



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación inicial de una plantación de copales
(*Bursera copallifera* y *B. bipinnata*) en Tepoztlán,
Morelos, México**

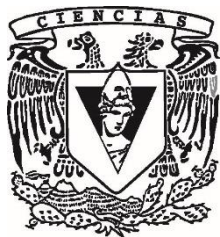
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

DIANA ELIZABETH HERNÁNDEZ GARCÍA



DIRECTORA DE TESIS:

**DRA. MA. DEL CONSUELO BONFIL SANDERS
Cd. Mx. 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.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada con el apoyo del proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IN218815 Investigación para la restauración ecológica de los bosques tropicales secos, del cual se obtuvieron los recursos para el trabajo de campo y una beca de cinco meses para conclusión de estudios de licenciatura. A Pedro E. Mendoza Hernández y Bruno Barrales Alcalá por su ayuda en el trabajo de campo.

Agradecimientos personales

A mamá y papá: Rosalía y Arturo gracias por motivarme y apoyarme en todos los aspectos. Los amo.

A mis hermanas Andrea y Sandra, por crecer juntas y compartir esta vida.

A Daniel, por ser mi compañero de vida, por impulsarme y nunca soltarme.

Mi más sincero agradecimiento a mi asesora la Dra. Consuelo por todo el aprendizaje, por su apoyo y paciencia.

A las personas que me brindaron aprendizajes, ayuda y compañía para transitar y concluir este camino académico.

Índice

Resumen	1
Introducción	3
Aspectos socioeconómicos del aprovechamiento del copal	5
Propagación y establecimiento de plantaciones de copales en el Bosque Tropical	
Caducifolio	7
Conocimiento ecológico de los copales	8
Objetivos	11
General	11
Particulares	11
Métodos	12
Zona de estudio	12
Condiciones ambientales	14
Especies de estudio	15
Establecimiento de la plantación experimental	18
Evaluación de la supervivencia	19
Evaluación del crecimiento en campo	20
Análisis clásico de crecimiento	21
Resultados	23
Propagación a través de semillas	23
Propagación por estacas	24
Supervivencia de estacas y plántulas	24
Crecimiento en campo	26
Análisis clásico de crecimiento	27
Biomasa inicial y asignación de biomasa	27
Biomasa final y asignación de biomasa	29
Asignación de biomasa a los distintos órganos y tasa de crecimiento relativo	31
<i>Estacas</i>	31
<i>Plántulas</i>	32
Supervivencia y crecimiento de plantas de <i>Bursera copallifera</i> de distintas edades .	33
Supervivencia	33

Crecimiento en campo	34
Incremento de biomasa y tasa de crecimiento relativo	35
Discusión	36
Propagación	36
Estacas y plántulas	37
Supervivencia	37
Crecimiento	40
Plantas de <i>Bursera copallifera</i>	42
Consideraciones finales	45
Literatura citada	47

Resumen

El copal es una resina que se usa en ceremonias religiosas y culturales; se extrae principalmente de árboles de *Bursera bipinnata* y *Bursera copallifera*, especies que se distribuyen en los Bosques Tropicales Caducifolios (BTC) de México. El aprovechamiento de la resina se realiza directamente de poblaciones silvestres, pero es posible establecer plantaciones. El objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad de una plantación de copales, a través de monitorear y comparar la supervivencia y el crecimiento de plantas de *B. bipinnata* y *B. copallifera* obtenidas por dos métodos de propagación (estacas o semillas) en un BTC secundario en el norte de Morelos. También se comparó el desempeño de plantas de diferentes edades (plantas de 1 año y plántulas) de *B. copallifera* obtenidas a partir de semillas.

En agosto de 2016 se introdujeron ~157 plantas y se registró el crecimiento (altura, área basal y cobertura) en campo mensualmente a lo largo de un año. Se realizaron dos cosechas destructivas (una al inicio y otra al final del estudio) para analizar el crecimiento y la asignación de biomasa de las plantas. La supervivencia se registró mensualmente de 2016 a 2017, y en agosto de 2018 se realizó un último registro de supervivencia.

Al final del primer año, las estacas de ambas especies tuvieron una mayor supervivencia (*B. bipinnata* 86 % y *B. copallifera* 69 %) que las plántulas (63 y 58 % respectivamente). En el segundo año las estacas de *B. bipinnata* registraron el mayor porcentaje de supervivencia (65 %), el resto de las plantas presentó porcentajes menores al 15 %. Se registraron diferencias significativas en el crecimiento entre plántulas y estacas, debido a que las segundas conservaron valores promedio de altura, área basal y cobertura mayores a lo largo del todo el período; solo hubo diferencias entre especies en la altura, que fue mayor en las estacas de *B. bipinnata* que en las de *B. copallifera*.

Los valores iniciales de biomasa de los distintos órganos difirieron con el método de propagación (estacas y plántulas), y se registraron diferencias entre especies en las estacas, ya que la biomasa de las raíces y de las hojas, la proporción de raíces finas y el área foliar fueron mayores en *B. copallifera* que en *B. bipinnata*. En las plántulas estas variables no difirieron, con excepción de la proporción de raíces finas, que fue mayor en las de *B. copallifera*, y del AFE, que fue mayor en las de *B. bipinnata*. El cociente R/V fue mayor en

plántulas que en estacas. La biomasa final se analizó por separado en estacas y plántulas. En las estacas, el cociente R/V fue mayor en *B. copallifera* que en *B. bipinnata* y el área foliar, así como el incremento relativo en la biomasa del tallo fueron mayores en *B. bipinnata* que en *B. copallifera*. En las plántulas no se presentaron diferencias significativas entre especies. La tasa relativa de crecimiento (TRC) no difirió significativamente entre especies ni en las estacas ni en las plántulas.

La supervivencia de *B. copallifera* de 2016 a 2017 fue mayor en las plantas de un año que en las de tres meses (71 % vs 58 %, respectivamente), y estas diferencias se incrementaron de 2017 a 2018 (39 % vs 7 %, respectivamente). En las distintas variables de crecimiento no se presentaron diferencias significativas

Las altas tasas de supervivencia registradas pueden deberse en parte al clima relativamente benigno de la zona de estudio, que es más húmedo que el de otros BTC, y a la ausencia de disturbios. Se concluye que, en general, las estacas de ambas especies presentaron un mejor desempeño que las plántulas, y la supervivencia fue mayor en las estacas de *B. bipinnata* que en las de *B. copallifera*. Los resultados de este estudio contribuyen a sentar las bases para el establecimiento de plantaciones productivas que contribuyan a mejorar el ingreso de los productores rurales que extraen copal, así como a integrar a las especies de estudio en sistemas agroforestales o en proyectos de restauración ecológica en los BTC.

Introducción

El copal es una resina que, al quemarse, desprende un humo de color blanco con un aroma muy agradable. El nombre proviene de la palabra náhuatl *copalli*, que significa “que huele”; este humo se consideraba una deidad protectora de nombre *Iztacteteo*, que significa “dios blanco” (CONABIO, 2008). El copal se usaba en la época prehispánica como incienso y ofrenda para las deidades relacionadas con la lluvia (*Tláloc*) y las cosechas (*Chalchiuhtlicue*). También se utilizaba como pegamento y pintura en la decoración de los templos, como remedio para contrarrestar enfermedades relacionadas con el frío y para realizar sahumerios (Linares y Bye, 2008; Purata, 2008; Montúfar-López, 2016).

Actualmente el copal es ampliamente usado como incienso en ceremonias tradicionales de carácter religioso y cultural, especialmente en velorios y en día de muertos. En la medicina tradicional, la resina recién extraída se utiliza como antiséptico para tratar heridas y en infusión para tratar la bronquitis y la tos. También se usa en la preparación de bálsamos para aliviar dolores musculares y como cicatrizante (Guízar, 1998; Purata, 2008).

El copal se obtiene del exudado de la corteza de árboles del género *Bursera* (a los que también se denomina copales), principalmente del copal santo o chino (*Bursera bipinnata*) y del copal ancho (*Bursera copallifera*). Aunque se usan las dos especies, el primero es preferido por algunos copaleros por su aroma y textura (Abad, 2019). La resina fluye a través de canales resiníferos arborescentes (Becerra *et al.*, 2001), y contiene principalmente terpenos hidrofóbicos, la mayoría monoterpenos y sesquiterpenos, y compuestos fenólicos (Evans *et al.*, 2000; Orta, 2007; Linares y Bye, 2008).

Las principales zonas productoras de copal en México son Guerrero, la Mixteca poblana y oaxaqueña, Michoacán, y en menor medida el sur de Morelos (Guízar, 1998; García-Hernández, 2000; Linares y Bye, 2008; Montúfar-López, 2016). La resina se extrae durante la temporada de lluvias (julio-octubre), época en que los *copaleros* (personas especializadas en la extracción de la resina) caminan grandes distancias para encontrar árboles de copal sanos y robustos. Evitan usar árboles jóvenes y delgados porque pueden secarse, de forma que seleccionan árboles con un diámetro a la altura del pecho > 10 cm y una altura mínima de 2.5 m (García-Hernández, 2000).

Para comenzar la colecta primero “se calienta” el árbol, para lo cual se realizan de cuatro a siete cortes longitudinales en las ramas, con una cuchilla pequeña llamada *quixala*. Los cortes tienen una longitud de 15 a 25 cm y una profundidad menor a 1 cm; se hacen en forma de abanico y la separación entre cortes debe ser menor a 0.5 cm. Es importante mantener esta separación, de lo contrario el árbol puede “reventar”, es decir secretar resina por todos lados y morir. La resina que fluye es dirigida con hojas de encino hacia una penca de maguey o un recipiente de plástico, donde se va concentrando hasta solidificarse. Las siguientes incisiones se realizan cada tercer día y el número de cortes varía. Esta actividad se conoce como “dar fierro” (Cruz-León *et al.*, 2006; Montúfar, 2016). Los cortes cesan cuando la secreción de resina disminuye considerablemente. Generalmente la extracción dura 30 días, aunque los árboles pueden producir resina hasta tres o cuatro meses. El periodo de máxima secreción es a finales de septiembre y principios de octubre. Se deja descansar a los árboles al menos dos años para evitar que se debiliten, sean atacados por plagas de coleópteros o mueran (Purata, 2008). La forma de recolectar el copal, los instrumentos, así como la eficiencia de la técnica y conservación de los árboles varían de una región a otra; en la mayoría se busca no dañar a los árboles para poder extraer la resina por muchos años (Purata, 2008).

Es posible obtener más de un tipo de resina con diferente calidad, aroma y color. Estas características dependen de la especie y de la forma de obtención (Cruz-León *et al.*, 2006; Purata, 2008; Abad, 2019):

- El copal de penca o copal blanco es el que los copaleros consideran el producto principal, de mayor calidad y el más comercializado.
- La mirra es el copal que queda adherido a la corteza del árbol, cuando ya no manan, al final de la temporada de recolección (diciembre - febrero). Estas secciones pueden medir de 10 a 15 cm y al desprenderse dejan un hueco en la corteza llamado *cala*.
- La goma o copal negro se produce de forma natural, por las picaduras o raspaduras de insectos en la corteza del árbol.
- La lágrima es la resina, que, al escurrir desde los cortes, se queda solidificada en las hojas de encino. Se obtiene una cantidad menor de lágrima.

- El copal de piedra o tecopal, que es recolectado por avispas para edificar sus nidos y se encuentra bajo las rocas.

Aspectos socioeconómicos del aprovechamiento del copal

Los copaleros suelen ser habitantes de localidades de bosques tropicales caducifolios (BTC) que se dedican a la agricultura y la ganadería en pequeña escala, o realizan otros oficios en el sector secundario y terciario, por lo que la recolección de copal representa un complemento de sus ingresos (Abad, 2019). Esta situación es común entre los recolectores de productos forestales no maderables, que se dedican a esta actividad en un periodo específico del año (Arnold y Ruíz-Pérez, 2001). Generalmente comercializan la resina a través de intermediarios que acuden a comprarla a las comunidades, o la venden directamente en los mercados de ciudades más grandes, sobre todo en las principales fiestas religiosas de los poblados aledaños (García-Hernández, 2000; García Martínez, 2012).

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) estableció en 2014 que las comunidades que se dedican a la extracción de copal deben contar con un plan de manejo autorizado y específico para cada comunidad. Inicialmente esto causó algunos problemas para la comercialización del copal, que solo podía venderse legalmente si la comunidad contaba con dicho plan. Sin embargo, más adelante la misma CONAFOR financió estudios dirigidos a la elaboración de los planes de manejo (Abad, 2019; Bonfil *et al.*, 2017). A pesar de los esfuerzos de la CONAFOR por regular el uso del copal, se sigue comercializando de manera informal en las plazas y el precio depende de la habilidad para negociar de los copaleros (Gadea-Noguerón, 2020; Bonfil *et al.*, 2017). Es necesario realizar más investigaciones que permitan regular su explotación y comercialización, de forma que se asegure el mantenimiento de sus poblaciones naturales, así como crear canales de comercialización que impidan que los intermediarios se queden con la mayor parte de las ganancias por la venta de copal.

No existen estimaciones sólidas de los volúmenes de extracción/producción anual a nivel estatal ni nacional, pero existen registros de la venta en determinadas localidades y años. Por ejemplo, en el sureste de Morelos y Oaxaca, en 2013 y 2014 los intermediarios pagaban a los productores \$250 por kilo de copal en penca, y de \$150 a \$200 por el de

lágrima. En esta misma zona el kilo de copal se comercializaba en \$500 en 2017, y en 2018 en \$600; el costo del copal en lágrima era de \$300 y \$400, mientras que la goma se comercializó en \$250 y \$300 respectivamente. Por último, la mirra se vendió en \$50 y \$100 pesos por su menor calidad; generalmente se extrae en pequeñas cantidades y es utilizada para autoconsumo (Cruz-León *et al.*, 2006; Abad, 2019).

El copal, así como otros productos forestales no maderables (PFNM) son medios de subsistencia importantes para los habitantes de diferentes ecosistemas, principalmente tropicales. Por ello, en las últimas décadas han sido más estudiados para promover su manejo con fines de conservación y restauración (Arnold y Ruíz-Pérez, 2001). Al igual que el copal, la mayoría de los PFNM recolectados (52 %) se obtienen de poblaciones silvestres. El mayor porcentaje se extrae del bosque tropical caducifolio (31 %), seguido por el bosque mesófilo de montaña (22 %) y el bosque tropical perennifolio (21 %; Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008; Blancas *et al.*, 2017). Sin embargo, la extracción no regulada de los PFNM puede causar cambios en la supervivencia, crecimiento y reproducción de los árboles y otras formas vegetales, lo que resulta en la alteración de la estructura y dinámica de las poblaciones naturales (Ticktin, 2004).

Si la recolección en las poblaciones silvestres es la única fuente de PFNM, la demanda fluctuante y las malas prácticas de manejo pueden ocasionar una disminución del recurso (Ruíz-Pérez *et al.*, 2004). Por ello, se han realizado diversos esfuerzos para regular su aprovechamiento bajo un enfoque de agroforestería sustentable, que permita a los agricultores mantener sus parcelas agrícolas y ganaderas, e implementar plantaciones de enriquecimiento con las especies de las que obtienen PFNM (Arnold y Ruiz-Pérez, 1998; Leaky *et al.*, 2005). Aunque se han realizado ensayos de propagación y establecimiento de algunas especies del BTC para obtener estos productos, principalmente del cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*; Solares-Arena y Galvés-Cortés, 2002) y el linaloe (*Bursera linanoe*; Gómez-Cárdenas *et al.*, 2009), la información disponible para muchos otros PFNM aún es escasa (Arnold y Ruíz-Pérez 1998, 2001; Schroth *et al.*, 2004; Griscom y Asthon, 2011; Guzmán-Pozos y Cruz-Cruz, 2014.). En este sentido, resulta indispensable ampliar los conocimientos sobre propagación, supervivencia y crecimiento de especies vegetales con interés ecológico y comercial, como los copales (Bonfil y Trejo, 2010).

Propagación y establecimiento de plantaciones de copales en el Bosque Tropical Caducifolio

Las especies vegetales de los BTC enfrentan fuertes limitantes para su regeneración natural, debido a la marcada estacionalidad de las lluvias, las condiciones edáficas adversas que se presentan en muchos sitios, los incendios, y la depredación por roedores o ganado de libre pastoreo (Trejo y Dirzo, 2000; Meli, 2003). Por ello, es importante implementar acciones que permitan contrarrestar estas limitantes, como proteger a los bosques de disturbios periódicos (incendios y ganado), y asegurar fuentes naturales o fomentadas de semillas y/o propágulos de especies que favorezcan la recuperación de la diversidad y funcionalidad del bosque (Gann y Lamb, 2006). En este contexto, el establecimiento de plantaciones de especies nativas en sistemas silvopastoriles y agroforestales contribuye al manejo sustentable de los bosques (Lamb *et al.*, 2005; Blackie *et al.*, 2014; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Además, se facilita la propagación de plantas de especies sucesionalmente tardías, lo que puede acelerar la recuperación de los bosques secundarios en proyectos de restauración ecológica (Parrotta, 1992; Aronson *et al.*, 1993; Carrasco-Carballido *et al.*, 2019).

Los árboles de copal tienen potencial para utilizarse en plantaciones de enriquecimiento de bosques secundarios y en sistemas agroforestales en los BTC (Castellanos-Castro y Bonfil, 2011). Estas plantaciones permiten, mantener una cobertura forestal con especies nativas y mantener diversos servicios ecosistémicos, como la protección de cuencas, la captura de carbono, la conservación de suelo y agua, la regulación del clima local, la conservación de la biodiversidad y de poblaciones de polinizadores, entre otros (Schroth y McNeely, 2011; Rivas-Arancibio *et al.*, 2015; Almazán-Núñez *et al.*, 2016). Por otro lado, las plantaciones de copal podrían brindar beneficios económicos a los habitantes de los BTC, a través de la extracción y venta de la resina. Hasta ahora, la extracción se ha realizado en árboles de poblaciones silvestres, que son fomentadas y manejadas (Abad, 2019; Abad-Fitz *et al.*, 2020), pero los planes de manejo comenzaron a elaborarse e implementarse hace pocos años (Castellanos-Castro y Bonfil 2011) y aún no se han establecido plantaciones con fines productivos.

Debido a la alta demanda de recursos (económicos y de trabajo) que una plantación requiere, es deseable que el establecimiento de los árboles sea exitoso. Diversos ensayos

sugieren que existen diferencias en la supervivencia de las plantas debido a su origen, tamaño inicial y características de las semillas usadas para propagarlas (Grossnickle y MacDonald, 2018; Luna-Nieves *et al.* 2019). Algunas plantaciones realizadas en BTC reportan porcentajes de supervivencia menores al 10 % en plantas pequeñas (con una altura inicial <15 cm y diámetro basal del tallo < 0.5 cm; Tobón, 2005; Barrales 2009; Díaz Martín, 2010). Las principales causas de muerte son el estrés hídrico y las condiciones edáficas adversas, por lo que algunos autores sugieren hacer ensayos con plantas de distintos tamaños obtenidas a partir de diferentes métodos de propagación (Luna, 2008; Barrales 2009; Zahawi y Holl, 2009; Griscom y Ashton, 2011). Esta información permite entender cómo se comporta una especie y el potencial que tiene para utilizarse en la agroforestería, silvicultura y/o acciones de restauración ecológica (Evans, 1999).

Los copales pueden formar parte de estos sistemas agroforestales y otros sistemas productivos en el trópico seco; por lo que es necesaria la investigación para evaluar el desempeño de las plantas obtenidas a partir de diferentes métodos de propagación, así como incorporar los conocimientos técnicos de la población local para generar recursos que permitan orientar la administración y gestión de este recurso forestal y evitar la sobreexplotación de las poblaciones silvestres (Blackie *et al.*, 2014; Abad-Fitz *et al.*, 2020).

Conocimiento ecológico de los copales

Busera bipinnata y *B. copallifera* pertenecen a la sección *Bullockia* del género *Busera*; en ella se encuentran los copales de corteza dura, rugosa y no exfoliante (Rzedowski *et al.*, 2005). Son especies de lento crecimiento y con poca plasticidad (Montes, 2006). Las plántulas de esta sección afrontan el déficit hídrico con el desarrollo de una raíz profunda, una alta proporción de raíces finas y tallos poco densos, que permiten el almacenamiento de agua (Vázquez-Medrano, 2016). A pesar de que se han realizados estudios sobre el crecimiento de estas plantas, no se ha encontrado un tipo de planta que presente un óptimo crecimiento en distintos sitios destinados a la restauración (Díaz Martín, 2010). También se ha reportado que, ante estrés hídrico y perturbaciones, se puede presentar una reducción en el tamaño de las plantas de *Busera* (Castellanos Castro, 2009; Díaz Martín, 2010; Vázquez Medrano, 2016)

Aunque existen algunos estudios sobre germinación y ensayos de propagación de *B. copallifera* y *B. bipinnata* (Bonfil *et al.*, 2008; Ramos-Ordoñez *et al.*, 2012; Hernández-Téllez, 2015), se cuenta con más información de la evaluación de plantaciones experimentales y desempeño en campo de *B. copallifera* (Barrales, 2009; Castellanos-Castro y Bonfil, 2010; Díaz Martín, 2010, Hernández-Ramírez *et al.*, 2015), que de *B. bipinnata*.

Los porcentajes de semillas viables de *B. copallifera* son generalmente altos, aunque varían entre poblaciones (63 a 93 %; Mendoza-Segovia *et al.*, 2022). Se han reportado valores de germinación en campo desde 10 hasta 59.6 %, y en laboratorio de 21 a 40 % (Bonfil *et al.*, 2008; Barrales, 2009; Hernández-Téllez, 2015). En condiciones experimentales y de campo la germinación se incrementa cuando se someten a temperaturas fluctuantes respecto a temperatura constantes (Bonfil *et al.*, 2008; Hernández-Téllez, 2015).

En plantaciones experimentales con plántulas de *B. copallifera* se han registrado porcentajes de supervivencia bajos (de 0 % a 21 %). Se ha observado que las plántulas que se introducen en campo con un desarrollo previo en invernadero presentan una mayor supervivencia que las que se introducen muy pequeñas (Luna, 2008; Barrales, 2009; Díaz Martín, 2010). Una característica importante de las plantas de *B. copallifera* es su capacidad de rebrotar, lo que favorece su presencia en sitios con cierta perturbación (más no en sitios altamente perturbados; Díaz Martín, 2010).

Las principales causas de muerte de las plántulas de *B. copallifera* en condiciones de campo son el estrés hídrico y la herbívora, que se presenta sobre todo durante la temporada seca (Castellanos-Castro, 2009; Díaz Martín, 2010). Se ha observado que la supervivencia y el crecimiento en campo de las plantas propagadas por estacas está estrechamente relacionada con la calidad del sitio. Díaz Martín (2010) comparó el desempeño de plantas propagadas a través de estacas y semillas de esta especie en sitios con diferentes grados de perturbación, y encontró que la supervivencia después de un año fue mayor en las plántulas provenientes de semillas (31.4 %) que en las provenientes de estacas (6.1 %) en un pastizal degradado, mientras que en un bosque secundario no hubo diferencias significativas entre ambas (18.2 % plántulas y 16.1 % estacas). También menciona que usar plantas de un mayor tamaño puede incrementar su supervivencia en campo.

Esta especie tiene una alta capacidad para formar callos y raíces, por lo que su propagación a partir de estacas es altamente viable (Castellanos-Castro y Bonfil, 2013). Este método de propagación podría permitir la obtención de plantas de árboles con características deseables (árboles vigorosos con hojas aromáticas, con resina de color claro y consistencia sólida), que los copaleros asocian con una producción de resina de buena calidad (Abad-Fitz *et al.*, 2020).

Diferentes estudios sugieren que la viabilidad de sus semillas *B. bipinnata* es muy variable. En semillas provenientes de Xochicalco, Morelos, Bonfil *et al.* (2008) reportaron una viabilidad de 12 %; en cambio en semillas provenientes de las localidades de Amatlán y El Limón, Morelos, la viabilidad varió entre 72 y 79 % respectivamente (Mendoza-Segovia, 2017). Los porcentajes de germinación de las semillas de esta especie generalmente son bajos (<11 %; Cajero-Lázaro, 2009; Hernández-Ordoñez *et al.*, 2016), y se sabe que cuando las semillas son expuestas a temperaturas fluctuantes (18 – 32 °C) en lugar de constantes (25 °C), el porcentaje de germinación se incrementa (Bonfil *et al.*, 2008). Otros estudios han demostrado que al aplicar ácido giberélico como tratamiento pregerminativo, se obtiene una germinación de entre 63 y 93% (Orantes-García *et al.*, 2013).

Hernández-Ramírez *et al.* (2015) realizaron un registro de la supervivencia de plántulas de *B. bipinnata* establecidas naturalmente en un BTC de Puebla durante seis meses y registraron una supervivencia alta (70%). Por otro lado, Rivera (2014) indica que el establecimiento de plantas de esta especie se ve favorecido por el nodricismo por plantas de mayor tamaño o rocas, por lo que para favorecer su establecimiento es necesario propiciar sistemas diversificados que no solo conserven el copal, sino que fortalezcan el establecimiento y desarrollo de las especies asociadas a él.

Este contexto muestra que el potencial de establecimiento de plantaciones de *B. copallifera* y *B. bipinnata* varía de acuerdo con el método de propagación que se utilice (semillas o estacas), las condiciones del sitio en donde se establecen las plantaciones experimentales, así como la procedencia de las semillas y del material vegetativo a de cual se obtienen las estacas. Por ello, para establecer plantaciones experimentales de estas dos especies con fines de manejo, es indispensable evaluar cuáles técnicas de propagación permiten obtener una alta supervivencia y un crecimiento adecuado.

Objetivos

General

Evaluar la supervivencia y el crecimiento de plantas de *Bursera copallifera* y *Bursera bipinnata*, provenientes de semillas y de estacas en una plantación experimental, con el fin de evaluar su potencial de establecimiento en plantaciones productivas o de restauración ecológica.

Particulares

1. Evaluar la supervivencia de plantas que provienen de semillas y estacas de *B. copallifera* y *B. bipinnata* durante dos años (2016 — 2018) en una plantación experimental.
2. Comparar el crecimiento anual (2016 — 2017) de plántulas y estacas de *B. copallifera* y *B. bipinnata* en una plantación experimental.
3. Evaluar el efecto de la edad (3 meses y un año) en la supervivencia y crecimiento en campo de plantas de plantas de *B. copallifera* obtenidas a partir de semillas.

Métodos

Zona de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Santiago Tepetlapa, municipio de Tepoztlán, Morelos (18° 57' Lat. N., 99 04'04.5" Long. O; Figura 1). Gran parte del territorio de Tepoztlán pertenece a la Sierra del Chichinautzin y forma parte de la subprovincia fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac de la Faja Volcánica Transversal (Ochoterena, 1978).

Santiago Tepetlapa se encuentra en el piedemonte de dicha sierra y tiene una altura media de 1400 msnm (INEGI, 2009). La geología está conformada por roca ígnea extrusiva del Cuaternario y el relieve endógeno es volcánico (brechas y tobas) con fuerte erosión (DATATUR, 2016; CONANP, 2008). El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, (A)C(w₂), con una temperatura media anual de 20.8 °C y una precipitación anual promedio de 1332.6 mm, que se concentra entre mayo y octubre; la temporada seca tiene una duración aproximada de seis meses (CLICOM, *S.f.*). En la zona predominan dos tipos de suelos: Leptosol y Feozem háplico. El primero es un suelo somero (<25 cm de profundidad) que yace sobre roca dura, o bien es extremadamente pedregoso, mientras que el Feozem háplico se caracteriza por tener horizontes superficiales, con pH neutro; es un suelo pardo y humoso (Herrera, 2011).

La vegetación predominante es el BTC secundario, con diferentes grados de perturbación. En pisos altitudinales superiores se encuentran bosques de encino y de pino-encino (INEGO, 2017). El principal uso de suelo es agropecuario y urbano (INEGI, 2009). La zona de estudio forma parte de la franja urbana que cruza el Corredor Biológico Chichinautzin, y cuyo centro es el poblado de Tepoztlán. Este corredor alberga una gran diversidad biológica y se tiene registro de 785 especies de plantas, que se agrupan en 135 familias (CONANP, 2002). Los géneros de árboles más representativos son *Pinus*, *Quercus*, *Mimosa*, *Lysiloma* y *Bursera* (Bilbatúa, 2019). También se tiene registro de 1348 especies de artrópodos, 315 especies de hongos, 237 de aves, 53 de herpetofauna y 60 de mamíferos (Cayetano-Rosas, 2014; CONANP, 2002).

En Tepoztlán y sus alrededores se presenta un importante cambio de uso de suelo hacia el uso urbano, debido al creciente turismo que acude a esta zona (Calzada *et al.*, 2019;

Romo, 2019). El sitio de estudio es un terreno privado que se vendió como terreno urbano, pero no había sido usado, por lo que se nos permitió usarlo para establecer la plantación. En los alrededores se registra una rápida urbanización, debido a la construcción de casas habitación (Figura 1).

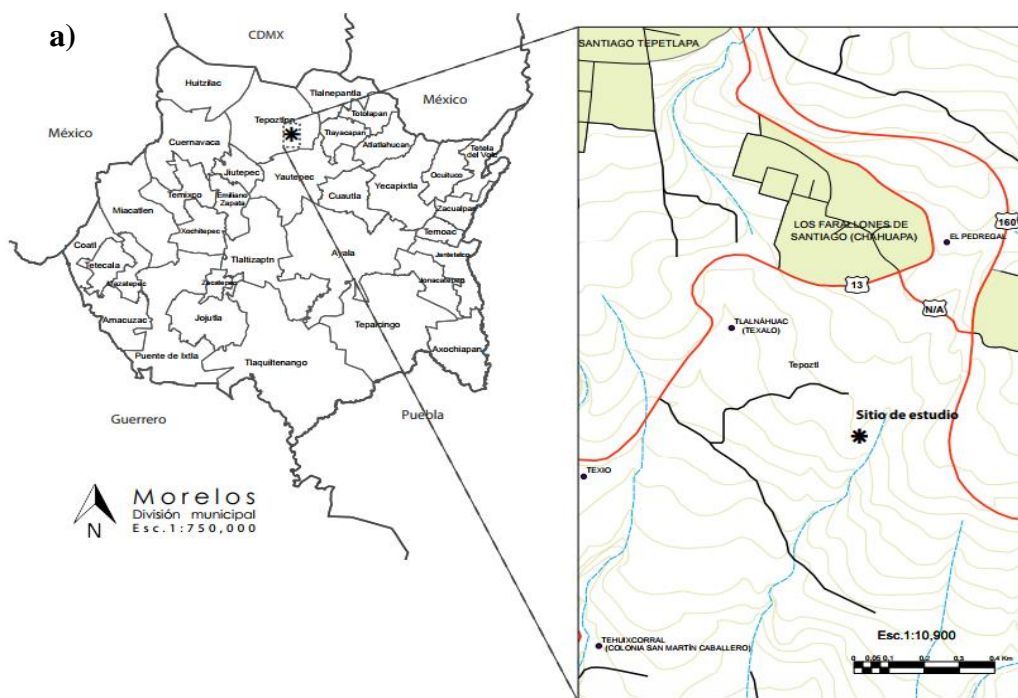


Figura 1. **a)** Localización del sitio de estudio en Santiago Tepetlapan, Tepoztlán, Morelos. **b)** Terreno donde se estableció la plantación.

Condiciones ambientales

Para conocer algunas variables del clima local se colocaron dos sensores de temperatura y humedad relativa (HOBO) en la parcela experimental, uno en cada claro donde se estableció la plantación. La información se registró cada hora durante el año de estudio (agosto 2016 – agosto 2017). La temperatura promedio registrada en ese año fue de 21.7 °C. Los meses más cálidos fueron abril y mayo de 2017, con una temperatura promedio mensual de 26 °C; la temperatura promedio mensual más baja (19 °C) se registró en noviembre de 2016 y enero de 2017. Por otro lado, la temperatura máxima promedio fue de 29 °C en mayo y la mínima promedio de 15 °C en enero de 2017 (Figura 3A).

La humedad relativa (HR) promedio anual fue de 66 %; los promedios mensuales más altos se registraron en septiembre de 2016 y agosto de 2017 (89 %), mientras que el más bajo se presentó en abril de 2017 (30 %). La HR máxima se registró en noviembre de 2016 y en agosto de 2017 (99 %) y la mínima en abril de 2017 (17 %; Figura 3B).

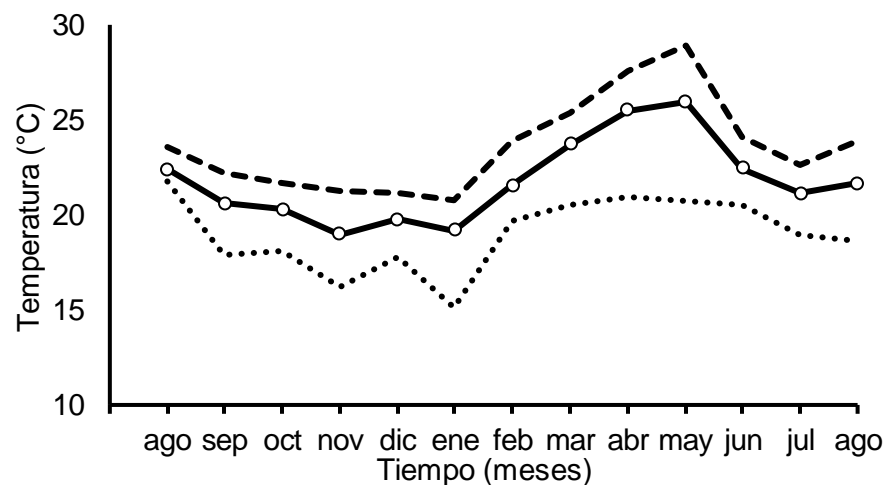


Figura 3A. Temperatura promedio mensual (línea continua), máxima (línea discontinua), y mínima (línea punteada) del sitio de estudio de agosto de 2016 a 2017.

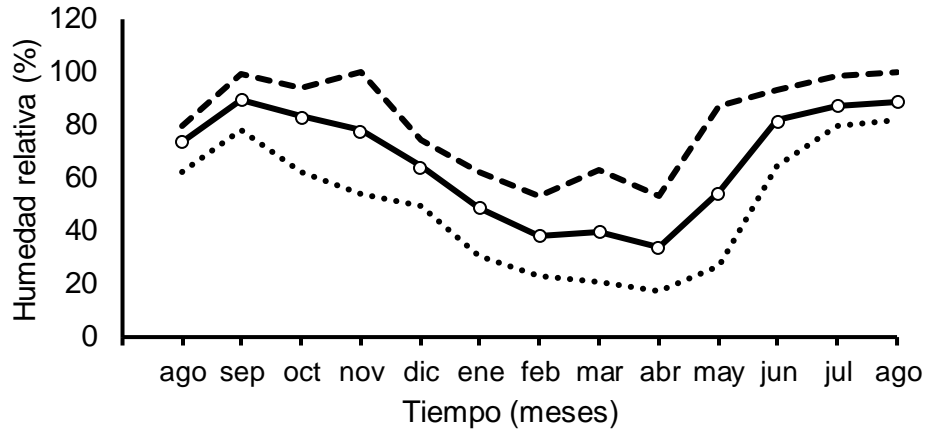


Figura 3B. Humedad relativa promedio mensual (línea continua), temperatura máxima (línea discontinua), y mínima (línea punteada) del sitio de estudio de agosto de 2016 a 2017.

Especies de estudio

Bursera copallifera (Sessé y Moc, ex DC) es un árbol o arbusto dioico y caducifolio, muy ramificado, que alcanza hasta 7 m de altura. El tallo presenta un diámetro a la altura del pecho promedio de ~28 cm. Es de color café rojizo a grisáceo, y su corteza no exfoliante secreta un exudado resinoso aromático (copal). En promedio, las hojas miden de 9 a 17 cm de largo, son imparipinnadas, compuestas por 17 a 29 folíolos elípticos dispuestos en espiral, con haz de color verde y pubescente, y envés amarillo y veloso; presentan raquis alado y densamente pubescente. Las inflorescencias son paniculadas, aglomeradas, tetrámeras y de color amarillo a anaranjado. Los frutos son drupas bivalvadas, elipsoides a elípticas, de color café rojizo, cubiertas parcialmente con un pseudoarilo (Toledo-Manzur, 1982). Los frutos maduros se encuentran entre noviembre y enero, mientras que los frutos inmaduros están presentes de junio a noviembre y las flores en abril y mayo (Núñez-Cruz *et al.*, 2018).

B. copallifera predomina en los BTC y en zonas de transición entre este tipo de bosque y encinares. En el estado de Morelos presenta una amplia distribución, ya que se encuentra en un intervalo amplio de condiciones climáticas: en altitudes de 974 a 1900 m, con temperaturas medias anuales entre 17.7 y 23.6 °C y una precipitación anual de 745 a 1360 mm (Hernández Pérez *et al.*, 2011).

Bursera bipinnata (Sessé y Moc, ex DC) es un árbol dioico, caducifolio, de 3 a 7 m de altura. La corteza es gris, lisa, y secreta un exudado resinoso y aromático (copal). Las hojas miden entre 4 y 7 cm de largo, están compuestas por 7 a 12 pares de folíolos, bipinnadas a partir del segundo o quinto par de folíolos, el haz y envés son glabros, y presentan raquis alado. Las flores son tetrámeras, de color amarillo y los frutos son drupas bivalvadas, de forma elipsoide o globosa y cubiertos casi en su totalidad por un pseudoarilo de color naranja-rojo (Toledo-Manzur, 1982). Los frutos maduros se encuentran entre septiembre y noviembre, y los inmaduros entre junio y septiembre; el periodo de floración abarca los meses de abril y mayo (Núñez-Cruz *et al.*, 2018).

Esta especie es predominante en algunas zonas de los BTC y también puede encontrarse en encinares o vegetación secundaria (Bilbatua, 2019). En Morelos se distribuye tanto en el norte como en el sur, con poca presencia en la zona centro y ausente en el noroeste del estado. El intervalo de valores climáticos en el cual se encuentra es amplio: altitud entre 950 y 1980 m, temperatura media anual entre 17.7 y 23.5 °C y precipitación anual entre 788 y 1370 mm (Hernández Pérez *et al.*, 2011).

Aunque no se tiene un registro oficial de la longevidad de los árboles de estas dos especies, Cruz-León *et al.*, (2006) reportan que, por las marcas de los cortes para la extracción de resina, hay árboles que han sido utilizados para el aprovechamiento de copal por más de 50 años.

Propagación de plantas

Propagación a partir de semillas

Este trabajo inició cuando ya se contaba con plantas de ambas especies de *Bursera* en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Dichas plantas fueron propagadas por una estudiante que no concluyó su investigación, por lo que se desconocen muchos detalles del protocolo de propagación. Sin embargo, presentamos la información básica de la que disponemos, dado que consideramos importante rescatarla hasta donde sea posible, aclarando que el estudio de la propagación no es parte de los objetivos de este trabajo.

En junio de 2015 se pusieron a germinar 300 semillas de *B. copallifera* y *B. bipinnata* en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la UNAM, CDMX. Se usó como sustrato arena sílica colocada en charolas de plástico transparente (PET) de 15 × 15 × 10 cm. Las semillas fueron previamente remojadas por 12 h y no se les aplicó ningún tratamiento pre-germinativo.

Una vez que las plantas de *B. copallifera* alcanzaron 5 cm de altura se colocaron en bolsas de plástico negro con una altura aproximada de 20 cm y un diámetro de 10 cm, con un sustrato formado por una mezcla de tierra y agrolita (2:1 vol.). Las plántulas fueron etiquetadas y regadas con regularidad cada semana en el mismo invernadero, en el cual se mantuvieron poco más de un año (junio de 2015 a agosto de 2016). Se trasplantaron al campo en agosto de 2016. Debido a que en 2015 ninguna semilla de *B. bipinnata* germinó, en marzo de 2016 se realizó otro ensayo de germinación. En ambos casos las semillas se obtuvieron en Amatlán de Quetzalcoatl, una localidad de Tepoztlán cercana a Santiago Tepetlapa. Previamente se realizó la prueba de flotación, colocando semillas de ambas especies en un recipiente con agua. Después de 10 min en remojo, las semillas que flotaron se retiraron y se conservaron solo las que se hundieron (que son más pesadas por tener un embrión; Mendoza-Segovia *et al.*, 2022). Éstas se dejaron reposar 20 min más en agua, después se les retiró el pseudoarilo y se desinfectaron con cloro y fungicida (Captán al 1%). Se dividieron en 10 lotes de 30 semillas por especie y se colocaron en charolas de plástico transparente (PET) de 15 × 15 × 10 cm con sustrato de agar. Cinco lotes de cada especie se colocaron en una cámara de germinación con temperatura constante (25 °C) y otros cinco lotes se colocaron en otra cámara con temperatura fluctuante (30-25 °C); en ambas el fotoperiodo fue de 12/12 h luz/oscuridad. Estas temperaturas se seleccionaron con base en reportes previos (Bonfil *et al.*, 2008) de que las semillas del género germinan mejor con temperaturas fluctuantes que constantes. Se registró la germinación cada tercer día durante un mes. Para analizar el efecto de la temperatura los porcentajes finales de este ensayo fueron transformados con la función arcoseno, y se realizó una prueba de ANOVA de dos vías (especies y temperaturas).

Cuando las plántulas alcanzaron una altura ≥ 5 cm fueron llevadas al invernadero, donde se plantaron en bolsas negras con el sustrato de tierra y agrolita antes mencionado. Se mantuvieron en invernadero hasta su trasplante a campo en agosto de 2016, cuando tenían

una edad aproximada de 3 meses. En este trabajo, las plantas que se obtuvieron en el primer ensayo de germinación (2015) se denominan “plantas”, mientras que las que se obtuvieron en el segundo ensayo de propagación (2016) se llaman “plántulas”, ya que la mayoría conservaron los cotiledones hasta la primera temporada seca.

Propagación a partir de estacas

En abril de 2015, durante la época seca del año, se recolectaron ramas terminales de al menos cinco árboles por especie en dos localidades de Morelos: El Limón, municipio de Tepalcingo, y Amatlán, municipio de Tepoztlán. Se trasplantaron al invernadero de la Facultad de Ciencias, UNAM, CDMX, en donde se cortaron a su tamaño final (~20 cm), cuidando de mantener marcado el extremo basal para colocarlo en el sustrato. La forma de colecta y transporte es similar a la reportada por Castellanos-Castro y Bonfil (2013). Se eliminó parte de la corteza en el extremo basal con un cutter y se aplicó un enraizador en polvo (Ácido Indolbutírico, marca comercial Radix, concentración 10,000 ppm). Inmediatamente fueron trasplantadas a bolsas negras con el sustrato ya descrito. Las estacas enraizadas se trasplantaron al campo en agosto de 2016 (i.e., permanecieron en el invernadero poco más de un año).

Establecimiento de la plantación experimental

En agosto de 2016 se realizó el trasplante al sitio de estudio de las plantas de *B. copallifera* y *B. bipinnata*. El terreno en el que se estableció la plantación se dividió en cuatro parches ubicados en claros de vegetación secundaria, en los que se eliminó parte de la vegetación para evitar condiciones de sombra excesiva. Se trasplantaron en total 157 plantas siguiendo un arreglo aleatorio. El número de plantas por especie y forma de propagación, y el tamaño inicial se muestran en el Cuadro 1. En algunos casos los tamaños de muestra fueron pequeños debido a la baja germinación de semillas (especialmente de *Bursera bipinnata*) o a los bajos porcentajes de enraizamiento de las estacas (especialmente de *B. copallifera*).

Cuadro 1. Número de plantas, altura y área basal inicial por especie y forma de propagación (origen) trasplantadas en el sitio de estudio.

Especie	Origen	Edad	Número de plantas	Altura ($\bar{x} \pm e.e.$)	Área Basal ($\bar{x} \pm e.e.$)
<i>B. bipinnata</i>	Estacas	1 año	42	31.33 \pm 1.85	0.84 \pm 0.05
	Semillas	3 meses	27	6.03 \pm 0.22	0.042 \pm 0.003
<i>B. copallifera</i>	Estacas	1 año	26	20.40 \pm 0.68	0.86 \pm 0.05
	Semillas	1 año	24	10.67 \pm 0.37	0.21 \pm 0.01
	Semillas	3 meses	38	5.65 \pm 0.17	0.08 \pm 0.005

Evaluación de la supervivencia

La supervivencia se registró mensualmente durante un año (agosto 2016–2017), y se realizó un único registro al término del segundo año de la plantación (agosto–2018). En este último no se pudieron revisar todas las plantas vivas debido a la presencia de un panal de abejas que impidió el acceso a una parte del terreno.

Se consideró que una planta estaba viva cuando al rascar la corteza el tallo se mantenía verde aun cuando la planta no tuviera hojas. Debido a que no se pudo contar con plantas provenientes de semillas de *B. bipinnata* de 2015, se analizó por un lado la supervivencia de: a) estacas y, b) plántulas de tres meses de edad de ambas especies. Por otro lado, en *B. copallifera* se evaluó la supervivencia de: a) plántulas (3 meses) y b) plantas (de un año). La supervivencia se analizó con la función Kaplan Meier, que estima la probabilidad de supervivencia de un individuo en un tratamiento a partir de la siguiente fórmula:

$$S(t) = \prod_{t_i < t} \frac{n_i - d_i}{n_i}$$

Dónde: $S(t)$ es la probabilidad de supervivencia, n_i es el número de individuos vivos (censurados) en el tiempo t_i , y d_i es el número de muertes en el tiempo t_i (Crawley, 2013).

Se obtuvieron las curvas de supervivencia de las plantas (por origen y edad) de ambas especies. Para comparar las curvas de supervivencia de las plántulas y las estacas de las dos especies se realizó una prueba no paramétrica de rangos logarítmicos con datos censurados (*i. e.*, de los individuos que seguían vivos al final del periodo de evaluación) y distribución Weibull (χ^2). Por otro lado, se compararon las curvas de supervivencia de las plantas de diferentes edades de *B. copallifera* con una prueba no paramétrica de rangos logarítmicos Mantel-Cox. Esta prueba permite comparar dos distribuciones de supervivencia (Z) con datos censurados (Oller y Langohr, 2017).

Evaluación del crecimiento en campo

El crecimiento se registró durante el periodo de lluvias: en septiembre y octubre de 2016, y agosto de 2017. A cada planta se le midió la altura, el diámetro basal y los diámetros perpendiculares de la copa. A partir de estos datos se obtuvo el área basal del tallo (cm^2) y la cobertura de la copa (cm^2) calculados con las siguientes fórmulas:

$$\text{Área basal} = \frac{(d^2) \times \pi}{4}$$

Donde d es el diámetro basal del tallo que se registró en campo.

$$\text{Área de la copa} = \left(\frac{d_1}{2}\right) \times \left(\frac{d_2}{2}\right) \times \pi$$

Donde d_1 y d_2 son los diámetros de la copa que se registraron en campo.

Para analizar el crecimiento en campo de las estacas y las plántulas se usó un modelo lineal de efectos mixtos con medidas repetidas, que nos permitió evaluar el efecto del origen (forma de propagación) y de la especie (*B. copallifera* y *B. bipinnata*) en las variables de crecimiento (área basal, altura y cobertura de la copa) a lo largo del tiempo. Además, permitió descartar el efecto de las mediciones repetidas realizadas en cada individuo. La estructura del modelo es la siguiente:

$$\text{crecimiento} = (\text{variable de crecimiento} \sim \text{especie} \times \text{origen} + \text{medición} | \text{planta})$$

Posteriormente se realizó una prueba *post hoc* de comparación de medias para modelos lineales de efectos mixtos.

El crecimiento en campo de las plantas de diferentes edades de *Bursera copallifera* se analizó comparando el incremento relativo ((medida final – medida inicial) / medida inicial) de la altura, el área basal y la cobertura. Para comparar cada variable se realizaron pruebas de *t* de Student para muestras independientes (Zar, 1999).

Análisis clásico de crecimiento

La tasa relativa de crecimiento (TRC) es el incremento exponencial del tamaño de una planta respecto a su tamaño inicial en un intervalo de tiempo dado. Este parámetro permite comparar las tasas de crecimiento entre especies o individuos de diferentes tamaños (Pérez-Harguindeguy, 2013). Para calcularlo se requiere de la cosecha destructiva de los órganos de las plantas al inicio y al final del estudio, que se secan y pesan, y con los datos obtenidos se calcula la TRC a partir de la siguiente fórmula:

$$TRC = \frac{(\ln(\text{biomasa final}) - \ln(\text{biomasa inicial}))}{\text{tiempo}_2 - \text{tiempo}_1}$$

Para cuantificar la TRC en biomasa y su asignación a los distintos órganos se realizaron dos cosechas destructivas. En la primera se seleccionaron al azar plantas de cada origen (forma de propagación) en el invernadero, antes del trasplante (agosto de 2016) y la segunda cosecha se realizó un año después (agosto de 2017), seleccionando al azar plantas de cada tipo de las que se encontraban vivas en la plantación. Se cosecharon entre 5 y 7 plantas por de cada especie y origen.

Cada planta se midió y se separó en raíz, tallo y hojas. Se registró la altura, el diámetro basal y el peso fresco del tallo, y se midió el área foliar total de cada planta y de una hoja (utilizando un medidor de área foliar portátil modelo Li-300), y su peso seco. Las raíces se separaron en finas (< 2 mm) y gruesas (> 2 mm), y se registró su peso fresco. Todas las partes cosechadas se pusieron a secar en bolsas de papel estraza en un horno a 70 °C durante 72 h. Después se pesaron en una balanza analítica (marca OHAUS modelo Adventure) para

cuantificar la biomasa total de la planta, de la raíz, del tallo y de las hojas. Con estos datos se calcularon las siguientes variables:

- Área basal (cm^2).
- Coeficiente raíz/vástago ($R/V = \text{biomasa total de raíces (g)} / \text{biomasa total del tallo (g)}$).
- Proporción de raíces finas ($\text{biomasa de raíces finas (g)} / \text{biomasa total de raíces (g)}$).
- Área foliar específica ($AFE = \text{área foliar (cm}^2) / \text{peso seco foliar (g)}$).
- Tasa relativa de crecimiento (TRC).

Para analizar el efecto de la especie y el origen de las plantas en las variables de biomasa inicial, se realizó un análisis de varianza factorial y una prueba *post hoc* de Tukey. Para analizar las diferencias entre especies (con un mismo método de propagación) en la biomasa final y en el incremento relativo ($(\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial}) / \text{biomasa inicial}$) de la biomasa de los diferentes órganos, el AF y la TRC se realizaron pruebas de *t* de Student para muestras independientes.

En las plantas de diferentes edades de *B. copallifera* se comparó el incremento relativo ($(\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial}) / \text{biomasa inicial}$) de la biomasa de los órganos y la TRC con pruebas de *t* de Student para muestras independientes. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R versión 3.5.3 (R Core Team, 2019).

Resultados

Propagación de las plantas a través de semillas

Aunque este trabajo no incluyó los experimentos de propagación, los resultados se reportan brevemente con el objetivo de que no se pierda la información generada. Además, son útiles porque contribuyen a dar contexto al diseño experimental que se usó en la plantación.

Los porcentajes de germinación de *B. bipinnata* fueron en general menores que los de *B. copallifera*. En 2015 germinaron 45% de las semillas de *B. copallifera*, mientras que las de *B. bipinnata* no germinaron (Figura 4a). En 2016 germinaron 65 % de las semillas de *B. copallifera* y 35 % de las de *B. bipinnata*. En ambas especies la germinación se incrementó cuando las semillas fueron sometidas a temperatura fluctuante (30-25 °C) respecto a temperatura constante (25 °C). Los porcentajes de germinación de *B. copallifera* y *B. bipinnata* con temperatura fluctuante fueron 74 y 43 % respectivamente, mientras que con temperatura constante fueron de 56 y 27 %. Sin embargo, estas diferencias solo fueron significativas en *B. copallifera* ($F = 40.04$, $P < 0.05$; Figura 4b).

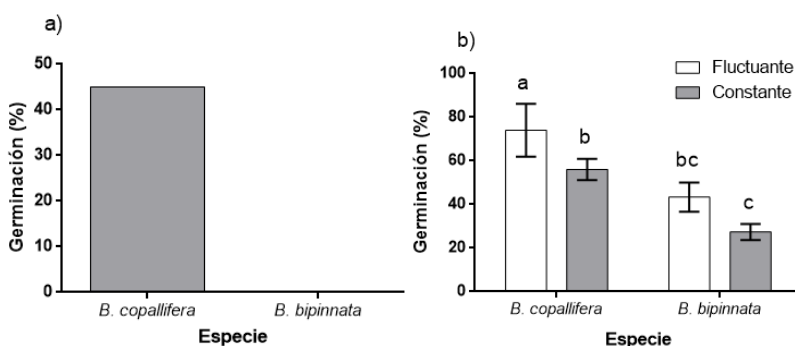


Figura 4. Porcentaje de germinación: **a)** por especie, 2015; **b)** por especie y temperatura de exposición, 2016 ($\bar{x} \pm d. e.$); letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Propagación por estacas

Los porcentajes de estacas que desarrollaron raíces y follaje (*i.e.*, que se establecieron como plantas) fue bajo: 16 % de las de *B. copallifera* desarrollaron raíces y sobrevivieron hasta 2016, mientras que en *B. bipinnata* este porcentaje fue de 37.5 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de estacas colectadas y número de estacas que desarrollaron raíces en el invernadero a los 5 y 10 meses en condiciones de invernadero.

Especie	Número inicial (abril 2015)	Supervivencia (abril - sept. 2015, 5 meses)	Supervivencia (16 meses)
<i>B. copallifera</i>	213	44 (21 %)	35 (16 %)
<i>B. bipinnata</i>	208	109 (52 %)	78 (37.5 %)

Supervivencia de estacas y plántulas

Al término del primer año de la plantación (agosto de 2017) la supervivencia global fue alta (71 %). Las estacas de ambas especies tuvieron una mayor supervivencia (*B. bipinnata* 86 % y *B. copallifera* 69 %) que las plántulas (63 y 58 % respectivamente; Figura 5). El modelo de regresión ($\chi^2 = 7.80$, g. l. = 2, $P < 0.001$) mostró un efecto significativo del origen de las plantas ($Z = -2.23$, $P = 0.02$) pero no de la especie ($Z = -1.24$, $P = 0.21$) en la supervivencia. En las plántulas se registró una mortalidad importante desde el primer hasta el sexto mes (180 días; Figura 5) e incluso tiempo después, mientras que en las estacas el primer descenso importante se registró alrededor del séptimo mes (210 días), durante el periodo más seco del año (febrero-marzo).

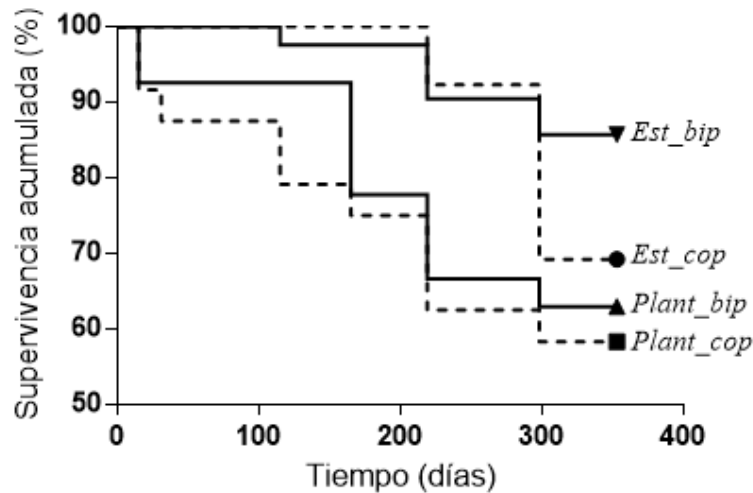


Figura 5. Función de supervivencia Kaplan-Meier: plántulas y estacas de *B. bipinnata* (línea continua; *Plant_bip* y *Est_bip*, respectivamente), y plántulas y estacas de *B. copallifera* (línea punteada; *Plant_cop* y *Est_cop*) a lo largo de un año (agosto de 2016 - agosto de 2017).

Durante el segundo año (2017-2018), la supervivencia de estacas de *B. copallifera* (13%) fue similar a la de las plántulas de ambas especies (*B. bipinnata* 13% y *B. copallifera* 7%); la mayor se presentó en las estacas de *B. bipinnata* (65%). El análisis mostró un efecto significativo de la especie, la procedencia (plántula o estaca) y la interacción entre ambas en la supervivencia ($\chi^2 = 38.9$, $g.l. = 3$, $P < 0.05$, Fig. 6).

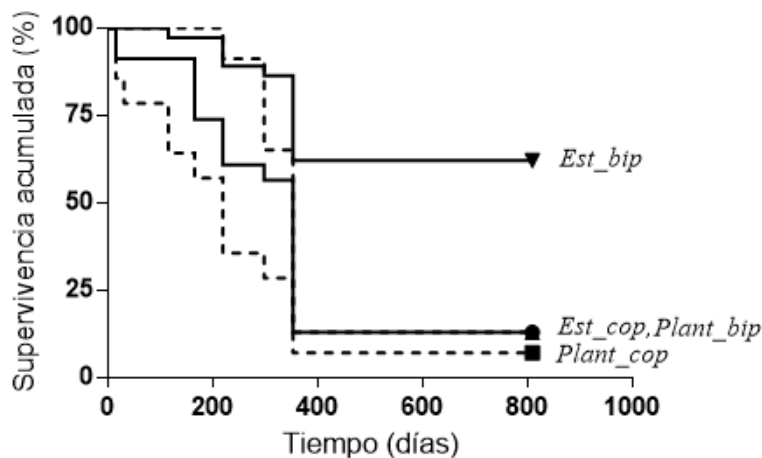


Figura 6. Análisis de supervivencia (Función de Kaplan-Meier) durante el segundo año de la plantación. *B. bipinnata*: Plántulas (*Plant_bip*) y estacas (*Est_bip*). *B. copallifera*: plántulas (*Plant_cop*) y estacas (*Est_cop*). (agosto de 2016 - agosto de 2018).

Crecimiento en campo

Los modelos lineales de efectos mixtos con medidas repetidas mostraron que el origen de las plantas, pero no la especie ni la interacción entre ambas, tuvo un efecto significativo en el incremento del área basal y la cobertura de la copa (Cuadro 3); los valores de estas variables fueron mayores en las estacas (Cuadro 4). El incremento en altura y área basal en las estacas de ambas especies fue similar (cerca de 20 cm en altura y 33% y 44% en área basal), mientras que en las plántulas el incremento del área basal de *B. bipinnata* fue ligeramente menor al de *B. copallifera* (promedio de 2.4 y 2.6 veces, respectivamente, Cuadro 4). El efecto de la especie, el origen de las plantas y la interacción entre ambas en la altura fue significativo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de los modelos lineales de efectos mixtos que analizan el efecto del origen (método de propagación), la especie y la interacción entre ambas en las variables de crecimiento en campo.

Factor	Altura		Área basal		Cobertura de la copa	
	Estadístico	<i>P</i>	Estadístico	<i>P</i>	Estadístico	<i>P</i>
Origen	-35.47	<0.05	-0.67	<0.05	-438.24	<0.05
Especie	-22.37	<0.05	0.03	0.65	-5.48	0.93
Origen × especie	15.75	0.02	-	-	-	-

Cuadro 4. Valores promedio ($\bar{x} \pm e. e.$) de las variables de crecimiento de estacas y plántulas de *B. copallifera* y *B. bipinnata* a lo largo de un año en campo. Letras diferentes entre las columnas de un mismo renglón indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

		Estacas		Plántulas	
Variable	Tiempo (semanas)	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>
Área basal (cm ²)	7	0.90 ± 0.08 ^a	0.94 ± 0.08 ^a	0.33 ± 0.04 ^b	0.14 ± 0.02 ^b
	14	0.93 ± 0.1 ^a	0.98 ± 0.07 ^a	0.45 ± 0.05 ^b	0.20 ± 0.02 ^b
	52	1.21 ± 0.12 ^a	1.35 ± 0.10 ^a	0.85 ± 0.17 ^b	0.33 ± 0.06 ^b
Altura (cm)	7	32.96 ± 3.23 ^b	52.77 ± 3.10 ^a	13.64 ± 1.10 ^c	16.79 ± 1.57 ^c
	14	31.68 ± 2.69 ^b	56.92 ± 3.62 ^a	11.32 ± 1.16 ^c	22.07 ± 2.89 ^c
	52	51.00 ± 5.41 ^b	70.94 ± 4.94 ^a	27.60 ± 3.41 ^c	34.29 ± 3.42 ^c
Cobertura (cm ²)	7	659.71 ± 78.68 ^a	587.81 ± 55.94 ^a	141.20 ± 18.21 ^b	160.88 ± 22 ^b
	14	579.69 ± 114.28 ^a	601.03 ± 64.69 ^a	144.53 ± 18.16 ^b	239.31 ± 34.76 ^b
	52	1232.24 ± 199.30 ^a	1684.88 ± 172.83 ^a	432.40 ± 65.92 ^b	433.82 ± 66.79 ^b

Análisis clásico de crecimiento

Biomasa inicial y asignación de biomasa

Los resultados de la cosecha inicial mostraron que las estacas presentaron valores iniciales más altos que las plántulas en la mayoría de las variables de biomasa evaluadas, por lo que el efecto del origen fue significativo en todas ellas (Cuadros 5 y 6). El efecto de la especie fue significativo en la biomasa de la raíz, la proporción de raíces finas, la biomasa de las hojas y el área foliar. En estas variables, al igual que en el área foliar específica, el efecto de la interacción también fue significativo, con excepción de la proporción de raíces finas (Cuadro 6).

La biomasa del tallo, de la raíz, de las hojas y el área foliar fueron significativamente mayores en las estacas que en las plántulas (Cuadro 5). En algunas variables se presentaron

diferencias entre las estacas de ambas especies; por ejemplo, las estacas de *B. copallifera* presentaron valores más altos de área foliar, biomasa de hojas y de raíces que las estacas de *B. bipinnata*.

Las plántulas mostraron un cociente raíz/vástago significativamente mayor que las estacas, sin diferencias entre especies. Destacan las diferencias entre especies en la proporción de raíces finas, que fue mayor en *B. copallifera* que en *B. bipinnata* (en estacas y en plántulas). Por último, el área foliar específica (AFE) fue significativamente mayor en las plántulas de *B. bipinnata* que en las de *B. copallifera*, pero en las estacas, aunque esta tendencia persiste, las diferencias entre especies no fueron significativas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Biomasa inicial y su asignación a diferentes órganos en estacas y plántulas de *Bursera copallifera* y *B. bipinnata* ($\bar{x} \pm e. e.$). Letras diferentes entre columnas de un mismo renglón indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Variable	Estacas		Plántulas	
	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>
Biomasa total (g)	21.62 ± 0.20 ^a	18.03 ± 1.62 ^a	0.91 ± 0.23 ^b	0.58 ± 0.08 ^b
Cociente raíz/vástago	0.28 ± 0.03 ^b	0.22 ± 0.02 ^b	0.56 ± 0.06 ^a	0.47 ± 0.09 ^a
Biomasa tallo (g)	13.70 ± 1.54 ^a	12.79 ± 1.32 ^a	0.44 ± 0.12 ^b	0.29 ± 0.05 ^b
Biomasa raíz (g)	4.66 ± 0.45 ^a	3.18 ± 0.35 ^b	0.31 ± 0.07 ^c	0.17 ± 0.02 ^c
Proporción de raíces finas	0.81 ± 0.01 ^a	0.76 ± 0.03 ^b	0.80 ± 0.02 ^a	0.66 ± 0.05 ^b
Biomasa hojas (g)	3.25 ± 0.25 ^a	2.06 ± 0.13 ^b	0.16 ± 0.04 ^c	0.12 ± 0.02 ^c
Área foliar (cm ²)	545.44 ± 38.08 ^a	412.74 ± 32.74 ^b	44.91 ± 13.00 ^c	36.95 ± 5.45 ^c
AFE (cm ² g ⁻¹)	165.94 ± 7.87 ^c	211.90 ± 11.28 ^c	270.90 ± 14.93 ^b	332 ± 2.31 ^a

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza factorial en la biomasa inicial y su asignación a diferentes órganos en estacas y plántulas de *Bursera copallifera* y *B. bipinnata* (en todos los casos g. l. = 3). Los valores en negritas indican diferencias significativas.

Variable	Especie		Origen		E × O	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Biomasa total (g)	2.23	0.15	194.21	< 0.01	-	-
Coeficiente raíz/vástago	2.45	0.13	27.43	< 0.01	-	-
Biomasa tallo (g)	0.28	0.60	154.65	< 0.01	-	-
Biomasa raíz (g)	7.99	0.01	147.75	< 0.01	5.06	0.03
Proporción de raíces finas	5.63	0.02	30.13	< 0.01	-	-
Biomasa hojas (g)	19.94	< 0.01	295.27	< 0.01	15.82	< 0.01
Área foliar (cm ²)	7.27	0.01	255.28	< 0.01	5.29	0.03
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	0.83	0.30	91.43	< 0.01	17.54	< 0.01

Biomasa final y asignación de biomasa

Tras un año de crecimiento en campo, los valores promedio de biomasa total y su asignación a los diferentes órganos de las plantas mostraron incrementos importantes, tanto en las estacas como en las plántulas (Cuadros 7 y 8). Primero se analizaron las diferencias en los valores finales entre las plántulas de las dos especies de estudio y a continuación se analizaron las diferencias en los valores finales entre las estacas. No se pudo analizar conjuntamente el efecto del origen y de la especie (como en el caso de la cosecha inicial) debido a que las varianzas entre plantas de diferente origen fueron muy distintas.

En general no se observaron diferencias significativas en los valores finales de biomasa de las estacas de las dos especies de estudio, con la excepción del cociente

raíz/vástago, que fue mayor en *B. copallifera* que en *B. bipinnata* (Cuadro 7). Fue notable que el área foliar de *B. bipinnata* fue significativamente mayor que la de *B. copallifera*, a pesar de que la biomasa de las hojas y el AFE no difirió entre especies (Cuadro 7).

Cuadro 7. Biomasa final de estacas de *Bursera copallifera* y *B. bipinnata* ($\bar{x} \pm e. e.$) y resultados de la prueba de *t* para analizar diferencias entre especies.

Variable	Estacas		<i>t</i>	<i>P</i>
	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>		
Biomasa total (g)	33.30 ± 4.80	34.3 ± 4.2	0.15	0.43
R/V	0.40 ± 0.04 ^a	0.23 ± 0.03 ^b	2.82	< 0.05
Biomasa tallo (g)	17.92 ± 2.30	21.0 ± 2.2	0.91	0.19
Biomasa raíz (g)	9.00 ± 1.13	6.6 ± 1.5	1.27	0.11
Prop. de raíces finas	0.21 ± 0.04	0.29 ± 0.04	1.28	0.11
Biomasa hojas (g)	6.32 ± 1.50	6.70 ± 0.90	0.19	0.42
Área foliar (cm ²)	1 233.03 ± 235.98 ^b	2 082.74 ± 309.75 ^a	2.12	< 0.05
AFE (cm ² g ⁻¹)	188.40 ± 15.14	177.50 ± 40.50	0.27	0.39

En cuanto a las plántulas, la biomasa total se incrementó notablemente (en un orden de magnitud) en ambas especies. Ninguna variable difirió significativamente entre especies, lo que indica que se perdieron las diferencias iniciales en la proporción de raíces finas y el área foliar específica. En las raíces finas se registraron decrementos importantes con respecto a los valores iniciales en ambas especies. Por otro lado, la biomasa de las hojas se incrementó notablemente, al igual que la de las raíces. Las diferencias iniciales en la biomasa de las raíces y de las hojas entre especies al final se perdieron (Cuadro 8).

Cuadro 8. Biomasa final de plántulas de *Bursera copallifera* y *B. bipinnata* ($\bar{x} \pm e. e.$) y resultados de la prueba de *t*.

Variable	Plántulas		<i>t</i>	<i>P</i>
	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>		
Biomasa total (g)	9.24 ± 2.40	6.74 ± 1.14	0.96	0.18
R/V	0.68 ± 0.14	0.66 ± 0.11	0.13	0.45
Biomasa tallo (g)	3.25 ± 0.80	2.64 ± 0.43	0.67	0.26
Biomasa raíz (g)	3.96 ± 1.32	2.66 ± 0.53	0.91	0.19
Proporción de raíces finas	0.26 ± 0.06	0.20 ± 0.04	0.73	0.24
Biomasa hojas (g)	2.36 ± 0.46	1.43 ± 0.28	1.10	0.15
Área foliar (cm ²)	478.97 ± 94.99	499.88 ± 81.02	0.17	0.43
AFE (cm ² g ⁻¹)	254.60 ± 27.82	310.05 ± 32.64	1.29	0.11

Asignación de biomasa a los distintos órganos y tasa de crecimiento relativo

Estacas — En la mayoría de las variables analizadas el incremento relativo en biomasa ((biomasa final-biomasa inicial) / biomasa inicial) entre la cosecha inicial y la final no difirió significativamente entre especies, lo que muestra que, a grandes rasgos, las estacas de ambas especies presentaron un crecimiento similar. Sin embargo, algunas variables muestran diferencias en la arquitectura de las plantas (asignación a los diferentes órganos). La biomasa del tallo y el área foliar se incrementaron más en *B. bipinnata* que en *B. copallifera* (Cuadro 9). En ambas especies disminuyó la proporción de raíces finas. La tasa de crecimiento relativo no difirió significativamente entre especies, aunque el valor promedio fue mayor en *B. bipinnata* (Cuadro 9).

Cuadro 9. Incremento relativo de la biomasa de los diferentes órganos, y del área foliar de las estacas de *Bursera bipinnata* y *B. copallifera* a lo largo de un año ($\bar{x} \pm e. e.$), la tasa relativa de crecimiento (TRC) y los resultados de la prueba de *t*. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Variable	Estacas			
	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>	t	P
Biomasa tallo	0.31 ± 0.18 ^b	1.64 ± 0.17 ^a	5.26	< 0.05
Biomasa raíz	0.93 ± 0.27	1.06 ± 0.46	0.27	0.39
Biomasa hojas	0.95 ± 0.46	0.26 ± 0.05	1.48	0.09
Biomasa total	0.54 ± 0.22	0.90 ± 0.23	1.12	0.14
Proporción de raíces finas	-0.74 ± 0.05	-0.61 ± 0.05	1.55	0.07
Área foliar	1.26 ± 0.47 ^b	4.05 ± 0.75 ^a	3.25	< 0.05
TRC (mg g ⁻¹ día ⁻¹)	1.18 ± 0.45	1.92 ± 0.38	1.21	0.12

Plántulas — En general, el incremento relativo en biomasa no difirió entre especies (Cuadro 10), aunque parece haber una tendencia a un mayor crecimiento de las plántulas de *B. bipinnata* (la TRC y los incrementos en la biomasa total, del tallo y de las hojas presentaron valores promedio mayores). Destaca que, al igual que en las estacas, en ambas especies decreció la proporción de raíces finas.

Cuadro 10. Incremento relativo en biomasa de los diferentes órganos y total, así como en el área foliar en plántulas de *Bursera bipinnata* y *B. copallifera* a lo largo de un año ($\bar{x} \pm e.e.$).

Variable	Plántulas			
	<i>B. copallifera</i>	<i>B. bipinnata</i>	<i>t</i>	<i>P</i>
Biomasa tallo	6.50 ± 1.84	9.23 ± 1.50	1.16	0.13
Biomasa raíz	11.60 ± 4.22	15.71 ± 3.34	0.76	0.23
Biomasa hojas	11.43 ± 2.81	11.09 ± 2.41	0.09	0.46
Biomasa total	9.13 ± 2.59	10.68 ± 1.97	0.47	0.32
Prop. de raíces finas	-0.67 ± 0.07	-0.69 ± 0.06	0.13	0.44
Área foliar	9.66 ± 2.11	13.81 ± 2.40	0.65	0.26
TRC (mg g ⁻¹ día ⁻¹)	6.58 ± 1.11	7.22 ± 0.65	0.49	0.31

Supervivencia y crecimiento de plantas de *Bursera copallifera* de distintas edades

Supervivencia

B. copallifera fue la única especie en que se pudo comparar la supervivencia de plantas de diferentes edades. Después de 12 meses las plantas de un año presentaron una mayor supervivencia (71%) que las plántulas de tres meses (58%, Figura 7a), aunque dicha diferencia no fue significativa (Prueba de Rangos Logarítmicos Mantel-Cox, $Z = 0.93$, $P = 0.3$). Al término de la primera temporada de crecimiento (~115 días) la supervivencia era semejante en las plantas de ambas edades, pero durante la temporada seca (del día ~150 al 300) se registró una mayor mortalidad en las plántulas (Figura 7a).

Al final del segundo año la supervivencia presentó la misma tendencia: las plantas de un año registraron una mayor supervivencia que las plántulas (39 % y 7 % respectivamente,

Figura 7b); dichas diferencias fueron significativas (Log Rank test $Z= 2.28$, $P < 0.05$, Figura 7b).

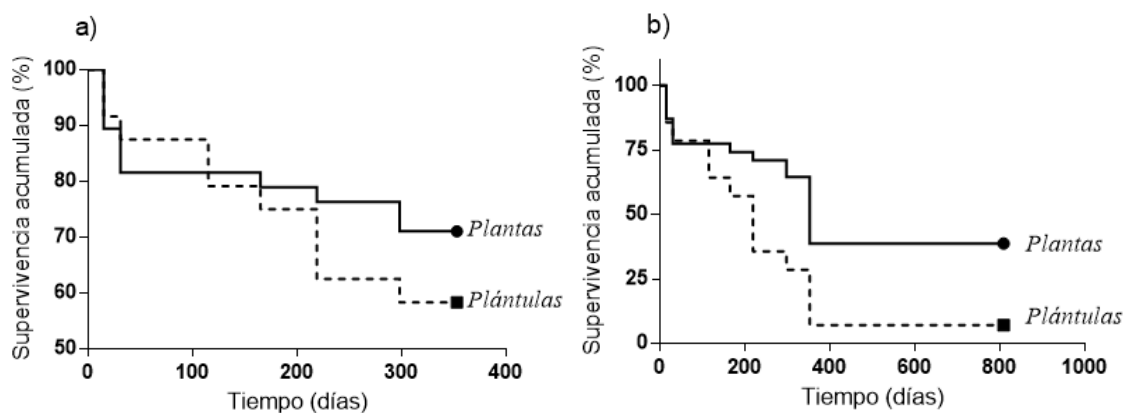


Figura 7. Función de supervivencia Kaplan-Meier de plantas (círculo) y plántulas (Cuadrado) de *B. copallifera* en **a)** 2016-2017 y **b)** 2016-2018.

Crecimiento en campo

Aunque se registraron diferencias en el crecimiento relativo promedio de las plantas y las plántulas, éstas no fueron significativas en ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 11). Es de notarse que el área de la copa se incrementó en más del doble, y el área basal en casi el doble, mientras que la altura no sufrió un cambio de tal magnitud.

Cuadro 11. Incremento relativo ((tamaño final - tamaño inicial) / tamaño inicial) de las variables de crecimiento de plantas de diferentes edades de *Bursera copallifera* ($\bar{x} \pm e. e.$) y resultados de la prueba de *t*.

Variable	Plantas	Plántulas	<i>t</i>	<i>P</i>
Área basal	1.97 ± 0.20	1.88 ± 0.54	0.14	0.44
Altura	0.82 ± 0.14	1.14 ± 0.29	0.97	0.17
Área de la copa	2.21 ± 0.83	2.07 ± 0.34	0.16	0.43

Incremento de biomasa y tasa de crecimiento relativo

En general, el incremento en biomasa ((biomasa final-biomasa inicial) / biomasa inicial) total y en los diferentes órganos, así como la tasa de crecimiento relativo, fueron similares en plantas de diferentes edades de *B. copallifera*. Cabe destacar que la proporción de raíces finas disminuyó en las plantas de ambas edades (Cuadro 12).

Cuadro 12. Incremento relativo en biomasa de plantas de diferentes edades de *B. copallifera* durante un año ($\bar{x} \pm e. e.$) y resultados de la prueba de *t* para analizar diferencias entre edades.

Variables	Plantas	Plántulas	<i>t</i>	<i>P</i>
Biomasa tallo (g)	8.13 ± 2.24	6.50 ± 1.84	0.55	0.29
Área basal (cm ²)	3.43 ± 0.97	1.84 ± 0.65	1.36	0.09
Biomasa hojas (g)	9.96 ± 3.51	11.43 ± 2.81	0.32	0.37
Área foliar (cm ²)	9.18 ± 3.77	9.66 ± 2.11	0.50	0.31
Biomasa raíz (g)	11.57 ± 2.72	11.60 ± 4.22	0.01	0.49
Proporción de raíces finas	-0.80 ± 0.03	-0.67 ± 0.07	1.63	0.06
Biomasa total (g)	9.53 ± 2.57	9.13 ± 2.59	0.10	0.45
TRC (mg g ⁻¹ día ⁻¹)	6.79 ± 0.83	6.58 ± 1.11	0.19	0.42

Discusión

En este trabajo se evaluaron la supervivencia y el crecimiento de *B. copallifera* y *B. bipinnata* en una plantación experimental, analizando el efecto de la especie y de dos métodos de propagación (sexual y asexual); además, el efecto de la edad de las plantas de *B. copallifera*. Se espera que la información generada sea de utilidad para incorporar a estas especies en plantaciones, ya sea con fines de restauración ecológica, productivas o en sistemas agroforestales, en las zonas en donde se distribuyen de manera natural.

Propagación — Se ha documentado que varias especies del género *Bursera* presentan bajos porcentajes de germinación, lo que dificulta su propagación y la disponibilidad de plantas en invernaderos (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002; Bonfil *et al.*, 2008; Guzmán-Pozos *et al.*, 2018). En el primer ensayo de propagación (2015) no germinó ni una semilla de *B. bipinnata*, debido probablemente tanto a la presencia de semillas vanas (i.e., sin embrión), como a algún tipo de latencia que dificulta la germinación en esta especie (Mendoza-Segovia *et al.*, 2022, Figura 4a).

En el segundo ensayo de propagación (2016) los porcentajes de germinación de *Bursera copallifera* y *B. bipinnata* fueron relativamente altos (Figura 4b); incluso el de *B. copallifera* fue mayor al reportado en trabajos previos (35 % Barrales, 2009; 40 % Hernández-Téllez, 2015). Como se ha reportado en otros trabajos (Bonfil *et al.*, 2008; Hernández-Téllez, 2015), las semillas en temperatura fluctuante presentaron mayor porcentaje de germinación (Figura 4b), lo que puede deberse a que esta fluctuación replica los cambios de temperatura presentes a lo largo del día en los BTC, y ayuda a romper la latencia (Khurana y Singh, 2001; Bonfil *et al.*, 2008).

Ante las dificultades para obtener plántulas de algunas especies del género, se ha recurrido a la propagación vegetativa, ya que permite obtener un mayor número de plantas en un menor tiempo y con un mayor tamaño (Castellanos-Castro y Bonfil, 2011). El que el porcentaje de enraizamiento y supervivencia de estacas fuera mayor en *B. bipinnata* que en *B. copallifera* es un resultado interesante, ya que permite planear el número de estacas que es necesario usar para lograr un cierto número de plantas de cada especie.

Los copaleros pueden identificar a los árboles idóneos para la extracción de copal (Cruz *et al.*, 2006). Algunas características asociadas a una producción de buena calidad y cantidad de resina son: árboles saludables (sin plagas), con un diámetro a la altura del pecho de entre 15 y 20 cm, una corteza brillante y suave, hojas de un verde brillante y forma puntiaguda, así como la consistencia y el color de la resina (Abad-Fitz *et al.*, 2020). La propagación por estacas de árboles con estos rasgos, además de ser una alternativa a la propagación por semillas, permitiría seleccionar árboles con una producción de resina de buena calidad y cantidad (Mesén, 1998).

Una desventaja de este método de propagación es la posible disminución de la diversidad genética de las poblaciones (Brockhoff *et al.*, 2008); sin embargo, se puede evitar si se colecta estacas de un número grande de individuos, de preferencia no muy cercanos entre sí, lo que permitiría mantener la variabilidad genética de las poblaciones (Leaky *et al.*, 2005). La propagación a partir de estacas puede ser una alternativa fácilmente replicada por los copaleros, pues ya existe un manual de propagación de algunas especies del género dirigido a productores rurales (Castellanos-Castro y Bonfil, 2011).

La ausencia de germinación de semillas de *B. bipinnata* en 2015 representó un problema para este trabajo, porque no se pudo tener un diseño experimental completo para comparar la supervivencia y el crecimiento de plántulas, plantas y estacas de poco más de un año de crecimiento en invernadero en ambas especies. Eso nos obligó a analizar, por un lado, el desempeño de las estacas y plántulas de ambas especies y por el otro el de las plantas de diferentes tamaños de *B. copallifera*. Este resultado nos lleva a la conclusión de que es mucho más factible la propagación por estacas que por semillas de *B. bipinnata*, y es un factor por tomarse en cuenta al planear las plantaciones con esta especie.

Estacas y plántulas

Supervivencia — Al término del primer año la supervivencia global de la plantación experimental fue alta (71 %) comparada con otras plantaciones realizadas con estacas y/o plántulas de especies del género *Bursera* en Morelos (Barrales, 2009; Díaz Martín, 2010; Castellanos-Castro y Bonfil 2011). Sin embargo, el tamaño inicial de las estacas y plántulas,

las condiciones ambientales y de la vegetación en las diversas plantaciones difieren entre sí. Por ello, en las comparaciones deben tenerse presentes dichas diferencias.

Después de un año en campo las estacas tuvieron una mayor supervivencia que las plántulas (Figura 5) y las estacas de *B. bipinnata* presentaron una supervivencia 17 % mayor que las de *B. copallifera*. En las plántulas esta diferencia fue menor, pero en el mismo sentido (5 %). Estos resultados pueden deberse a que las estacas (Cuadro 1), al contar con una mayor biomasa del tallo, cuentan con un buen almacén de sustancias de reserva que pueden usarse para sobrevivir durante la temporada seca (Zahawi y Holl, 2009; Vieira *et al.*, 2013).

En el segundo año en que se monitoreó la plantación, la supervivencia continuó disminuyendo, pero hubo una tendencia a que ésta fuera mayor en las estacas de *B. bipinnata* (Figura 6). Aunque en ambas especies las estacas presentaron un mejor desempeño que las plántulas, no puede suponerse que en cualquier contexto se repita este resultado, ya que existen diferentes barreras ecológicas para el establecimiento y crecimiento en distintos sitios (Janzen, 2002; Meli 2003). Por ejemplo, en otras plantaciones de estacas de distintas especies de *Bursera* y distintos tamaños se ha encontrado que la supervivencia está relacionada con la especie, el tamaño inicial de las estacas y las condiciones ambientales del sitio de estudio (Luna, 2008; Castellanos-Castro, 2009; Zahawi y Holl, 2009; Díaz Martín, 2010).

La alta supervivencia y el mayor crecimiento de las estacas de *B. bipinnata* pueden deberse a que esta especie prospera mejor en condiciones ligeramente más frescas y en un intervalo altitudinal ligeramente mayor que *B. copallifera* (Hernández-Pérez *et al.*, 2011), que son las condiciones del sitio de estudio. Esta es una hipótesis que deberá probarse con futuros estudios. Además, las características y estrategias de crecimiento de cada especie influyen directamente en la supervivencia de las plantas, cuando tienen mayor crecimiento también se incrementa la supervivencia (Huante *et al.*, 1995; Márquez-Torres y Martínez-Garza, 2022). Las estacas de *B. bipinnata* presentaron mayor incremento relativo de la biomasa y mayor TRC (Cuadro 9), y con ello mayor capacidad de almacenar recursos, lo que pudo contribuir a su mayor supervivencia en el segundo año.

No hay estudios previos de plantaciones realizadas con *B. bipinnata*, por lo que este estudio hace una aportación al conocimiento del manejo de esta especie. Nuestros resultados indican que es más recomendable usar estacas que plantas propagadas por semillas de esta

especie. Es muy probable que su alta supervivencia se relacione con el tamaño inicial del vástago (Cuadro 1; Figura 6); ya que un mayor tamaño inicial permite enfrentar mejor el estrés hídrico durante la temporada seca, que es la principal causa de muerte en los BTC (Janzen, 2002; Zahawi y Holl, 2009; Márquez-Torres y Martínez-Garza, 2022).

Castellanos-Castro y Bonfil (2011) realizaron plantaciones de estacas de *B. copallifera* (con un tamaño inicial ~25 cm), con una supervivencia anual global muy baja (2.6 %), asociada a las condiciones de estrés hídrico relacionadas con la estacionalidad de la lluvia y condiciones desfavorables del suelo (alto contenido de arcillas y compactación). Otras dos especies de *Bursera* usadas en las mismas plantaciones, *B. linanoe* y *B. glabrifolia*, presentaron una mayor supervivencia (26.4 y 14 % respectivamente), lo que refuerza que el desempeño de las estacas de *Bursera* está estrechamente relacionado con la especie y las condiciones ambientales del sitio en que se realiza la plantación.

Díaz Martín (2010) comparó el desempeño en campo de dos plantaciones (en un pastizal y un bosque secundario) de estacas y plántulas de *B. copallifera* de 3 a 5 meses de edad. La supervivencia anual de las estacas fue 13.7 % y de las plántulas 21.6 %, pero las plántulas presentaron un mejor desempeño en el pastizal y las estacas en el bosque secundario. En el pastizal la mortalidad estuvo asociada al estrés hídrico, y en el bosque secundario tanto a éste como a la herbivoría. Barrales (2009) reportó supervivencias muy bajas (6 % y 2.5 %) de plántulas muy pequeñas de *B. copallifera* (41 días de desarrollo) en dos sitios. Estos datos muestran que la supervivencia inicial de las plántulas muy pequeñas es muy baja en campo, y las plantaciones permiten evitar dicha barrera ambiental, al introducir plantas más grandes y resistentes al estrés hídrico y la herbivoría.

Las plantaciones mencionadas se establecieron en sitios ligeramente más cálidos que el presente trabajo. En Tepoztlán, la temperatura media anual es 20.8 °C y durante el periodo de estudio fue 21.7 °C (INEGI, 2017; Figura 5), mientras que en las plantaciones antes mencionadas la temperatura media anual fue de 23.3 y 22.6°C en dos sitios distintos (Díaz Martín, 2010) y de 21.6 y 22.9°C en otros dos (Barrales, 2009). El sitio dónde se realizó la plantación de la presente investigación se encuentra en una zona semiurbana y está cercado; el suelo era rico en materia orgánica, y no había depredadores (roedores o conejos), por lo que la mortalidad estuvo asociada principalmente al estrés hídrico, a diferencia de otros

estudios en que estuvo asociada, además del estrés hídrico, a la anegación del suelo en la temporada de lluvias y a la herbivoría (Tobón, 2005; Zahawi, 2005; Castellanos-Castro 2009; Dirzo y Boege., 2009).

Crecimiento — Se ha considerado que, en general, las especies de *Bursera* son características de bosques maduros; su crecimiento es relativamente lento y presentan poca plasticidad (Rzedowski y Kruse, 1979; Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002; Montes, 2006). En este contexto general, el origen de la planta fue un factor importante, ya que desde un inicio las estacas tuvieron, y mantuvieron, valores promedio mayores que las plántulas en las tres variables de tamaño evaluadas en campo (Cuadro 4). Esto contribuye a explicar su mayor supervivencia durante el primer año, ya que la altura y el diámetro o área basal iniciales son importantes para el establecimiento de las plantas en sitios abiertos; la mayor biomasa del tallo podría representar una ventaja para enfrentar las altas temperaturas a ras de suelo, la competencia interespecífica y porque permite almacenar una mayor cantidad de agua (Zahawi, 2005; Márquez-Torres y Martínez-Garza, 2022).

La especie y la interacción especie \times método de propagación tuvieron un efecto significativo solo en la altura, que no difirió entre las plántulas de ambas especies. En el caso de las estacas de *B. bipinnata*, desde el inicio de la plantación tuvieron una mayor altura que las de *B. copallifera* (Cuadro 1). Durante el tiempo que permanecieron en el invernadero las estacas de la primera especie presentaron un mayor desarrollo apical, lo que resultó en una diferencia en la altura que se mantuvo a lo largo del tiempo (Cuadros 4 y 5). Además, las plantas de *B. bipinnata* son más altas y alargadas, mientras que en las de *B. copallifera* los tallos son más cortos y gruesos; esta tendencia también se observó en las plántulas, aunque en menor medida (Cuadro 5). También se esperaba que el método de propagación tuviera un efecto significativo en la asignación de biomasa, lo que sucedió con la biomasa inicial del tallo y hojas y el área foliar (Cuadro 5). Un vástago previamente desarrollado permite tener un rápido crecimiento y disminuir la competencia con las malezas (Mesén, 1998), que se observó durante la temporada de lluvias. En algunas ocasiones los pastos y enredaderas doblaban o constreñían los tallos y hojas, lo que provocó reducciones en la altura de algunas plantas, por lo que las podas periódicas de las malezas son una medida de manejo importante en plantaciones.

La biomasa de la raíz y la proporción de raíces finas están asociadas a la absorción de nutrientes y agua; en plantas de lento crecimiento una mayor proporción de raíces finas favorece el crecimiento (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). A pesar de que se aplicó una hormona para estimular el crecimiento de la raíz en las estacas, y de que éstas permanecieron poco más de un año en el invernadero, sus valores del cociente R/V fueron de aproximadamente la mitad del valor promedio de las plántulas. Esto muestra que el tiempo transcurrido en el vivero no fue suficiente para balancear el valor de este cociente. Sin embargo, este desbalance del cociente R/V no representó una restricción fuerte para su crecimiento en campo.

Por otra parte, sin importar el origen de las plantas, la proporción de raíces finas fue mayor en *B. copallifera* que en *B. bipinnata*, lo que apunta hacia diferencias de origen genético en la formación y el crecimiento de las raíces. También destaca que la interacción entre el método de propagación y la especie fue significativa en la biomasa de raíz y de hojas, así como el área foliar y el área foliar específica (Cuadro 6), con valores promedio mayores en las tres primeras variables en estacas de *B. copallifera*, y un AFE mayor en plántulas de *B. bipinnata* (Cuadro 5). Esta tendencia se mantuvo hasta el final del estudio y puede asociarse a las características morfológicas propias de cada especie (Villar *et al.*, 2008). A pesar de que las dos especies de estudio pertenecen a la Sección Bullockia, y comparten estrategias de almacenamiento de agua en los tallos para afrontar el estrés hídrico (Vázquez Medrano, 2016), *B. copallifera* tiene tallos más cortos y gruesos, así como hojas grandes y más gruesas, que *B. bipinnata*, que tiene hojas más delgadas y folíolos más pequeños, así como un tallo más esbelto.

Huante *et al.* (1995) analizaron el crecimiento inicial (primeros tres meses de vida) en invernadero de plántulas de 34 especies leñosas del BTC, y encontraron que la TRC estaba muy correlacionada con el cociente biomasa de hojas/biomasa total (LWR por sus siglas en inglés) y con el área foliar específica (Rincón y Huante, 1993; Antúnez *et al.*, 2001; Villar *et al.*, 2008). En nuestro caso el AFE inicial de las plántulas de *B. copallifera* fue de 270.9 cm² g⁻¹, y en *B. bipinnata* fue de 332 cm² g⁻¹, y el LWR fue de 0.17 y 0.20 respectivamente. Con base en estos datos, se esperaría que la TRC fuera mayor en plántulas de *B. bipinnata*, pero nuestros datos no permitieron confirmar esa predicción, ya que las TRC de plántulas y de

estacas de ambas especies no difirieron significativamente (Cuadros 9 y 10). Esto probablemente se debe a que en campo hay más fuentes de variación que en condiciones controladas (invernadero), en donde es más fácil observar diferencias significativas. Sin embargo, en ambos casos el valor promedio de la TRC fue mayor en *B. bipinnata* que en *B. copallifera*. El que los incrementos relativos en las variables de crecimiento y las TRC fueran mayores en plántulas que en estacas era de esperarse, dado que las plántulas tienen mayores TRC que los brinzales o plantas de mayor tamaño (Villar *et al.*, 2008).

En la evaluación de asignación de biomasa final ya no fue posible comparar estacas y plántulas conjuntamente. En las estacas solo destacó un mayor valor del cociente R/V en *B. copallifera* que en *B. bipinnata*, mientras que el AF fue bastante mayor en esta última especie, diferencia que no existía inicialmente; en las plántulas no hubo diferencias importantes (Cuadros 7 y 8). El que las diferencias iniciales entre especies en la proporción de raíces finas y en el AFE dejaran de ser significativas parece ser un fenómeno natural. La disminución del AFE y de la proporción de raíces finas en sitios con mayor radiación ha sido reportada en plantaciones de otras especies del BTC y está asociada con el estrés hídrico (Cervantes *et al.*, 1998; Huante y Rincón 1998; Tobón, 2005).

Zahawi y Holl (2009) plantaron estacas (ramas grandes de 2 m) de *B. simaruba* directamente en el campo para evaluar su desempeño en un proyecto de restauración. Aunque afirman que esta técnica permite reducir el costo de propagación y mantenimiento, debe considerarse que el número de plantas que es posible propagar con estacas de gran tamaño es reducido. Con estacas provenientes de ramas más pequeñas, como las del presente estudio, es posible propagar una mayor cantidad de plantas, pero se requiere de un periodo de crecimiento previo en el invernadero, por lo que los costos de producción entre plántulas y estacas no difieren mucho, pero las estacas presentan un mejor desempeño en campo.

Plantas de *Bursera copallifera*

La regeneración natural de *B. copallifera*, así como la de otras especies del género, es errática y esporádica (Barrales, 2009). En plantaciones previas con esta especie, al igual que con otras, se ha observado que el tamaño inicial de las plantas al momento del trasplante es un predictor importante en su desempeño en campo (Montes, 2006; Bonfil y Trejo, 2010; Díaz

Martín, 2010). Por ello se consideró importante comparar el desempeño de plantas de un año y de tres meses de desarrollo en invernadero.

Aunque al final del primer año la supervivencia fue ligeramente mayor en las plantas de mayor tiempo de desarrollo, las diferencias no fueron significativas (Figura 7a). Sin embargo, al final del segundo año la supervivencia fue significativamente mayor en las plantas (Figura 7b). Aunque no se pudo realizar el registro de plantas vivas en una parte del terreno debido a la presencia de abejas, los resultados obtenidos muestran que las plantas con un mayor desarrollo tienen una mayor supervivencia. La supervivencia inicial pudo estar influida por la presencia de árboles en las parcelas, cuya sombra genera microclimas favorables para la supervivencia (McLaren y McDonald, 2003; Vargas-Rodríguez *et al.*, 2005; Encino-Ruíz *et al.*, 2013; Derroire *et al.*, 2016).

En dos plantaciones con plántulas de *B. copallifera* realizadas en diferentes sitios de Xochicalco, Morelos, la supervivencia fue de 10 % (Barrales, 2009) y 18.2% (Díaz Martín, 2010), cifras bastante menores que la registradas en este trabajo al final del primer año de la plantación (58 % en plántulas; Figura 7). Estas diferencias pueden deberse en parte al mayor tamaño inicial de las plántulas usadas en este trabajo (Cuadro 1) y al clima más benévolo del sitio de estudio, que es más húmedo y fresco que el de otras zonas de BTC en Morelos. En Xochicalco la temperatura media anual es mayor (22.9 °C) y la precipitación anual es menor (1055 mm; Barrales, 2009; Díaz Martín, 2010) que en nuestro sitio de estudio (temp.media anual 21.7 °C, precipitación media anual 1216 mm; INEGI, 2017; Figuras 2 y 3). De manera similar, en una plantación en la Sierra de Huautla con 12 especies nativas se encontró una supervivencia global de plántulas de 23.42 %, pero es una región más caliente y seca (temperatura media anual 25 °C, precipitación anual 971.4; Marques-Torres y Martínez-Garza, 2022). Estos datos podrían indicar que la variabilidad de las condiciones climáticas influye fuertemente en la supervivencia y el crecimiento de las plantas en campo.

Además del clima, las condiciones del suelo pueden afectar la supervivencia de las plantas (Griscom, *et al.*, 2010). Aunque en el primer año las plántulas presentaron una mayor mortalidad por estrés hídrico, en el segundo se observó que la sombra, la competencia con las hierbas de rápido crecimiento y la anegación del suelo en algunos sitios impactaron negativamente la supervivencia, sobre todo en las plantas de menor tamaño. Nuestros

resultados muestran que las plantas jóvenes de estas especies de *Bursera* pueden tener una supervivencia alta en el primer año, pero en el segundo año continúa disminuyendo hasta llegar a porcentajes más bajos, similares a los reportados por Castellanos-Castro y Bonfil (2011) y Bonfil *et al.* (2016). Por ello, es conveniente realizar el monitoreo de las plantaciones durante varios años, para obtener datos más robustos sobre el establecimiento a largo plazo de diversas especies del BTC.

En las gráficas de supervivencia se puede observar que la mortandad de las plantas fue mayor durante la temporada seca, por lo que pueden usarse técnicas como los acolchados para disminuir la mortalidad por estrés hídrico, que han probado su eficacia en plantaciones realizadas en bosques tropicales secos (Barajas-Guzmán y Barradas, 2011; Núñez-Cruz y Bonfil, 2013).

En el análisis clásico de crecimiento de plantas de *B. copallifera*, el tamaño inicial no tuvo un efecto significativo en el incremento en área basal y área de la copa, que fueron similares en los dos tipos de plantas (Cuadro 11); esto contrasta con lo reportado en una plantación de *Cedra dugessi*, *Albizina occidentalis* y *Eysenhardita polystachya* en un BTC, en la cual la altura inicial de las plántulas tuvo un efecto significativo en el diámetro basal final (Encino-Ruíz *et al.*, 2013). Aunque este último trabajo se realizó con plántulas recién emergidas en campo, los resultados de éste y otros trabajos indican que el tamaño inicial afecta el desempeño de las plantas (Barrales, 2009; Carrasco-Carballido *et al.*, 2019; Márquez-Torres y Martínez-Garza, 2022).

Las diferentes características y estrategias propias de cada especie determinan el crecimiento y la TRC. En este trabajo las TRC en altura fueron de 1.5 ± 0.3 y 1.96 ± 0.5 mm cm^{-1} día en plantas y plántulas respectivamente y en área basal fueron de 3.1 ± 0.2 y 4.2 ± 0.7 mm² cm^{-1} día⁻¹, respectivamente; estos valores son parecidos a los reportados en otras especies del BTC, como *Acacia pennatula* y *Conzanttia multiflora* (Tobón, 2005; Becerra-Vázquez, 2010). Por otro lado, aunque no se registraron diferencias significativas en el incremento relativo de biomasa en los distintos órganos entre los dos tipos de plantas, se observó una tendencia a un mayor incremento en la biomasa del tallo y del área basal en plantas que en plántulas (Cuadro 12), así como una tendencia al decremento en la proporción de raíces finas en ambos tipos de plantas. Es importante realizar estudios a más largo plazo

sobre los cambios en la asignación de biomasa a lo largo del ciclo de vida de éstas y otras especies del BTC, ya que se sabe muy poco sobre el crecimiento y desarrollo de las raíces en etapas posteriores a la de plántula o planta joven, y esta información resulta relevante para entender sus estrategias para enfrentar recursos limitantes, como el agua, en distintas etapas del ciclo de vida (Paz *et al.*, 2015).

Consideraciones finales

Algunas especies de *Bursera* se han usado en sistemas agroforestales tradicionales de los BTC de México, los cuales permiten mantener una alta diversidad vegetal y proporcionan bienes y servicios a las comunidades (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2018; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Por ello, incorporar estas especies multipropósito a los sistemas agroforestales podría ayudar a mantener las poblaciones naturales de copales, y también beneficiar a otras especies asociadas a estos árboles. Se sabe que diversos animales, especialmente aves, se alimentan de los frutos de *Bursera* (Sierra-Morales *et al.*, 2016; Almazán-Núñez *et al.*, 2021), y también se han registrado interacciones entre estos árboles y distintos grupos de insectos (Becerra y Venable, 1999; 2008), entre ellos polinizadores (Rivas-Arancibia *et al.*, 2015). Sin embargo, aún hay un gran campo de estudio para documentar la diversidad de la fauna asociada a las distintas especies del género.

Por otro lado, las plantaciones de especies productoras de la resina (copal) pueden ayudar a disminuir la inversión en trabajo (especialmente por el recorrido de grandes distancias) que realizan los copaleros, y contribuir a mejorar sus ingresos. La selección de individuos con una buena producción de resina, que ya se realiza en poblaciones manejadas de *B. bipinnata* (Abad-Fitz *et al.*, 2020), puede realizarse de forma más intensiva a partir de su identificación y propagación por estacas. Este método permite seleccionar características deseables, de interés comercial, ya que se mantienen los rasgos genéticos y fenotípicos en las nuevas plantas (Leakey *et al.*, 2005).

En este estudio se registró tanto una mayor supervivencia y crecimiento de las estacas que de las plántulas de ambas especies de *Bursera* durante el primer año de la plantación, en condiciones climáticas relativamente benéficas. Sin embargo, es necesario realizar un seguimiento durante un plazo mayor (alrededor de cinco años), pues observaciones

posteriores nos permitieron documentar que, incluso durante el segundo año, se presentó una mortalidad importante durante la temporada seca. También es importante realizar estudios similares en otras zonas de BTC con distintas condiciones climáticas, como la Sierra de Huautla o distintas zonas del estado de Guerrero, en donde se distribuyen las dos especies estudiadas. Con éste y otros trabajos similares se espera que los copaleros puedan manejar plantaciones productivas, establecer cercas vivas o integrar a las especies productoras de copal como parte de sus sistemas agroforestales.

En el caso de *Bursera bipinnata* la propagación por estacas puede resultar más importante que en *B. copallifera*, debido a la dificultad de propagarla por semillas. El presente trabajo contribuye al conocimiento de la propagación y desempeño de *B. bipinnata*, ya que no se cuenta con registros previos de su uso en plantaciones experimentales.

Por último, es importante destacar que los estudios que analicen el desempeño en campo de especies de interés comercial y ecológico son importantes para brindar información que incentive la conservación y manejo sustentable de estos recursos (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Para ello se requieren estrategias de manejo multidisciplinarias que permitan una extracción y comercialización sustentable, equitativa, efectiva, dirigidas por los intereses y preferencias de los productores.

Literatura citada

- Abad, I. 2019. Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México. Tesis de Maestría (En Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación). Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Morelos, México.
- Abad-Fitz, I., Maldonado-Almanza, B., Aguilar-Dorantes, K. M., Sánchez-Méndez, L., Gómez-Caudillo, L., Casas, A., Blancas, J., García-Rodríguez, Y. M., Beltrán-Rodríguez, L., Sierra-Huelsz, J. A., Cristians, S., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I., Espinosa-García, F. J. 2020. Consequences of traditional management in the production and quality of copal resin (*Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl.) in Mexico. *Forests*, 11(9), 991.
- Almazán-Núñez, R. C., Álvarez-Álvarez, E. A., Sierra-Morales, P., Rodríguez-Godínez, R. 2021. Fruit size and structure of zoochorous trees: identifying drivers for the foraging preferences of fruit-eating birds in a Mexican successional dry forest. *Animals*, 11(12), 3343.
- Andrés-Hernández, A. R. y Espinosa-Organista, D. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Botanical Sciences*, (70), 5-12.
- Antúnez, I., Retamosa, E. C., Villar, R. 2001. Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia*, 128(2), 172-180.
- Arnold, J. M. y Ruíz-Pérez, M. 1998. The Role of Non-timber Forest Products in Conservation and Development. En: E. Wollenberg, A. Ingles (Editores). *Incomes from the Forest: Methods for the development and conservation of forest products for local communities* (pp 17-42). Indonesia: CIFOR/IUCN.
- Arnold, J. M. y Ruíz-Pérez, M. 2001. Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics*, 39(3), 437-447.
- Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E. Ovalle, C, Pontanier, R. 1993. Restoration and Rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands I. A view from the south. *Restoration Ecology*, 1(3), 168- 187.

- Barrales, B. 2009. Establecimiento inicial de *Bursera copallifera* en tres sitios con diferentes grados de perturbación. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Becerra, J. X. y Venable, D. L. 1999. Macroevolution of insect–plant associations: The relevance of host biogeography to host affiliation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(22), 12626-12631.
- Becerra, J. X., Venable, D. L., Evans, P. H., Bowers, W. S. 2001. Interaction between chemical and mechanical defenses in the plant genus *Bursera* and their implications for herbivores. *American Zoologist*, 41(4), 865-876.
- Becerra, J. X. y Venable, D. L. 2008. Sources and sinks of diversification and conservation priorities for the Mexican tropical dry forest. *PLoS One*, 3(10), e3436.
- Becerra-Vázquez, A. G. 2010. Germinación de semillas y crecimiento inicial de especies arbóreas del bosque seco en la Depresión Central de Chiapas. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México,
- Bilbatúa, K. P. 2019. Diagnóstico de la vegetación de Amatlán, Morelos, México con fines de conservación y restauración. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Blancas, V. J., Caballero, J., Beltrán, R. L. 2017. Los Productos Forestales No Maderables de México Fascículo 1. Panorama general. Red temática Productos Forestales No Maderables/CONACY. Primera Edición. México.
- Blackie, R., Baldauf, C., Gautier, D., Gumbo, D., Kassa, H., Parthasarathy, N., Paumgarten, F., Sola, P., Pulla, S., Waeber, P., Sunderland, T. 2014. Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research. Discussion Paper. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Bonfil, C., Mendoza-Hernández, D. E., Ulloa, J. A. 2007. Enraizamiento y producción de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia* 41(1), 103-109.

- Bonfil, C., Cajero-Lázaro I., Evans, R. Y. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia*, 42(7), 827-834.
- Bonfil, C. y Trejo, I. 2010. Plant propagation and the ecological restoration of Mexican tropical deciduous forests. *Ecological Restoration*, 28(3): 369-376.
- Bonfil, C., Barrales-Alcalá, B., Mendoza-Hernández, P. E., Alavez-Vargas M., García-Barrios R. 2016. Los límites sociales del manejo y la restauración de ecosistemas: una historia en Morelos. En: E. Ceccon y C. Martínez-Garza (Coordinadoras). *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (pp 322-345). Morelos: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Bonfil, C., Núñez-Cruz, A., Barrales-Alcalá, B. A. 2017. Diagnóstico de sistemas productivos (agrosilvopastoriles, orgánicos y agroforestales) y prácticas actuales de conservación en el estado de Morelos. CONABIO/UNAM.
- Brockhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., Sayer, J. 2008. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17(5), 925-951.
- Carrasco-Carballido, V., Martínez-Garza, C., Jiménez-Hernández, H., Márquez-Torres, F., Campo, J. 2019. Effects of initial soil properties on three-year performance of six tree species in tropical dry forest restoration plantings. *Forests*, 10(5), 428.
- Castellanos-Castro, C. 2009. Propagación vegetativa, establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies del género *Bursera*. Tesis de Maestría (En Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México.
- Castellanos-Castro, C., y Bonfil, C. 2010. Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. ex L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 93-108.
- Castellanos-Castro, C. y Bonfil, C. 2011. Propagación por estacas de algunos copales. Programa Actores Sociales de la Flora Medicinal en México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Serie Patrimonio Vivo 9. pp 28.

- Castellanos-Castro, C., y Bonfil, C. 2013. Propagation of three *Bursera* species from cuttings. *Botanical Sciences*, 91(2), 217-224.
- Cajero-Lázaro, M. I. 2009. Germinación de seis especies del género *Bursera* de la Selva Baja Caducifolia del noreste de Morelos, México. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.
- Cayetano-Rosas, H. 2014. Avifauna de Amatlán de Quetzalcóatl, Tepoztlán, Morelos. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Clark, D. A. y Clark, D. B. 1981. Effects of seed dispersal by animals on the regeneration of *Bursera graveolens* (Burseraceae) on Santa Fe Island, Galapagos. *Oecologia*, 49(1), 73-75.
- CLICOM. S.f. Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN a través de su plataforma web del CICESE. Disponible en: <http://clicom-mex.cicese.mx> (Consultado el 09 de mayo de 2022).
- CONABIO. 2008. Copales, diversidad y cultura. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2008. Programa de Manejo Parque Nacional El Tepozteco. CONANP, México. Pp 223. Disponible en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcym/71_DOF.pdf (Consultado el 03 de marzo de 2022).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2002. México: Corredor Biológico Chichinautzin. Disponible en: http://www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/chbc_spa.pdf (Consultado el 03 de marzo de 2022).
- Crawley, M. J. 2013. The R Book. Segunda edición. Reyno Unido: John Wiley & Sons.
- Cruz-León, A., Salazar, L., Campos, A. 2006. Antecedentes y actualidad del aprovechamiento de copal en la Sierra de Huautla, Morelos. *Revista de Geografía Agrícola*, (37), 97-116.
- DATATUR, Secretaría de Turismo. 2016. Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2016, México.

- Derroire, G., Tigabu, M., Odén, P. C., Healey, J. R. 2016. The effects of established trees on woody regeneration during secondary succession in tropical dry forests. *Biotropica*, 48(3), 290-300.
- Díaz Martín, R. 2010. Evaluación del desempeño de plántulas y estacas de dos especies de *Bursera* en la restauración de sitios perturbados del Noreste de Morelos. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México.
- Dirzo R. y Boege, K. 2009. Patterns of herbivory and defense in tropical dry and rain forests. En: W. Carson, S. Schnitzer, (Coordinadores). *Tropical Forest Community Ecology* (pp 63-78). Reino Unido: Wiley-Blackwell.
- Encino-Ruíz, L., Lindig-Cisneros, R., Gómez-Romero, M., Blanco-García, A. (2013). Desempeño de tres especies arbóreas del bosque tropical caducifolio en un ensayo de restauración ecológica. *Botanical Sciences*, 91(1), 107-114.
- Evans, J. 1999. Planted forests of the wet and dry tropics: their variety, nature and significance. *New Forests*, 17, 25-36
- Evans, P.H., Becerra, J.X., Venable, D.L, Bowers, W. S. 2000. Chemical analysis of squirt-gun defenses in *Bursera* and counterdefense by chrysomelid beetles. *Journal of Chemical Ecology*, 26(3), 745-754
- García-Hernández, C. 2000. Producción de resina en una población de copal santo (*Bursera bipinnata* Moc & Sessé ex DC Engl.) de Teotlalco, mixteca poblana. Tesis de Licenciatura (Ingeniero forestal). Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México, México.
- García-Martínez, L. E. 2012. Aspectos socio-ecológicos para el manejo sustentable del copal en el Ejido de Acateyahualco, Gro. Tesis de Licenciatura (Ciencias Ambientales). Centro de Investigación en Ecosistemas, Universidad Autónoma de México. Morelia, México.
- Gann, G. y Lamb D. 2006. La restauración ecológica: un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida. *Society for Ecological Restoration International*, 1, 12-15
- Gómez-Cárdenas, M., Cruz-Cruz E., Mariles-Flores V., et al. 2009. Recomendaciones y fundamentos técnicos a considerar para el manejo sustentable de poblaciones naturales de

linaloe. En: E. Cruz-Cruz, Mariles-Flores V., Gómez- M. Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (Coordinadores). *Fundamentos técnicos 40 para el manejo de poblaciones naturales de linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México* (pp. 264-289). [Libro Técnico No. 14]. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Griscom, H. P., Ashton, M. S. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: a review of patten and process. *Forest Ecology and Management*, 261 (10), 1564-1576.

Grossnickle, S. C., MacDonald J. E. 2018. Why seedlings grow: influence of plant atributes. *New Forests*, 49 (1), 1-34.

Guízar, N., E. 1998. Estudio de preinversión para el aprovechamiento de los recursos forestales no maderables: copal *Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl., en los bienes comunales de Teotlilco, Puebla. Centro de investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura, Chapingo, México.

Guzmán-Pozos, A. M. y Cruz-Cruz, E. 2014. Guía técnica para la multiplicación de ocho especies de la selva baja caducifolia. Campo Experimenta Zacatepec. CIRPAS-INIFAP. Folleto Técnico No. 80. Zacatepec, Mor. pp 34.

Hernández-Pérez, E. 2008. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos y su relación con el clima. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México.

Hernández-Pérez, E., González-Espinosa, M., Trejo, I., Bonfil, C. 2011. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos, México y su relación con el clima. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 964-976.

Hernández-Ramírez, V., Hernández, A., Cruz, J. A. 2015. Factores que influyen en la supervivencia de plántulas de *Bursera bipinnata* a considerar para su manejo agroecológico en Tepalcingo, Morelos, En: S. J. Sarandón, E. A. Abbona. *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

- Hernández-Téllez, I. 2015. Viabilidad y germinación de semillas de diez especies del género *Bursera*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Ramos-Ordoñez, M. F., Arizmendi, C., Flores-Enríquez, V., Márquez-Guzmán, J. 2016. Extracción y morfología del embrión de *Bursera bipinnata* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*, (117), 27-35.
- Huante, P., Rincón, E., Acosta, I. 1995. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Functional Ecology*, 9(69), 849-858.
- Huante, P., Rincón, E., Chapin III, F. S. 1998. Effect of changing light availability on nutrient foraging in tropical deciduous tree-seedlings. *Oikos*, 82(3), 449-458.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tepoztlán, Morelos. México. Disponible en: <https://xdoc.mx/preview/prontuario-de-informacion-geografica-municipal-5e24b8fd3e468> (Consultado el 10 de junio de 2019).
- INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Morelos, 2017. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094713.pdf (Consultado el 03 de marzo de 2022).
- Janzen, D. H. 2002. Restauración del bosque seco tropical: Área de Conservación Guanacaste (ACG), noreste de Costa Rica. En: M. González-Espinosa, J. M. Rey-Benayas, N. Ramírez-Marcial, (Editores). *Restauración de bosques en América Latina* (pp 181-210). México: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE) y Editorial Mundi-Prensa.
- Khurana, E., y Singh, J. S. 2001. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental Conservation*, 28(1), 39-52.
- Leakey, R. B., Tchoundjeu, Z., Schreckenber, K., Shackleton, S. E., Shackleton, C. M. 2005. Agroforestry tree products (AFTPs): targeting poverty reduction and enhanced livelihoods. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 3(1), 1-23

- Linares, E. y Bye, R. 2008. El copal en México. CONABIO. *Biodiversitas*, 78: 8-11
- Luna-Nieves, A. L., Meave, J., González, E. J., Cortés-Flores, J., Ibarra-Manríquez, G. 2019. Guiding seed source selection for the production of tropical dry forest trees : *Couleria platyloba* as study model. *Forest Ecology and Management*, 446(2019), 105-114
- Luna, A. L. 2008. Establecimiento mediante estacas de cinco especies nativas de selva baja caducifolia en campos de cultivo abandonados en la región de Nizanda, Oaxaca. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Márquez-Torres, F. J., y Martínez-Garza, C. 2022. Survival of 12 native tree species in restoration plantings in the dry forest. *Botanical Sciences*, 100(2), 314-330.
- McLaren, K. P. y McDonald M. A. 2003. The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forest in Jamaica. *Forest Ecology and Management*, 183(1-3), 61-75.
- Meli, P. 2003. Restauración Ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia*, 28(10), 581-589.
- Mendoza-Segovia, Y. A. (2017). Análisis de la variación interespecífica e intraespecífica en la viabilidad de semillas del género *Bursera* (M. Sc.). Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Mendoza-Segovia Y. A., Zúñiga-Vega J., Bonfil C. 2022. Seed viability in *Bursera*: the relative contribution of environmental variation and phylogenetic relatedness. *Plant Species Biology*, 37(1), 52-65.
- Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales (No. 30). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Montes, C. 2006. Crecimiento y supervivencia de plántulas de *Bursera glabrifolia* en respuesta a diferentes condiciones ambientales. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México.

- Montúfar-López, A. 2016. Copal de *Bursera bipinnata*. Una resina mesoamericana de uso ritual. *Travaux et Recherches dans les Amériques du Centre*, 70, 45-77.
- Núñez-Cruz, A. y Bonfil C. 2013. Establecimiento inicial de tres especies del bosque tropical seco en un pastizal degradado: efectos del uso de acolchado y compost. *Agrociencia*, 47(6), 609-620.
- Ochoterena, H. 1977. Origen y edad del Tepozteco. *Investigaciones Geográficas*, (8), 41-54.
- Oller, R. y Langohr, K. 2017. FHtest: An R package for the comparison of survival curves with censored data. *Journal of Statistical Software*, 81(15), 1-25.
- Orantes-García, C., Pérez-Farrera, M. A., Rioja-Paradela, T. M., Garrido-Ramírez, E. R. 2013. Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica*, (36), 117-127.
- Orta, M. N. 2007. Copal: microestructura, composición y algunas propiedades relevantes. Tesis de licenciatura (Ingeniero Químico Industrial). Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional. D. F., México.
- Parrotta, J. A. 1992. The role of plantation forest in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 41 (2), 115-133.
- Paz, H., Pineda-García, F., Pinzón-Pérez, L. F. 2015. Root depth and morphology in response to soil drought: comparing ecological groups along the secondary succession in a tropical dry forest. *Oecologia*, 179(2), 551-561.
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M.S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Gurvich, D.E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quetier, F., Hodgson, J. G., Thompson, K., Morgan, H. D., ter Steege, H., van der Heijden, M. G. A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M. V., Conti, G., Staver, A. C., Aquino, S., Cornelissen, J. H. C., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167-234.

- Purata, S. E. (Coordinadora). 2008. Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites. México: CONABIO/RAICES.
- Ramos-Ordoñez, M. F., Arizmendi, M., Márquez-Guzmán, J. 2012. The fruit of *Bursera*: structure, maturation and parthenocarpy. *AoB Plants*, 2012, pls027.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/> (Consultado el 10 de abril de 2019).
- Rendón-Sandoval, F. J., Casas A., Moreno-Calles, A., Torres-García, I., García-Frapolli, E. 2020. Traditional Agroforestry Systems and Conservation of native Plant Diversity of Seasonally Dry Tropical Forest. *Sustainability*, 12(11), 4600-4627.
- Rincón, E. y Huante, P. 1993. Growth responses of tropical deciduous tree seedlings to contrasting light conditions. *Trees*, 7(4), 202-207.
- Rivas-Arancibia, S. P., Bello-Cervantes, E., Carrillo-Ruiz, H., Andrés-Hernández, A. R., Figueroa-Castro, D. M., Guzmán-Jiménez, S. 2015. Variaciones de la comunidad de visitantes florales de *Bursera copallifera* (Burseraceae) a lo largo de un gradiente de perturbación antropogénica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 178-187.
- Rivera, R. A. 2014. Nodrizaje en poblaciones de *Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) en tres predios de la Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Licenciatura (Ingeniería en Agroecología). Departamento de Agroecología, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México, México.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Sánchez-Cortés, M. S., Gordillo-Ruiz, M. C. 2018. Árboles útiles del bosque tropical caducifolio secundario en la Reserva Forestal Villa Allende, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, (125), 189-214.
- Román-Dañobeyta F., Levy-Tacher S., Perales-Rivera H., Ramírez-Marcial N., Douterlungne D., López-Mendoza S. 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en la selva lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 1-8.

- Romo, C. D. 2019. Factores socioambientales asociados a la urbanización en el municipio de Tepoztlán Morelos (1985-2015). Tesis de Maestría (Ciencias de la Sostenibilidad). Facultad de ciencias, Universidad Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Rzedowski, J. y Kruse, H. 1979. Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae). *Taxon*, 28(1-3), 103-116.
- Rzedowski, J., Medina, L. R., Calderón G. 2005. Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*, 70, 85-111.
- Schroth, G., da Fonseca, A. B., Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H., Izac, M. A., Angelsen, A., Finegan, B., Kaimowitz, D., Krauss, U., Laurance, S. G. W., Laurance, W. F., Nasi, R., Naughton-Treves, L., Niessen, E., Richardson, D. M., Somarriba, E., Tucker, N. I. J., Vincent, G., Wilkie, D. S. 2004. Conclusion: Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes. En G. Schroth, G. A. B. da Fonseca, C. A. Harvey, C. Gascon, H. Vasconcelos, A. M. N. Izac (Editores). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes* (487-502). EUA: Island Press.
- Schroth, G. y McNeely, J. A. 2011. Biodiversity conservation, ecosystem services and livelihoods in tropical landscapes: towards a common agenda. *Environmental Management*, 48, 229-236
- Sierra-Morales, P., Almazán-Núñez, R. C., Beltrán-Sánchez, E., Ríos-Muñoz, C., Arizmendi, M. 2016. Distribución geográfica y hábitat de la familia Trochilidae (Aves) en el estado de Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 363-376.
- Solares, A. F. y Gálvez, C. M. C. 2002. Manual para una producción sustentable de corteza de cuachalalate (*Amphipterigium adstringens* Schiede ex Schlecht). [Publicación especial No. 34]. SAGARPA/INIFAP. México.
- Tapia-Tapia, E. C. y Reyes-Chilpa, R. 2008. Productos forestales no maderables en México: aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 14(3), 95-112.
- Ticktin, T. 2004. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. *Journal of Applied Ecology*, 41, 11-21.

- Tobón, W. 2005. Evaluación del crecimiento y establecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* para la restauración de las selvas bajas de Morelos. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Toledo-Manzur, C. 1982. El género *Bursera* (Burseraceae) en Guerrero (México). Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- 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.
- Vargas-Rodríguez, Y. L., Vázquez-García, J. A., Williamson, G. B. 2005. Environmental correlates of tree and seedling-sapling distributions in a Mexican tropical dry forest. *Plant Ecology*, 180(1), 117-134.
- Vázquez, M. M. 2016. Características funcionales y respuesta al estrés hídrico en plántulas de once especies del género *Bursera*. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México.
- Vieira, D. L., Coutinho, A. G., da Rocha, G. P. 2013. Resprouting ability of dry forest tree species after disturbance does not relate to propagation possibility by stem and root cuttings. *Restoration Ecology*, 21(3), 305-311.
- Villar, R., Ruíz-Robledo, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, F., Marañón, T. 2008. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: *Ecología del Bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 2ed. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 193-230.
- Zahawi, R. A. 2005. Establishment and growth of living fence species: an overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restoration Ecology*, 13(1), 92-102.
- Zahawi, R. A. y Holl, K. D. 2009. Comparing the performance of tree stakes and seedlings to restore abandoned tropical pastures. *Restoration Ecology*, 17(6), 854-864.