

Estructura poblacional y fenología de cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*) desarrollado sobre litosol degradado en la costa de Oaxaca
Population structure and phenology of cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*) developed on degraded lithosol in the coast of Oaxaca

Verónica Ortega-Baranda¹ , Deysi Lizeth de la Cruz-Salinas² ,
Angélica Romero-Manzanares^{3*}  y Edgar Iván Sánchez-Bernal¹ 

¹ Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, Instituto de Ecología, ² Jardín Botánico. Carretera Vía Sola de Vega-Puerto Escondido. 71980, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

³ Colegio de Postgraduados, Postgrado en Botánica. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56264 Texcoco, Estado de México, México.

* Autora para correspondencia: (dahly@colpos.mx)

Editora de Sección: Dra. Verónica Ortega Baranda

RESUMEN

Amphipterygium adstringens "cuachalalate" crece en los suelos degradados de la selva baja de la costa de Oaxaca. Dos objetivos fueron llevados a cabo: 1. En cuachalalate: obtener la estructura poblacional vertical y horizontal, identificar el patrón de dispersión de los individuos y observar el periodo de las fases fenológicas. 2. En el suelo: determinar las características físicas y químicas del litosol degradado de San Pedro Mixtepec, Oaxaca, donde crece el cuachalalate. En sitios de 1000 m² fueron registrados todos los individuos de cuachalalate. Éstos fueron clasificados por etapas de crecimiento (brinzal, latizal, fustal). Para analizar la jerarquía de tamaños de las poblaciones de cuachalalate se analizó la estructura horizontal y vertical. La dispersión espacial de las poblaciones fue estimada con el índice de Morisita. En los fustales se registraron los eventos fenológicos: foliación, floración femenina y masculina, fructificación y defoliación, durante un año (época lluviosa de 2017 a época seca de 2018). La estructura vertical de las poblaciones de cuachalalate presentó dos estratos: inferior (2.0 a 9.5 m) y superior (10.0 a 16.0 m); la estructura horizontal mostró que brinzales y latizales tienen diámetros < 2.5 cm y fustales de 5 a 10 cm. La distribución espacial de las poblaciones es agregada. La floración ocurrió durante la época lluviosa, la fructificación durante la época lluviosa a la seca del siguiente año, la foliación de la época seca a la lluviosa del mismo año, la defoliación de la época lluviosa a la seca del siguiente año. Los litosol degradados tienden a ser erosionados por escurrimiento, son impermeables e hidrófobos. Los suelos de piedemonte poseen características físicas y químicas que destacan procesos incipientes de acumulación, lo que anticipa transición hacia regosol éutrico, suelo favorable para la persistencia de la selva baja caducifolia.



Cita recomendada:

Ortega-Baranda, V., De la Cruz-Salinas, D. L., Romero-Manzanares, A., & Sánchez-Bernal, E. I. (2023). Estructura poblacional y fenología de cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*) desarrollado sobre litosol degradado en la costa de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-16. e1595. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1595>

Recibido: 18 de mayo de 2022.
Aceptado: 26 de diciembre de 2022.
Artículo. Volumen 41.
Abril de 2023.

Palabras clave: categorías de crecimiento, distribución agregada, fenograma, hidrofobia, transición edáfica.

SUMMARY

Amphipterygium adstringens "cuachalalate" is growing on degraded soils of the low deciduous forest of the coast of Oaxaca. Two objectives were carried out: 1. On cuachalalate: to define the vertical and horizontal population structure, to identify the dispersal pattern of the individuals, and observe the period of the phenological phases. 2. On the soil: to determinate the physical and chemical characteristics of the degraded Lithosol of San Pedro Mixtepec, Oaxaca, where cuachalalate is growing. In sites of 1000 m² all cuachalalate individuals were registered. These were classified

by growing stage (saplings, juveniles and trees). To analyze the size hierarchy, the horizontal and vertical structure of the cuachalalate populations was analyzed. The spatial dispersion of populations was estimated with the Morisita Index. Phenological events were recorded in the trees: foliation, female and male flowering, fruiting and defoliation, during one year (2017 rainy season to 2018 dry season). The cuachalalate presented lower (2.0 to 9.5 m) and upper (10.0 to 16.0 m) vertical structure; the horizontal structure showed that saplings and juveniles have diameters < 2.5 cm, and trees of 5 to 10 cm. The spatial distribution of the populations is aggregated. Flowering occurred during the rainy season, fruiting during rainy to dry season of next year, foliation from dry to rainy season of the same year and defoliation from rainy season to dry season of next year. Degraded lithosols tend to be eroded by runoff, are impermeable and hydrophobic. The piedmont soils have physical and chemical characteristics that highlight incipient accumulation processes, which anticipate a transition to an eutrophic regosol, a favorable soil for the persistence of the low deciduous forest.

Index words. *growth stages, aggregate distribution, phenogram, hydrophobicity, edaphic transition.*

INTRODUCCIÓN

La Selva Baja Caducifolia de la costa de Oaxaca (SBC Oax) ubicada al sur de la República Mexicana, ha sido constantemente intervenida por actividad antropógena como el continuo cambio de uso de la tierra hacia la agricultura, ganadería, actividades turísticas y urbanización (Mass *et al.*, 2010). Aún con el disturbio, este ecosistema aloja alta diversidad biológica de especies arbóreas (Salas-Morales, Saynes y Schibli, 2003), y cuenta con alto potencial ecológico y social (cultural, económico, alimenticio y de vivienda) para la población local y aledaña. En la SBC Oax destaca *Amphipterigyum adstringens* (Schltdl.) Standl. "cuachalalate", una especie arbórea con importancia económica y cultural por ser relevante en la herbolaria mexicana debido a que la corteza posee propiedades químicas importantes para curar una variedad de enfermedades (Osorio-García, Macías, Tornero, Loera y Garza, 2018).

La mayoría de las investigaciones del cuachalalate están enfocadas hacia las propiedades fitoquímicas de la corteza y su acción en la salud humana (Castillo-Juárez, García, Velázquez, Soto y Martínez, 2013; Rodríguez-Canales *et al.*, 2016), así como en los diferentes canales de comercialización y aprovechamiento (Solares-Arenas, Mata, Vargas, Soto y Rodríguez 2006; Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2021).

La alta demanda de este recurso obliga a generar conocimiento sobre la ecología de la especie, para contribuir al uso adecuado y sustentable. Entre la problemática para la sustentabilidad de *A. adstringens* de la Mixteca Poblana destacan factores como: la baja capacidad de los individuos para producir estructuras reproductivas, la lentitud de crecimiento, la escasez de la especie, la alta mortalidad de plantas jóvenes y adultas y, el bajo potencial de recuperación después del aprovechamiento (Martínez-Pérez, López, Gil y Cuevas, 2012). Por tales motivos, estos autores mencionaron como imperante necesidad, utilizar al cuachalalate como especie para reforestación con el fin de evitar que desaparezca de su hábitat. Rehabilitar áreas con especies forestales de uso múltiple como el cuachalalate, aseguraría un buen aprovechamiento de ese recurso forestal y garantizaría la disponibilidad de servicios ambientales regionales, los cuales mantendrían la economía local.

Continuar con esas intenciones requiere contar con el conocimiento claro del tipo de ecosistema en que habita el cuachalalate, el estado de conservación del suelo, así como los atributos estructurales de la asociación vegetal (frecuencia, densidad y dominancia), tipo de distribución de los individuos en el espacio (aleatoria, agrupada o regular) y, definir rasgos de la historia de vida como el potencial de regeneración y desarrollo de los individuos, forma y cobertura de copa, fenología, biología de la

semilla, entre otras características (Díaz-Triana, 2007; Vargas-Rios, 2011). En términos prácticos, el desconocimiento biológico genera mala gestión del aprovechamiento de la especie, lo que influye negativamente en el mantenimiento de las poblaciones.

Por la falta de información para el caso del *A. adstringens* de la SBC Oax, resultaría interesante identificar la estructura poblacional en diversos sitios y verificar cuáles son los cambios fenológicos de los árboles, con el fin de que dicho conocimiento sea utilizado para futuros planes de manejo.

Contar con información fenológica a nivel local contribuye al aprovechamiento forestal adecuado; a nivel ecosistémico y global, la fenología permite identificar los cambios sucedidos en la cubierta vegetal e inclusive, determinar los efectos derivados del cambio climático (Hudson y Keatley, 2010). En las especies de clima cálido la variabilidad de eventos fenológicos se atribuye a la estacionalidad de la precipitación (Baker, Affum-Baffoe, Burslem y Swaine, 2002), la temperatura (Urrego y Del Valle, 2001), la radiación solar (Wright y Van Schaick, 1994) y la latitud o la altitud (Van Schaick, Terborgh y Wright, 1993).

En cualquier ambiente donde haya cuachalalate, las características del suelo y su calidad hidrológica contribuyen para el crecimiento y desarrollo de las plantas hasta conformar grandes poblaciones. En las selvas caducifolias de Michoacán (Méndez-Toribio, Martínez, Cortés, Rendón y Ibarra, 2014), Morelos (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018) y de la costa de Oaxaca (Luis-Reyna, Ortega y Ochoa, 2017), la presencia del cuachalalate estuvo asociada con los tipos de suelo feozem háplico, regosol éutrico y litosol. Ortega-Baranda, Sánchez, Sánchez, Luis y Ruvalcaba (2020) coinciden con esa información y agregan que los suelos están degradados, con pobre acumulación de materia orgánica y son vulnerables a procesos de remoción de partículas minerales durante la lluvia, también son de poca capacidad de almacenamiento hídrico (Sánchez-Bernal *et al.*, 2013).

Los objetivos fueron: obtener la estructura poblacional de *A. adstringens* en distintos sitios con base en tres estados de crecimiento (independientemente del sexo), crecidos en suelo degradado, a la vez, conocer su patrón de dispersión y distinguir el tiempo en que se expresan las fases fenológicas de árboles masculinos y femeninos, así como caracterizar el suelo donde habita la especie, con base en las características físicas y químicas del Litosol degradado de San Pedro Mixtepec, Oaxaca. Las hipótesis asumen que la estructura poblacional y patrón de dispersión difieren entre unidades de muestreo y, que hay sincronía entre sexos para expresar las etapas fenológicas. Por otro lado, se asume que las características físicas y químicas del suelo revelarán el estado de deterioro del suelo.

Consideramos que analizar sitios con suelos degradados en Oaxaca, conlleva a desarrollar información para programas de conservación, rehabilitación y de plantaciones forestales, lo cual resulta de alto valor ecológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La investigación se realizó en el área protegida de la Universidad del Mar, bajo condiciones naturales, sin aprovechamiento ni prácticas de manejo. Esta área natural comprende 16.7 ha, y está ubicada en el municipio San Pedro Mixtepec, región costa de Oaxaca, entre los 70 a 160 m de altitud. Los suelos de San Pedro Mixtepec en la región costa de Oaxaca son poco profundos y de escaso desarrollo, conformados por los horizontes A y B resultado de la intemperización de rocas metamórficas cálcico-magnésicas (Sánchez-Bernal *et al.*, 2013) de la formación geológica Xolapa, de edad Paleozoica (De Cserna, 1965). El relieve de bajo-lomeríos fue resultado de los levantamientos de la corteza terrestre emergida del mar, ocurridos durante el Pli-pleistoceno (López-Ramos, 2018). Los tipos edáficos dominantes son Litosol y Regosol Eútrico.

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano de mayo a octubre (Trejo, 2004). La Figura 1 muestra la precipitación y temperatura de los años 2017 y 2018.

Comunidad Vegetal

A. adstringens es especie ubicua en los hábitats de selva seca y bosque espinoso (Méndez-Toribio, Meave, Zermeño e Ibarra, 2016). La SBC Oax es secundaria de acuerdo con Luis-Reyna *et al.* (2017) y Ortega-Baranda *et al.* (2020), el área cuenta con 18 familias botánicas, 34 géneros y 37 especies arbóreas, donde el cuachalalate se ubica entre las primeras cinco especies más importantes. Las especies coexistentes con cuachalalate son: *Ceiba parvifolia* Rose, *Cochlospermum vitifolium* (Willd) Spreng, *Dalbergia congestiflora* Pittier, *Heliocarpus donnell-smithii* Rose, *Acacia farnesiana* Wall., *Comocladia engleriana* Loes, *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson, *Guapira macrocarpa* (Miranda) Miranda, *Bunchosia* sp.

Breve Descripción de *Amphipterygium adstringens*

El "cuachalalate" es una especie arbórea nativa, perteneciente a la familia Anacardiaceae (Wannan, 2006), se distribuye en la vertiente del Pacífico principalmente desde Sinaloa a Chiapas (Solares y Gálvez, 2002), adentrándose por la cuenca del Balsas a los estados de Morelos y Puebla. Beltrán-Rodríguez, Manzo, Maldonado, Martínez y Blancas (2017), expresaron que es una especie endémica del bosque tropical caducifolio (o SBC), altamente comercializada, caracterizada como especie en riesgo y de alta vulnerabilidad. De acuerdo con Cuevas-Figueroa (2005), los individuos varían en altura, entre 4.0 y 8.5 m y de ± 40 cm de diámetro normal (DN). La especie es dioica, tiene flores masculinas y femeninas (Guízar y Sánchez, 1991). Otra vía de crecimiento poblacional del cuachalalate es por policaulescencia (Lebrija-Trejos, Pérez, Meave, Poorter y Bongers, 2011).

Unidades de Muestreo y Datos Dasométricos

Las Unidades de muestreo (UM) fueron establecidas considerando el área explorada dentro de la SBC Oax por Luis-Reyna *et al.* (2017) y Ortega-Baranda *et al.* (2020). En esta zona y previo muestreo determinaron que *A. adstringens* es la segunda especie de mayor índice de valor de importancia y forestal.

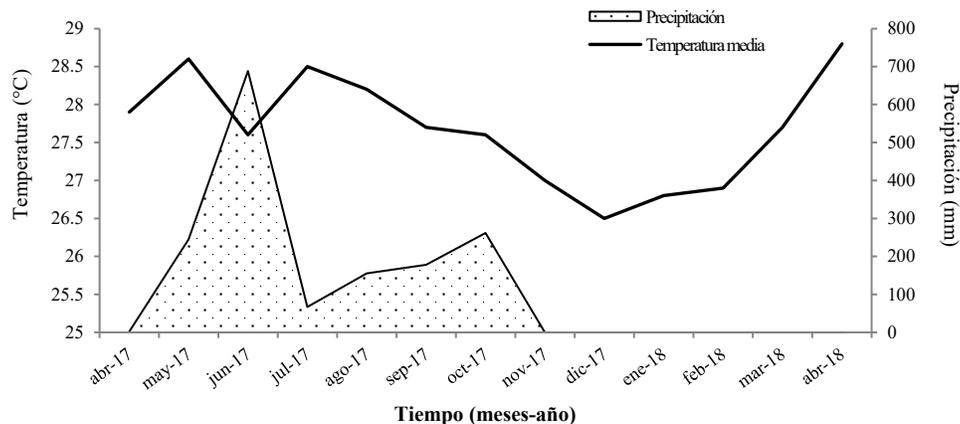


Figura 1. Climograma de temperatura y precipitación ocurridas en los años 2017-2018 (Servicio Meteorológico Nacional - Puerto Ángel, clave: OMM 76855).
Figure 1. Climogram of temperature and precipitation occurred in the years 2017-2018 (National Meteorologic Service - Puerto Angel, key: OMM 76855).

Se trabajó en cuatro UM de 1000 m². El trazado de cada UM se realizó con una brújula marca AOFAR, modelo AF-M2 y longímetro marca TRUPER, modelo TFC50; cada UM fue dividida en 10 subunidades de 100 m² (Villavicencio y Valdez, 2003).

Como variables abióticas se registraron la exposición (N, S, E, O), altitud (m) y pendiente (porcentaje) de cada UM, de modo que por cada UM se tuvieron los siguientes datos: UM1 (S - N, 124 m de altitud, 31%), UM2 (E - O, 147 m de altitud, 36%), UM3 (S - N, 144 m de altitud, 30%) y UM4 (N - S, 156 m de altitud, 29%). Entre cada UM hubo 100 metros de distanciamiento.

El muestreo en cuachalalate fue dirigido. Se censaron todos los individuos de cuachalalate categorizándolos en tres etapas de crecimiento (brinzal, latizal, fustal) diferenciadas por tamaño [con base en diámetro normal - DN (cm) y altura -H- (m)], como lo determinó Ortega-Baranda, Valdez, García y Rodríguez (2017): brinzales (Br, < 1.5 m hasta > 0.3 m de altura), latizales (Lt, < 2.5 cm de DN con > 1.5 m de altura) y fustales (Ft, > 2.5 cm DN, medido a 1.3 metro del suelo). Las variables dasométricas consideradas y los instrumentos utilizados para cada individuo fueron: altura total (H) (clinómetro, marca SUUNTO PM-5, Tandem), DN y cobertura de copa (flexómetro, marca TRUPER modelo TFC50).

Estructura Vertical, Horizontal y Dispersión de la Población de Cuachalalate

Tanto para la estructura vertical y la horizontal de las poblaciones de cuachalalate se construyeron histogramas de frecuencia por tamaños de altura y diámetro. Las categorías diamétricas (cat.) de cuachalalate se ordenaron (a excepción del primer intervalo) por incrementos en altura de 5 cm (< 2.5 cm, cat.5 = 2.5-7.5, cat.10 = 7.6-12.5, cat.15 = 12.6-17.5, cat.20 = 17.6-22.5, cat.25 = 22.6-27.5, cat.30 = 27.6-32.5).

La distribución espacial de la especie se esquematizó con coordenadas cartesianas de acuerdo con Zarco-Espinoza, Valdéz, Angeles y Castillo (2010), y se cuantificó con el Índice de Morisita:

$$I_{\delta} = \frac{q \sum_{i=1}^q n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (1)$$

Donde: I_{δ} = índice de distribución espacial, q = número de cuadros, n_i = número de individuos en el i -ésimo cuadro, N = Número total de individuos en todos los cuadros (Morisita, 1959; Caldato, Vera y Mac Donagh, 2003).

Jerarquía de las Etapas de Desarrollo

Se obtuvo la dominancia, frecuencia y densidad por brinzales, latizales y fustales, para calcular el IVI (Curtis y McIntosh, 1951; Moreno-Guerrero, Ortega, Sánchez y Nieto, 2020) y con ello jerarquizar las etapas de desarrollo de cuachalalate, aplicándose la sumatoria de abundancia, dominancia y frecuencia relativas. La mayor importancia se define en orden descendente. Para el caso del uso de datos conforme al formulario base, en lugar de "especies" se listaron cada una de las tres etapas de desarrollo y, para el concepto "todas las especies" se aplicó el valor correspondiente a las tres etapas de desarrollo.

Fases Fenológicas del Cuachalalate

Se identificaron y etiquetaron en las cuatro UM todos los fustales femeninos y masculinos. La observación de los eventos fenológicos se realizó con binoculares marca Bushnell, modelo 134211.

Los eventos fenológicos registrados fueron foliación, floración femenina y masculina, fructificación y defoliación. El periodo de registro fue mensual, de abril 2017 - abril 2018. Para los meses de agosto y septiembre de 2017 se frecuentaron las visitas de observación por semana debido al corto tiempo de duración de la floración.

La ocurrencia de las fases fenológicas se hizo con base en la metodología usada por García y Di Stefano (2005), Pineda-Herrera, Valdez y Pérez (2016). Para el registro de cada etapa fenológica (defoliación, foliación, floración, fructificación), se asignaron valores porcentuales estimados visualmente, de representación en la copa arbórea. La escala de calificación utilizada consistió en cinco niveles: 0 = ausencia total del evento, 1 = 1% - 25%, 2 = 26% - 50%, 3 = 51% - 75% y 4 = 76% - 100%. Con la información recabada se elaboró el fenograma para la especie.

En algunos casos se corroboró el sexo de los fustales carentes de flor por el color de albura, considerando que Solares y Gálvez (2002), determinaron que el sexo (en caso de ausencia de flores) se identifica por el color de la albura (color blanco = femenino; color rojo = masculino). Se realizó un pequeño corte a la corteza de 2.0 × 2.0 cm (4.0 cm²), con una navaja esterilizada a la altura del DN, posteriormente se observó y se registró el color de la albura de cada individuo muestreado. Finalmente se colocó nuevamente la corteza y se adhirió al fuste con cinta adhesiva.

Análisis de Suelo

En campo se observó un relieve accidentado y una geoquímica uniforme del terreno, estableciendo cuatro monolitos (uno por UM), cada monolito de suelo se estableció como punto centrado a la UM. Se realizaron las colectas de muestras de suelo con dimensiones de 0.30 m de diámetro, por largo en espesores de 0.10 m hasta 0.40 m (Palmer, 1979), se realizó una colecta de 2 kg de suelo por espesor. Cada monolito se obtuvo con la ayuda de una pala curva marca TRUPER. Cada muestra de suelo fue colocada en bolsa de plástico cerrada e identificada según el espesor; las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de aguas y suelos de Tecnología de la Madera de la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Estas tuvieron un proceso de secado y tamizado, de las cuales se preparó una pasta de saturación con 250 g de suelo con agua destilada. Con el hidrómetro de Bouyoucos se determinó la textura, aplicando 25 mL de hidróxido de sodio al 1 N en una batidora Hamilton Beach® durante 10 min para realizar la dispersión, posteriormente en una probeta de 1 L se depositó la mezcla de agua y sedimentos, posteriormente se realizó la interpretación con el triángulo de texturas (Soil Survey Staff, 2014). El color fue determinado con las tablas de Münsell (Münsell Color, 2009).

El porcentaje de espacio poroso fue calculado con la ecuación:

$$1 - \frac{\rho_a * \rho_r}{\rho_r} (100) \quad (2)$$

donde: ρ_a = densidad aparente; ρ_r = densidad real; fueron determinadas por el método de Pignómetro hídrico y de la Parafina respectivamente y en lo que respecta a los análisis químicos se consideró la metodología de Soil Survey Staff (2014). Se obtuvieron pastas de saturación con las cuales se determinó: pH y Conductividad eléctrica (CE), mediante un multiparámetro Hanna Instruments® modelo HI98129. En el caso de los sólidos totales disueltos (STD) en mg L⁻¹ se usó el método de calcinación en mufla a 600 °C. Los Cationes Ca²⁺, Mg²⁺ y aniones CO₃²⁻, HCO₃⁻ y Cl⁻, fueron por el método titrimétrico; SO₄²⁻ por turbidimetría (espectofotómetro Perkin Elmer); Na⁺ y K⁺ por flamometría (Flamómetro IL-653).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura Vertical, Horizontal y Dispersión de la Población

Cada UM presentó una estructura vertical de dos estratos: inferior (2.0 a 9.5 m) y superior (10.0 a 16.0 m). La altura promedio del cuachalalate para fustales fue de 2.10 ± 6.5 m, para latizales de 0.65 ± 2.60 m y para brinzales de 0.35 ± 0.70 m

(Figura 2a). En lo que corresponde a la estructura horizontal la mayoría de los individuos de brinzales y latizales en las cuatro UM estuvieron en la categoría (cat.) < 2.5 cm, con un diámetro promedio de ± 1.85 cm y en fustales en la cat. 5 y 10 (Figura 2b). Las cuatro UM conforman semejante estructura poblacional vertical y horizontal, como previamente lo documentaron Guizar y Sánchez (1991), con H hasta 12 m y DN de 40 cm; Pennington y Sarukhán (2005) con H, hasta 8.0 m y DN, hasta 40 cm; Rzedowski (2006) H = 4.0 a 6.0 m. Solo en la UM4 hubo cuatro individuos que presentaron alturas mayores, entre 12 a 16 m, con categoría diamétrica de 20, 25 y 30 cm. La UM4 tiene árboles más grandes por estar conservada desde hace 34 años (Luis-Reyna *et al.*, 2017), mientras que las otras UM son de conservación más reciente, de 18 años. Además, la zona donde se ubica la UM4 fue utilizada con anterioridad a su conservación como área de cultivo, la ventaja de tener árboles de mayores dimensiones en esta UM se debe a que los agricultores los auspiciaron para que les proporcionaran sombra. Dryflor *et al.* (2016) han argumentado que la variación en la estructura vegetal de las selvas bajas caducifolias se vincula con factores ambientales y de manejo.

De acuerdo con el índice de Morisita (I_s) la dispersión poblacional generó valores > 1, tanto en fustales, latizales y brinzales en las cuatro UM. Estos valores demuestran que los individuos de cuachalalate presentan distribución espacial agregada (Figura 3), al igual que otras arbóreas tropicales y subtropicales (Martínez y Álvarez, 1995). El patrón de distribución agregado ocurre por variadas causas como la distribución heterogénea de los recursos, la interacción con otras especies (Mandujano, Montaña, Méndez y Golubov, 1998), la baja dispersión de semillas y el efecto nodriza requerido en la etapa de crecimiento de brinzales y latizales, cuyo fin es amortiguar las consecuencias del déficit hídrico (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2022). La policaulescencia mencionada por Lebrija-Trejos, *et al.* (2011), también contribuye a la distribución agregada de las poblaciones.

Jerarquía de las Etapas de Desarrollo

El IVI reflejó el nivel de ocupación del área de estudio por cada etapa de desarrollo. Los fustales presentaron 950 individuos por ha^{-1} (79%) con una alta dominancia relativa, explicada como resultado de la proporción de terreno ocupado por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de la clase

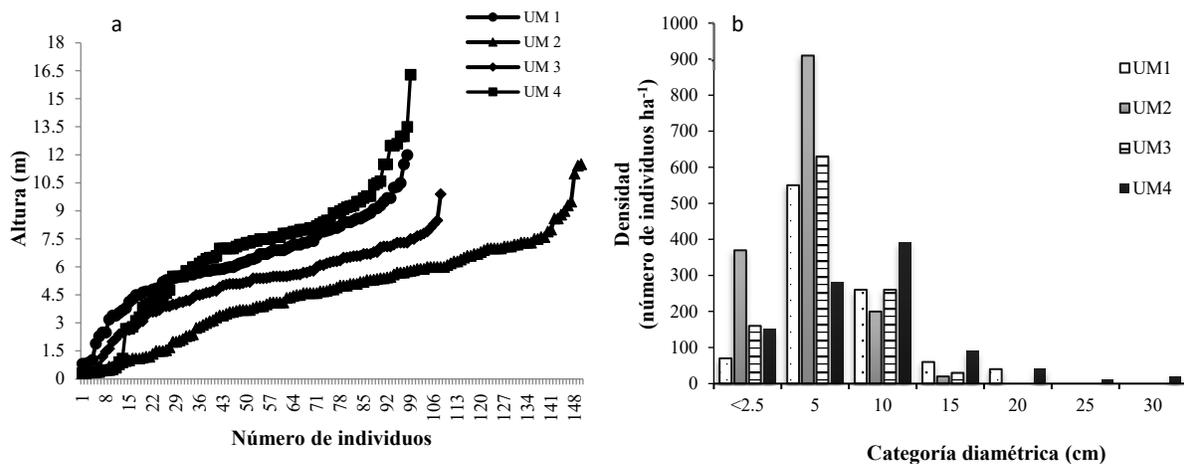


Figura 2. Estratificación: a) vertical y b) horizontal de *A. adstringens* en cuatro unidades de muestreo (UM), localizadas en selva baja caducifolia sobre suelos del tipo Litosol degradado.
Figure 2. Stratification: a) vertical and b) horizontal of *A. adstringens* in four sampling units (SU), located in low deciduous forest on degraded lithosol soils.

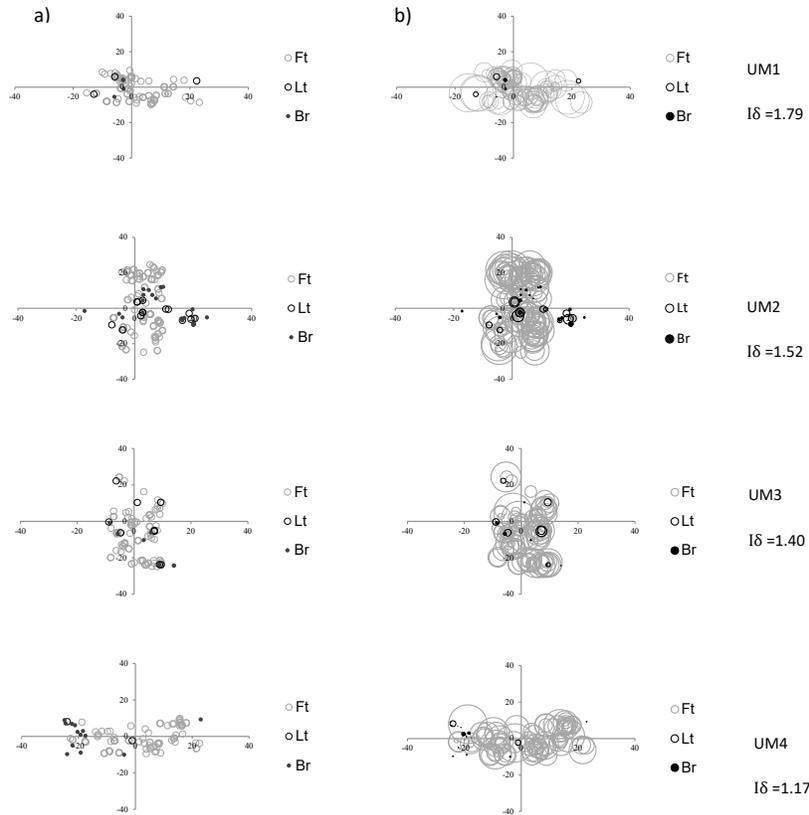


Figura 3. Índice de Morisita (I_{δ}) y diagrama de dispersión espacial del cuachalalate: a) tallos y b) proyección de copa por etapas de crecimiento (brinzales, latizales y fustales), en las cuatro UM, situadas sobre litosol degradado.

Figure 3. Morisita index (I_{δ}) and spatial dispersion diagram of cuachalalate: a) stems and b) crown projection by growing stages (saplings, juveniles and trees), in the four SU, located on degraded lithosol.

de tamaño considerada (Matteucci y Colma, 2002), en seguida los brinzales con 118 individuos ha^{-1} (11%) y latizales con 70 individuos ha^{-1} (9%) (Cuadro 1). Para la clase brinzal, la dominancia relativa es baja ya que el área basal de cada individuo es pequeña (Ortega-Baranda *et al.*, 2017), aunque en términos generales el IVI estimado fue mayor en brinzales, debido a los altos valores obtenidos por densidad y frecuencia relativa, que en parte son fomentados por la policulescencia.

Fases Fenológicas

Se identificaron los individuos femeninos y masculinos directamente por la presencia de floración y color de la albura. La floración masculina registró dos periodos: la primera se dio entre la segunda y la cuarta semana del mes de agosto del 2017 y la segunda, entre la tercera semana de septiembre del mismo año; aproximadamente el 28% de la copa de los individuos masculinos se observó con floración en estos periodos. La floración femenina sólo presentó un periodo que inició una semana después de la floración masculina (tercera y cuarta semana del mes de agosto del 2017), en el 45% del total de la copa (Figura 4). Con base en la Figura 1 se determina que para el área de estudio, el período de foliación coincide con el pico de precipitación (600 mm) y temperatura más cálida (28.5 °C). Al término del crecimiento de la cobertura foliar surge la floración, climáticamente se mantiene la misma temperatura, aunque el proceso coincide con la reducción de la precipitación (hasta los 100 mm), tiempo de canícula. La fructificación se logra con el segundo

Cuadro 1. Índice de Valor de Importancia por etapas de desarrollo del cuachalalate, en una selva baja caducifolia asentada sobre suelos de litosol degradado.**Table 1. Importance Value Index by stages of development of cuachalalate in a low deciduous forest on degraded lithosol soils.**

Etapas de desarrollo	Dominancia absoluta	Dominancia relativa	Densidad absoluta	Densidad relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	IVI
Fustal	5.264	99.545	0.095	83.516	0.975	54.929	237.99
Brinzal	0.003	0.069	0.011	10.329	0.425	23.943	34.342
Latizal	0.020	0.384	0.007	6.153	0.375	21.126	27.665

pulso de precipitación (300 mm) y temperatura algo menor (27.5 °C). La dispersión de estos frutos ocurre durante la época invernal e inicio de primavera, de noviembre a abril, con menor temperatura (27 °C) y nula precipitación (0 milímetros).

De acuerdo con la literatura, se presentan diferencias en los periodos fenológicos para el cuachalalate en selvas bajas caducifolias de México, esto se debe a los periodos de temperaturas máximas y de precipitación que difieren en cada área de estudio. En el estado de Morelos, Monroy y Colín (1997) refirieron que la floración se observa en los meses de mayo a agosto, Solares y Gálvez (2002) señalaron marzo a junio y Pennington y Sarukhán (2005) mencionaron que de mayo a julio. En el estado de Jalisco Cuevas-Figueroa (2005) observó floración de junio a agosto (Cuadro 2) y para esta investigación, en la SBC Oaxaca, la floración ocurre de un mes a otro, de agosto a septiembre; también se ven diferencias en otros datos como que la floración empieza en abril a diferencia de Morelos que se indica inicia en junio, la defoliación ocurre en un período de tiempo amplio, de julio del año n a abril del año $n+1$, y la fructificación ocurre de agosto del año n a abril del año $n+1$.

La fase de fructificación perduró nueve meses (de la época lluviosa en agosto del 2017 a la época seca, abril del 2018), los frutos maduros se observaron en los meses de septiembre (finales de la época lluviosa a diciembre (época seca) del mismo año, la abscisión de éstos fue a partir de noviembre, en la época seca del 2017 (el 47% de los frutos eran maduros), algunos se hallaban abajo del dosel de la planta madre y en áreas cercanas, sin haber liberado la semilla, y hasta abril (época seca del año 2018) algunos frutos aún permanecían adheridos al árbol. La mayor foliación (proporcionalidad de hojas en la copa entre un 85 - 90%) en los individuos arbóreos se presentó en los meses de junio a septiembre (época lluviosa) del 2017. La defoliación fue mayor en la época de estiaje durante los meses de diciembre 2017 a abril del 2018, entre un 80 y 99% (Figura 4).

Las fenofases para el cuachalalate estuvieron relacionadas con el factor clima; los porcentajes de floración y fructificación fueron bajos, la producción de flores de ambos sexos se sincronizó en agosto y septiembre (época lluviosa), la época de estiaje con altas temperaturas influyó en la floración y fructificación. La abscisión foliar y la nueva foliación estuvieron relacionadas respectivamente, con la ausencia

Cuadro 2. Periodos fenológicos para el cuachalalate en diferentes selvas bajas caducifolias de México.**Table 2. Phenological periods for cuachalalate in different low deciduous forests of Mexico.**

Localidad	Foliación	Defoliación	Floración	Fructificación	Referencia
Morelos			mayo-agosto	Junio-febrero	Monroy y Colín (1997)
Morelos			marzo-junio	Marzo-mayo	Solares y Gálvez (2002)
Morelos		noviembre-mayo	mayo-julio		Pennington y Sarukhán (2005)
Morelos	junio-septiembre	mayo-octubre			Solares-Arenas, Mata, Vargas, Soto y Rodríguez (2006)
Jalisco			junio-agosto	agosto-enero	Cuevas-Figueroa (2005)

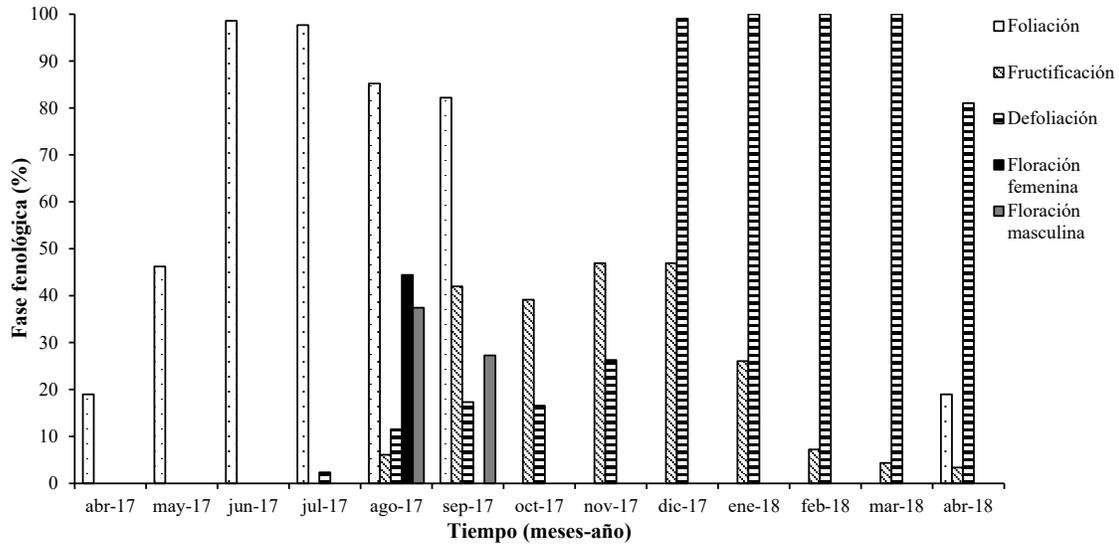


Figura 4. Dendro-fenograma de ambos sexos de cuachalalate, crecidos sobre litosol degradado.
Figure 4. Dendro-phenogram of both sexes of cuachalalate, grown on degraded lithosol.

y presencia de la precipitación. Los periodos de floración y fructificación en muchos casos están influenciados por la temperatura que controla la tasa de desarrollo de muchos organismos que requieren la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estadio a otro en su ciclo de vida (Plana-Bach, 2000). *Vochysia guatemalensis* Donn. Smith y *Licania arborea* Seem, ejemplifican el efecto de la temperatura máxima con la floración femenina, tanto en el estado de Oaxaca (Pineda-Herrera, Valdez y López, 2012) como en el de Chiapas (Ríos-García, Orantes, Verdugo, Sánchez y Farrera, 2017).

Se ha registrado que, en el hemisferio norte, las laderas con orientación sur presentan una mayor radiación solar en comparación con las laderas con orientación norte (López-Gómez, Zedillo, Anaya, González y Cano, 2012). En esta investigación el porcentaje de floración masculina y femenina para *A. adstringens* fue mayor en UM con una pendiente de exposición sur (más cálido) y mucho menor en una exposición norte (más fresco). Campanello, Gatti, Montti, Villagra y Goldstein (2011), mencionan que la sombra reduce notablemente la floración en plantas tropicales.

Caracterización del Suelo

Con el levantamiento de la corteza terrestre emergida del mar (López-Ramos, 2018) hubo oxidación de minerales como el hierro, lo que le da al suelo su coloración característica. El color del suelo rojo cafésáceo (Cuadro 3) indica que se trata de oxisoles o suelos ferralíticos con un subhorizonte característico kraznon de concreciones de óxido de hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3) (Palacios y Gama, 1994).

En el área de estudio, 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 (Ortega-Baranda *et al.*, 2020). Debajo de la incipiente capa húmica se localizó el sub-horizonte Oi, en el que se observó un espesor intergrado de materia orgánica en descomposición y materia mineral. Las partículas que predominaron fueron las arenas en más de un 80% en los primeros 10 cm de espesor, seguidas de limos y arcillas (Cuadro 3). Por su parte el horizonte B con profundidad aproximada

Cuadro 3. Características de textura y color de los suelos litosoles en selva baja caducifolia.
Table 3. Characteristics of texture and color of lithosol soils in low deciduous forest.

Espesor de suelo	Arena	Limo	Arcilla	Condición Textural	Color en seco	Intensidad del color
cm	----- % -----					
(0-10]	87	7	4	Franco arenoso	2.5YR 3/4	Rojo cafésáceo
(10.20]	68	23	5	Franco arenoso	2.5 YR 3/4	Rojo cafésáceo
(20-30]	78	19	3	Franco arenoso	2.5 YR 3/4	Rojo cafésáceo
(30-40]	76	20	4	Franco arenoso	2.5YR 3/4	Rojo Cafésáceo

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.

La condición textural es franco arenoso; el predominio de arenas sobre limos tiene relación con un espacio poroso de 45% (Cuadro 3), que induce una adecuada infiltración hídrica en condiciones de lluvia de poca intensidad.

La textura franco arenosa al contener aproximadamente 80% de arena, permite que la porosidad favorezca la presencia de micro y macrobiota que, con condición favorable de humedad, disminuye evaporación por presencia de cobertura vegetal, y ésta a la vez aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, consiguiendo con este proceso la conservación del agua (UCM, 2022). Lo contrario ocurre cuando llueve con intensidad, ya que el espacio poroso se satura y la roca metamórfica que subyace a menos de 1.5 m de profundidad, impide la adecuada conductividad hidráulica y buena infiltración. La impermeabilidad y la pendiente mayor a 20% son la causa de que la capa superior del suelo en sus primeros 20 cm se erosione por acción del agua de escurrimiento de las zonas de lomerío.

Otra característica de estos suelos es que son hidrófobos por su poca capacidad de almacenamiento de agua. La probabilidad de que un suelo se vuelva repelente al agua depende de la presencia de material hidrófobo y de la textura del suelo, de acuerdo con Hunt y Gilkes referidos por ICL Specialty Fertilizers (2019), quienes argumentan que los suelos arenosos de textura gruesa que contienen menos del 5% de arcillas como los mostrados en el Cuadro 3, tienen una alta probabilidad de volverse repelentes al agua.

Las sustancias hidrófobas contenidas en el suelo están constituidas por moléculas orgánicas repelentes al agua, las que son producto de la materia orgánica, la descomposición vegetal y la actividad metabólica de los microorganismos. En suelos forestales, la hidrofobia también depende de otros factores como el tipo de bosque y la composición de especies, la edad del bosque, la estación del año y la combustión incompleta de materia orgánica cuando hay incendios (Ángeles-Cervantes y López-Mata, 2009). En época de estiaje, el déficit hídrico de origen climático se suma a la baja retención de agua del suelo y la hidrofobia por las moléculas presentes. Estas restricciones edáficas son afrontadas por las especies vegetales de la selva baja, a través de la abscisión de sus hojas, lo que induce a la defoliación de los individuos vegetales.

El pH de los suelos es ligeramente ácido propio de suelos que presentan lixiviación de cationes básicos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} en época de lluvias, lo que se confirma con los datos de composición química del suelo. La CE de los extractos de las pastas de saturación son bajas, en promedio 0.55 dS m^{-1} , lo que indica que no presentan problemas de salinidad (Cuadro 4). Un ligero incremento de salinidad

Cuadro 4. pH, CE, Sólidos Totales Disueltos (STD) y Potencial osmótico ($\Psi\pi$) de la solución de suelo litosol degradado en selva baja caducifolia. Table 4. pH, CE, Total dissolved solids (STD) and Osmotic Potential ($\Psi\pi$) of the degraded lithosol soil solution in low deciduous forest.

Espesor de suelo	pH	CE	STD	$\Psi\pi$	Parámetros estadísticos	
					CE	STD
cm		dS m ⁻¹	mg L ⁻¹	MPa		
(0-10]	6.88	1.15	736	-0.041	M = 0.53 σ = 0.41 C.V. = 0.77	M = 340.5 Σ = 265.31 C.V. 0.77
(10-20]	7.67	0.39	249	-0.014		
(20-30]	6.44	0.31	198	-0.011		
(30-40]	6.30	0.28	179	-0.010		

se presenta en el espesor 0-10 cm, esto es natural debido al ascenso de sales y evaporación de aguas del subsuelo por capilaridad, en algunos casos alcanza un nivel de 1 dS m⁻¹, por lo que no hay riesgo de que las plantas sean afectadas por salinidad. En el Cuadro 4 se observa una estrecha relación entre los bajos valores de STD y el potencial osmótico de -0.01 MPa, lo que indica la pobre presencia de iones en solución. Dicha relación es característica en suelos tropicales (Richards, 1974), lo que justifica el resultado obtenido en la región estudiada.

La composición iónica de los suelos presenta el siguiente orden (Cuadro 5): Ca²⁺ en la superficie y mayor profundidad > Mg²⁺ en los espesores intermedios > Na⁺ > K⁺ y HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻ lo que guarda relación con la migración de iones en solución (Szabolcs, 1994¹).

Con estos elementos se determina que estos suelos son litosoles de piedemonte, donde ocurren procesos incipientes de acumulación, los que con el tiempo transitarán hacia regosoles éutricos (Sánchez-Bernal *et al.*, 2019); esta transición edáfica aunada a las condiciones de clima favorece el desarrollo de la selva baja caducifolia donde crece *A. adstringens*.

Cuadro 5. Composición química de extractos de saturación de suelo litosol degradado en selva baja caducifolia. Table 5. Chemical composition of saturation extracts of degraded lithosol soil in low deciduous forest.

Espesor de suelo	Cationes				Total	Aniones				Total
	mEq 100 g ⁻¹ de suelo					mEq 100 g ⁻¹ de suelo				
cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
(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

¹ Szabolcs, I. (1994). Soil and water salinization and desertification. In: Anaya, M., Pascual, M., and Zárate, R., (Eds.), *Sustainable development for our common future. Proceedings of the IV Conference on desert development.* (pp. 25-30). México: Colegio de Postgraduados.

CONCLUSIONES

Las poblaciones de cuachalalate diferenciadas en fustales, latizales y brinzales presentaron distribución agregada, con una estratificación en dos niveles de altura. La estructura vertical y horizontal de las poblaciones analizadas en distintas unidades de muestreo situadas sobre litosol degradado fue similar. Los fustales presentaron la mayor dominancia relativa, seguida de brinzales con altos valores de densidad y frecuencia relativa. En el caso de los brinzales la policaulescencia contribuyó a elevar la densidad, debido a que la mayoría de los individuos fueron originados como renuevo de la planta madre. La poca densidad de latizales probablemente es causada por la calidad hidrófoba del suelo debido a su composición arenosa con menos del 5% de arcilla y baja retención, lo que propicia déficit de agua para las plantas que están en crecimiento.

Las fenofases para el cuachalalate estuvieron relacionadas con temperatura y precipitación. Los porcentajes de floración y fructificación fueron bajos. La floración ocurrió durante la época lluviosa, la fructificación durante la época lluviosa a la seca del siguiente año, la foliación de la época seca a la lluviosa del mismo año, la defoliación de la época lluviosa a la seca del siguiente año.

La física y química del suelo refleja cambios que evolucionan a la transición litosol-regosol, este dato resalta como futuro beneficio para el mantenimiento de la selva baja caducifolia y las especies que ahí cohabitan, como el cuachalalate.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, metodología, curación de contenido, escritura; preparación del borrador original: V.O.B. Curación de datos, análisis formal de datos, investigación: D.L. de la C.S. Análisis crítico, discusión y escritura del artículo, así como edición de la versión final: A.R.M. Curación de datos, análisis formal de datos: E.I.S.B.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, por brindar todas las facilidades para el ingreso al Jardín Botánico "Puerto Escondido".

LITERATURA CITADA

- Ángeles-Cervantes, E., & López-Mata, L. (2009). Supervivencia de una cohorte de plántulas de *Abies religiosa* bajo diferentes condiciones postincendio. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 84, 25-33.
- Baker, T. R., Affum-Baffoe, K., Burslem, D. F. R. P., & Swaine, M. D. (2002). Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management*, 171(3), 261-274. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00787-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00787-3)
- Beltrán-Rodríguez, L., Manzo-Ramos, F., Maldonado-Almanza, B., Martínez-Ballesté, A., & Blancas, J. (2017). Wild medicinal species traded in the Balsas basin, México: risk analysis and recommendations for their conservation. *Journal of Ethnobiology*, 37(4), 743-764.
- Beltrán-Rodríguez, L. A., Valdez-Hernández, J. I., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., Pineda-Herrera, E., Maldonado-Almanza, B., ... 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), 108-122. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2004>
- Beltrán-Rodríguez, L., Valdez-Hernández, J. I., Saynes-Vásquez, A., Blancas, J., Sierra-Huelsz, J. A., Cristians, S., ... Bye, R. (2021). Sustaining Medicinal Barks: Survival and Bark Regeneration of *Amphipterygium adstringens* (Anacardiaceae), a Tropical Tree under Experimental Debarking. *Sustainability*, 13(5), 2860. <https://doi.org/10.3390/su13052860>
- BeltránRodríguez, L., RomeroManzanares, A., Borjade la Rosa, M. A., ValdezHernández, J. I., LunaCavazos, M., & BlancasVázquez, J. (2022). Adaptive advantages of wood anatomical-hydraulic features linked to sex in a tropical dioecious species. *Trees*, 36, 39-52. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02258-w>
- Caldato, S. L., Vera, N., & Mac Donagh, P. (2003). Estructura poblacional de *Ocotea puberula* en un bosque secundario y primario de la selva misionera. *Ciencia Florestal, Santa María*, 13(1), 1-8. <https://doi.org/10.5902/198050981773>
- Campanello, P. I., Gatti, M. G., Montti, L., Villagra, M., & Goldstein, G. (2011). Ser o no ser tolerante a la sombra: economía de agua y carbono en especies arbóreas del Bosque Atlántico (Misiones, Argentina). *Ecología Austral*, 21(3), 285-300.
- Castillo-Juárez, I., García-Contreras, R., Velázquez-Guadarrama, N., Soto-Hernández M., & Martínez-Vázquez, M. (2013). *Amphipterygium adstringens* anacardic acid mixture inhibits quorum sensing-controlled virulence factors of *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Archives of Medical Research*, 44(7), 488-494. <https://doi.org/10.1016/j.armed.2013.10.004>
- Cuevas-Figueroa, M. X. (2005). A revision of the genus *Amphipterygium* (Julianiaceae). *Ibugana*, 13(1), 27-47.
- Curtis, J., & McIntosh, R. (1951). An upland forest continuum in the Prairie-forest border región of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- Díaz-Triana, J. E. (2007). El suelo como barrera para la restauración ecológica. En O. Vargas (Ed.). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino* (pp. 74-76). Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia- Grupo de Restauración Ecológica- Departamento de Biología. ISBN: 978-958-701-908-7
- De Cserna, Z. (1965). *Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero*. Distrito Federal, México: UNAM.
- DryFlor., Banda, R. K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., ... Pennington, R. T. (2016). Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*, 353(6303), 1383-1387. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- García, E. G., & Di Stefano, J. F. (2005). Fenología de árbol *Sideroxylon capiri* (Sapotaceae) en el bosque seco tropical de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 53(1-2), 5-14.
- Guizar-Nolazco, E., & Sánchez-Vélez, A. (1991). *Guía para el reconocimiento de los principales árboles del alto balsas*. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México: UACH.
- Hudson, I. L., & Keatley, M. R. (2010). *Phenological research methods for environmental and climate change analysis*. Austria: Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3335-2>
- ICL Specialty Fertilizers (2019). *¿Por qué el agua no se infiltra en los suelos hidrófobos?* Consultado el 24 de septiembre, 2022, desde <https://icl-sf.com/es-es/>
- Lebrija-Trejos, E., Pérez-García, E. A., Meave, J. A., Poorter, L., & Bongers, F. (2011). Environmental changes during secondary succession in a tropical dry forest in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 27(5), 477-489. <http://doi.org/10.1017/S0266467411000253>
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E., & Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453-457. <http://doi.org/10.17129/botsci.473>
- López-Ramos, E. (2018). *Geología general y de México*. (8va Ed.). Ciudad de México, México: Trillas. ISBN: 978-607-17-3366-5
- Luis-Reyna, M., Ortega-Baranda, V., & Ochoa-Somano, J. (2017). Caracterización de la vegetación arbórea en estado de perturbación del jardín botánico puerto Escondido, Oaxaca. In: J. Martínez, M. Ramírez, & J. Cámara (Eds.). *Seguridad Alimentaria: Aportaciones científicas y Agrotecnológicas* (pp. 167-171). Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN: 978-607-606-425-2
- Mandujano, M. C., Montaña, C., Méndez, I., & Golubov, J. (1998). The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan desert. *Journal of Ecology*, 86(6), 911-921. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00308.x>
- Martínez-Ramos, M., & Álvarez-Buylla, E. (1995). Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56, 121-153. <https://doi.org/10.17129/botsci.1469>

- Martínez-Pérez, A., López, P. A., Gil-Muñoz, A., & Cuevas-Sánchez, J. A. (2012). Plantas silvestres útiles y prioritarias identificadas en la Mixteca Poblana, México. *Acta Botánica Mexicana*, 98, 73-98.
- Mass, M., Búrquez, A., Trejo, I., Valenzuela, D., González, M. A., Rodríguez, M., & Arias, H. (2010). Amenazas. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, & R. Dirzo (Eds.). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 321-346). México: CONABIO-Fondo de Cultura Económica.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (2002). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Ave Fénix.
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Cruz, J., Cortés-Flores, J., Rendón-Sandoval, F. J., & Ibarra-Manríquez, G. (2014). Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tzirtzicuar, Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1117-1128. <https://doi.org/10.7550/rmb.43457>
- Méndez-Toribio, M., Meave, J. A., Zermeño-Hernández, I., & Ibarra-Manríquez, G. (2016). Effects of slope aspect and topographic position on environmental variables, disturbance regime and tree community attributes in a seasonal tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*, 27(6), 1094-1103. <https://doi.org/10.1111/jvs.12455>
- Monroy, R., & Colín, H. (1997). *Prontuario de árboles de selva baja caducifolia*. Mexico: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca. ISBN: 968-817-400-9
- Moreno-Guerrero, V., Ortega-Baranda, V., Sánchez-Bernal, E. I., & Nieto-Castañeda, I. G. (2020). Descripción del estrato arbóreo en combinación con café rustico en una selva mediana subperennifolia, Jocotepec, Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 413-423. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.626>
- Morisita, M. (1959). Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memoires of the Faculty of Science. Kyushu University, Series E. Biology*, 2(4), 215-235.
- Munsell Color. (2009). *Munsell color charts*. Michigan, USA: Munsell color.
- Ortega-Baranda, V., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., & Rodríguez-Trejo, D. (2017). Structure and diversity of tree vegetation in three reliefs on the Oaxaca coast. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 173-184. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.02.009>
- Ortega-Baranda, V., Sánchez-Bernal, E. I., Sánchez-Aragón, L., Luis-Reyna, M. Á., & Ruvalcaba-Gómez, G. (2020). Vegetación arbórea de selvas bajas caducifolias en suelos litosoles y regosoles éutricos degradados. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 377-390. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.611>
- Osorio-García, A., Macías-López, A., Tornero-Campante, M. A., Loera-Martínez, J., & Garza-Bueno, L. E. (2018). Canales y márgenes de comercialización de la corteza de cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schlecht.) en la ciudad de Puebla y área conurbada. *Agroproductividad*, 11(2), 111-119.
- Palacios, M., & Gama, C. (1994). Suelos, génesis, dinámica y degradación. En S. de la Cruz (Ed.). *Ciencias de la tierra hoy* (pp. 178-202). México: Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica.
- Palmer, G. R. (1979). *Introducción a la ciencia del suelo*. México: Manual de laboratorio Editor S. A.
- Pennington, T., & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. México. México: Fondo de Cultura Económica-Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 9789703216437
- Pineda-Herrera, E., Valdez-Hernández, J. I., & López-López, M. (2012). Fenología de *Schizolobium parahyba* y *Vochysia guatemalensis* en una selva alta perennifolia de Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 90(2), 185-193.
- Pineda-Herrera, E., Valdez-Hernández, J. I., & Pérez-Olvera, C. P. (2016). Crecimiento en diámetro y fenología de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. en Costa Grande, Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 26(4), 19-28. <https://doi.org/10.15174/au.2016.914>
- Plana-Bach, E. (2000). *Introducción a la ecología y dinámica del bosque tropical*. Consultado el 16 de octubre, 2020, desde <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Ecosistemas/183.pdf>
- Richards, L. A. (1974). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Distrito Federal, México: Limusa. ISBN: 968180306X.
- Ríos-García, C., Orantes-García, C., Verdugo-Valdez, A., Sánchez-Cortés, M., & Farrera-Sarmiento, O. (2017). Estudio fenológico de *Licania arborea* Seem (Chrysobalanaceae) en Jiquipilas, Chiapas, México. *Agroproductividad*, 10(8), 48-52.
- Rodríguez-Canales, M., Jimenez-Rivas, R., Canales-Martínez, M. M., García-López, A. J., Rivera-Yañez, N., Nieto-Yañez, O., ... Rodríguez-Monroy, M. A. (2016). Protective effect of *Amphipterygium adstringens* extract on dextran sulphate sodium-induced ulcerative colitis in mice. *Mediators of Inflammation*, 2016, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/8543561>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado el 16 de octubre, 2020, desde https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Salas-Morales, S., Saynes-Vásquez, A., & Schibli, L. (2003). Flora de la costa de Oaxaca, México: lista florística de la región de Zimatán. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*, 72, 21-58.
- Sánchez-Bernal, E., Ortega-Baranda, V., Domínguez-Hernández, F., Ortega-Escobar, M., Can-Chulim, A., & Sarmiento-Bustos, D. (2013). Soil erosion control using agroforestry terraces in San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, Mexico. *International Journal of AgriScience*, 3, 426-439.
- Sánchez-Bernal, E. I., Ortega-Escobar, H. M., Leal-Pérez, E. S., Can-Chulim, A., Ortega-Baranda, V., Camacho-Escobar M. A., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Interannual salinity in a coastal lagoon of Oaxaca, Mexico: Effect on growth of Black Mangrove. *Transylvanian Review*, 27(36), 9240-9256.
- Soil Survey Staff (2014). *Kellogg soil survey laboratory methods manual*. Soil survey investigations report No. 42. version 5.0. Lincoln, NE, USA: USDA

- Solares-Arenas, F., & Gálvez-Cortés, M. C. (2002). *Manual para una producción sustentable de corteza de cuachalalate (Amphipterygium adstringens Schiede ex Schlecht)*. Zacatepec, Morelos, México: SAGARPA-INIFAP.
- Solares-Arenas, F, Mata-Jesús, J. J, Vargas-Hernández, J., Soto-Hernández, M. R., & Rodríguez-Franco, C. (2006). Capacidad de regeneración en grosor y lateral en corteza de cuachalalate (*Amphipterygium adstringens Schiede ex Schlecht.*) en el estado de Morelos. *Ra Ximhai: Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 2(2), 481-495. <https://doi.org/10.35197/RX.02.02.2006.10.FA>
- Trejo, I. (2004). Clima. In A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez., & M. Briones-Salas (Eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*. (pp. 67-85) Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza-WWF. ISBN: 970-32-2045-2
- UCM (Universidad Complutense Madrid). (2022). *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible: Materia orgánica y actividad biológica*. Consultado el 26 de septiembre, 2022, desde <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/1.%20Materia%20org%C3%A1nica%20y%20actividad%20biol%C3%B3gica.pdf>
- Urrego, L. E., & Del Valle, J. I. (2001). Relación fenología-clima de algunas especies de los humedales forestales (guandales) del pacífico sur colombiano. *Interciencia*, 26(4), 150-156.
- Van Schaick, C. P., Terborgh, J. W., & Wright, S. J. (1993). The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 24(1), 353-377
- Vargas-Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Villavicencio-Enriquez, L., & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), 413-423.
- Wannan, B. S. (2006). Analysis of Generic Relationships in Anacardiaceae. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 51(1), 165-195. <https://doi.org/10.3767/000651906X622427>
- Wright, S. J., & Van Schaick, C. P. (1994). Light and the phenology of tropical trees. *The American Naturalist*, 143(1), 192-199.
- Zarco-Espinoza, V., Valdéz-Hernández, J. L., Angeles-Peréz, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 1-17.