</i> (Moc. & Sessé) Engl.	Copal chino	X	X	
Bsc	Burseraceae	<i>Bursera schlechtendalii</i> Engl	Cuacitlal rojo	X	X	
Bsp	Burseraceae	<i>Bursera sp</i>	Copalillo	X		
Cca	Malvaceae	<i>Ceiba acuminata</i> (S. Watson) Rose	Pochote secas	X	X	X
Ccu	Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i> L.	Cuatecomate	X		X
Clo	Fabaceae	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn.	Chipil	X		
Cmu	Fabaceae	<i>Conzattia multiflora</i> (Rob.) Standl.	Guayacan Bco.	X	X	
Cpa	Malvaceae	<i>Ceiba pavifolia</i> Rose	Pochote aguas	X		
Cvi	Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Palo de rosa	X		
Epo	Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg	Palo dulce	X	X	
Esh	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia schlechtendalii</i> Boiss.	Ixtumeca	X	X	X
Eta	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia tanquahuete</i> Sessé & Moc.	Veneno	X	X	X
Gam	Hernandiaceae	<i>Gyrocarpus americanus</i> Jacq.	Hediondillo	X		X
Gul	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Cuaulote	X		X
Hbr	Fabaceae	<i>Haematoxylon brasiletto</i> Karsten	Brasil	X	X	X
Hre	Malvaceae	<i>Heliocarpus reticulatus</i> (DC.) Hochr.	Cuaulahuatl			X
IarIar	Convolvulaceae	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb.& Bonpl.)	Casahuate Bco.	X	X	X
Lac	Fabaceae	<i>Lysiloma acapulcensis</i> (Kunth) Benth	Tepehuaje			X

**Tabla 2. Listado florístico de tres Pitayeras, obtenido a partir de 50 sitios de muestreo por sistema. Se muestra el nombre común, nombre científico y familia taxonómica. Las X indican la Pitayera donde se identificó cada especie.**

Clave	Familia	Nombre científico	Nombre común	Planicie	Ladera	Huerta
Lco	Fabaceae	<i>Leucaena collins</i> Briton and Rose	Guaje colorado			X
Ldi	Fabaceae	<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) MacBride	Tlahuitol	X	X	X
Lmu	Convolvulaceae	<i>Ipomoea murocoides</i> Roem. Et schult	Casahuate prieto	X	X	X
Lsp	Fabaceae	<i>Lonchocarpus sp.</i>	Lonchocarpus	X		
Mbe	Fabaceae	<i>Mimosa benthami</i> MacBride	Tecolhuixtle	X	X	X
Mge	Cactaceae	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Cons	Garambullo	X	X	X
Mme	Malpighiaceae	<i>Malpighia mexicana</i> Juss.	Guajocote			X
Mpo	Fabaceae	<i>Mimosa polyantha</i> Benth.	Uña de gato	X	X	X
Msp	Fabaceae	<i>Mimosa sp</i>	Mimosa	X		
Omi	Cactaceae	<i>Opuntia microdasys</i> (Engelm.) U. Guzmán	Nopal	X	X	X
Pce	Celastraceae	<i>Pristimera celastroides</i> (Kunth) A.C. Sm.	Temecate			X
Pdu	Fabaceae	<i>Pithecellobium dulce</i> Benth	Guamuchil		X	X
Pgr	Cactaceae	<i>Pachycereus gradis</i> Rose	Organo	X	X	X
Qgl	Fagaceae	<i>Quercus glaucooides</i> Mart & Gal.	Encino Blanco			X
Rfu	Polygonaceae	<i>Rupechtia fusca</i> Fernald	Guayabillo	X		X
Rwa	Rubiaceae	<i>Randia watsoni</i> B.L. Rob.	Granjel Bco.	X	X	X
Sbe	Cactaceae	<i>Stenocereus benequi</i> (C. Ehrenb.) Buxb.	Benequi	X	X	
Spa	Fabaceae	<i>Senna pallida</i> (Vahl) H.S. Irwin & Barneby	Varadura	X	X	X
Spu	Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i> L.	Ciruelo	X		X
Ssk	Fabaceae	<i>Senna skinneri</i> Benth	Paraca	X	X	X
Sst	Cactaceae	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiffer) Briton and Rose	Pitaya	X	X	X
Thi	Meliaceae	<i>Trichilia hirta</i> L.	Tapaqueso	X		
Vcu	Cordiaceae	<i>Varronia curassavica</i> (Jacq.)	Manzanita granadillo	X	X	X
Vmo	Lamiaceae	<i>Vitex mollis</i> Kunth,	Cuayotomate	X		
Vpy	Lamiaceae	<i>Vitex pyramidata</i> B. L. Robinson	Canelillo	X		

Las curvas de dominancia-abundancia mostraron que la Huerta fue la Pitayera que tuvo la menor dominancia por una especie, mientras que la Planicie tuvo la mayor. Así mismo, estos sistemas también presentaron el mayor número de especies con pocos individuos (Figura 3a-c). De las 10 especies con mayor índice de valor de importancia (IVI), cinco estuvieron presentes en las tres Pitayeras (*Haematoxylon brasiletto*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Varronia curassavica*, *Stenocereus stellatus*, *Mimosa polyantha*) (Figura 3 b-d) y *E. schlechtendalii* fue la más dominante. Debido a su dominancia relativa, *S. stellatus* tuvo la mayor importancia en la Huerta,

mientras que en la Planicie y la Ladera tuvo el segundo y cuarto lugar respectivamente (Figura 3d-f).

### Estimadores de la diversidad

El análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ) de la riqueza ( $^0D$ ) y del área basal ( $m^2$ ) indicó que las tres Pitayeras estudiadas fueron estadísticamente similares. Sin embargo, se registró una mayor cobertura de muestro ( $\hat{C}_n$ ) y de densidad de individuos ( $100 m^2$ ) en la Planicie y la Ladera con respecto a la Huerta. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) indicó que la Ladera y la Planicie fueron estadísticamente similares, pero este último concentró una mayor

abundancia en pocas especies. La Huerta fue el sistema con la abundancia más equitativa (Tabla 3).

El índice de Shannon-Wiener indicó que la Huerta presentó la mayor diversidad, mientras que la Planicie la menor. Esta tendencia fue igualmente identificada en la estimación del número de especies igualmente frecuentes ( $^1D$ ). El análisis de diversidad verdadera ( $^1D$  y  $^2D$ ) mostró que el mayor número efectivo de especies se obtuvo para la Huerta (Tabla 3). El índice de Bray-Curtis indicó que los sistemas más similares fueron la Ladera y la Huerta (73.1 %), y estos compartieron una similitud con la Planicie del 43.7 y el 56 % respectivamente (Figura 4a).

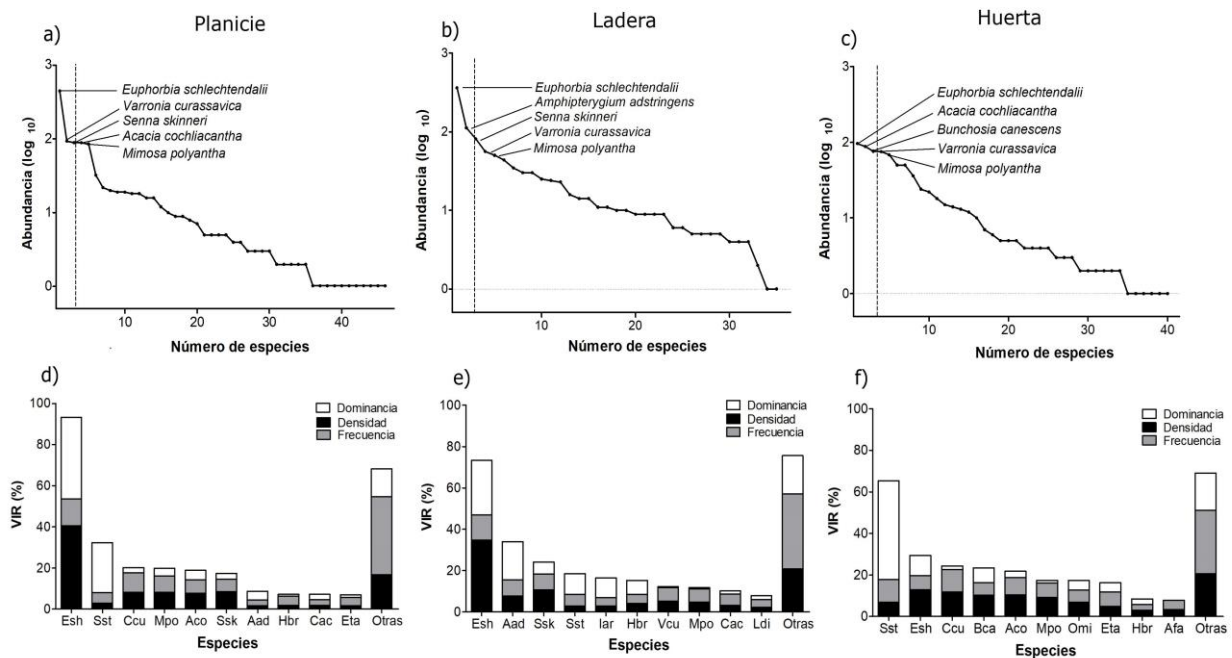
El árbol de decisión mostró que, nueve especies clasificaron las tres Pitayeras y de ellas *Acacia coulteri* es la única que no estuvo presente en los tres sistemas. También se identificó a *E. schlechtendalii* en el nodo raíz y como rama clasificadora de la Planicie y la Ladera. La Huerta fue clasificada en la primera rama por *Amphipterygium adstringens* y *Acacia acatensis*. La Ladera tuvo el mayor número de ramas y especies que lo clasificaron (Figura 4b).

## DISCUSIÓN

En el presente estudio se muestra que las Pitayeras de la Sierra de Huautla, Morelos, son SAFT que albergan una diversidad de leñosas similar a la

reportada para la RBSH. En el área total estudiada, se identificó una riqueza de 57 especies, mientras que dos estudios florísticos realizados dentro de la RBSH reportaron una riqueza entre 50 y 54 especies de árboles y arbustos (Sánchez-Hernández *et al.*, 2018; Hernández-Silva *et al.*, 2011). Esto indica que las Pitayeras albergan una riqueza de especies similar al área de conservación de BTS de la Sierra de Huautla, aunque menor a la riqueza media nacional ( $74 \pm 24$  especies) y muy por debajo de las más de 100 especies reportadas para el BTS del neotrópico, aunque estas incluyen lianas (Trejo y Dirzo, 2002; Gentry, 1995). En este sentido, el papel de las Pitayeras en la conservación biológica no debe subestimarse, independientemente de que no fueron considerados otros grupos biológicos de importancia en el BTS como las lianas, las orquídeas y las herbáceas (Pérez-García *et al.*, 2012; Pérez-García *et al.*, 2010).

Las dos familias con mayor riqueza de especies (Fabaceae y Burseraceae) reportadas para la Sierra de Huautla, también coinciden con los datos aquí presentados (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018; Hernández-Silva *et al.*, 2011). Por otro lado, las familias Euphorbiaceae y Convolvulaceae también han sido mencionadas como dominantes en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Lott y Atkinson, 2006). Así mismo, en la región de Nizanda,



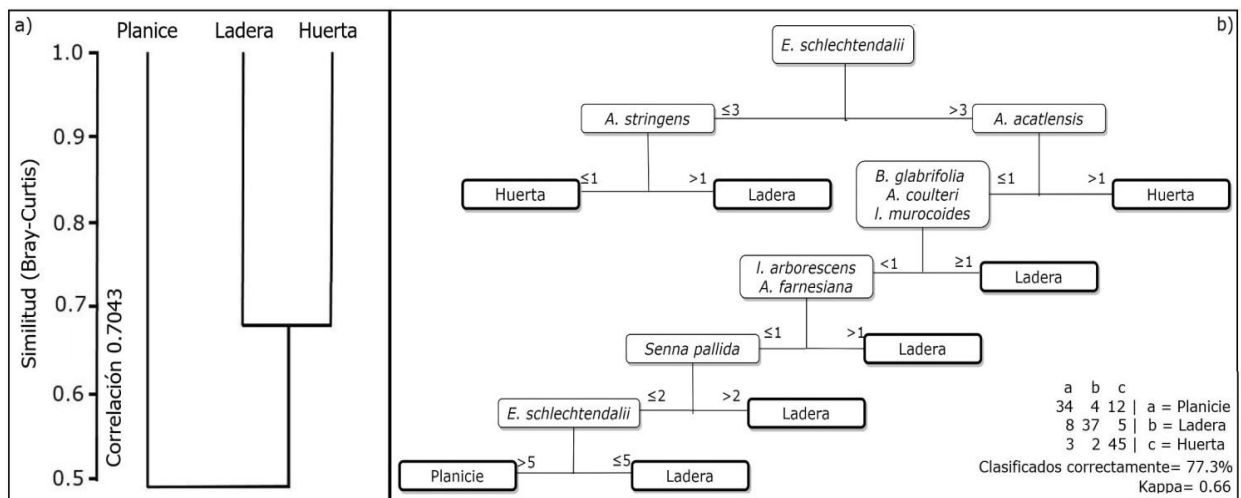
**Figura 3.** Curvas de rango – abundancia (a-c) e índices de valor de importancia (VIR %) estimado a partir de la densidad, frecuencia y dominancia relativa (d-f) de tres Pitayeras en la Sierra de Huautla, Morelos. La clave de cada especie puede observarse en la tabla 2.



**Tabla 3. Estructura e índices de diversidad para tres Pitayeras de Tepalcingo, Morelos, comparadas con un ANOVA ( $p \leq 0.05$ ).**

Indicador	Planicie	Ladera	Huerta	$p \leq 0.05$
${}^0D$	46	35	40	---
${}^0D_x$	$23.6 \pm 2.0$ a	$25.0 \pm 1.3$ a	$24.6 \pm 0.9$ a	0.7909
Área basal ( $m^2$ )	$5.7 \pm 0.5$ a	$4.6 \pm 0.6$ a	$5.3 \pm 0.8$ a	0.4876
Densidad de organismos /100m <sup>2</sup>	$22 \pm 1.1$ a	$20.9 \pm 1.4$ a	$14.8 \pm 1.0$ b	0.0021
CV	$3.4 \pm 0.2$ a	$2.9 \pm 0.2$ a	$2.1 \pm 0.1$ b	0.0023
$\hat{C}_n$	$0.97 \pm 0.01$ a	$0.98 \pm 0.01$ a	$0.93 \pm 0.00$ b	0.0003
H'	$2.1 \pm 0.1$ b	$2.4 \pm 0.1$ ab	$2.6 \pm 0.1$ a	0.0076
${}^1D$ ( $e^H$ )	$8.7 \pm 0.9$ b	$11.5 \pm 1.1$ ab	$14.1 \pm 0.9$ a	0.0059
${}^2D$ ( $1/\lambda$ )	$4.9 \pm 0.6$ b	$6.5 \pm 0.8$ b	$10.6 \pm 1.0$ a	0.0008

${}^0D$ = Riqueza de especies,  ${}^0D_x$ = Riqueza promedio de especies, CV= Coeficiente de variación,  $\hat{C}_n$ = Cobertura de muestreo, H'= índice de Shannon-Wiener,  $\lambda$ = índice de Simpson,  ${}^1D$ = Número efectivo de especies igualmente frecuentes,  ${}^2D$ = Número efectivo de especies muy abundantes. Se muestra el valor promedio obtenido con base en una n= 5. Las letras muestran los grupos homogéneos comparados estimados con una prueba de Tukey.



**Figura 4.** a) Cladograma de similitud de Bray-Curtis. b) Árbol de clasificación de las tres Pitayeras construido con base en la frecuencia de las especies a partir del algoritmo J48. Los números en las ramas del árbol indican la densidad de individuos.

Mimosaceae y Cactaceae son familias importantes por la riqueza de especies que agrupan (Pérez-García *et al.*, 2012; Gallardo-Cruz *et al.*, 2005). Los géneros con mayor riqueza de especies en las Pitayeras (*Acacia*, *Bursera* y *Mimosa*) también han sido reportados como dominantes en otros estudios florísticos del BTS en la cuenca del río Balsas (Casanova-Lugo *et al.*, 2014; Méndez-Toribio *et al.*, 2014; Pérez-García *et al.*, 2012). Estas variaciones en la riqueza de familias taxonómicas pueden atribuirse a que el BTS es un ecosistema fuertemente influido por la perturbación antrópica, los pulsos de precipitación y por propiedades edáficas como la dinámica del fósforo y la retención de humedad (Romero-Duque *et al.*, 2007; Campo *et al.*, 1998;

Borchert, 1994). Además, la amplia distribución del BTS en la vertiente del Pacífico Mexicano y la cuenca del río Balsas, propicia la formación de mosaicos regionales de relieve y clima que influyen en la composición florística a nivel local (Rodríguez *et al.*, 2019; Lott y Atkinson, 2006; Balvanera *et al.*, 2002).

La especie con el mayor valor de importancia fue *E. schlechtendalii*, quien ha sido reportada como abundante solo en etapas de sucesión intermedias del BTS, debido a que sus tallos (parénquima vascular) no cuentan con una buena retención de humedad haciéndola susceptible a periodos de sequía típicos de las etapas iniciales de sucesión (Romero *et al.*, 2020).

Sin embargo, esta especie fue observada en algunas parcelas de muestreo arrojando la sucesión ecológica, principalmente en parcelas de cultivo abandonadas en la Planicie. Además, se observó que el dosel de esta especie cubre la mayor parte del suelo favoreciendo la retención de humedad edáfica y atmosférica. Este efecto de regulación microclimática ha sido reportado en el manejo de la sombra de cafetales (Läderach *et al.*, 2017).

Es pertinente mencionar que la Huerta fue el sistema en el que la abundancia de las especies fue más homogénea. Esto puede ser atribuido a que los recolectores frecuentemente eliminan las plantas que compiten con los pitayos (*S. stellatus*), las forrajeras o las que se localizan en los senderos. Es importante destacar que el aprovechamiento de las Pitayeras no implica el cultivo de una especie en particular, aunque si puede explicar la dominancia de *S. stellatus* en los sistemas de fácil acceso (Planicie y Huerta) (Moreno-Calles *et al.*, 2016). Este mecanismo de manejo ha sido bien documentado en la reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, donde los campesinos realizan una selección incipiente de la composición de árboles y arbustos con el fin de favorecer el crecimiento de plantas con valor de uso (Vallejo *et al.*, 2019).

La Planicie y la Ladera fueron los sistemas con la mayor densidad de árboles y arbustos, la cual es muy similar a la reportada para la RBSH (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018; Sánchez-Hernández *et al.*, 2018; Trejo y Dirzo, 2002). Sin embargo, ambas están muy por debajo de la cuenca del río Balsas (Méndez-Toribio *et al.*, 2014; Martínez-Cruz *et al.*, 2013; Pineda-García *et al.*, 2007) y otras regiones del Neotrópico de México (Martínez-Yrizar *et al.*, 2016; Lott y Atkinson, 2006). La Huerta presentó la menor densidad de individuos entre las tres Pitayeras, pero el área basal fue estadísticamente similar ( $p \leq 0.05$ ) en las tres Pitayeras (~5.2 m<sup>2</sup>/0.1 ha) y lo reportado para parcelas de estudio de 35 y 65 años de regeneración de BTS en la Sierra de Huautla (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018). Sin embargo, el área basal promedio para el BTS en México es de 3.2 m<sup>2</sup>/ha aunque para categorías de DN  $\geq 2.5$  cm (Martínez-Cruz *et al.*, 2013; Gentry, 1995). Estas características se atribuyeron al manejo de este sistema, en el cual resaltan tres actividades: 1) La eliminación de plantas que compiten con plantas aprovechables; 2) La cercanía con el asentamiento humano facilita el aprovechamiento de una mayor densidad de individuos para la leña, forraje o alimenticias; 3) Según Fuentes-Hernández *et al.*, (2019) el pastoreo de ganado puede reducir el número de individuos y rebrotes. Estos procesos de manejo y apropiación de sistema sugieren que el manejo que realizan los pobladores locales tiene un efecto sobre la

configuración de la comunidad de árboles y arbustos de las Pitayeras aledañas a la RBSH.

De acuerdo con los indicadores de biodiversidad, la Huerta fue el sistema más diverso ( $H' = 2.6$ ,  ${}^1D = 14.1$  y  ${}^2D = 10.6$ ), seguido de la Planicie ( $H' = 2.1$ ,  ${}^1D = 8.7$  y  ${}^2D = 4.9$ ) y la Ladera ( $H' = 2.4$ ,  ${}^1D = 11.5$  y  ${}^2D = 6.5$ ). Estos indicadores son consistentes con los índices de diversidad reportados para el BTS en el sur de Morelos (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018; Sánchez-Hernández *et al.*, 2018; Hernández-Silva *et al.*, 2011; Trejo y Dirzo, 2002). Sin embargo, con respecto a la diversidad reportada para la cuenca del río Balsas y otras regiones de BTS en México hay índices menores ( $H' < 1.4$ ) (Martínez-Cruz *et al.*, 2013), mayores ( $H' = 3.5$  a 4.09) (Lott y Atkinson, 2006; Trejo y Dirzo, 2002) e incluso similares (Silva-Aparicio *et al.*, 2018; Méndez-Toribio *et al.*, 2014). Por otro lado, el número efectivo de especies en las Pitayeras fue menor a las 19.92 ( ${}^1D$ ) y 11.4 ( ${}^2D$ ) reportadas en SAFT con una vegetación afín al BTS en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, aunque es importante mencionar que los autores incluyeron también a las lianas (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Por su parte, el porcentaje de similitud de diferentes estudios de diversidad de BTS van desde el 37 hasta el 65 % (Silva-Aparicio *et al.*, 2018; Gallardo-Cruz *et al.*, 2009), mientras que entre las Pitayeras oscilan entre un 44 y 73 %. Con base en lo anterior, es posible inferir que las Pitayeras aledañas a la RBSH albergan una diversidad de leñosas equiparable al BTS y otros sistemas de manejo. Sin embargo, es necesario considerar que la comparativa entre los índices de diversidad aquí discutidos deben ser considerados con reservas, debido a que no necesariamente respeta el principio de replicación (Chao y Jost, 2012).

El árbol de decisión mostró que la clasificación de las Pitayeras no está determinada necesariamente por las especies más dominantes o las más raras, aunque la mayoría de las especies que clasifican a las Pitayeras son comunes en los tres sistemas. Al respecto, es necesario considerar que la composición florística se relaciona con factores abióticos como el relieve, la topografía, la exposición, la altitud, el clima, el grupo de suelo y sus propiedades edáficas (Maia *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2019; Gallardo-Cruz *et al.*, 2009; Borchert, 1994). También se reconocen otros factores bióticos como la composición de la comunidad microbiana, las interacciones ecológicas y el manejo antrópico (Gavito *et al.*, 2018; Flores y Bautista, 2012). De este modo, el árbol de clasificación y el índice de valor de importancia pueden mostrar un primer acercamiento para seleccionar las especies que acompañen a *S. stellatus* en sistemas agroforestales no tradicionales.

El diseño e implementación de sistemas agroforestales (no tradicionales) para la producción de *S. stellatus* deben incluir especies nativas del BTS con el fin mantener una alta diversidad y servicios ecosistémicos. Además, estos sistemas podrían ser una fuente de ingresos, de materiales para el hogar e incrementar la soberanía alimentaria de los pobladores locales (Vallejo *et al.*, 2019). Para el desarrollo de estos sistemas es necesario que en futuros trabajos se caractericen los elementos edáficos y microclimáticos que promueven el establecimiento de una alta densidad de *S. stellatus* en la Sierra de Huautla. Las observaciones en campo sugieren que estos organismos están asociados a suelos someros y pedregosos probablemente Lepotosols o Cambisols y a sitios abiertos con poca competencia interespecífica, pero son necesarios estudios más detallados.

### CONCLUSIONES

Las Pitayeras albergan una diversidad de especies leñosas similar a la reportada para el BTS de la RBSH y otras partes de México; por lo que, la conservación de estos agroecosistemas debe cobrar interés a pesar de no estar dentro del área de conservación. El manejo local también influye en la composición y dominancia de las Pitayeras, además, *S. stellatus* es una de las especies dominantes principalmente en los sitios de fácil acceso. La especie con mayor éxito ecológico fue *E. schlechtendalii*, pero el manejo reduce su dominancia. Por su parte, la dominancia de *S. stellatus* se atribuyó a la cobertura de su área basal y no al número de individuos. La permanencia de las Pitayeras depende en gran medida de la mitigación y regulación de los efectos ocasionados por el manejo local (recolección de frutos, pastoreo extensivo, extracción de leña y forraje). Una estrategia de conservación es el establecimiento de sistemas agroforestales para la producción de pitaya en parcelas agrícolas abandonadas o mediante la reconversión de las ya existentes y no a través del cambio de uso del suelo. El diseño de estos nuevos agroecosistemas debe ser con base en la flora que albergan las Pitayeras con el fin de emular los servicios ecosistémicos que realizan. Para ello, es importante considerar también las especies que clasifican a las Pitayeras, sus funciones ambientales y el valor de uso que tienen.

**Funding.** The lead autor had a Postdoctoral scholarship from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-Mexico). Research costs were financed by the authors.

**Conflict of interest.** There is no conflict of interest to declare.

**Compliance with ethical standards.** Authors acknowledge adherence to national and international regulations in the subject.

**Data availability.** Data is available from the corresponding author upon reasonable request (dantelopezcar@gmail.com).

### REFERENCIAS

- Abd El-Ghani, M. M., Huerta-Martínez, F. M., Hongyan, L. and Qureshi, R., 2017. The Deserts of Mexico. In: Abd El-Ghani, M. M., Huerta-Martínez, F. M., Hongyan, L., Qureshi, R., eds. *Plant Responses to Hyperarid Desert Environments*. Springer International. pp. 473–501 Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59135-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59135-3_9)
- Balvanera, P., Lott, E., Segura, G., Siebe, C. and Islas, A., 2002. Patterns of beta-diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*, 13(2), pp.145–158. [doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02034.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02034.x)
- Beltrán-Rodríguez, L., Valdez-Hernández, J. I., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., Pineda-Herrera, E., Maldonado-Almanza, B., Borja-de la Rosa, M. A. and Blancas-Vázquez, J., 2018. Estructura y diversidad arbórea de bosques tropicales caducifolios secundarios en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, Morelos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(1), pp.108–122. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2004>
- Borchert, R., 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75(5), pp. 1437–1449. [doi.org/10.2307/1937467](https://doi.org/10.2307/1937467)
- Bray, J. R., Curtis, J. T., 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), pp. 325–349. [doi.org/10.2307/1942268](https://doi.org/10.2307/1942268)
- Campo, J., Jaramillo, V. J. and Maass, J. M., 1998. Pulses of soil phosphorus availability in a Mexican tropical dry forest: Effects of seasonality and level of wetting. *Oecologia*, 115(1–2), pp. 167–172. [doi.org/10.1007/s004420050504](https://doi.org/10.1007/s004420050504)
- Casanova- Lugo, F., González-Gómez, J. C., Flores-Estrada, M. X., López-Santiago, G. and García-Gómez, M., 2014. Estructura, composición y usos de los árboles de la selva baja caducifolia en Apatzingán, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, pp. 255–259.

- Chao, A., Colwell, R. K., Chiu, C. and Townsend, D., 2017. Seen once or more than once: applying Good–Turing theory to estimate species richness using only unique observations and a species list. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(10):1221–1232. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12768>
- Chao, A. and Jost, L., 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12):2533–2547. [doi.org/10.1890/11-1952.1](https://doi.org/10.1890/11-1952.1)
- Coelho, G. C., 2017. Ecosystem services in Brazilian’s Southern agroforestry systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2(20):475–492.
- Colwell, R. and Elsensohn, J., 2014. EstimateS turns 20: statistical estimation of species richness and shared species from samples, with non-parametric extrapolation. *Ecography*, 37(6): 609–613. [doi.org/10.1111/ecog.00814](https://doi.org/10.1111/ecog.00814)
- Cortés-Calderón, S., Mora, F., Arreola-Villa, F. and Balvanera, P., 2021. Ecosystem services supply and interactions along secondary tropical dry forests succession. *Forest Ecology and Management*, 482:118858. [doi.org/10.1016/J.FORECO.2020.118858](https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2020.118858)
- Cox, X. G., 1976. *Laboratory manual of general ecology*. 3<sup>a</sup>ed. WCB. Iowa. Estados Unidos.
- Feinsinger, P., 2001. *Designing field studies for diversity conservation*. Island Press.
- Flores, J. S. and Bautista, F., 2012. Knowledge of the Yucatec Maya in seasonal tropical forest management: the forage plants. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(2), pp. 503–518.
- Fuentes-Hernandez, A., Mendoza-Orozco, M., Rios-Casanova, L., Soler-Aburto, A., Munoz-Iniestra, D. and Godinez-Alvarez, H., 2019. Impact of agriculture and cattle raising on the tropical dry forest of Zirandaro, Guerrero: An evaluation using ecological indicators. *Botanical Sciences*, 97(2), pp. 148–154. [doi.org/10.17129/botsci.2043](https://doi.org/10.17129/botsci.2043)
- Gallardo-Cruz, J. Alberto, Pérez-García, E. A. and Meave, J. A., 2009.  $\beta$ -Diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landscape Ecology*, 24(4), pp. 473–482. [doi.org/10.1007/s10980-009-9332-1](https://doi.org/10.1007/s10980-009-9332-1)
- Gallardo-Cruz, José A., Meave, J. A. and Pérez-García, E. A., 2005. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 76, pp. 19–35. [doi.org/10.17129/botsci.1701](https://doi.org/10.17129/botsci.1701)
- Gavito, M. E., Sandoval-Pérez, A. L., del Castillo, K., Cohen-Salgado, D., Colarte-Avilés, M. E., Mora, F., Santibáñez-Rentería, A., Siddique, I. and Urquijo-Ramos, C., 2018. Resilience of soil nutrient availability and organic matter decomposition to hurricane impact in a tropical dry forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 426, pp. 81–90. [doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.041](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.041)
- Gentry, A. H., 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. In: Gentry, H. A., Mooney, H., Medina E. eds. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press. pp. 146–194.
- Gliessman, S., 2014. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. 3ed. CRC Press.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, pp. 1–9.
- Hernández-Silva, D. A., Cortés-Díaz, E., Zaragoza Ramírez, J. L., Martínez-Hernández, P., González Bonilla, G. T., Rodríguez-Castañeda, H. and Hernández-Sedas, D., 2011. Hábitat del venado cola blanca, en la Sierra de Huautla, Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(1), pp. 47–66.
- INEGI., 2017. Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. 502p. [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/MOR\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/MOR_ANUARIO_PDF.pdf)
- Jost, L., 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), pp. 363–375. [doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x](https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x)
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martinez-Valle, A. and Jarvis, A., 2017. Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*, 141(1), pp. 47–62. [doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9](https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9)
- Lott, E. J. and Atkinson, T. H., 2006. Mexican and Central American seasonally Dry Tropical Forests: Chamela-Cuixmala, Jalisco, as a focal point for comparison. In: Pennington, R. T., Gwilym, P. L., Ratter, J. A., eds. *Neotropical savannas and seasonally dry forests: Plant diversity, biogeography, and conservation*. CRC Press, Taylor & Francis. pp. 307–334.

- doi.org/10.1201/9781420004496
- Luna-Morales, C. and Aguirre-Rivera, R., 2001. Aspectos estructurales de comunidades vegetales de pitayos (*Stenocereus* spp.) en la Mixteca Baja y el valle de Tehuacán, México. *Revista Geográfica*, 130, pp. 115–129. www.jstor.org/stable/40992818.
- Lyons, N. I., 1981. Comparing diversity indices based on counts weighted by Biomass or other importance values. *The American Naturalist*, 118(3), pp. 438–442. doi.org/10.1086/283836
- Maass, M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G., Mooney, H., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R. and Sarukhán, J., 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: Insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1), pp. 17.
- Magurran, A. E., 2013. *Measuring biological diversity*. Wiley-Blackwell.
- Maia, V. A., de Souza, C. R., de Aguiar-Campos, N., Fagundes, N. C. A., Santos, A. B. M., de Paula, G. G. P., Santos, P. F., Silva, W. B., de Oliveira Menino, G. C. and Dos Santos, R. M., 2020. Interactions between climate and soil shape tree community assembly and above-ground woody biomass of tropical dry forests. *Forest Ecology and Management*, 474, pp. 118348. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118348
- Martínez-Cruz, J. M., Méndez-Toribio, M., Cortés-Flores, J., Coba, P. and Ibarra-Manríquez, G., 2013. Estructura y diversidad de los bosques estacionales desaparecidos por la construcción de la presa Gral. Francisco J. Múgica, en la Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), pp. 1216–1234. doi.org/doi.org/10.7550/rmb.33799
- Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., Maass, M., Robichaux, R. and Yetman, D., 2016. Structure and functioning of tropical deciduous forest in western Mexico. In: Robichaux R. H., Yetmans D. A. eds. *The tropical deciduous forest of Alamos. Biodiversity of a threatened ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press.
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Cruz, J., Cortés-Flores, J., Rendón-Sandoval, F. J. and Ibarra-Manríquez, G., 2014. Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tzirtzicuaró, Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), pp. 1117–1128. doi.org/10.7550/rmb.43457
- Miles, L., Newton, A. C., De Fries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. and Gordon, J. E., 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), pp. 401–505. doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x
- Moreno, Claudia., 2019. *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Moreno-Calles, A., Casas, A., Blancas, J., Torres, I., Maser, O., Caballero, J., Garcia-Barrios, L., Pérez-Negrón, E. and Rangel-Landa, S., 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: The case of the Tehuacán Valley, Central México. *Agroforestry Systems*, 80(3), pp. 315–331. doi.org/10.1007/s10457-010-9349-0
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Rivero-Romero, A., Romero-Bautista, Y., Rangel-Landa, S., Fisher-Ortíz, R., Alvarado-Ramos, F., Vallejo-Ramos, M. and Santos-Fita, D., 2016. Ethnoagroforestry: integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(54), pp. 1–21. doi.org/10.1186/s13002-016-0127-6
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M. and Casas, A., 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), pp. 75–398. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S2007-42982013000400001
- Pérez-García, E A, Meave, J. A. and Cevallos-Ferriz, S. R., 2012. Flora and vegetation of the seasonally dry tropics in Mexico: origin and biogeographical implications. *Acta Botánica Mexicana*, 100, pp. 149–193.
- Pérez-García, Eduardo A., Meave, J. A., Villaseñor, J. L., Gallardo-Cruz, J. A. and Lebrija-Trejos, E. E., 2010. Vegetation heterogeneity and life-strategy diversity in the flora of the heterogeneous landscape of Nizanda, Oaxaca, Mexico. *Folia Geobotanica*, 45(2), pp. 43–161. doi.org/10.1007/s12224-010-9064-7

- Pineda-García, F., Arredondo-Amezcuca, L. and Ibarra-Manríquez, G., 2007. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio El Tarimo, cuenca del Balsas, Guerrero. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(1), pp. 129–139. doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.396
- Pradhan, B. and Mezaal, M., 2018. Data mining-aided automatic landslide detection using airborne laser scanning data in densely forested tropical areas. *Korean Journal of Remote Sensing*, 34, pp. 45–74. doi.org/10.7780/kjrs.2018.34.1.4
- Pulla, S., Riotte, J., Suresh, H. S., Dattaraja, H. S. and Sukumar, R., 2016. Controls of soil spatial variability in a Dry Tropical Forest. *PLOS ONE*, 11(4), pp. e0153212. doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0153212
- Rendón-Sandoval, F. J., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I. and García-Frapolli, E., 2020. Traditional agroforestry systems and conservation of native plant diversity of seasonally dry tropical forests. *Sustainability*, 12(11), pp. 4600. doi.org/10.3390/su12114600
- Rodrigues, A. C., Villa, P. M., Ali, A., Ferreira-Júnior, W. and Neri, A. V., 2019. Fine-scale habitat differentiation shapes the composition, structure and aboveground biomass but not species richness of a tropical Atlantic forest. *Journal of Forestry Research*, 31(5), pp. 1599–1611. doi.org/10.1007/S11676-019-00994-X
- Rodrigues, A.C., Villa, P.M. and Neri, A.V., 2019. Fine-scale topography shape richness, community composition, stem and biomass hyperdominant species in Brazilian Atlantic forest. *Ecological Indicators*, 102, pp. 208–217. doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.02.033
- Romero-Duque, L. P., Jaramillo, V. J. and Pérez-Jiménez, A., 2007. Structure and diversity of secondary tropical dry forests in Mexico, differing in their prior land-use history. *Forest Ecology and Management*, 253(1–3), pp. 38–47. doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.002
- Romero, E., González, E. J., Meave, J. A. and Terrazas, T., 2020. Wood anatomy of dominant species with contrasting ecological performance in tropical dry forest succession. *Plant Biosystems*, 154(4), pp. 524–534. doi.org/10.1080/11263504.2019.1651775
- Ruiz-García, P., Gómez-Díaz, J.D., Valdes-Velarde, E., Tinoco-Rueda, J.A., Flores-Ordoñez, M. and Monterroso-Rivas, A.I., 2020. Biophysical and structural composition characterization in agroforestry systems of organic coffee from Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, #37.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sánchez-Hernández, M. A., Fierros-González, A. M., Velázquez-Martínez, A., De los Santos Posadas, H. M., Aldrete, A. and Cortés-Díaz, E., 2018. Estructura, riqueza y diversidad de especies de árboles en un bosque tropical caducifolio de Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), pp. 131–156. doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.115
- Semotiuk, A. J., Colunga-Garcíaamarín, P., Maldonado, D. V. and Ezcurra, E., 2017. Pillar of strength: Columnar cactus as a key factor in Yoreme heritage and wildland preservation. *Ambio*, 47, 86–96. doi.org/10.1007/s13280-017-0940-8
- Si, H., Sun, C., Qiao, H., and Li, Y., 2020. Application of improved multidimensional spatial data mining algorithm in agricultural informationization. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(2), pp. 1359–1369. doi.org/10.3233/JIFS-179499
- Silva-Aparicio, M., Castro-Ramírez, A. E., Castillo-Campos, G. and Rivera, H. P., 2018. Woody vegetation structure in three areas with tropical dry forest in the Isthmus-Coastal of Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), pp. 863–879. doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33419Trejo, I.,
- Thayamkottu, S. and Joseph, S., 2018. Tropical forest cover dynamics and carbon emissions - contribution of remote sensing and data mining techniques. *Tropical Ecology*, 59(4), pp. 555–563.
- Trejo, I. and Dirzo, R., 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation*, 11, pp. 2063–2084. doi.org/10.1023/A:1020876316013
- Vallejo, M., Ramírez, M. I., Reyes-González, A., López-Sánchez, J. G. and Casas, A., 2019. Agroforestry systems of the Tehuacán-Cuicatlán Valley: Land use for biocultural diversity conservation. *Land*, 8(2), pp. 24. doi.org/10.3390/land8020024