



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Fenología foliar de *Beiselia mexicana* en etapa
vegetativa bajo condiciones *ex situ***

TESIS

Que para obtener el título de

BIÓLOGA

PRESENTA

López Guerrero Daniela

Directora de tesis: Dra. María Felix Ramos Ordoñez

Los Reyes Iztacala, Estado de México, septiembre 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mi familia, especialmente a mi mamá Yolanda y mi papá J. Carmen.

¡Lo logramos!

Gracias a la vida que me ha dado tanto

Mercedes Sosa

Agradecimientos

A la Dra. María Felix Ramos Ordoñez por absolutamente todo. Por su tiempo, energía, recursos, conocimiento, paciencia, empatía y apoyo incondicional para la realización de este trabajo, mi desarrollo personal y profesional, gracias totales.

A la Comunidad Indígena Santa María Ostula por la apertura y espacio dentro de su territorio. Por recibirnos cálidamente y brindarnos todas las facilidades que están en sus manos, por acompañarnos y permitirnos conocer lo bello y megadiverso que puede ser la costa michoacana.

Al profesor Marcial García Pineda por el espacio y conocimientos brindados en aras de la conservación ex situ de *Beiselia mexicana* en el Jardín Botánico de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI, UNAM).

Al Grupo de Investigación en Ecología de Ambientes Contrastantes de la FESI, UNAM y la Facultad de Biología de la UMSNH.

Gracias!!!

Contenido

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Fenología	2
1.2 Fases del desarrollo	2
1.3 Vigor	4
1.4 Fenología foliar	4
1.5 Importancia de <i>Beiselia mexicana</i>	6
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. OBJETIVOS	7
4. MATERIAL Y MÉTODOS	8
5. RESULTADOS	11
5.1 Fenología foliar	11
5.2 Foliación vigorosa y deficiente.	12
5.3 Desarrollo anual	14
5.4 Relación entre crecimiento y foliación	17
6. DISCUSIÓN	19
7. CONCLUSIONES	22
8. LITERATURA CONSULTADA	24

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Plántulas de <i>B. mexicana</i> cultivadas <i>ex situ</i> . Plántulas con vigor alto (a) y vigor deficiente (b).	16
Figura 2. Fenograma foliar de <i>B. mexicana</i> , del 2016 a 2020 en condiciones <i>ex situ</i> . El color verde representa la formación y desarrollo de hojas, desde los brotes (verde claro) hasta su maduración (verde oscuro), los colores restantes representan la senescencia, el blanco representa la ausencia de hojas.	17
Figura 3. Porcentajes de hojas simples y hojas compuestas, en juveniles de <i>B. mexicana</i> x con vigor alto y deficiente durante cuatro años de estudio <i>ex situ</i> .	19
Figura 4. Porcentajes del número de folíolos de las hojas compuestas, en juveniles de <i>B. mexicana</i> con vigor alto y vigor deficiente, durante cuatro años de estudio bajo condiciones de invernadero.	20
Figura 5. Diferencias en el tamaño de la base del peciolo de una planta juvenil (a) y una estaca en etapa vegetativa (b) de <i>B. mexicana</i> en condiciones <i>ex situ</i> . Las bases son más pequeñas hacia la base del tallo.	22
Figura 6. Diferencia en el diámetro, altura y foliación promedio anual en juveniles de <i>B. mexicana</i> en condiciones <i>ex situ</i> con desarrollo vigoroso y deficiente.	23
Figura 7. Juveniles de <i>B. mexicana</i> en condiciones <i>ex situ</i> , (a) individuo vigoroso y (b, c) individuos deficientes.	25

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Estudios de fenología foliar en ambientes contrastantes	11
Tabla 2. Desarrollo anual del diámetro (mm), la altura (mm) y foliación promedio (\pm desviación estándar) en juveniles de vigorosos <i>B. mexicana</i> bajo condiciones <i>ex situ</i> .	21
Tabla 3. Desarrollo anual del diámetro (mm), la altura (mm) y foliación promedio (\pm desviación estándar) en juveniles con vigor deficiente de <i>B. mexicana</i> bajo condiciones <i>ex situ</i> .	21 22
Tabla 4. Valores de correlación de Spearman (r_s) y su significancia entre el diámetro de juveniles de <i>B. mexicana</i> con desarrollo vigoroso y desarrollo deficiente.	24

RESUMEN

La fenología foliar es el estudio del desarrollo de las hojas en el ciclo de vida de las plantas, su análisis permite conocer la producción de hojas en función de la disponibilidad de recursos en el ambiente. *Beiselia mexicana* es un árbol resinífero, microendémico del bosque tropical caducifolio de Aquila, Michoacán, en peligro de extinción. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la fenología foliar en juveniles de *B. mexicana* en etapa vegetativa bajo condiciones *ex situ*. Particularmente se analizó si existe un patrón anual en la producción de hojas, se comparó la foliación entre juveniles con desarrollo vigoroso y deficiente, se analizó el crecimiento en diámetro y altura y finalmente se analizó si existe relación entre el crecimiento en diámetro, altura y la cantidad de hojas producidas en juveniles vigorosos y deficientes. Se realizó un conteo mensual de hojas totales, hojas simples, hojas compuestas y folíolos de hojas compuestas, también se midió el crecimiento en diámetro y altura del tallo durante cuatro años. Los datos se analizaron a través de un fenograma, para comparar la foliación entre juveniles se utilizaron pruebas por pares, finalmente se realizaron correlaciones entre altura, diámetro y cantidad de hojas producidas. Se observó que la foliación ocurre de junio a octubre, la senescencia ocurre entre noviembre y mayo. Las plantas vigorosas desarrollaron mayor cantidad de hojas totales y hojas compuestas con un mayor número de folíolos, así como menos hojas simples en comparación con juveniles con desarrollo deficiente. El crecimiento en diámetro y altura también fue mayor en juveniles vigorosos. Durante noviembre a mayo los tallos se compactan en diámetro y altura. Los organismos más grandes producen mayor cantidad de hojas totales, hojas compuestas y más folíolos. Las características de altura, diámetro, número de hojas simples y compuestas, así como el número de folíolos, facilitan la identificación del vigor en juveniles de *B. mexicana* y su manejo, contribuyendo a su reproducción y conservación *ex situ*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Fenología

La fenología es el estudio de las fases periódicas y repetitivas del ciclo de vida de las plantas y su variación temporal a lo largo del año. Está integrada por fenofases o periodos durante los cuales aparecen, se transforman o desaparecen los órganos. Tiene como objetivo básico reunir información sobre el inicio, duración y culminación de dichas fases para conocer la disponibilidad de recursos en el medio. Los estudios fenológicos son fundamentales para entender la dinámica de los recursos de las poblaciones, comunidades o ecosistemas (Roldán y Larrea, 2003; Ochoa-Gaona *et al.*, 2008; Berdugo-Lattke y Rangel-Ch, 2015).

El estudio de la fenología también permite comprender los patrones en la producción de órganos vegetales (Ochoa-Gaona *et al.*, 2008). Durante el ciclo de vida de las plantas hay dos tipos de fenofases, la vegetativa, que incluye la producción y desarrollo de yemas, la caída de las hojas y el crecimiento del tallo y; la fenofase reproductiva, que incluye la floración, fructificación y la senescencia de los órganos reproductivos (Williams-Linera y Meave, 2002; García y Collazo, 2016; Ortiz *et al.*, 2016).

Dentro de la etapa vegetativa se incluye la “foliación”, es decir, la producción y pérdida de hojas en la planta (Barbosa *et al.*, 1989; Williams-Linera y Meave, 2002). Las hojas son los órganos más importantes del tallo, están estrechamente relacionadas anatómica y morfológicamente, ambos conforman el vástago. Realizan funciones como la fotosíntesis y la transpiración, se encuentran dispuestas sobre el tallo en patrones definidos que varían según la especie (Zlotnik y Ponce, 2016; Arbo y González, 2019). Existen dos tipos de organización, por un lado, las hojas simples con una sola lámina foliar y por otro las hojas compuestas en las que la lámina foliar está dividida en varias subunidades llamadas folíolos (Arbo y González, 2019).

1.2 Fases del desarrollo

En el desarrollo de una planta, existen varias etapas con características morfológicas distintas y con una importancia funcional específica, tanto en la reproducción sexual como asexual y en el desarrollo vegetativo. Se conoce la existencia de hasta 10 etapas ontogenéticas con una sucesión foliar que incluye al menos seis tipos de hojas (Komarov *et al.*, 2003; Arbo y González, 2019).

La primera etapa ontogenética inicia con la semilla y el desarrollo del embrión que incluye la formación de los cotiledones u hojas embrionarias con una vida corta. Posterior a la germinación, en la etapa de plántula, los cotiledones cumplen la función de nutrir al organismo, en esta fase también se forman las hojas primordiales que pueden ser simples o compuestas, con pocos folíolos y de tamaño reducido. Continúa la etapa juvenil con una estructura simple, aún puede presentar cotiledones, las hojas pueden tener diferentes formas. Durante esta etapa acumulan reservas necesarias para soportar condiciones ambientales desfavorables e invierten en recursos para su defensa. Su duración va desde algunos días en plantas anuales, hasta muchos años, en el caso de las perennes (Komarov *et al.*, 2003; Gamboa De-Buen *et al.*, 2016; Arbo y González, 2019).

La cuarta etapa es la planta inmadura, la cual tiene una estructura de transición entre la etapa juvenil y madura. En este punto comienza a desarrollarse un sistema de brotes con ramas horizontales. Las hojas son vegetativas o nomófilas, es decir, tienen la forma del individuo adulto, a excepción de las especies con hojas compuestas, que son más complejas morfológicamente (Komarov *et al.*, 2003; Arbo y González, 2019). También se producen los prófilos, que son las primeras hojas sobre un eje lateral, en el cual pueden desarrollarse nomófilos o brácteas (Arbo y González, 2019).

La quinta etapa ontogenética es la planta virgen, la cual presenta la mayoría de las características de una planta madura, con la excepción de los órganos reproductores. La sexta etapa es la planta reproductora joven y es similar a la planta adulta, en la que aparecen las estructuras reproductivas. A esta le sigue la etapa reproductiva madura, aquí la copa y el sistema radicular alcanzan su tamaño máximo y su orden de ramificación (Komarov *et al.*, 2003).

La octava etapa es la planta reproductora vieja. En los árboles, el tamaño de la copa y del sistema de raíces disminuye porque mueren muchas ramas periféricas y raíces de anclaje. En algunos casos, la copa primaria puede ser reemplazada por una copa secundaria. Finalmente, las dos últimas etapas corresponden a las plantas subseñiles y señiles, en las cuales la floración y el desarrollo del fruto prácticamente cesa y la estructura vegetativa se simplifica. Las hojas juveniles aparecen una vez más y la tasa de crecimiento disminuye. Las diferencias entre plantas subseñiles y señiles suelen ser cuantitativas (Komarov *et al.*, 2003).

1.3 Vigor

Otra característica importante en el desarrollo es el vigor de las plantas, ya sea vigoroso o deficiente. El vigor es la capacidad de una planta para desarrollarse óptimamente y está dado por características ambientales y nutricionales que tuvo la planta madre durante la etapa reproductiva, la información genética, así como el grado de madurez, tamaño, peso, densidad y tiempo de viabilidad además de características fisiológicas y bioquímicas que determinan la eficiencia del uso de las reservas nutricionales para el embrión (Celis-Velázquez *et al.*, 2008). Se ha identificado que cuando las plantas presentan pocas hojas, escasas raíces, un diámetro, altura y biomasa mínima, así como una coloración opaca corresponde a un desarrollo deficiente. Por otro lado, cuando las plantas presentan un brote grande con una coloración brillante (verde intenso) y una raíz principal o varias raíces laterales bien desarrolladas, así como una mayor biomasa y un mayor diámetro y altura, se habla de una planta vigorosa (Pérez y Pita, 2001; Torres *et al.*, 2001) Por ejemplo, en un estudio en plántulas de especies leñosas se mide la biomasa total, biomasa de raíz y tallo, área foliar, longitud de raíz y altura de tallo, con base en esto se determina que las plántulas vigorosas son aquellas con mayores dimensiones (Barchuk *et al.*, 2006).

Las características antes mencionadas son variables evaluables en los estudios fenológicos, con la finalidad de conocer las condiciones óptimas para que se desarrollen exitosamente las plantas de nuestro interés y así lograr un manejo apropiado de los recursos disponibles en el medio.

1.4 Fenología foliar

En algunos estudios sobre fenología foliar se mide mensualmente el diámetro a la altura del pecho o diámetro normal (DAP) a 1.30 m de altura, altura total y área aproximada de la copa, además de las distintas condiciones del follaje (sin hojas, hojas recientes y hojas maduras) o mediante la asignación de los valores que representan la proporción de su presencia en la copa (Ortiz *et al.*, 2016). Existen muy pocos trabajos fenológicos en plantas de ambientes contrastantes como el Bosque Tropical Caducifolio (BTC) y aún menos con plantas que presenten un crecimiento arbóreo (Tabla 1).

En México existen al menos tres variantes de vegetación tropical con distinta duración del follaje. La primera es el bosque tropical perennifolio, con hojas verdes todo el año; el segundo es el bosque tropical subcaducifolio, en el cual una tercera parte o la mitad de los elementos dominantes de estos bosques pierden el follaje durante la época seca; y el BTC en el cual se pierden las hojas de siete a ocho meses al año (González, 2016). Los BTC en México cubren el 3.38 % de superficie en todo el país. Este tipo de vegetación posee una alta diversidad y endemismo (Trejo y Dirzo, 2000; CONABIO, 2021). Particularmente, en ambientes estresantes como el BTC, existe un clima cálido con lluvia marcadamente concentrada de cuatro a seis meses al año y, en consecuencia, con dos estaciones muy diferentes; la vegetación verde con follaje exuberante de la temporada de lluvias, y la gris sin follaje de la época seca, contraste que implica un conjunto de notables aspectos adaptativos de su biota (Noguera *et al.*, 2002; Rzedowski y Calderón, 2013; González, 2016).

Tabla 1. Estudios de fenología foliar en ambientes contrastantes.

Especie	Fenología	Etapa	Referencia
<i>Bursera simaruba</i> y <i>B. tomentosa</i>	Foliación y floración.	Adulto	Hernández-Rodríguez <i>et al.</i> , 2021.
<i>Tabebuia rosea</i>	Foliación, floración y fructificación.	Adulto	Pineda-Herrera <i>et al.</i> , 2016.
<i>Senegalia riparia</i> , <i>Anacardium excelsum</i> , <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Melicoccus bijugatus</i> , <i>Myrcianthes</i> , <i>Pradosia colombiana</i> , <i>Pseudobombax septenatum</i> y <i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Foliación, floración y fructificación.	Adulto y juvenil	Berdugo-Lattke y Rangel-Ch, 2015.
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Foliación, floración y fructificación.	Adulto	Pedroni <i>et al.</i> , 2002.
<i>Spondias tuberosa</i> , <i>Cassia excelsa</i> , <i>Astronium urundeuva</i> , <i>Caesalpinia pyramidalis</i> y <i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Foliación, floración y fructificación.	Adulto	Barbosa <i>et al.</i> , 1989.
<i>Schinopsis quebracho-colorado</i> , <i>Celtis pallida</i> , <i>Zizyphus mistol</i> , <i>Bougainvillea praecox</i> , <i>Prosopis elata</i> , <i>Achatocarpus praecox</i> acacias y <i>Mimosa detinens</i>	Foliación, floración y fructificación.	Adulto	Protomastro, 1988.

1.5 Importancia de *Beiselia mexicana*

En el BTC mexicano destaca la presencia del género *Bursera* (Burseraceae) por su riqueza de especies (Becerra *et al.*, 2012). En general, son plantas caducifolias que pierden el follaje durante la época seca. Particularmente en Michoacán, la familia Burseraceae está representada por 37 especies de *Bursera* y por *B. mexicana* (Cué-Bär *et al.*, 2006). Esta última es una especie microendémica del BTC en el municipio de Aquila, Michoacán, presente en las comunidades de Aquila y Santa María Ostula, denominada como taxon basal de la familia Burseraceae (Becerra *et al.*, 2012; Villalobos, 2021) y uno de los linajes de angiospermas endémicos de México (Sosa *et al.*, 2018). También es conocida como copal de piedra, pacueca, tecomaca y alacrana, este último nombre hace referencia a la inflorescencia (Martínez, 2016; Villalobos, 2021).

B. mexicana es importante en términos culturales para la Comunidad Indígena de Santa María Ostula, ya que se ocupa en actos religiosos como procesiones, día de muertos, cuaresma y semana santa, en dichas festividades se quema la resina en humadores, se usa como incienso para limpiezas de los altares. También se emplea como medicina tradicional para curar de susto, dolor de cabeza, mareo, tos, gripe y fiebre (Villalobos, 2021). En Aquila, la gente usa la resina de manera directa sobre la zona lastimada, con compresas o vaporizaciones, también ocupan la corteza hervida y la toman como agua de uso diario. Se usa como remedio para tratar dolores de espalda y reumas, así como enfermedades bronco-respiratorias, problemas circulatorios, tuberculosis y para proteger el sistema inmunológico (Martínez, 2016). Aunado a esto, se ha observado que el extracto metanólico de la corteza tiene actividad antimicrobiana, al inhibir bacterias gram positivas como *Micrococcus luteus* y *Staphylococcus aureus* y gram negativas como *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae*, las cuales son de importancia médica, así como el hongo *Aspergillus niger* (Rivera, 2018).

También tiene una importancia económica potencial a nivel internacional. Gracias a su gran belleza natural ha llamado la atención de coleccionistas de plantas raras, quienes llegan a comprar ejemplares de 4 a 7 cm de altura a través viveros de Europa y Norteamérica que ofertan sus productos en páginas de internet por cantidades de hasta 39 euros. Sin embargo, en México su aprovechamiento es casi desconocido (Villalobos, 2021) y no existen planes o programas de manejo de este recurso en las comunidades en las que se encuentra.

En términos de conservación *B. mexicana* se encuentra catalogada como especie en peligro de extinción (DOF, 2019), no existen planes o programas de manejo de esta planta en las comunidades en donde se encuentra, donde es una especie poco conocida. En la comunidad de Aquila las poblaciones naturales están sujetas a extracción, sin embargo, presentan más problemas que las ponen en riesgo de desaparecer por actividades antrópicas como las agropecuarias, la minería desregulada, obras de infraestructura, incendios forestales y el desconocimiento por parte de la población local. Sumado a esto, las poblaciones que se conocen son pequeñas y sus árboles presentan una calidad fitosanitaria deficiente por la presencia de hongos, termitas, practica inadecuada de poda y defoliación por hormigas (Villalobos, 2021). Según censos realizados en 2013 en Aquila, Michoacán, no se encontraron individuos juveniles o plántulas, por tanto, existe una alta probabilidad de que no exista recambio en la población, lo que conlleva a la pérdida de la especie en su ambiente (SEMARNAT, 2014).

La conservación de especies amenazadas implica realizar esfuerzos para su propagación *ex situ*. En un trabajo previo, se observó que la supervivencia de plántulas de *B. mexicana* en condiciones de laboratorio era muy baja (Martínez, 2016).

2. JUSTIFICACIÓN

Dada la importancia ecológica, cultural, biológica y económica de la especie, surge la necesidad de establecer protocolos de conservación. En este trabajo se estudió el patrón de foliación de los juveniles en condiciones de invernadero, dicho patrón se asoció con el tamaño del organismo con la finalidad de establecer características morfológicas visuales que permitan definir si el juvenil se encuentra en buenas condiciones de desarrollo.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

- Caracterizar la fenología foliar en *Beiselia mexicana* en etapa vegetativa bajo condiciones *ex situ*.

Objetivos particulares

- Analizar si existe un patrón en la foliación de *Beiselia mexicana* cultivada *ex situ* mediante la cuantificación de hojas y foliolos.
- Comparar la foliación entre juveniles con desarrollo vigoroso y desarrollo deficiente durante cuatro años de vida.
- Cuantificar el crecimiento en diámetro, altura y la cantidad de hojas producidas en juveniles de *Beiselia mexicana ex situ*, durante un año.
- Analizar si existe relación entre el crecimiento en diámetro, altura y la cantidad de hojas producidas en juveniles vigorosos y deficientes de *Beiselia mexicana ex situ*.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Especie de estudio

Beiselia mexicana es un árbol o arbusto resinoso, dioico, presenta hojas estipuladas imparipinadas y deciduas, con foliolos terminales y peciolo largo, los foliolos laterales son sésiles, los márgenes dentados y el peciolo es dorsiventralmente extendido en la base. Las hojas presentan una superficie superior del raquis y costillas medias. Se aprecian “espolones” en las ramas y tronco que corresponde a la base del peciolo, al paso del tiempo la hoja cae, pero su base se mantiene, esta base mide aproximadamente 7 mm de largo y es de forma cónica. Al pasar el tiempo la corteza más vieja del árbol y /o arbusto se torna de color gris, para entonces las protuberancias puntiagudas o “espolones” son menos perceptibles. Las ramas son delgadas y frágiles. La especie se encuentra restringida a crestas rocosas calizas con una altitud que va de los 272 a los 800 m, los árboles pueden medir de 8-10 m de altura y el diámetro del tronco alcanza hasta 1 m (Forman *et al.*, 1989; Megías *et al.*, 2019; Villalobos, 2021).

Antecedentes de los ejemplares utilizados

Los organismos de *B. mexicana* que fueron objeto de estudio, se obtuvieron a partir de semillas colectadas en Aquila, Michoacán, las cuales fueron germinadas en el Laboratorio de Ambientes Controlados de la Facultad de Ciencias el 17 de marzo del 2016, permanecieron ahí por tres meses y medio, posteriormente en julio fueron colocadas en invernadero. Los

mejores organismos respecto a diámetro, altura y foliación fueron ingresados en septiembre del 2016 al invernadero del JABIZ en la FESI.

Durante la toma de datos, las plantas fueron regadas una vez a la semana o cada quince días en primavera, verano y otoño, sin embargo, en invierno se redujo el riego a una o dos veces al mes para evitar la pudrición de las raíces y la muerte de la planta. En cada riego se retiraron todas las hierbas que crecen en el mismo espacio para evitar competencia y se compactó el sustrato para ayudar al desarrollo de las raíces. Se roció insecticida en aerosol (Raid casa y jardín ®) para evitar establecimiento de plagas como insectos, cuando se detectaban indicios de estas, principalmente en los primeros años de vida. Se aplicó fertilizante universal inorgánico soluble en agua (Miracle-Gro) en las charolas de riego que contenían las macetas con *B. mexicana*, disolviendo (2.50 ml) en dos litros de agua para plantas de interior.

Vigorosas y deficientes

Las plántulas fueron catalogadas de acuerdo con el tamaño del tallo en diámetro-altura y el vigor aparente que presentaban con respecto a la cantidad de hojas en septiembre de 2016 (Figura 1). Por un lado, en las vigorosas (n inicial=19 plantas; n final=24), se colocaron las más grandes con un diámetro promedio de 10.06 ± 2.74 mm y altura de 19.31 ± 4.22 mm, también presentaban un mayor promedio de hojas totales 2.06 ± 1.59 de las cuales 1.78 ± 1.52 eran hojas compuestas y 0.28 ± 0.46 eran hojas simples. Por otro lado, en las deficientes (n=500 plantas) se incluyeron aquellas plantas con un crecimiento menor en diámetro (4.66 ± 1.01 mm) y altura (14.61 ± 4.10 mm) promedio, así como una baja cantidad de hojas totales con un promedio de 1.94 ± 1.23 , de las cuales 0.11 ± 0.37 eran hojas compuestas y 1.83 ± 1.22 eran hojas simples.

Durante las mediciones, en cada planta se cuantificó el total de hojas y foliolos, teniendo cuidado de no tocarlas directamente, pues las hojas se caen con facilidad, esta acción le causa heridas que pueden generarle problemas en la continuidad de su desarrollo. Se midió el diámetro y altura con un vernier digital (precisión 0.005 mm, Traceable Control Company). Los datos se tomaron mensualmente durante cuatro años.



Figura 1. Plántulas de *B. mexicana* cultivadas *ex situ*. Plántulas con vigor alto (a) y vigor deficiente (b).

Análisis estadístico

Para analizar si existen patrones temporales en la foliación en juveniles de *B. mexicana* se analizaron datos mensuales de septiembre de 2016 a septiembre de 2020. Se realizaron histogramas con el número total de hojas, hojas simples, hojas compuestas y los folíolos totales de estas últimas. Se determinó si la producción era continua a lo largo del año o si se detenía, en que meses ocurrió la caída de las hojas y su intensidad.

Para comparar la foliación entre juveniles con desarrollo vigoroso y con desarrollo deficiente, se obtuvieron los promedios (\pm desviación estándar) del total de hojas, hojas simples, hojas compuestas y los folíolos de las hojas compuestas, durante los cuatro años de estudio. También se revisaron herborizados del año 2017 y se determinó el número de folíolos que presentan las hojas de los individuos adultos, así como la longitud de la base al ápice del peciolo de las hojas compuestas, con vernier digital (Traceable Control Company). Ya que este dato no se encuentra en la literatura. Los herborizados fueron depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Para cuantificar el desarrollo anual con base en las hojas producidas y el crecimiento en diámetro y altura se analizaron los datos de 12 meses, de junio del 2019 a mayo del 2020. Se obtuvo el promedio (\pm desviación estándar) de las variables de diámetro (mm), altura (mm), número total de hojas, número de hojas simples, número de hojas compuestas y la cantidad total de los folíolos de las hojas compuestas. Para saber si existe diferencia entre el desarrollo en juveniles vigorosos y juveniles con desarrollo deficiente, en cada una de las variables analizadas se realizaron las pruebas de normalidad de D'Agostino y Pearson, así como Shapiro-Wilk con un $\alpha=0.05$ posteriormente se realizó una prueba de t o de Mann-Whitney, este y todos los análisis se realizaron en el programa GraphPad Prism V5.

Para analizar si existe relación entre el crecimiento en diámetro, altura y la cantidad de hojas producidas en los juveniles vigorosos y deficientes de *B. mexicana ex situ*. Se utilizaron los datos de septiembre de cada año, dado que es el mes en el cual se registró el crecimiento máximo anual en diámetro y altura, así como el máximo de hojas producidas. Se hizo una correlación de Spearman (previa prueba de normalidad) entre el diámetro y la altura para determinar si existía una relación, posteriormente se hizo una matriz de correlación de Spearman para saber si existe una relación entre el diámetro y la cantidad de hojas totales, hojas simples, hojas compuestas y los folíolos totales de las hojas compuestas. Cuando se encontró algún par significativo (valor de $P < 0.05$), se obtuvo el gráfico y se interpoló la función $y = mx + b$.

5. RESULTADOS

5.1 Fenología foliar

En el mes de junio de cada año se observaron los primeros primordios foliares. El desarrollo de las hojas ocurre durante los meses de julio a octubre, en este último mes se alcanzó el número total de hojas anuales. En el desarrollo de julio a octubre se observó la formación de hojas compuestas, conforme pasaron las semanas, las hojas eran más grandes en tamaño y cantidad de folíolos y su peciolo fue más largo con respecto a junio. Posteriormente, en noviembre inició la caída paulatina de hojas y se observó un cambio en la coloración de estas, de tener un tono verde brillante pasaron a un verde pálido, luego café claro con ligeros matices rojos y naranjas, hasta secarse y finalmente las hojas cayeron. Durante la senescencia, la

mayoría de las plantas no presentaron hojas nuevas en los meses de marzo a mayo. Este patrón anual se repitió durante los cuatro años de estudio (Figura 2).

Foliación													
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	

Figura 2. Fenograma foliar de *B. mexicana*, del 2016 a 2020 en condiciones *ex situ*. El color verde representa la formación y desarrollo de hojas, desde los brotes (verde claro) hasta su maduración (verde oscuro), los colores restantes representan la senescencia, el blanco representa la ausencia de hojas.

5.2 Foliación vigorosa y deficiente

Los juveniles con desarrollo vigoroso presentaron más hojas durante el tiempo de estudio. En el 2017 se observaron 2.6 ± 2.4 hojas, para el 2018 hubo 1.4 ± 1.0 hojas, mientras que en el 2019 fueron 2.2 ± 1.3 hojas y finalmente en el 2020 se observó un promedio de 1.7 ± 1.4 hojas. En su mayoría fueron hojas compuestas con dos a cinco folíolos (Figuras 3 y 4).

Durante el primer año de vida se observó un máximo de cuatro hojas simples y ocho hojas compuestas. El 61.11% fueron hojas compuestas con tres folíolos (63.64%), cuatro folíolos (27.27%) y cinco folíolos (9.09%). Para el segundo año la cantidad de hojas compuestas aumentó (72.41%), la mayoría eran juveniles con tres folíolos por hoja (76.19%), algunos individuos desarrollaron cinco folíolos (9.52%), y el resto con dos folíolos (14.29%). En el tercer año de vida se observó un máximo de cuatro hojas simples y seis compuestas. Las hojas compuestas representaron el 63.16% con tres folíolos (83.33%) y dos folíolos (16.67%), no se observaron hojas con cinco folíolos. Finalmente, en el cuarto año apenas se observaron tres hojas simples y hubo un aumento con hasta 12 hojas compuestas. Estas últimas aumentaron hasta un 80% con tres folíolos (63.16%), cuatro folíolos (15.79%), cinco folíolos (15.79%) y en menor proporción dos folíolos con (5.26%).

Los juveniles con desarrollo deficiente presentaron menos hojas comparado con los juveniles vigorosos. En el 2017 se observó en promedio un total de 0.7 ± 1.2 hojas, para el 2018 hubo un aumento con 1.2 ± 1.1 hojas, mientras que en el 2019 se registró 0.7 ± 0.9 hojas y en el

2020 apenas 0.2 ± 0.6 hojas. La mayoría de sus hojas fueron simples, aunque también presentaron hojas compuestas con dos y tres folíolos (Figuras 3 y 4).

En el primer año se observó un máximo de ocho hojas simples y seis hojas compuestas. La mayoría fueron hojas simples (88.91%), las hojas compuestas presentaron tres folíolos (72.73%) y dos folíolos (27.27%). Para el segundo año se registró un máximo de siete hojas simples y cuatro compuestas. El 84.13% fueron simples y las plantas con hojas compuestas tuvieron tres folíolos (85%) y dos folíolos (15%). En el tercer año, se observó un máximo de cuatro hojas simples y cuatro compuestas. El 82.35% fueron simples, las hojas compuestas presentaron únicamente dos folíolos (58.33%) y tres folíolos (41.67%). En el cuarto año, se observó un máximo de dos hojas simples y tres compuestas. Las más comunes fueron las hojas compuestas con 63.64%, seguido de las simples con 36.36%. Las hojas compuestas presentaron dos folíolos con 25% y tres folíolos con 75%.

En los ejemplares herborizados provenientes de individuos adultos, se observó que las hojas son compuestas con siete, nueve y hasta 11 folíolos. Las hojas presentaron una longitud de 23.7 cm, 25.8 cm y 34.5 cm respectivamente de la base del peciolo al ápice.

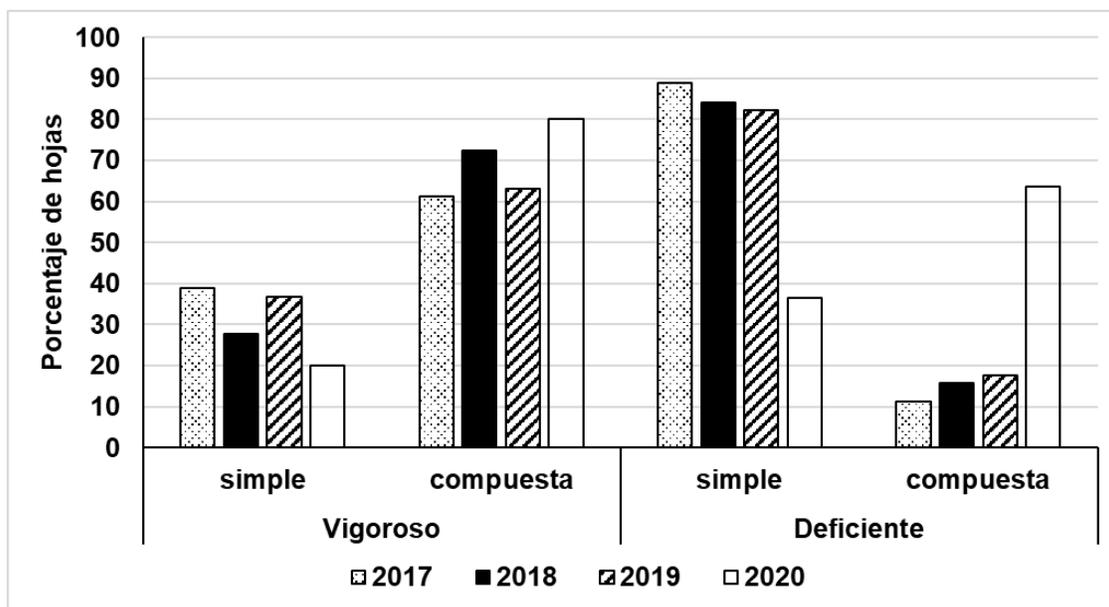


Figura 3. Porcentajes de hojas simples y hojas compuestas, en juveniles de *B. mexicana* en con desarrollo vigoroso y deficiente durante cuatro años de estudio *ex situ*.

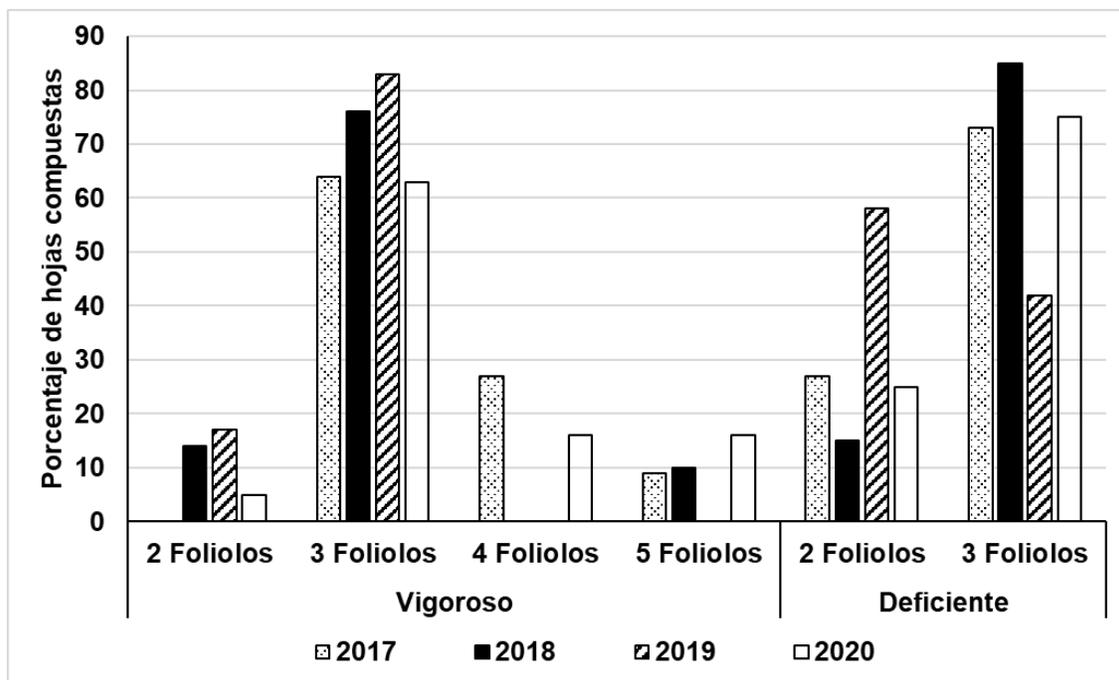


Figura 4. Porcentajes del número de folíolos de las hojas compuestas, en juveniles de *B. mexicana* con desarrollo vigoroso y deficiente, durante cuatro años de estudio bajo condiciones de invernadero.

5.3 Desarrollo anual

El crecimiento de los juveniles mostró variaciones de tamaño, con un aumento en diámetro y longitud durante los meses de junio a octubre y una reducción en los meses posteriores.

Vigoroso. En junio inició el crecimiento anual y la formación de las hojas, las cuales son pequeñas y su peciolo es reducido. Los juveniles presentaron una variación en la altura promedio (Tabla 2). Por ejemplo, en junio la altura fue de 23.92 ± 4.55 mm y en octubre, que es el mes en el cual alcanzan su tamaño máximo, midieron 19.8 ± 4.4 mm. En cuanto al diámetro la variación es menor, por ejemplo, en junio midieron 8.27 ± 1.65 mm y en octubre midieron 9.94 ± 2.79 mm. Estas variaciones, particularmente en la altura, ocurren por la dinámica de crecimiento de las hojas, las cuales presentan la base del peciolo reducida al inicio y se va alargando y ensanchando paulatinamente, pero cuando la hoja cae, la base del peciolo se contrae en longitud y en ancho; la altura y el diámetro de la planta están dados por la acumulación de los peciolos en la zona apical. En las hojas activas (verdes) los entrenudos

tienen mayor longitud que en las zonas con hojas senescentes (cafés) o en donde solo queda la base del peciolo (Figura 5).

Tabla 2. Desarrollo anual del diámetro (mm), la altura (mm) y foliación promedio (\pm desviación estándar) en juveniles de vigorosos *B. mexicana* bajo condiciones *ex situ*.

Mes	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Hojas totales	Hojas Simples	Hojas Compuestas
Junio	23.9 \pm 4.6	8.3 \pm 1.7	2.2 \pm 1.3	0.8 \pm 1.2	1.4 \pm 1.3
Julio	27.7 \pm 5.2	8.3 \pm 1.7	2.9 \pm 1.5	0.9 \pm 1.3	2 \pm 1.5
Agosto	20.4 \pm 5	8.1 \pm 1.7	3.3 \pm 1.8	1.2 \pm 1.4	2.1 \pm 1.4
Septiembre	18.6 \pm 4.6	8.5 \pm 1.5	3.3 \pm 2	1 \pm 1.4	2.3 \pm 1.6
Octubre	19.8 \pm 4.4	9.9 \pm 2.8	3.1 \pm 1.7	0.8 \pm 1.2	2.3 \pm 1.7
Noviembre	19.1 \pm 4.5	9.7 \pm 2.2	2.4 \pm 1.4	0.5 \pm 0.7	1.9 \pm 1.5
Diciembre	17.7 \pm 4.5	8.9 \pm 1.9	1.8 \pm 1.9	0.3 \pm 0.6	1.6 \pm 1.8
Enero	17.9 \pm 5.1	9.3 \pm 2.1	1.1 \pm 1.7	0	1.1 \pm 1.7
Febrero	18.3 \pm 4.6	8.8 \pm 2	0.1 \pm 0.3	0.1 \pm 0.3	0.1 \pm 0.3
Marzo	18.1 \pm 5.3	8.5 \pm 2.1	0.1 \pm 0.3	0	0.1 \pm 0.3
Abril	17.9 \pm 4.3	8.7 \pm 1.9	0.1 \pm 0.5	0	0.1 \pm 0.5
Mayo	18.3 \pm 4.7	8.3 \pm 1.8	0	0.2 \pm 0.8	0

Deficiente. El desarrollo es igual al de los juveniles vigorosos respecto a la temporalidad y variación en tamaño. Sin embargo, las plantas son más pequeñas, con 18.3 \pm 4.2 mm de altura y 5.4 \pm 0.9 mm de diámetro en junio, mes en el cual inicia en crecimiento y foliación anual. Mientras que en octubre que es el mes en el cual los juveniles han alcanzado su tamaño y foliación máxima, presentan 9.8 \pm 2.9 mm de altura y 5.4 \pm 1.1 mm de diámetro (Tabla 3).

Tabla 3. Desarrollo anual del diámetro (mm), la altura (mm) y foliación promedio (\pm desviación estándar) en juveniles con vigor deficiente de *B. mexicana* bajo condiciones *ex situ*.

Mes	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Hojas totales	Hojas Simples	Hojas Compuestas
Junio	18.3 \pm 4.2	5.4 \pm 0.9	0.7 \pm 0.9	0.4 \pm 0.6	0.2 \pm 0.6
Julio	21.4 \pm 4.1	5.5 \pm 1.1	1.1 \pm 1.3	0.8 \pm 1.1	0.3 \pm 0.7
Agosto	10.3 \pm 3.9	5.4 \pm 1.2	1.3 \pm 1.4	0.8 \pm 0.1	0.4 \pm 1

Septiembre	9.9 ± 2.5	5.7 ± 0.9	1.2 ± 1.4	0.9 ± 1.2	0.3 ± 0.8
Octubre	9.8 ± 2.9	5.4 ± 1.1	1.0 ± 1.2	0.8 ± 1.1	0.3 ± 0.7
Noviembre	9.8 ± 2.9	5.6 ± 1	0.9 ± 0.9	0.8 ± 0.9	0.03 ± 0.2
Diciembre	10 ± 2.9	5.6 ± 1.1	0.6 ± 0.7	0.5 ± 0.7	0.1 ± 0.3
Enero	10 ± 2.8	5.2 ± 1.4	0.4 ± 0.5	0.3 ± 0.5	0.1 ± 0.3
Febrero	9.4 ± 3.4	5.2 ± 1.3	.03 ± 0.2	0 ± 0.2	0
Marzo	9.1 ± 4.2	4.8 ± 1.4	.03 ± 0.2	0 ± 0.2	0
Abril	11 ± 3.1	5.5 ± 1.1	0	0	0
Mayo	11.5 ± 2.9	5.3 ± 1.3	0	0.1 ± 0.3	0.2 ± 0.8

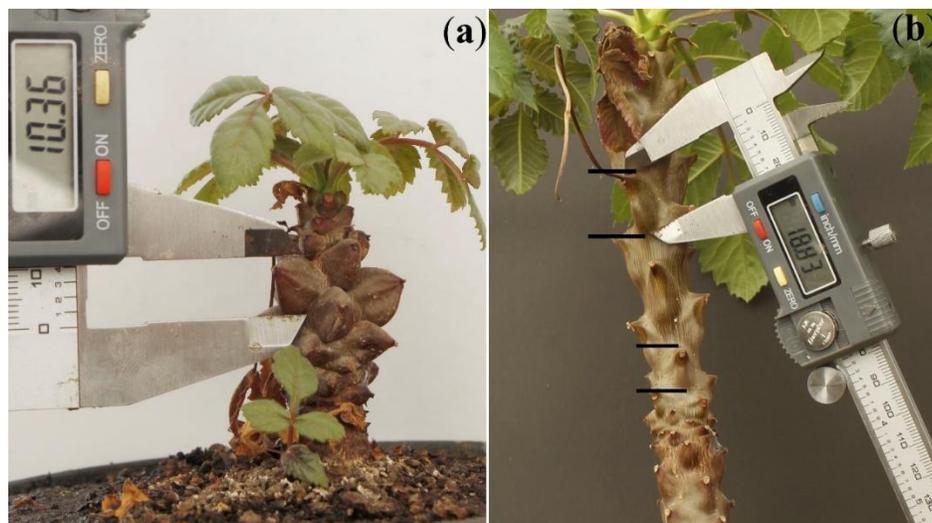


Figura 5. Diferencias en el tamaño de la base del peciolo de una planta juvenil (a) y una estaca en etapa vegetativa (b) de *B. mexicana* en condiciones *ex situ*. Las bases son más pequeñas hacia la base del tallo.

Se observó una diferencia en el desarrollo anual entre los juveniles con desarrollo vigoroso y los juveniles deficientes. Las plantas vigorosas fueron más grandes en diámetro ($t=19.59$, $P < 0.0001$, $GL=11$, $n= 12$) y altura ($U= 16$, $P= 0.0007$, $n= 12$); también desarrollaron una mayor cantidad de hojas totales ($t= 4.564$, $P= 0.0004$, $GL= 11$, $n= 12$). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en ambos lotes respecto a la cantidad de hojas simples ($U= 69$, $P= 0.8844$, $n=12$). Nuevamente los juveniles vigorosos en etapa vegetativa presentaron una

mayor cantidad de hojas compuestas ($U= 24$, $P= 0.0043$, $n= 12$) y un mayor número de folíolos en éstas ($t= 4.802$, $P= 0.0003$, $GL= 11$, $n= 12$). (Figura 6).

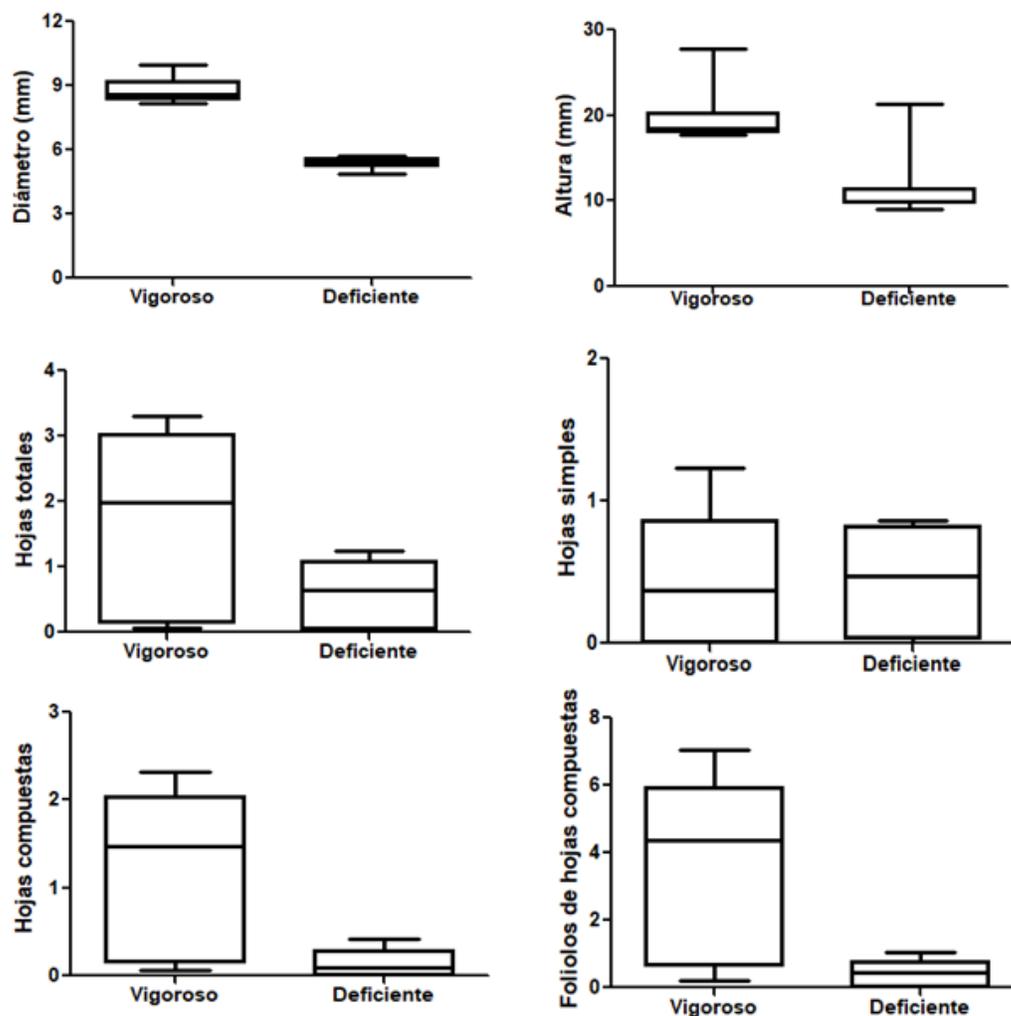


Figura 6. Diferencia en el diámetro, altura y foliación promedio anual en juveniles de *B. mexicana* en condiciones *ex situ* con desarrollo vigoroso y deficiente.

5.4 Relación entre crecimiento y foliación

En los juveniles vigorosos se encontró que conforme aumenta el diámetro también lo hace la altura ($r_s= 0.45$, $P= 0.0002$, $n= 64$). También se observó que a medida que aumenta el diámetro hay una mayor cantidad de hojas compuestas y un mayor número de folíolos, esta relación no fue significativa entre el diámetro y la cantidad de hojas simples. Visualmente las plantas son

más grandes, tienen una coloración intensa en sus hojas que van de tonalidades rojizas con verde y en su tallo el cual es succulento, de coloración marrón rojizo, ceroso con peciolo son alargados que lucen turgentes y saludables, desarrollan bifurcaciones en el tallo y tienen raíces más grandes y profundas (Tabla 4, Figura 7).

Los juveniles deficientes presentaron el mismo comportamiento en cuanto a diámetro y altura ($r_s = 0.19$, $P < 0.0001$, $n = 416$). Asimismo, se observó que las plantas con mayor diámetro desarrollaron más hojas compuestas y más foliolos, pero la cantidad de hojas simples no se relacionó con el diámetro. Las plantas lucen pequeñas, con una coloración opaca, tienen una menor turgencia en el tallo y no desarrollan bifurcaciones, los peciolo son pequeños y pegados al tallo, mientras que sus raíces son pequeñas y menos profundas (Tabla 4, Figura 7).

Tabla 4. Valores de correlación de Spearman (r_s) y su significancia entre el diámetro de juveniles de *B. mexicana* con desarrollo vigoroso y desarrollo deficiente.

Variables	Vigoroso			Deficiente		
	r_s	P	Signif.	r_s	P	Signif.
Diámetro vs Hojas totales	0.16	0.195	NS	0.049	0.318	NS
Diámetro vs Hojas simples	-0.13	0.31	NS	-0.066	0.180	NS
Diámetro vs Hojas compuestas	0.31	0.014	*	0.263	< 0.0001	***
Diámetro vs Foliolos totales	0.32	0.009	**	0.274	< 0.0001	***

NS= no significativo, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ y *** $P < 0.001$



Figura 7. Juveniles de *B. mexicana* en condiciones ex situ, (a) individuo vigoroso y (b, c) individuos deficientes.

6. DISCUSIÓN

La foliación en *B. mexicana ex situ*, se presenta de junio a octubre, esto coincide con lo que ocurre *in situ* (Martínez, 2016). Es decir, la foliación es típica de una planta caducifolia, con la presencia de hojas determinada por la temporada de lluvias (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2021). Este patrón es similar al de otras Burseráceas como *Bursera simaruba* y *B. tomentosa* (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2021), otras especies de *Bursera* y *Commiphora* (Daly *et al.*, 2022), y otras especies típicas del BTC como *Fouquieria* spp., *Euphorbia schlechtendalii*, *Ceiba* spp., *Cercidium* spp., *Jatropha* spp., y *Acacia coulteri* (González, 2012). La sincronización de la foliación con la llegada de las lluvias significa el desarrollo de mayores defensas mecánicas como un aumento en la dureza, la producción de tricomas y fibras y químicas como taninos, fenoles, saponinas y cianogénicos para tolerar la herbivoría (Protomastro, 1988).

Respecto a la senescencia de las hojas, ocurrió de marzo a mayo, meses en los cuales tiene lugar la temporada seca en Aquila (Forman *et al.*, 1989; Martínez, 2016) y en Santa María Ostula (Villalobos, 2021), evidenciando una estrategia de resistencia a la sequía, ya que existe una pérdida en el follaje al término de la temporada de lluvias (González, 2012). La sequía es el estrés ambiental que más afecta la productividad en los cultivos, así como el establecimiento, supervivencia y crecimiento de las plantas, ya que altera las relaciones hídricas reduciendo su eficiencia. Debido a esto las plantas que habitan ambientes contrastantes con una temporada seca prolongada han desarrollado adaptaciones morfoanatómicas y fisiológicas para tolerar estas condiciones adversas (Farooq *et al.*, 2012; González, 2012; Vilagrosa *et al.*, 2012).

B. mexicana presenta varias de estas estrategias de resistencia al estrés hídrico tales como, escape y evitación de la sequía con una latencia vegetativa y hojas pequeñas como mecanismos adaptativos. También desarrolla tallos fotosintéticos, tejidos parenquimáticos almacenadores de agua, cubiertas protectoras y cerosas, una cutícula gruesa con resinas, aceites y sílice, una reducción o pérdida de la superficie foliar, hojas caducifolias, así como un crecimiento adaptado a la temporada de lluvias y un letargo en la temporada seca. A pesar de dichas adaptaciones, en el presente estudio se observó que, aun cuando se proporcionaron las mismas condiciones abióticas *ex situ*, hubo plantas con un desarrollo deficiente y en

consecuencia una baja supervivencia. Al término de la temporada de lluvias *B. mexicana* tira sus hojas para reducir la pérdida de agua, tener un mejor aprovechamiento y distribución de los recursos para su desarrollo (De Micco y Aronne, 2012).

A pesar de que *B. mexicana* tuvo un riego constante perdió las hojas desde el primer año de vida, esto indica que es una planta caducifolia estricta. En muchas especies las hojas se conservan si se mantienen las condiciones de humedad, a estas se les conoce como caducifolias facultativas, en caso de que tiren las hojas se les conoce como caducifolias estrictas. Este fenómeno se ha estudiado en otras plántulas leñosas como *Tabebuia rosea*, *Pseudobombax septenatum*, *Calophyllum longifolium*, *Ouratea lucens*, *Licania platypus* y *Virola surinamensis* (Engelbrecht y Kursar, 2003; Tyree *et al.*, 2003).

En *B. mexicana*, el número de foliolos aumentó año con año, sin embargo, los juveniles vigorosos presentaron un máximo de cinco foliolos por hoja. No obstante, la revisión de los herborizados indica que el número de foliolos en el adulto es de 11, esto sugiere que los juveniles aún deben crecer mucho tiempo para lograr desarrollar la hoja adulta, y dado que el crecimiento es lento, pueden pasar muchos años para llegar a dicha etapa. La presencia de hojas simples en los juveniles de ambos lotes no es rara, ya que en las estacas y en los adultos también se encuentran (observación personal). Sin embargo, son más frecuentes en los juveniles deficientes. En los adultos y las estacas las hojas simples aparecen al inicio de la foliación, pero no crecen ni dividen la lámina, este fenómeno debería ser estudiado para encontrar sus causas o su función.

Las plantas con un desarrollo vigoroso presentaron una mayor cantidad de hojas compuestas comparado con las deficientes. Esto es similar en plántulas de frijol y puede atribuirse al vigor de las semillas, ya que de este depende el establecimiento exitoso de las plántulas. Las semillas de vigor alto producirán más plántulas normales con tasas elevadas de crecimiento (Celis-Velázquez *et al.*, 2008; Pérez y Pita, 2001).

De manera general los juveniles de *B. mexicana* registraron un crecimiento anual muy reducido como sucede en otras especies. La literatura indica las especies arbóreas tropicales tienen un crecimiento muy bajo y no presentan un patrón definido (Sánchez, 2018; Pineda-Herrera *et al.*, 2016). Tal es el caso de *Bursera copallifera*, *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia*

bilimekii y *Lysiloma divaricata* quienes presentan un crecimiento promedio anual lento, con un incremento en el diámetro menor a un centímetro (Sánchez, 2018).

Se observó que de noviembre a mayo los juveniles presentaron un letargo del cual no todos se recuperaron y eventualmente murieron, estos meses coinciden con la duración de la temporada seca *in situ* (Martínez, 2016). Esto puede ser debido a la cavitación del xilema, lo cual ocasiona embolia vascular y la pérdida de conductividad hidráulica irreversible ya que no todas las especies toleran este tipo de estrés que ocasiona la muerte progresiva de los brotes y de toda la planta. Este es el caso de plántulas de *Bursera biflora*, *B. cuneata*, *B. submoniliformis*, *B. morelensis* y *B. schlechtendalii* (Serrano, 2018). También ocurre en adultos de otras especies tropicales como *Calophyllum longifolium*, *Licania platypus*, *Ouratea lucens* y *Dipterix panamensis* (Tyree *et al.*, 2003; Vilagrosa *et al.*, 2012).

Durante la temporada seca en los juveniles de *B. mexicana* se compacta el tallo dando como resultado un decrecimiento. Este tipo de crecimiento también lo presenta *Tabebuia rosea* ya que tiene un mayor crecimiento en la temporada de lluvias y decrece en la época seca, esto se debe a la estimulación de la actividad del cambium vascular por el estrés hídrico (Pineda-Herrera *et al.*, 2016). En la temporada seca, las plantas del BTC pierden turgencia en las células del cambium vascular, y parénquima asociado al tejido vascular (Sánchez, 2018). Esto puede ocasionar embolias en las plantas, de tal manera que es posible que los juveniles de *B. mexicana* con desarrollo deficiente, que reducen su diámetro a más de la mitad del crecimiento anual mueran en los meses de febrero a mayo, pues no toleran estos cambios tan drásticos.

El periodo entre la germinación y el establecimiento exitoso de un juvenil es sumamente vulnerable, ya que en este lapso existe una mortalidad alta. La planta necesita alcanzar su porte máximo y tolerar las condiciones adversas del medio, tales como el estrés hídrico, altas temperaturas, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de plagas y enfermedades (Kitajima y Fenner, 2000; Muñoz *et al.*, 2015). A pesar de la importancia que tiene conocer estos periodos existen muy pocos estudios fenológicos durante las primeras etapas de desarrollo en la vegetación arbórea tropical. (Engelbrecht y Kursar, 2003; Serrano, 2018).

Por otro lado, en ambientes con una marcada estacionalidad la mayoría de las plantas aumentan su tamaño durante el periodo favorable, además entre más hojas se desarrollen mayor será la capacidad fotosintética y su crecimiento (Carbonell, 2014; Bastarrachea, 2019).

Esto se observó con los juveniles vigorosos de *B. mexicana*, quienes desarrollaron una mayor cantidad de hojas totales, así como hojas compuestas con mayor número de folíolos de junio a octubre y fueron más grandes en diámetro y altura con respecto a los juveniles deficientes. Esto también coincide con lo que ocurre en la vegetación mediterránea (Bastarrachea, 2019).

La relación encontrada entre el tamaño y la foliación en *B. mexicana* permite saber si un vástago ofertado en internet proviene de una semilla o si se trata de una estaca. Cuando proviene de una semilla, no rebasan los 10 cm de altura con un rango de edad entre 5 y 10 años y la cantidad de folíolos en las hojas compuestas será menor a 11. Sin embargo, si el organismo en venta tiene más de 30 cm con una edad entre 5 y 10 años, o presenta gran cantidad de folíolos (más de 5 o 7) por hoja, la probabilidad de que provenga de una estaca es más alta.

7. CONCLUSIONES

- La foliación de *B. mexicana* ocurre de junio a octubre y se detiene de noviembre a mayo a pesar de encontrarse en condiciones controladas, por tanto, se considera una especie caducifolia estricta.
- La cantidad de hojas producidas por plantas vigorosas siempre es mayor que la cantidad producida por plantas deficientes. Un individuo vigoroso de *B. mexicana* puede identificarse por una gran cantidad de hojas compuestas, con un tallo de coloración rojiza, brillante, engrosado, turgente, succulento, con los agujones lignificados, lisos y cerosos. Mientras que un individuo deficiente presenta hojas pequeñas, en su mayoría simples, menos hojas compuestas con menos folíolos, tendrá un tallo delgado, deshidratado, rugoso y de coloración opaca.
- La altura y diámetro de *B. mexicana* presentan variaciones a lo largo del año, una etapa de elongación durante los meses de junio a octubre y una posterior compactación durante noviembre a mayo. Estos cambios en el tamaño coinciden estadísticamente con la foliación.
- Las características de altura, diámetro, número de hojas simples y compuestas y número de folíolos, descritas en este trabajo permiten identificar el vigor de los organismos

juveniles de *B. mexicana*, esta información es útil para el manejo de la especie, contribuyendo a su reproducción y conservación *ex situ*.

- El establecimiento de plántulas y juveniles de *B. mexicana ex situ* es exitoso en condiciones de invernadero. Este es el primer estudio enfocado al crecimiento y foliación de una especie microendémica del BTC, en peligro de extinción, antigua, de gran importancia filogenética y con alto potencial en la medicina.

8. LITERATURA CONSULTADA

- Arbo, M.M y González, A.M. (2019). La hoja. En (Arbo, M.M y Ferrucci, M.S Eds.), *Botánica Morfológica Morfología de plantas vasculares* (Pp 26-30). México: Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.
- Barbosa, D. C. D. A., Alves, J. L. D. H., Prazeres, S. D. M., y Paiva, A. M. A. (1989). Datos fenológicos de 10 especies arbóreas de una área de caatinga (Alagoinha-PE). *Acta Botanica Brasilica*, 3(2), 109-117.
- Barchuk, A. H., Campos, E. B., Oviedo, C., y Díaz, M. D. P. (2006). Supervivencia y crecimiento de plántulas de especies leñosas del Chaco Árido sometidas a remoción de la biomasa aérea. *Ecología austral*, 16(1), 47-61.
- Bastarrachea, A. R. (2019). Asociación entre fenología foliar, crecimiento de tallos y patrones espectrales foliares en diez especies de vegetación mediterráneas.
- Becerra, JX, Noge, K., Olivier, S. y Venable, DL (2012). La monofilia de *Bursera* y su impacto en los tiempos de divergencia de Burseraceae. *Taxón* , 61 (2), 333-343.
- Berdugo-Lattke, M. L., y Rangel-Ch, J. O. (2015). Composición florística del bosque tropical seco del santuario “Los Besotes” y fenología de especies arbóreas dominantes (Valledupar, Cesar, Colombia). *Colombia forestal*, 18(1), 87-103.
- Carbonell Silletta, L. M. (2014). Patrones de foliación, rasgos foliares y crecimiento de tres especies leñosas y su relación con variables climáticas en un área de bosque seco del centro de Argentina.
- Celis-Velázquez, R., Peña-Valdivia, C. B., Luna-Cavazos, M., Aguirre-Rivera, J. R., Carballo-Carballo, A., y Trejo-López, C. (2008). Variabilidad morfológica seminal y del vigor inicial de germoplasma mejorado de frijol. *Agronomía mesoamericana*, 19(2), 179-193.
- CONABIO. (2021). Selvas secas consultado en <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca>
- Cué-Bär E. M., Villaseñor, J. L., Amezcua, L. A., Tenorio, G. C., y Manríquez, G. I. (2006). La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (78), 47-81.

- Daly, D. C., Perdiz, R. O., Fine, P. V., Damasco, G., Martínez-Habibe, M. C., y Calvillo-Canadell, L. (2022). A review of Neotropical Burseraceae. *Brazilian Journal of Botany*, 1-35.
- De Micco, V., y Aronne, G. (2012). Morpho-anatomical traits for plant adaptation to drought. In *Plant responses to drought stress* (pp. 37-61). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Engelbrecht, B. M., y Kursar, T. A. (2003). Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. *Oecologia*, 136(3), 383-393.
- Tyree, M. T., Engelbrecht, B. M., Vargas, G., y Kursar, T. A. (2003). Desiccation tolerance of five tropical seedlings in Panama. Relationship to a field assessment of drought performance. *Plant physiology*, 132(3), 1439-1447.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., y Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress*, 1-33.
- Forman, L. L., Brandham, P. E., Harley, M. M., y Lawrence, T. J. (1989). *Beiselia mexicana* (Burseraceae) and its affinities. *Kew bulletin*, 1-31.
- Gamboa-deBuen, A, Burgeff d'Hont, C y Zúñiga, S. E. (2016). Capítulo I. Cambio de la fase vegetativa a la reproductiva. En: Márquez-Guzmán J, Collazo, OM, Martínez GM, Orozco SA y Vázquez SS (Eds.). *Biología de angiospermas*, México, Pp 325-327.
- García, C. F y Collazo, O. M. (2016). Capítulo II. Crecimiento, desarrollo y morfogénesis. En: Márquez-Guzmán J, Collazo, OM, Martínez GM, Orozco SA y Vázquez SS (Eds.). *Biología de angiospermas*, México, Pp 161-165.
- González, M. F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Instituto Nacional de ecología.
- González, M. F. (2016). Capítulo II. Tipos de vegetación de México. En: Márquez-Guzmán J, Collazo, OM, Martínez GM, Orozco SA y Vázquez SS (Eds.). *Biología de angiospermas*, México, Pp 454-464.
- Hernández-Rodríguez, Z. G., Castro-Moreno, M., González-Esquinca, A. R., y de-la-Cruz-Chacón, I. (2021). Fenología de *Bursera simaruba* y *Bursera tomentosa* en un bosque tropical seco de Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732246-e2732246.
- Interián-Ku, V. M., Vaquera-Huerta, H., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., y Romero-Manzanares, A. (2014). Influencia de factores morfológicos y ambientales sobre el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en un bosque

- tropical caducifolio, en México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(3), 255-270.
- Kitajima, K., y Fenner, M. (2000). Ecology of seedling regeneration. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, (Ed. 2), 331-359.
- Komarov, A. S., Palenova, M. M., y Smirnova, O. V. (2003). The concept of discrete description of plant ontogenesis and cellular automata models of plant populations. *Ecological Modelling*, 170(2-3), 427-439.
- Martínez, P. (2016). *Respuesta germinativa ex situ de Beiselia mexicana (copal de piedra)* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Megías M, Molist P, Pombal MA. (2019). Atlas de histología vegetal y animal. Órganos vegetales. Recuperado (23 de agosto de 2022) de : http://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada_o_v_inicio.php
- Noguera, F. A. (Ed.). (2002). *Historia natural de Chamela*. UNAM.
- Ochoa-Gaona, S., Pérez Hernández, I., y De Jong, B. H. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 657-673.
- Ortiz, J., Hernández, L., y Schöngart, J. (2016). Incremento diamétrico mensual de especies arbóreas relacionado con variables ambientales y fenología en un bosque nublado al sudeste de Venezuela. *Acta Botanica Venezuelica*, 39(1), 1-36.
- Pérez, F., y Pita, J. (2001). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. *SALJEN: Madrid*.
- Pedroni, F., Sánchez, M y Santos, F.A. (2002). Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.--Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 25(2), 183-194.
- Pineda-Herrera, E., Valdez-Hernández, J. I., y Pérez-Olvera, C. D. L. P. (2016). Crecimiento en diámetro y fenología de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. en Costa Grande, Guerrero, México. *Acta universitaria*, 26(4), 19-28.
- Pineda-Herrera, E., Valdez-Hernández, J. I., y López-López, M. Á. (2012). Fenología de *Schizolobium parahyba* y *Vochysia guatemalensis* en una selva alta perennifolia de Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 90(2), 185-193.

- Protomastro, J. J. (1988). *Fenología y mecanismos de interacción en el bosque de quebracho colorado, blanco, y mistol* (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, Argentina).
- Proyecto de modificación del anexo normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 consultado en la página de internet: http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5534594&fecha=13/08/2018&print=true
- Rivera, G. (2018). Variación temporal de la actividad antimicrobiana de *Beiselia mexicana* (Forman) (Burseraceae) (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Roldán, A. I., y Larrea, D. M. (2003). Fenología de 14 especies arbóreas y zoócoras de un bosque yungeño en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 38(2), 125-140.
- Rzedowski, J. y Calderón G. 2013. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del Bosque Tropical Caducifolio de México. *Acta Botánica Mexicana*. 102: 1-23.
- Sánchez Hernández, M. Á. (2018). Estructura, crecimiento y dinámica de la selva baja caducifolia en el Ejido El Limón, Morelos.
- SEMARNAT. (2014), Solicitud de inclusión a la NOM-059-SEMARNAT de la especie *Beiselia mexicana* Forman. Recurso en línea: <http://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/17979/mir/38451/anexo/1732780>
- Serrano, R. I. (2018). Diferenciación de los sistemas vascular y de defensa en plántulas del género *Bursera* (Burseraceae)(Tesis). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México, México.
- Sosa, V., De-Nova, JA y Vásquez-Cruz, M. (2018). Historia evolutiva de la flora de México: Bosques secos cunas y museos de endemismo. *Revista de Sistemática y Evolución*, 56 (5), 523-536.
- Torres, O. G. V., Mendoza, M. D. L. N. R., Téllez, L. I. T., y González, G. A. (2001). Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana*, 19(1), 97-102.
- Trejo, I. y Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological conservation*, 94(2), 133-142

- Vilagrosa, A., Chirino, E., Peguero-Pina, J. J., Barigah, T. S., Cochard, H., y Gil-Pelegri, E. (2012). Xylem cavitation and embolism in plants living in water-limited ecosystems. In *Plant responses to drought stress* (pp. 63-109). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Villalobos, S. D. (2021). Germinación in situ de *Beiselia mexicana* (Burseraceae)(Tesis). Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.
- Williams-Linera, G., y Meave, J. (2002). Patrones fenológicos. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*, 591-624.
- Zlotnik, E. A y Ponce, S. M. (2016). Capítulo IV. La hoja. En: Márquez-Guzmán J, Collazo, OM, Martínez GM, Orozco SA y Vázquez SS (Eds.). *Biología de angiospermas*, México, Pp 48-50.