

Vegetación arbórea de selvas bajas caducifolias en suelos litosoles y regosoles eutricos degradados

Arboreal vegetation of deciduous lower rainforest in degraded litosol and eutric regosol soils

Verónica Ortega-Baranda¹ , Edgar Iván Sánchez-Bernal^{1*} , Liliana Sánchez-Aragón¹ ,
María de los Ángeles Luis-Reyna²  y Gabriel Ruvalcaba-Gómez³ 

¹ Instituto de Ecología, Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Carretera Sola de Vega km 1.5 Puerto Escondido. 71980 San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

* Autor para correspondencia (edgarivansb@zicatel.umar.mx)

² Jardín botánico "Puerto Escondido" Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Carretera Puerto Escondido-Sola de Vega km 244. 71980 Puerto Escondido, Oaxaca, México.

³ Jardín botánico "Chepilme" Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Localidad Chepilme. 70902 San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

RESUMEN

En México, las selvas bajas caducifolias (SBC) son perturbadas por actividades agrícolas. Su regeneración origina el restablecimiento de vegetación arbórea secundaria que, con menor cobertura vegetal y arraigo, produce suelos termófilos e hidrófobos vulnerables a la erosión, que impiden la regeneración de SBC. Se determinó la estructura, composición y diversidad de la vegetación arbórea en dos SBC en suelos litosoles y regosoles degradados en dos áreas de conservación ubicadas en el municipio de San Pedro Mixtepec (SBC-M) y la segunda en San Pedro Pochutla (SBC-P) de la costa de Oaxaca. En cada área se establecieron cuatro unidades de muestreo de 0.25 ha, divididas en 25 cuadros de 100 m² cada uno, en las que se midieron los individuos arbóreos con diámetro normal > 2.5 cm. Se determinó la composición de especies, la estructura vertical (altura) y horizontal (diámetro), el Índice de Valor de Importancia (IVI) y Valor forestal (IVF). La riqueza registrada se evaluó mediante estimadores paramétricos y no-paramétricos (Chao₂), los índices de Simpson ($1-D_p$) modificados por Pielou, Shannon-Weaver (H'), la equidad ($J_{H'}$), dominancia y semejanza (IS) entre SBC. Se colectaron muestras de suelo de la SBC-M y se realizó la caracterización físico-química. Los resultados indican que la riqueza de especies entre condiciones de desarrollo (SBC-M = 33; SBC-P = 47)

tuvo diferencias significativas ($P < 0.05$). La estructura vertical fue entre 1 - 10 m y la horizontal se mantuvo en la clase diamétrica 5 (2.5 - 7.5 cm), para ambas condiciones. Las especies con mayor IVI e IVF fueron: *Ceiba parvifolia*, *Heliocarpus donnell smithii*, *Dalbergia congestiflora* y *Amphipterygium adstringens*. La SBC-M y SBC-P presentaron un índice $I-D_p = 0.911$ y 0.919 para $H' = 2.73$ y 3.00 , en ambas $J_{H'}^p = 0.78$; la dominancia fue de 0.157 a 0.219 . La semejanza de especies entre selvas fue del 60%.

Palabras clave: diversidad, equidad, estructura arbórea, geología, saturación de suelo.

SUMMARY

In Mexico, low deciduous forests (SBC) are disturbed by agricultural activities. Its regeneration causes the reestablishment of secondary arboreal vegetation with less plant cover and root rooted to the ground produce thermophilic and hydrophobic soils vulnerable to erosion, which prevents the regeneration of SBC. The structure, composition and diversity of the arboreal vegetation in two SBCn degraded lithosols and regosols were determined in two conservation areas located the first in the municipality of San Pedro Mixtepec (SBC-M) and the second in San Pedro Pochutla (SBC-P) of the coast of Oaxaca. In each

Cita recomendada:

Ortega-Baranda, V., E. I. Sánchez-Bernal, L. Sánchez-Aragón, M. Á. Luis-Reyna² y G. Ruvalcaba-Gómez. 2020. Vegetación arbórea de selvas bajas caducifolias en suelos litosoles y regosoles eutricos degradados. Terra Latinoamericana Número Especial 38-2: 377-390.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.611>

Recibido: 05 de agosto de 2019.

Aceptado: 27 de marzo de 2020.

Publicado en Terra Latinoamericana 38: 377-390.

area, four sampling units of 0.25 ha were established, divided into 25 squares of 100 m² each, in which arboreal individuals with a normal diameter > 2.5 cm were measured. The composition of species, the vertical (height) and horizontal (diameter) structure, the Importance Value Index (IVI) and Forest Value (IVF) were determined. The registered wealth was evaluated by parametric and non-parametric estimators (Chao₂), the Simpson indexes (1-D_p) modified by Pielou, Shannon-Weaver (H'), equity (J_{H'}), dominance and similarity (IS). between SBC. Soil samples from the SBC-M were collected and physical-chemical characterization was carried out. The results indicate that the species richness between development conditions (SBC-M = 33; SBC-P = 47) had significant differences (P < 0.05). The vertical structure was between 1 - 10 m and the horizontal one remained in the diameter class 5 (2.5 - 7.5 cm), for both conditions. The species with the highest IVI and IVF were: *Ceiba parvifolia*, *Heliocarpus donnell smithii*, *Dalbergia congestiflora* and *Amphipterygium adstringens*. The SBC-M and SBC-P had an index I-D_p = 0.911 and 0.919 for H' = 2.73 and 3.00, in both J_{H'} = 0.78; the dominance was from 0.157 to 0.219. The similarity of species among forests was 60%.

Index word: diversity, equity, tree structure, geology, soil saturation.

INTRODUCCIÓN

La Selva Baja Caducifolia (SBC) es la vegetación con mayor distribución en México, se establece en la vertiente del Pacífico y es uno de los ecosistemas más amenazados, ya que presenta pocas selvas originales. Para el estado de Oaxaca es la vegetación más emblemática y representativa, tanto por la superficie que ocupa como por su presencia en distintas regiones, donde se concentra la mayor proporción de la población. Oaxaca es considerado como uno de los once estados que cuentan con una superficie considerable de selvas tropicales secas (5.84%) con una gran diversidad vegetal. De hecho, la más representativa se ubica en la región Costa en los distritos de Jamiltepec, Pochutla y Juquila (Salas *et al.*, 2003; Torres-Colín, 2004). Son selvas con características muy particulares debido a que se encuentran en zonas con una marcada estacionalidad en la disponibilidad de agua, lo que hace que la riqueza florística del estado varíe entre 8000 a

9000 especies (Campos *et al.*, 1992; García-Mendoza *et al.*, 1994, 2004). Sin embargo, es considerada como la vegetación más afectada por la práctica de roza-tumba-quema, que año con año genera la pérdida de grandes superficies para la conversión en áreas agrícolas y pecuarias. De igual forma, la expansión de los asentamientos humanos que consecuentemente han generado procesos de deforestación, fragmentación y degradación de las selvas. Este cambio en el uso del suelo ha provocado diferencias estructurales, en la composición, diversidad arbórea y a la estructura físico-química del suelo de los remanentes de estas selvas. Estas perturbaciones han confinado esta vegetación primaria a pequeños manchones y como resultado a la creación de grandes áreas de vegetación secundaria. Es importante mencionar la falta de estudios específicos en la región costa de Oaxaca, sin embargo, se tienen algunos trabajos realizados en la zona de Zimatán, Municipio de San Miguel del Puerto por Salas *et al.* (2003) y Salas *et al.* (2007) en el parque Nacional Huatulco; Domínguez *et al.* (2008) en la microcuenca del río Cacaluta. La mayor parte de los estudios florísticos están concentrados principalmente en las provincias del Istmo de Tehuantepec (Pérez-García *et al.*, 2001; Gallardo *et al.*, 2005), la región de la Mixteca Alta (García-Mendoza *et al.*, 1994) y la región del valle de Tehuacán-Cuicatlán (Acosta *et al.*, 2003). Considerando el desconocimiento en las especies arbóreas nativas y los procesos de conservación que se dan en estas selvas, el presente estudio ofrece una descripción de la estructura, composición y diversidad arbórea de selvas bajo condiciones de desarrollo en suelos Litosoles y Regosoles eutríficos degradados como consecuencia del cambio de uso de suelos a la agricultura. Con base en la información generada se contará con el conocimiento de las especies arbóreas nativas con la finalidad de desarrollar estrategias en sistemas de producción que incluyan árboles como un componente del manejo integral del recurso suelo y con esto contribuir a la productividad y conservación de las selvas bajas caducifolias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se compararon dos condiciones de desarrollo de selvas bajas caducifolias con vegetación secundaria, ubicadas en la región Costa de Oaxaca. La primera selva (SBC-M) se localizó en el municipio de San Pedro Mixtepec en la comunidad de Mandingas, con

coordenadas 15° 54' 41" N y 97° 04' 52" O; la segunda selva (SBC-P) se ubicó en las coordenadas 15° 46' 14" N y 96° 26' 50" O, en la comunidad de Chepilme, Municipio de San Pedro Pochutla, ambas áreas se destinaron a la actividad de roza-tumba-quema, la SBC-M por alrededor de 34 años mediante la siembra de cultivos de temporal como maíz, frijol, calabaza y sandía; la SBC-P se destinó a la agricultura por 21 años, posteriormente fue un basurero al aire libre por cuatro meses. Desde hace 13 años dichas selvas han sido conservadas.

Establecimiento de Unidades de Muestreo y Toma de Datos Dasométricos

Las Unidades de Muestreo (UM) fueron localizadas en las áreas más conservadas en las dos selvas, en cada una de ellas se establecieron cuatro UM de 50 × 50 m (0.25 ha). Cada UM se dividió en 25 cuadros de 10 × 10 m (100 m²), dentro de cada cuadro se midieron todos los individuos arbóreos con un diámetro normal > 2.5 cm (DN = 1.30 m a partir del suelo) (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010). Las variables dasométricas registradas para cada individuo arbóreo fueron: diámetro normal (DN) medida con cinta diamétrica, altura total con clinómetro SUUNTO® y cobertura de copa (diámetro máximo y mínimo) con cinta métrica (Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández, 2003). Se realizó la colecta botánica de hojas, flores y frutos por triplicado para la identificación taxonómica de las especies.

Estructura Arbórea

Estructura vertical y horizontal. La estructura de la vegetación arbórea se representó por histogramas. Para describir la estructura vertical de los individuos registrados se consideraron clases de altura: 5, 10, 15 y 20; en el caso de la estructura horizontal se agruparon los DN por categorías diamétricas de 5 cm (5 = 2.6 - 7.5, 10 = 7.6 - 12.5 hasta 45 = 42.6 - 47.5) (Ortega-Baranda *et al.*, 2017).

Índices de valor estructural. Se utilizaron dos índices de valor estructural: el Índice de Valor de Importancia (IVI), que jerarquiza la dominancia de especies en rodales mezclados, el cual revela la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal (Carreón-Santos y Valdez-Hernández, 2014).

IVI = Dominancia relativa + Densidad relativa + Frecuencia relativa

El Índice de Valor Forestal (IVF), se estimó con la finalidad de evaluar la estructura bidimensional de la vegetación arbórea en zonas cálido-húmedas de México, considerando el diámetro (plano horizontal, inferior), la altura (plano vertical, superior e inferior) y la cobertura (plano horizontal, superior) (Corella *et al.*, 2001).

IVF = diámetro relativo + altura relativa + cobertura relativa

Riqueza y Diversidad de Especies

La riqueza registrada se determinó por el conteo de especies presentes en las UM. Con la finalidad de estimar la riqueza de especies arbóreas posibles que pudiera haber en cada condición de desarrollo, se realizaron curvas de acumulación de especies ajustadas por un modelo matemático logarítmico y potencial, así como un estimador no-paramétrico Chao₂, (López-Gómez y Williams-Linera, 2006).

$$S_{Chao2} = S_{obs} + (Q_1^2/Q_2^2) \quad (1)$$

donde: S_{obs} = riqueza de especies capturada mediante el muestreo; Q_1 = número de especies que fueron registradas solamente en una muestra del muestreo; Q_2 = número de especies que fueron registradas en dos muestras del muestreo.

La diversidad de especies se estimó con el Índice de Simpson (D_p) modificado por Pielou con su complemento ($1-D_p$), que manifiesta la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una comunidad finita (muestra) sean de diferentes especies (Pielou, 1967).

$$D_p = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (2)$$

donde: n_i = número de individuos de la especie en la muestra; N = número total de individuos de la muestra; S = total de especies en la muestra.

El Índice de Shannon-Weaver (H'), mide el grado promedio de incertidumbre para predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una superficie muestreada (Magurran, 1988).

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i) \quad (3)$$

donde: P_i = proporción de individuos de la especie i .

Se construyeron curvas de rarefacción usando remuestreos computacionales intensivos con la aplicación del software EcoSim (Entsminger, 2014), basándose en el número de individuos con la finalidad de estimar las métricas de diversidad y obtener diferencias estadísticas.

Para determinar el grado de homogeneidad existente en las abundancias relativas de las especies, se estimó la equidad (E) (Alcolado, 1998).

$$J_H = H'/\ln(S) \quad (4)$$

donde: H' = Índice de Shannon-Weaver; S = número total de especies en el muestreo.

El análisis comparativo entre la semejanza florística de pares de muestras entre UM se realizó mediante el Coeficiente de Sorensen (IS), que relaciona el número de especies presentes-ausentes entre UM (Godínez y López, 2002; Basáñez *et al.*, 2008).

$$IS = (2C/A+B) 100 \quad (5)$$

donde: C = número de especies comunes en ambas comunidades; A = número de especies encontradas en la comunidad A ; B = número de especies encontradas en la comunidad B .

Muestreo y análisis de suelos

La prospección en campo permitió distinguir un relieve accidentado en la SBC-M, pero con una geoquímica uniforme del terreno. Con estos elementos se optó por establecer ocho monolitos (dos por UM) y se determinó la tasa de infiltración (TI) de agua en el suelo, mediante cinco pozos de absorción, distribuidos en las cuatro UM, con dimensiones de 0.30 m de diámetro y 0.40 m de profundidad. La tasa de infiltración se calculó desde la superficie del suelo hasta el nivel en el cual la columna de agua detuvo su descenso en el pozo, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Gavande (1979):

$$IT = \frac{DT_2 - DT_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

donde: $DT_2 - DT_1$ = la distancia que desciende la columna de agua en el pozo, en el periodo de tiempo $t_2 - t_1$.

Cada monolito de suelo se estableció como punto centrado a la UM y a partir de ahí se realizaron transectos de 250 m en zig-zag (Palmer y Troeh, 1980) estableciendo dos monolitos en cuatro sitios (ocho monolitos edáficos). La colecta de muestras de suelo se hizo en espesores de 10 cm, hasta una profundidad de 40 cm, lo que arrojó cuatro muestras por monolito para un total de 32 muestras de suelo. En cada monolito se colectaron 2 kg de suelo por espesor; las muestras se colocaron en bolsas de plástico cerradas e identificadas y posteriormente transportadas al área de Aguas y Suelos del Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Las muestras fueron secadas al aire, posteriormente se les tamizó con un mortero y una malla de 2 mm de diámetro. De cada muestra se tomaron 250 g de suelo para preparar pastas de saturación con agua destilada. A cada muestra se le determinó la textura por el hidrómetro de Bouyoucos, se les aplicó 25 mL de hidróxido de sodio 1 N y se procedió a su dispersión en una batidora [®] Hamilton Beach durante 10 min, se prepararon probetas graduadas de 1 L de capacidad para verter la mezcla de agua y sedimentos, la interpretación se realizó con el triángulo de texturas (Soil Survey Staff, 2014). La densidad real (ρ_a) y la densidad aparente (ρ_r), fueron determinadas por el método de Pignómetro hídrico y de la Parafina, respectivamente (Soil Survey Staff (2014).

El porcentaje de espacio poroso se determinó usando la Ecuación (7):

$$1 - \frac{\rho_a + \rho_r}{\rho_r} (100) \quad (7)$$

donde: ρ_a = densidad aparente; ρ_r = densidad real.

El color del suelo se determinó mediante tablas de color Münsell (Münsell, 2000¹). Para los análisis químicos se siguió la metodología indicada por el manual Soil Survey Staff (2014). En este caso se obtuvieron extractos de pastas de saturación, en las que se determinó pH y Conductividad eléctrica (CE) mediante un multiparámetro[®] Hanna Instruments modelo HI98129, sólidos totales disueltos (STD) en mg L⁻¹ mediante el método de calcinación en mufla a 600 °C. Cationes Ca²⁺, Mg²⁺ y aniones CO₃⁻², HCO₃⁻¹ y Cl⁻¹, mediante el método titrimétrico; SO₄⁻²

¹ Münsell Color. 2000. Münsell color charts. Gretag Macbeth. New York.

por turbidimetría (espectrofotómetro Perkin Elmer); Na⁺ y K⁺ por flamometría (Flamómetro IL-653). Los resultados de salinidad de las muestras de suelo fueron promediados obteniendo la desviación estándar y el coeficiente de variación. Con apoyo en el sistema de análisis estadístico SAS (2006), se practicó un análisis de varianza para establecer diferencias significativas de valores de salinidad entre espesores y entre monolitos de suelo utilizando el modelo Tukey $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición de especies para la SBC-M fue de 18 familias con 30 géneros y 33 especies, para la SBC-P se registraron 21 familias con 44 géneros y 47 especies. Las familias más representativas para ambas selvas fueron: Fabaceae (23 y 50%), Anacardiaceae (6%), Burseraceae (4 y 6%), Malvaceae (4 y 3%) y Rubiaceae (4 y 3%) respectivamente. Las Fabaceas son representativas de este tipo de ecosistemas ya que se encuentra influenciada por las temperaturas en regiones tropicales y subtropicales, como los estados de Nayarit con 21% (Bravo *et al.*, 2013), Michoacán con 48 y 38% (Martínez-Cruz *et al.*, 2013; Casanova-Lugo *et al.*, 2014), Guerrero con 30% (Pineda *et al.*, 2007), Oaxaca con 15 y 13% (Pérez-García *et al.*, 2001; Gallardo *et al.*, 2005), San Luis Potosí con 31% (Alanís *et al.*, 2010) y Yucatán con 49% (Ceccon *et al.*, 2002). **Estructura vertical y horizontal.** En lo que concierne a la distribución de los individuos arbóreos respecto a la estructura vertical se tuvo una tendencia hacia alturas

entre 1-10 m, sin embargo, la SBC-M registró un mayor número de individuos en el intervalo de 5.1-10 m (Figura 1). La estructura horizontal se caracterizó por que la mayoría de los individuos en ambas selvas estuvieron dentro de la categoría diamétrica 5. Con una tendencia hacia la representación gráfica de una *J* invertida (Figura 1), lo que confirma que el desarrollo de estas selvas es inicial y con buena regeneración de la vegetación, así como con condiciones ecológicas que propician el desarrollo (Guariguata y Ostertag, 2001; Carreón-Santos y Valdez-Hernández, 2014). Similares condiciones se reportan para la región de Zimatlán en Oaxaca (Salas *et al.*, 2003), Jalisco (Sánchez *et al.*, 2002), Tabasco (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010) y Chiapas (López-Toledo *et al.*, 2012), en donde la mayoría de los individuos se concentraron en los diámetros más pequeños y disminuyeron hacia los diámetros mayores. **Índices de valor estructural.** Un resultado porcentual alto en la importancia ecológica (IVI) en la SBC-P y SBC-M, se determinó para las especies con mayor valor de dominancia relativa: *Ceiba parvifolia* Rose (IVI = 11.10 y 16.45%) y *Heliocarpus donnell smithii* Rose (IVI = 5.86 y 8.78%). De igual forma, altos valores en la densidad relativa se obtuvieron en *Dalbergia congestiflora* Pittier (IVI = 11.52 y 9.98%). Las especies con mayor IVF fueron las mismas que en el IVI (Cuadro 1). Tanto *C. parvifolia* y *D. congestiflora* (especies intolerantes a la sombra), se presentan en la sucesión temprana y son aptas para sistemas de enriquecimiento en bosques secos muy perturbados (Ochoa-Gaona *et al.*, 2007; Alanís *et al.*, 2010; Zamora-

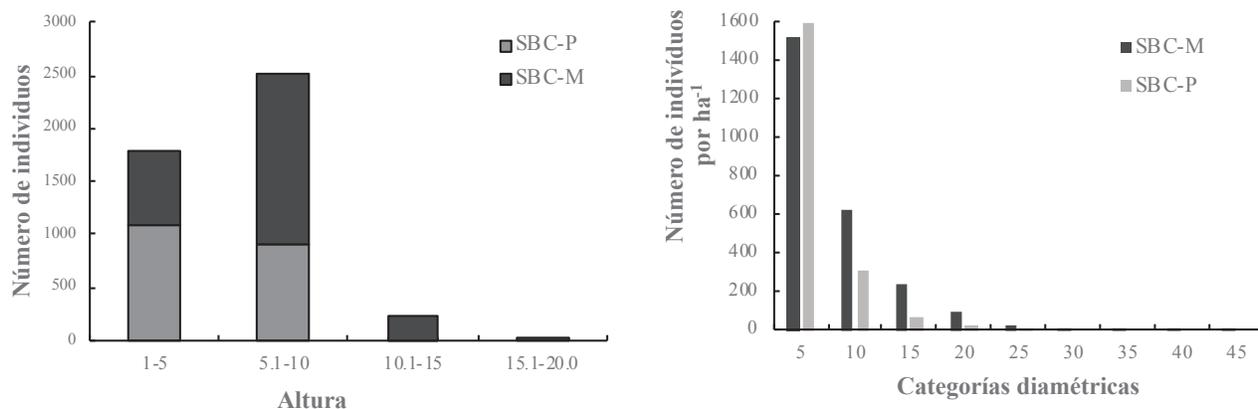


Figura 1. Estratificación vertical y horizontal de la vegetación arbórea en dos condiciones de desarrollo de selvas bajas caducifolias en la costa de Oaxaca.

Figure 1. Vertical and horizontal stratification of tree vegetation in two conditions of development of low deciduous forests on the coast of Oaxaca.

Crescencio *et al.*, 2011). Así mismo, *Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schltdl se suma a las especies con valores altos de IVI (37.75%) e IVF (38.45%) para SBC-M (Cuadro 1). Junto con *D. congestiflora* son especies que tienen la capacidad de regenerarse a partir de raíces o rebrotes (policaulescencia), las cuales tienden a dominar los bosques tropicales secos (Murphy y Lugo, 1986; Miller y Kauffman, 1998; Gallardo *et al.*, 2005). La policaulescencia les permite aumentar la abundancia y formar colonias muy características de este tipo de vegetación, incrementando la densidad

de individuos como se observó en este estudio. En el caso de *D. congestiflora* sus poblaciones se ven amenazadas por la tala clandestina de su madera que es altamente demandada para la realización de instrumentos musicales y artesanales, de similar forma, *A. adstringens* es amenazada por un aprovechamiento irracional de la corteza con fines medicinales en el estado de Oaxaca.

Riqueza y diversidad de especies. Con base en las métricas de diversidad (Cuadro 2) y las curvas de rarefacción basadas en el número de individuos, se

Cuadro 1. Índice de valor de importancia y valor forestal en dos condiciones de desarrollo arbóreo en selvas bajas caducifolias en la costa de Oaxaca.

Table 1. Index of importance value and forest value in two conditions of tree development in low deciduous forests on the coast of Oaxaca.

Especie/ condición de desarrollo SBC-P	IVI	Especie/ condición de desarrollo SBC-P	IVF
<i>Dalbergia congestiflora</i> Pittier	34.56	<i>Dalbergia congestiflora</i> Pittier	42.16
<i>Ceiba parvifolia</i> Rose	33.29	<i>Ceiba parvifolia</i> Rose	35.27
<i>Guapira petenensis</i> (Lundell) Lundell	20.49	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	22.23
<i>Heliocarpus donnell smithii</i> Rose	17.59	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	19.07
<i>Hintonia latiflora</i> (Sessé & Moc. ex Dc.) Bullock	14.41	<i>Heliocarpus donnell smithii</i> Rose	19.06
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	13.41	<i>Guapira petenensis</i> (Lundell) Lundell	17.26
<i>Vitex hemsleyi</i> Briq.	13.29	<i>Comocladia engleriana</i> Loes	16.92
<i>Comocladia engleriana</i> Loes	9.97	<i>Spondias purpurea</i> L.	10.96
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	9.75	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	8.09
<i>Ruprechtia fusca</i> Fernald	9.03	<i>Hintonia latiflora</i> Moc & Sessé	6.12
37 especies restantes		37 especies restantes	
Especie/ condición de desarrollo SBC-M	IVI	Especie/ condición de desarrollo SBC-M	IVF
<i>Ceiba parvifolia</i> Rose	49.36	<i>Ceiba parvifolia</i> Rose	57.24
<i>Amphipterygium adstringens</i> Schiede ex Schltdl	37.74	<i>Dalbergia congestiflora</i> Pittier	38.91
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd) Spreng	31.82	<i>Amphipterygium adstringens</i> Schiede ex Schltdl	38.44
<i>Dalbergia congestiflora</i> Pittier	29.91	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	25.03
<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	26.35	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd) Spreng	23.27
<i>Acacia farnesiana</i> Wall.	14.43	<i>Acacia farnesiana</i> Wall.	17.31
<i>Comocladia engleriana</i> Loes	11.05	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	10.42
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	10.82	<i>Comocladia engleriana</i> Loes	10.23
<i>Guapira macrocarpa</i> (Miranda) Miranda	10.81	<i>Guapira macrocarpa</i> (Miranda) Miranda	9.79
<i>Bunchosia</i> sp.	10.38	<i>Hintonia latiflora</i> (Sesse & Moc. Ex. DC.) Bullock	8.26
23 especies restantes		23 especies restantes	

Cuadro 2. Riqueza registrada y estimada, índices de diversidad, equidad, dominancia y similitud, en dos condiciones de desarrollo arbóreo en selvas bajas caducifolias en la costa de Oaxaca.

Table 2. Registered and estimated wealth, diversity indices, equity, dominance and similarity, under two tree development conditions in low deciduous forests on the Oaxaca coast.

Condición de desarrollo	Riqueza registrada	Riqueza estimada				
		Paramétrico		No-paramétrico		
		15	30	Riqueza estimada con Chao ₂	Número de especies faltantes	
SBC-M	33	37	40	42	9	
SBC-P	47	56	70	63	16	
	Complemento del Índice de Simpson modificado por Pielou (I-Dp)	Índice de Shannon- Weaver (H')	Equidad (JH')	Dominancia	Índice de Sorensen	
SBC-M	0.911	2.731	0.781	0.157	0.60	
SBC-P	0.919	3.003	0.784	0.219		

tiene que ambas condiciones de desarrollo presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la riqueza de especies, pero no en el Índice de Shannon-Weaver (Figura 2).

Sin embargo, se identificaron porciones en donde los intervalos de confianza (95%) se solapan entre comunidades, lo que indica la existencia de un tamaño muestra crítico a partir del cual estas difieren en

términos de su riqueza. En el caso de las métricas de diversidad fueron menores en comparación con trabajos para el estado de Oaxaca como: Trejo y Dirzo (2002) en cuatro localidades, con registros de riqueza (52 -76 especies), H' (3.54 – 3.98) y valor inverso de D (23.46 – 30.38); Salas *et al.* (2003) en Zimatán con una riqueza de 71 especies y Gallardo *et al.* (2005) que registraron 194 especies, con valores de H' semejantes

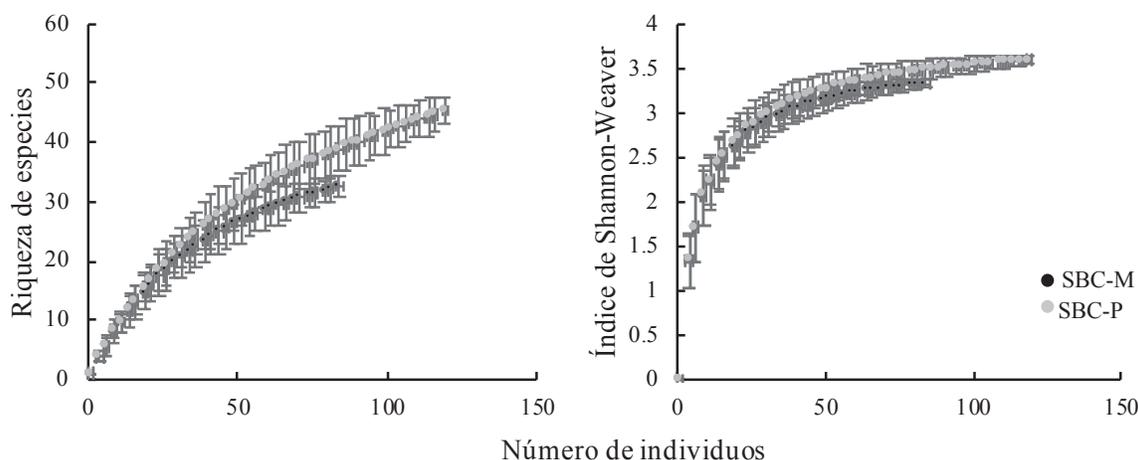


Figura 2. Curvas de rarefacción de riqueza e Índice de Shannon-Weaver, con el software EcoSim en dos condiciones de desarrollo arbóreo en selvas bajas caducifolias en la costa de Oaxaca. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($P < 0.05$).

Figure 2. Wealth rarefaction curves and the Shannon-Weaver Index, with the EcoSim software under two tree development conditions in low deciduous forests on the Oaxaca coast. The error bars represent the confidence intervals ($P < 0.05$).

con la condición de desarrollo SBC-M (2.73), pero con una equidad mayor ($J_H = 0.82$) a diferencia del presente estudio ($J_H = 0.78$). Con lo anterior se establece que las especies en las dos condiciones de desarrollo tuvieron menor representatividad en términos de abundancia relativa. Sin embargo, López-Toledo *et al.* (2012) en áreas con manejo pecuario en el estado de Chiapas registraron una riqueza de 25 especies, $H' = 2.64$ y $J_H = 0.82$; Zamora-Crescencio *et al.* (2011) determinaron una riqueza de 43 especies con una $H' = 1.59$ en un área con 10 años de abandono por agricultura y Dzib-Castillo *et al.* (2014) con 50 especies y un $H' = 2.31$ en áreas afectadas por agricultura, ambos en el estado de Campeche. De acuerdo con lo anterior expuesto, se deriva que la SBC-M y SBC-P se encuentran en un estado de desarrollo semejante con selvas perturbadas en proceso de conservación. Por consiguiente, las diferencias que se presenten en las métricas de diversidad estarán relacionadas con las condiciones ecológicas del hábitat y los cambios en el uso del suelo de cada sitio de estudio (Zamora-Crescencio *et al.*, 2011). Considerando lo anterior y al comparar el estimador de Chao₂ y el análisis de regresión para la riqueza estimada (Figura 3), se puede llegar a predecir un aproximado de 63 hasta 70 especies con 30 UM para la condición de desarrollo de SBC-P (con mayor riqueza) (Cuadro 2). Ambas condiciones de desarrollo tuvieron una disimilitud del 40% de especies. En lo que respecta a la equidad y dominancia no se tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre

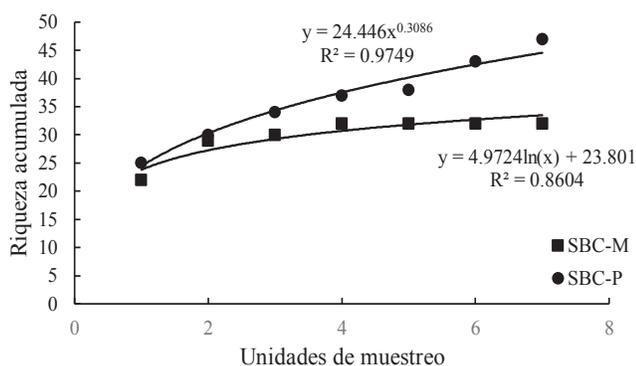


Figura 3. Curvas de acumulación de especies en dos condiciones de desarrollo arbóreo en selvas bajas caducifolias en la costa de Oaxaca.

Figure 3. Species accumulation curves under two tree development conditions in low deciduous forests from the Oaxaca coast.

condiciones. En este sentido las especies están más cercanas a estar igualmente representadas en ambas condiciones de desarrollo.

Características Geomorfológicas, Texturales y Físico-Químicas de los Suelos de la SBC-M

Geomorfología. Un análisis anisotrópico vertical descendente de los monolitos de suelo de la SBC-M, permitió distinguir suelos poco profundos y de escaso desarrollo, los cuales se constituyen por dos horizontes identificados como A y B, formados por intemperismo de rocas metamórficas del paleozóico pertenecientes a la formación geológica Xolapa (De Cserna, 1965).

El horizonte A presentó un subhorizonte Oa con acumulación de residuos de materia orgánica fresca con descomposición rápida debido a factores ambientales como la radiación solar, la temperatura y la humedad, así como por la actividad microbiana del suelo; lo que originó una pobre acumulación de materia orgánica. Debajo de la incipiente capa húmica se localizó el subhorizonte Oi, en el que se observó un espesor integrado de materia orgánica en descomposición y materia mineral. Las partículas que predominaron fueron las arenas en más de un 80%, seguidas de limos y arcillas; ambos sub-horizontes conforman un delgado espesor de 4 cm.

Por su parte el horizonte B con profundidad aproximada de 1 m, presentó arcillas caolinitas y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio que se acumularon en su parte media. El horizonte C se conformó por silicatos primarios intemperizados y la roca madre. De acuerdo con López (1993), el relieve de bajo-lomeríos es resultado de levantamientos de la corteza emergida del mar, ocurridos en el Pli-pleistoceno, que derivó en la oxidación de minerales como el hierro (Fe_2O_3), responsable de la coloración rojiza de minerales como la hematita, la gohetita y del propio suelo (FitzPatrick, 1980).

Textura, espacio poroso y velocidad de infiltración.

Se identificaron en los monolitos 1 al 6 una alternancia textural migajón arenosa a areno migajonosa presente con regularidad en el espesor 0-40 cm; debido a ligeras diferencias porcentuales en la acumulación de limos y arcillas, igualmente presente en el monolito 7. En cambio, el monolito 8, presentó una disposición bi textural en los primeros 20 cm de suelo, donde predominó una textura arena migajonosa, mientras que los 20 cm restantes, tuvo una textura migajón limosa.

Esto se atribuye a la diferente posición de los suelos en el terreno, ya que las UM-I, UM-II y UM-III presentaron un relieve accidentado con pendientes $> 20\%$, que los hace vulnerables a procesos de remoción de partículas minerales en época de lluvias, mientras que en la UM-IV, se encontró una toposecuencia baja. Esta posición permite procesos de acumulación de sedimentos provenientes de la hidroerosión en época de lluvias, que favorecen el arrastre y depósito de sedimentos aguas abajo, formando suelo inconsolidado proveniente de los materiales de arrastre de los lomeríos contiguos para la UM-IV.

La velocidad de infiltración fue de 4.5 cm h^{-1} , dato que es consistente con valores de obtenidos por Sánchez-Bernal *et al.* (2013), para suelos litosoles en lomeríos de llanura costera. Caracterizados por su impermeabilidad en suma con pendiente $> 20\%$ son la causa de que la escorrentía superficial se encargue de erosionar los primeros 20 cm de la capa superficial del suelo. Lo anterior se relaciona con una baja capacidad de almacenamiento de agua que los identifica como suelos hidrófobos; lo descrito tiene relevancia porque en época de estiaje las especies vegetales establecidas en estos suelos sufren estrés hídrico.

Color del suelo. Los colores 2.5 YR 4/2 y 4/3 en seco, y 7.5 YR 4/2 y 4/3 en húmedo de los espesores 0-20 cm y 20-40 cm que corresponden a los suelos de las UM-I, UM-II y UM-III, indican procesos de lavado de cationes básicos, los cuales se pierden en el agua de drenaje, este fenómeno se conoce como latosolización y acompaña a valores de pH de suelos ácidos tropicales (Buckman y Brady, 1977). También indica que la oxidación origina en lo fundamental Fe_2O_3 , de común ocurrencia en suelos tropicales con vegetación forestal y es constituyente de los minerales goethita, hematita y caolinita, mismos que imparten color rojo a los suelos.

pH, CE, STD y $\Psi \pi$ de soluciones de suelos. El pH de los suelos en las cuatro UM fue ligeramente ácido, el valor promedio es de 6.78 (Cuadro 3). Esto indica que en la SBC-M tienen lugar reacciones de precipitación de hidróxido de hierro y aluminio, asociados a una tipogénesis latosólica caracterizada por un pobre contenido de cationes básicos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ lixiviados en época de lluvias en el agua de drenaje que se acumulan en la parte baja de la microcuenca. En la UM-IV se confirmó los extractos acuosos de suelos con pequeñas concentraciones de cationes y aniones. La CE de los extractos acuosos de las pastas de saturación de los suelos analizados en los cuatro cuadrantes, resultó

en un valor promedio de 0.55 dS m^{-1} , lo que indica que no presentan problemas de salinidad. Un ligero incremento de CE se observa en el espesor 0-10 cm, que es natural, dado que las aguas capilares ascienden y se evaporan en la superficie, por lo que no existe riesgo de salinización (Sánchez-Bernal *et al.*, 2013). La concentración de STD en la solución del suelo es muy baja, en promedio 346 mg L^{-1} , lo que indica que la concentración iónica está presente en cantidades traza, esto se debe a que los procesos erosivos y de lixiviación iónica se encargan de remover los iones minerales aguas abajo, por lo que en época de lluvias la pérdida de cationes y aniones básicos es intensa. El potencial osmótico de las soluciones de los suelos es muy bajo, en promedio $\Psi \pi = -0.01 \text{ MPa}$, valor asociado a los diminutos valores de CE, esto indica una pobre presencia de iones minerales (Richards, 1985).

Composición iónica de pastas de saturación del suelo. La composición geoquímica de los extractos de pastas de saturación de los suelos analizados es típica de suelos formados por intemperismo de rocas metamórficas cálcico-magnésicas que forman parte de la estructura geológica de la Sierra Madre del Sur (López, 1993).

En este caso el orden catiónico fue de $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ y el aniónico $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. De hecho, este orden guarda consistencia con la capacidad de migración de los iones en solución, pues los iones Na^+ y K^+ , así como los aniones Cl^- y SO_4^{2-} , migran más rápido en solución que los de Ca^{2+} y Mg^{2+} , lo cual es congruente con lo señalado por Szabolcs (1994) y se constata en los datos del Cuadro 4. De acuerdo con la clasificación de suelos de la FAO (2015), en las UM- I, UM-II y UM-III de SBC-M los suelos son de tipo litosol; mientras que para la UM-IV dada la transición de lomerío a piedemonte, donde se presentan incipientes procesos de depósito y acumulación, está ocurriendo en el tiempo una transición hacia un suelo regosol eutricto.

Vocación de uso del suelo. La poca profundidad de los suelos litosoles de las UM-I, UM-II y UM-III, los hace intolerantes a la erosión hídrica, al respecto Sánchez-Bernal *et al.* (2013), determinaron una erosión de 16 Mg ha^{-1} , para suelos de la ranchería “El Guarumbo”, en San Pedro Mixtepec, Oaxaca, próximos a la condición de desarrollo de SBC-M. De igual manera la poca capacidad de almacenamiento hídrica de estos suelos está asociada con la presencia de una vegetación de SBC.

Cuadro 3. Características físico-químicas de los monolitos de suelos analizados antes de la época de lluvias en la condición de desarrollo de SBC-M en la costa de Oaxaca.**Table 3. Physico-chemical characteristics of the soil monoliths analyzed before the rainy season in the development condition of SBC-M from the coast of Oaxaca.**

Monolito / UM	Espesor de suelo cm	pH	CE dS m ⁻¹	STD mg L ⁻¹	$\Psi\pi$ MPa	Parámetros estadísticos	
						CE	STD
M1 UM-I	(0-10]	6.76	1.33	851	-0.047	M = 0.75	M = 479.5
	(10-20]	7.03	0.77	492	-0.027	σ = 0.41	σ = 266.58
	(20-30]	6.63	0.49	313	-0.017	CV = 0.54	CV = 0.55
	(30-40]	7.04	0.41	262	-0.014		
M2 UM-I	(0-10]	6.13	0.78	499	-0.028	M = 0.52	M = 335.75
	(10-20]	6.27	0.63	403	-0.022	σ = 0.21	Σ = 139.94
	(20-30]	6.20	0.38	243	-0.013	CV = 0.40	CV = 0.41
	(30-40]	6.71	0.31	198	-0.011		
M3 UM-II	(0-10]	6.86	1.15	736	-0.041	M = 0.53	M = 340.5
	(10-20]	7.67	0.39	249	-0.014	Σ = 0.41	Σ = 265.31
	(20-30]	6.44	0.31	198	-0.011	CV = 0.77	CV = 0.77
	(30-40]	6.30	0.28	179	-0.010		
M4 UM-II	(0-10]	6.78	1.28	819	-0.046	M = 0.54	M = 346.7
	(10-20]	7.79	0.37	236	-0.013	σ = 0.48	σ = 320.08
	(20-30]	6.84	0.35	224	-0.012	CV = 0.88	CV = 0.92
	(30-40]	7.24	0.17	108	0.000		
M5 UM-III	(0-10]	7.80	0.44	281	-0.015	M = 0.39	M = 252.5
	(10-20]	6.79	0.38	243	-0.013	σ = 0.03	σ = 21.76
	(20-30]	6.55	0.40	256	-0.144	CV = 0.08	CV = 0.08
	(30-40]	6.53	0.36	230	-0.012		
M6 UM-III	(0-10]	7.16	0.84	537	-0.030	M = 0.55	M = 351.5
	(10-20]	6.53	0.45	288	-0.016	σ = 0.19	σ = 123.91
	(20-30]	6.98	0.47	300	-0.016	CV = 0.34	CV = 0.35
	(30-40]	6.66	0.44	281	-0.015		
M7 UM-IV	(0-10]	6.53	1.03	659	-0.037	M = 0.65	M = 418.7
	(10-20]	6.52	0.59	377	-0.021	σ = 0.23	σ = 162.58
	(20-30]	6.51	0.49	313	-0.017	CV = 0.35	CV = 0.38
	(30-40]	7.10	0.51	326	-0.018		
M8 UM-IV	(0-10]	7.04	0.60	384	-0.021	M = 0.38	M = 246
	(10-20]	6.94	0.40	256	-0.014	σ = 0.16	Σ = 100.15
	(20-30]	6.11	0.27	172	-0.009	CV = 0.42	CV = 0.40
	(30-40]	6.68	0.27	172	-0.009		

M = media de parámetros CE y $\Psi\pi$; σ = desviación estándar de parámetros CE y $\Psi\pi$; CV = coeficiente de variación de parámetros CE y $\Psi\pi$.
M = mean of CE and $\Psi\pi$ parameters; σ = standard deviation of parameters CE and $\Psi\pi$; CV = parameter variation coefficient CE and $\Psi\pi$.

Cuadro 4. Composición química de extractos acuosos de pastas de saturación de suelos analizados en la condición de desarrollo SBC-M, en la costa de Oaxaca.

Table 4. Chemical composition of aqueous extracts of soil saturation pastes analyzed in the SBC-M development condition, from the coast of Oaxaca.

Monolito / UM	Espesor cm	Cationes				Total	Aniones				Total
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	
----- mEq 100 g ⁻¹ de suelo -----											
M1 UM-I	(0-10]	0.0016	0.0002	0.0014	0.0003	0.0035	0.0000	0.0003	0.0004	0.0000	0.0007
	(10-20]	0.0007	0.0002	0.0005	0.0001	0.0015	0.0000	0.0002	0.0004	0.0000	0.0006
	(20-30]	0.0009	0.0004	0.0007	0.0001	0.0021	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(30-40]	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0005	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
M2 UM-I	(0-10]	0.0012	0.0010	0.0002	0.0000	0.0024	0.0000	0.0003	0.0001	0.0000	0.0004
	(10-20]	0.0009	0.0003	0.0005	0.0005	0.0022	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(20-30]	0.0005	0.0011	0.0003	0.0000	0.0019	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003
	(30-40]	0.0007	0.0002	0.0004	0.0000	0.0013	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
M3 UM-II	(0-10]	0.0021	0.0003	0.0002	0.0002	0.0028	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0005
	(10-20]	0.0004	0.0012	0.0001	0.0001	0.0018	0.0000	0.0002	0.0001	0.0002	0.0005
	(20-30]	0.0004	0.0013	0.0001	0.0001	0.0019	0.0000	0.0002	0.0001	0.0002	0.0005
	(30-40]	0.0014	0.0011	0.0002	0.0001	0.0028	0.0000	0.0002	0.0001	0.0002	0.0005
M4 UM-II	(0-10]	0.0009	0.0003	0.0000	0.0002	0.0014	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(10-20]	0.0007	0.0004	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(20-30]	0.0010	0.0003	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(30-40]	0.0014	0.0002	0.0000	0.0000	0.0016	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
M5 UM-III	(0-10]	0.0010	0.0004	0.0005	0.0002	0.0021	0.0000	0.0002	0.0000	0.0005	0.0007
	(10-20]	0.0012	0.0003	0.0007	0.0002	0.0024	0.0000	0.0002	0.0000	0.0004	0.0006
	(20-30]	0.0015	0.0004	0.0003	0.0001	0.0023	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0003
	(30-40]	0.0010	0.0006	0.0003	0.0001	0.0020	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0003
M6 UM-III	(0-10]	0.0019	0.0001	0.0004	0.0001	0.0026	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0003
	(10-20]	0.0011	0.0002	0.0002	0.0000	0.0015	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(20-30]	0.0010	0.0001	0.0001	0.0000	0.0012	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(30-40]	0.0008	0.0002	0.0001	0.0000	0.0011	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
M7 UM-IV	(0-10]	0.0010	0.0002	0.0008	0.0002	0.0022	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(10-20]	0.0008	0.0003	0.0005	0.0001	0.0017	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(20-30]	0.0006	0.0003	0.0001	0.0000	0.0010	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(30-40]	0.0015	0.0003	0.0006	0.0001	0.0025	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
M8 UM-IV	(0-10]	0.0015	0.0002	0.0003	0.0001	0.0021	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(10-20]	0.0008	0.0000	0.0004	0.0000	0.0012	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0003
	(20-30]	0.0010	0.0004	0.0007	0.0001	0.0022	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
	(30-40]	0.0011	0.0003	0.0002	0.0000	0.0016	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002

Precisamente la pérdida de suelo y las condiciones semiáridas del estiaje caracterizan su bajo valor económico. De acuerdo con lo anterior, es necesario implementar más trabajos de repoblación, sobre todo en la UM-IV de la SBC-M, ya que la reforestación puede favorecer una mayor cubierta vegetal, la capacidad de captar y almacenar agua de lluvia y de controlar la erosión del suelo. En cuanto a técnicas de manejo y conservación del suelo, es recomendable establecer en los conos de arroyada más propicios (por tamaño y volumen de captación hídrica), tinas de captación y almacenamiento de agua y canales que provean del vital líquido a los árboles en épocas de secano. Así mismo en los terrenos con pendientes > 20%, se sugiere el establecimiento de vegetación en curvas de nivel, para favorecer el control de la erosión hídrica.

CONCLUSIONES

- Las condiciones de desarrollo de la vegetación arbórea en la SBC-M y SBC-P presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la riqueza de especies. En tanto que las métricas de diversidad de especies fueron bajas en comparación con selvas en estados más avanzado de conservación, sin embargo, se encuentran dentro de los intervalos promedio reportados para varios sitios de México con las mismas condiciones de desarrollo estudiadas. De modo que, la estructura vertical y horizontal también mostraron condiciones de crecimiento que confirman un buen desarrollo inicial con buena regeneración propios de una SBC con vegetación secundaria.

- Los suelos de la condición de desarrollo SBC-M, se conforman por litosoles de lomerío en la UM-I, UM-II y UM-III, mientras que en la UM-IV, se tiene una transición edáfica hacia regosoles eutricos. Ambos tipos de suelo se caracterizan por su escaso desarrollo, procesos de latosolización y de erosión que los empobrece de nutrientes en época de lluvias. Se trata de suelos intolerantes a la erosión, hidrófobos y de relieve accidentado. La vocación de uso de estos suelos es eminentemente forestal y por ningún motivo se deben considerar para un uso distinto ya que originaría su degradación y la pérdida de su potencial biológico.

LITERATURA CITADA

- Acosta, S., A. Flores, A. Saynes, R. Aguilar y G. Manzanero. 2003. Vegetación y flora de una zona semiárida de la cuenca alta del río Tehuantepec, Oaxaca, México. *Polibotánica* 16: 125-152.
- Alanís R., E., R. Aranda Ramos, J. M. Mata Balderas, P. A. Canizales Velázquez, J. Jiménez Pérez, J. I. Uvalle Saucedo, A. Valdecantos Dema y M. G. Ruiz Bautista. 2010. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio en San Luis Potosí, México. *Ciencia UANL* 13: 287-294.
- Alcolado, P. M. 1998. Conceptos e índices relacionados con la diversidad. *Avicennia* 8/9: 7-21.
- Basáñez, A. J., J. L. Alanís y E. Badillo. 2008. Composición florística y estructura arbórea de la selva mediana subperennifolia del ejido "El Remolino Papantla, Veracruz. *AIA* 12: 3-21.
- Bravo, O., C. Gómez y A. R. Márquez. 2013. Composición florística del ejido de Sayulita, Bahía de Banderas, Nayarit, México: Un análisis espacial. *BioCiencias* 2: 172-188.
- Buckman, H. O. y N. C. Brady. 1977. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Montaner y Simón. Madrid, España. ISBN: 8427402783.
- Campos V., A., L. Cortes, P. Dávila, A. García, J. Reyes, G. Torriz, L. Torres y R. Torres. 1992. *Plantas y flores de Oaxaca. Serie de cuadernos no.18*. Instituto de Biología, UNAM. México, D. F. ISBN: 9683627226 9789683627223.
- Carreón-Santos, R. J. y J. I. Valdez-Hernández. 2014. Estructura y diversidad arbórea de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* 20: 119-130. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.06.023>.
- Casanova-Lugo, F., J. C. González-Gómez, M. X. Flores-Estrada, G. López-Santiago y M. García-Gómez. 2014. Estructura, composición y usos de los árboles de la selva baja caducifolia en Apatzingán, Michoacán. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 17: 255-259.
- Ceccon, E., I. Olmsted y J. Campo-Alves. 2002. Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente estado de regeneración en Yucatán. *Agrociencia* 36: 621-631.
- Corella, J. F., J. I. Valdez-Hernández, V. M. Cetina-Alcalá, F. V. González-Cossio, A. Trinidad-Santos y J. R. Aguirre-Rivera. 2001. Estructura forestal de un bosque de manglares en el noreste del estado de Tabasco, México. *Rev. Cienc. Forest. Méx.* 25: 73-102.
- De Cserna, Z. 1965. Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero. Instituto de Geología, Boletín 62. UNAM. México, D. F.
- Domínguez-Licona, E., J. M. D. Licona y M. R. D. Licona. 2008. Estudio florístico preliminar de la parte baja de la micro-cuenca del Río Cacaluta, Santa María Huatulco, Oaxaca, México. pp. 133-179. In: J. M. Domínguez-Licona (ed.). *Diagnóstico de los recursos naturales de la bahía y micro-cuenca de Cacaluta*. Instituto de Ecología, UMAR. México. ISBN: 978-970-9932-03-4. doi: <https://doi.org/10.14350/rig.59486>.

- Dzib-Castillo, B., C. Chanatásig-Vaca y N. A. González-Valdivia. 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja Caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 85: 167-178. doi: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.38706>.
- Entsminger, G. L. 2014. EcoSim: Null modeling software for ecologists. Version 1. Acquired Intelligence Inc., & Pinyon Publishing. Montrose, CO, USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations). 2015. World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome.
- FitzPatrick, E. A. 1980. Soils: Their formation, classification and distribution. Longman. New York, NY, USA.
- Gallardo, J. A., J. A. Meave y E. A. Pérez. 2005. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Bot. Sci.* 76: 19-35. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1701>.
- García-Mendoza, A., P. Tenorio Lezama y J. Reyes Santiago. 1994. El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Bot. Mex.* 27: 53-73. doi: <https://doi.org/10.21829/abm27.1994.710>.
- García-Mendoza, A. J., M. de J. Ordóñez y M. Briones-Salas. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund. Redacta. México, D. F. ISBN: 970-32-2045-2.
- Gavande, S. A. 1979. Física de suelos: principios y aplicaciones. Limusa. México, D. F.
- Godínez I., O. y L. López M. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de Selva Mediana Subperennifolia. *An. Inst. Biol. UNAM Serie Botánica* 73: 283-314.
- Guariguata, M. and R. Ostertag. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For. Ecol. Manage.* 148: 1-3. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00535-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00535-1).
- López-Gómez, A. M. y G. Williams-Linera. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Bot. Sci.* 78: 7-15. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1717>.
- López R., E. 1993. Geología general y de México. Trillas. México, D. F. ISBN13: 978-968-24-1176-2.
- López-Toledo, J. F., J. I. Valdés-Hernández, M. A. Pérez-Farrera y V. M. Cetina-Alcalá. 2012. Composición y estructura arbórea de un bosque tropical estacionalmente seco en la Reserva de la biosfera la sepultura, Chiapas. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 3: 44-56.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. Princeton, NJ, USA. ISBN: 0709935390, 9780709935391.
- Martínez-Cruz, J., M. Méndez-Toribio, J. Cortés-Flores, P. Coba-Pérez, G. Cornejo-Tenorio y G. Ibarra-Manríquez. 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. *Rev. Mex. Biodiver.* 84: 1216-1234. doi: <https://doi.org/10.7550/rmb.33799>.
- Miller, P. M. and J. B. Kauffman. 1998. Seedling and sprout response to slash-and-burn agriculture in a tropical deciduous forest. *Biotropica* 30: 538-546. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1998.tb00094.x>.
- Murphy, P. G. and A. E. Lugo. 1986. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica* 18: 89-96. doi: <https://doi.org/10.2307/2388750>.
- Ochoa-Gaona, S., F. Hernández-Vázquez, B. H. J. De Jong y F. D. Gurri-García. 2007. Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema: un estudio de caso en la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Bot. Sci.* 81: 67-82. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1766>.
- Ortega-Baranda, V., J. I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, and D. A. Rodríguez-Trejo. 2017. Structure and diversity of tree vegetation in three reliefs on the Oaxaca coast. *Rev. Chapingo Serie Cienc. For. Amb.* 23: 173-184. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.02.009>.
- Palmer, R. G. y F. R. Troeh. 1980. Introducción a la ciencia del suelo, manual de laboratorio. Libros y Editoriales. México, D. F. ISBN: 968-462-000-4.
- Pérez-García, E. A., J. Meave y C. Gallardo. 2001. Vegetación y flora de la región de Nizanda, istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Acta Bot. Mex.* 56: 19-88. doi: <https://doi.org/10.21829/abm56.2001.879>.
- Pielou, E. C. 1967. The use of information theory in the study of the diversity of biological populations. pp. 163-177. *In: Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 4: Biology and Problems of Health.* University of California Press. Berkeley, CA, USA.
- Pineda-García, F., L. Arredondo-Amezcuea y G. Ibarra-Manríquez. 2007. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio El Tarimo, Cuenca del Balsas, Guerrero. *Rev. Mex. Biodiv.* 78: 129-139.
- Richards, L. A. 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los E. U. A. Manual 60. Limusa. México, D. F.
- Salas-Morales, S. H., A. Saynes-Vásquez y L. Schibli. 2003. Flora de la costa de Oaxaca, México: Lista florística de la región de Zimatán. *Bot. Sci.* 72: 21-58. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1669>.
- Salas-Morales, S. H., L. Schibli, A. Nava-Zafra y A. Saynes-Vásquez. 2007. Flora de la costa de Oaxaca, México (2): Lista Florística comentada del Parque Nacional Huatulco. *Bot. Sci.* 81: 101-130. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1769>.
- Sánchez-Bernal, E., V. Ortega-Baranda, F. Domínguez-Hernández, M. Ortega-Escobar, A. Can-Chulim, and D. Sarmiento-Bustos. 2013. Soil erosion control using agroforestry terraces in San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, Mexico. *Int. J. AgriSci.* 3: 426-439.
- Sánchez-Velásquez, L., G. Hernández-Vargas, M. A. Carranza, M. del R. Pineda-López, R. Cuevas-Guzmán y F. Aragón. 2002. Estructura arbórea del bosque tropical caducifolio usado para la ganadería extensiva en el norte de la sierra de Manantlán, México. *Antagonismo de usos. Polibotánica* 13: 25-46.
- SAS Institute. 2006. SAS/SAT user's guide. Version 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.

- Soil Survey Staff. 2014. Kellogg soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report No. 42. version 5.0 Burton and Soil Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Lincoln, NE, USA.
- Szabolcs, I. 1994. Soils and water salinization and desertification. *In*: M. Anaya G., M. A. Pascual M., and R. Zárate Z. (eds.). Proceedings of the IV International Conference on Desert Development Sustainable Development for our common future. Colegio de Postgraduados. México. ISBN: 968-839-185-9.
- Torres-Colín, R. 2004. Tipos de vegetación. pp. 105-117. *In*: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez-Díaz y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología. UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. México, D. F. ISBN: 9703220452.
- Trejo, I. and R. Dirzo. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiver. Conservat.* 11: 2063-2084. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1020876316013>.
- Villavicencio-Enríquez, L. y J. I. Valdez-Hernández. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37: 413-423.
- Zamora-Crescencio, P., M. del R. Domínguez-Carrasco, P. Villegas, C. Gutiérrez-Báez, L. A. Manzanero-Acevedo, J. J. Ortega-Hass, S. Hernández-Mundo, E. C. Puc-Garrido y R. Puch-Chávez. 2011. Composición florística y estructura de la vegetación secundaria en el Norte del estado de Campeche, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 89: 27-35.
- Zarco-Espinosa, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Univ. Cienc.* 26: 1-17.