



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Viabilidad y germinación de semillas de diez especies
del género *Bursera***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

INDRA JARED HERNÁNDEZ TÉLLEZ

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders

2015





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.

DATOS DEL JURADO

<p>1. Datos del alumno Apellido paterno: Apellido materno: Nombres (s): Universidad:</p> <p>Facultad o escuela: Carrera: Número de cuenta:</p>	<p>1. Datos del alumno Hernández Téllez Indra Jared Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 306108505</p>
<p>2. Datos del Tutor Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombres (s):</p>	<p>2. Datos del Tutor Dra. Bonfil Sanders María del Consuelo</p>
<p>3. Datos del sinodal 1 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombres (s):</p>	<p>3. Datos del sinodal 1 Dra. Brechú Franco Alicia Enriqueta</p>
<p>4. Datos del sinodal 2 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombres (s):</p>	<p>4. Datos del sinodal 2 Dra. Orozco Segovia Alma Delfina Lucia</p>
<p>5. Datos del sinodal 3 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombres (s):</p>	<p>5. Datos del sinodal 3 Dra. Hernández Apolinar Mariana</p>
<p>6. Datos del sinodal 4 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombres (s):</p>	<p>6. Datos del sinodal 4 M. en C. Martínez Villegas Jorge Arturo</p>
<p>7. Datos del trabajo escrito Título:</p> <p>Número de páginas: Año:</p>	<p>7. Datos del trabajo escrito Viabilidad y germinación de semillas de diez especies del género <i>Bursera</i>. 72 2015.</p>

Agradecimientos

Esta investigación pudo realizarse gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, a través del proyecto “Conservación, restauración ecológica y desarrollo comunitario en dos comunidades de la Sierra de Chichinautzin, Morelos”, con clave: IN218612. Agradezco a la DGAPA-UNAM por la beca recibida a través de dicho proyecto.

A mi universidad, la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de formar parte de sus recintos de enseñanza, por formarme como profesionista y por abrirme las puertas al desarrollo académico y personal. ¡Mi mayor orgullo es ser universitaria!

A la Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders, por su gran apoyo, confianza, dedicación, atención, por sus consejos, por brindarme la oportunidad de trabajar con ella y guiarme en todo momento para concluir la etapa más importante de mi vida académica.

Al gran equipo de trabajo que estuvo a mi lado: Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández, M. en C. Bruno Barrales Alcalá, M. en C. Jorge Arturo Martínez Villegas y Biól. Mónica M. Vázquez Medrano, gracias por todo el apoyo que me brindaron en la parte experimental, y el análisis de resultados, por sus consejos, por su apoyo incondicional, por las pláticas y las enseñanzas, sin duda son un gran ejemplo y sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

A mis padres, por darme la vida, por guiarme en estos veinte años de estudio, por ser mi mayor ejemplo, por apoyar todas las decisiones que tomo, por esforzarse diariamente para permitirme a lanzar mis metas: Norma Téllez Ponce, eres mi mayor orgullo mamá, mi gran ejemplo, quien me ha inculcado el gusto por el estudio, las ganas de salir adelante, el apoyo a la familia, y el amor a la docencia, no solo eres una gran profesionista, sino eres la mejor madre y amiga que pueda existir. ¡Te amo mami!

A mi hermano Gedeón Hernández y su esposa Carmen Muñoz, por el gran apoyo que me han brindado, por demostrar que siempre puedo contar con ustedes, por cuidar de mí y tener siempre tiempo para dedicarme, y por darme el mejor regalo del mundo “Nicole”.

A mi hermosa sobrina Nicole, por iluminar mis días con tu sonrisa, por tus abrazos, tu inmenso cariño y tus travesuras que son mi fuente de felicidad. Quisiera que el triunfo te acompañe en cada paso de tu vida, y que tengas más éxitos que los que tuvimos tu padre y yo juntos. Si me lo permites, te apoyaré en cada decisión y camino que tomes, para que te conviertas en un gran ser humano y siempre seas la número uno. ¡Te amo princesa!

A mi segunda familia “mis amigos” porque la lealtad y la confianza son el mayor ejemplo de que la consanguinidad y la genética no son necesarias para compartir los mejores años de tu vida con una persona y apoyarla incondicionalmente. Gracias por acompañarme en las mejores etapas de mi vida, por

los consejos y las aventuras que jamás terminaran, por entenderme, por llorar, reír, soñar, crecer, madurar y triunfar conmigo. Gracias por permitirme formar parte de sus vidas, y por estar cuando más los necesito, porque han demostrado que siempre estarán a mi lado sin importar nada, y espero corresponderles de la misma manera. ¡Los amo amigos, jamás me falten!

A IEDLT, para ti no tengo palabras, eres mi luz, me alientas a seguir adelante, me apoyas, me entiendes, me escuchas, me cuidas, eres mi bienestar, algún día espero compensar estas bellas acciones y si me lo permites espero seguir compartiendo muchos logros contigo, los tuyos, los míos,... Cuenta conmigo siempre.

“Por mi raza hablará el espíritu”

IV.2.I. Comparaciones entre especies	30
IV.2.II. Relación Peso/Volumen	34
IV.3. Prueba de imbibición	35
IV.4. Germinación	36
IV.4.I. Análisis de los porcentajes de germinación finales.....	36
IV.4.II. Análisis de las tasas de germinación.....	41
IV.5. Observaciones adicionales	44
V. Discusión	45
VI. Conclusiones	55
Literatura Citada.....	56
Apéndices.....	63
Sección Bursera.....	67
Sección Bullockia.....	69

RESUMEN

La deforestación y las alteraciones en la estructura de las selvas bajas caducifolias se ha incrementado en las últimas décadas, por lo que la propagación y reintroducción de diversas especies del género *Bursera* resulta muy útil, ya que son elementos dominantes en los bosques conservados y su abundancia disminuye notablemente en los sitios perturbados. Por ello es necesario abordar el estudio de la propagación de las numerosas especies del género que se encuentran en nuestro país. En este trabajo se evaluó la viabilidad y la respuesta germinativa de semillas de diez especies: cinco provenientes del estado de Morelos (*Bursera ariensis*, *B. bicolor*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia* y *B. grandifolia*), colectadas en 2012, y cinco provenientes de Coxcatlán, Puebla (*B. aptera*, *B. arida*, *B. biflora*, *B. morelensis* y *B. submoniliformis*), colectadas en años anteriores. El porcentaje de semillas viables fue muy variable, con valores mayores a 50% en siete especies y menores a 30% en tres especies. Con excepción de *B. grandifolia*, las semillas colectadas en Morelos tuvieron porcentajes de viabilidad más altos que las colectadas en Coxcatlán. Se analizó el efecto de la especie, la temperatura (constante vs fluctuante) y la escarificación mecánica en la germinación de semillas de seis especies, y se encontraron efectos significativos de la especie, la escarificación y la interacción especie \times escarificación, así como de la interacción de tercer orden. Sin embargo, solo se detectaron diferencias marginalmente significativas en la germinación de semillas escarificadas de *B. glabrifolia* y de *B. bicolor*. Con excepción de *B. arida*, las semillas de especies de Coxcatlán, de mayor edad, mostraron un menor porcentaje de germinación que las especies de Morelos, cuya germinación varió entre 20 y 70%. Los factores experimentales no tuvieron efectos significativos en las tasas de germinación. El inicio de la germinación es un proceso relativamente lento, que se produce entre cinco y nueve días después de la siembra; la tasa de germinación se incrementa cuando han transcurrido entre 9 y 22 días y se estabiliza casi un mes después de la siembra.

I. Introducción

La familia Burseraceae comprende 18 géneros y poco más de 600 especies (Rzedowski y Calderón, 2001), distribuidas en los trópicos secos y subhúmedos de América, África y Asia (Reséndiz, 2009).

El género *Bursera* Jacq. ex L. es uno de los seis géneros de la familia Burseraceae endémicos del continente Americano. Su distribución se restringe a la mitad norte de la porción intertropical del continente americano, desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Brasil y Perú, incluyendo a las Islas Galápagos y las Antillas (Rzedowski, 2004). Comprende alrededor de 100 especies, de las cuales 82 se encuentran en nuestro país, la mayoría de las cuales se encuentra en la Selva Baja Caducifolia (SBC) o Bosque Tropical Caducifolio. En México, la distribución del género está ligada históricamente a la expansión de los bosques tropicales secos (Becerra, 2005; De Nova *et al.*, 2011).

Mc Vaugh y Rzedowski (1966) dividieron al género *Bursera* en dos secciones: la sección *Bursera* y la sección *Bullockia*. La primera comprende árboles con corteza exfoliante, frutos trivalvados, ovario trilocular y flores trímeras a pentámeras, e incluye alrededor de 42 especies. La segunda es la sección *Bullockia*, cuyos árboles tienen corteza no exfoliante (lisa) y grisácea, frutos bivalvados, ovario bilocular y flores tetrámeras o pentámeras, e incluye 40 especies.

En general la floración se presenta al principio de la temporada de lluvias, entre los meses de mayo y junio. El desarrollo de los frutos inicia poco después, y la época en que se encuentran maduros varía mucho entre las distintas especies, pues incluye desde agosto hasta febrero-marzo del año siguiente. Los frutos son drupas dehiscentes y están conformados por tres tejidos: el exocarpio, el

mesocarpio y el endocarpio. El exocarpio y el mesocarpio son carnosos, y el endocarpio es duro, y está frecuentemente cubierto por un tejido de color amarillo o rojo-anaranjado, que se diferencia del mesocarpio, llamado pseudoarilo (Ramos Ordoñez *et al.*, 2013).

Cuando el fruto madura el exocarpio (o cáscara) se seca y se abre, mostrando la “semilla”, que es en realidad una semilla cubierta por el endocarpio. Por la dureza de éste, cada unidad es conocida como “hueso” (Jiménez-Ramírez y Vázquez-Santana, 2013), y éste es el propágulo o unidad de dispersión. La germinación de las semillas de las diferentes especies del género es faneroépigea, es decir, se desarrolla sobre la superficie del suelo (Andrés- Hernández y Espinosa, 2002).

En México, la selva baja caducifolia (SBC) o bosque tropical caducifolio (BTC) cubre alrededor del 8% de la superficie del territorio nacional (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978; Trejo y Dirzo, 2000). Los sitios con SBC en México se presentan en su mayoría en zonas con climas cálidos y subhúmedos, seguido por climas semicálidos. En su mayoría tienen una precipitación anual entre 700 y 1200 mm, una temperatura media anual de 18 a 28 °C y una temperatura mínima anual promedio de entre 1 y 20°C (Trejo, 1999), por lo que la mayoría de las especies del género *Bursera* se establece en sitios en que no se alcanza el punto de congelamiento. Un estudio realizado en el estado de Morelos mostró que algunas especies, como *Bursera bicolor*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia* y *B. grandifolia*, tienen afinidad por lugares relativamente frescos, con temperaturas mínimas de entre 5 y 10°C, mientras que otras, como *B. ariensis* y *B. lancifolia*, solo pueden establecerse en sitios con temperaturas mínimas mayores a 14°C (Hernández-Pérez *et al.*, 2011).

Uno de los grandes problemas que enfrenta este tipo de vegetación es la pérdida de superficie debido al cambio de uso de suelo hacia actividades agrícolas y ganaderas; las tasas de deforestación reportadas en las últimas décadas son altas (~ 2% anual). De los 270 000 km² que se calcula ocupaba originalmente la SBC en el territorio nacional, a principios de la década de los 90s el 23% había desaparecido y otro 23% se encontraba degradado; sólo el 27% del área permanecía como bosques conservados (Trejo y Dirzo, 2000).

La pérdida de la superficie de la SBC conlleva no sólo la eliminación de la cobertura vegetal, sino también alteraciones en el reciclaje de nutrientes del suelo, en el ciclo del agua y en la composición de especies. Además, muchos bosques que permanecen experimentan disturbios recurrentes que producen cambios en su estructura y funcionamiento (Burgos y Maass, 2004). Es por ello que resulta urgente desarrollar herramientas que permitan la restauración ecológica de los bosques alterados y de los sitios degradados de SBC.

En este sentido la propagación y reintroducción de diversas especies del género *Bursera* es muy útil, ya que son elementos dominantes en los bosques conservados (Rzedowski, 1978; Rzedowsky *et al.*, 2005; Espinosa *et al.*, 2006), y su abundancia disminuye notablemente en los sitios perturbados (Piña, 2005). Además, algunas especies tienen importancia económica, ya que de ellas se extraen resinas, aceites esenciales y madera para elaborar artesanías, contribuyendo así a la economía local de algunas comunidades campesinas (Purata *et al.*, 2004; Hernández-Apolinar *et al.*, 2006; Hersch-Martínez y Glass, 2006). Dada la importancia del género *Bursera* en estas comunidades vegetales, es necesario abordar tanto el estudio de la regeneración natural como de la propagación de las especies que lo componen, para lo cual es necesario en primera instancia estudiar la viabilidad y germinación de sus semillas.

I.1. Factores ambientales que controlan la germinación

Las semillas, después de ser dispersadas, pueden germinar o no, dependiendo de las condiciones en que se encuentren. Los requerimientos básicos para que se lleve a cabo la germinación son la humedad, la oxigenación y condiciones apropiadas de luz y temperatura (Besnier, 1989; Baskin y Baskin, 2001; Fenner y Thompson, 2005; Bewley y Black, 2006). El agua es de gran importancia en la germinación, ya que es necesaria para que inicie la primera fase del proceso, denominada “imbibición”. Cuando la semilla cae al suelo, su porcentaje de deshidratación suele ser alto (5% a 20% de su peso), especialmente si es una semilla ortodoxa. Por tanto, la disponibilidad de agua en el suelo y la velocidad de absorción de agua por la semilla son factores críticos, ya que cuando ésta se hidrata se reactivan la respiración celular y los procesos moleculares y metabólicos implicados en el desarrollo y crecimiento del embrión. La imbibición está relacionada directamente con factores como la tasa de germinación y la capacidad de germinación (fracción de semillas que germinan; Besnier, 1989; Bewley y Black, 2006).

La temperatura es otro factor de gran importancia en la germinación, ya que determina la tasa de absorción de agua y la difusión de los gases implicados en la respiración celular; asimismo, regula la velocidad con la que se llevan a cabo las reacciones enzimáticas implicadas en la segunda fase de la germinación, llamada “fase estacionaria”. La temperatura influye directamente en la velocidad de germinación, determinando la fracción de semillas que germina en un tiempo específico. En algunos casos puede inducir una latencia secundaria (en especial cuando se rebasan los límites de tolerancia de temperaturas mínima y máxima), reducir la eficiencia de la actividad enzimática, o bien ocasionar la muerte de la semilla debida a la desnaturalización de proteínas (Bewley y Black, 2006). En climas estacionales, la temperatura es un buen indicador de la época del año y por tanto está implicada fuertemente en determinar el momento de la germinación (Fenner y Thompson, 2005).

La luz promueve o inhibe la germinación en algunas especies. En los frutos de gramíneas, en las que las reservas nutrimentales son escasas, es necesaria para que el proceso se lleve a cabo, mientras que en otras especies puede retardar el tiempo de germinación y dar lugar a plántulas de menor tamaño. La luz actúa en diferentes estadios del proceso de germinación e incipientemente en la emergencia de la radícula, a través del fitocromo (Besnier, 1989).

Los gases del suelo también influyen en la capacidad germinativa, y dependen de la estructura de éste y de sus coeficientes de solubilidad y difusión. El oxígeno es indispensable para la degradación de las sustancias de reserva y el suministro de nutrientes y energía al eje embrionario (Bewley y Black, 2006).

Cuando estos cuatro requerimientos físicos básicos (agua, temperatura, luz y los gases del suelo) están ausentes o son limitados, la semilla permanece en un estado de quiescencia, es decir sin germinar, hasta que estas variables ambientales sean adecuadas para que inicie la actividad metabólica y se produzca la germinación (Besnier, 1989). Por el contrario, si las condiciones que limitan la germinación están dadas por factores fisiológicos o morfológicos propios de la semilla, se dice que ésta se encuentra en un estado de "latencia", la cual se define como las condiciones endógenas o exógenas propias de la semilla, ligadas a los factores ambientales en que se encuentra, que impiden que pueda germinar (Baskin y Baskin, 2001). Vleeshouwers *et al.* (1995) sugieren que la latencia es una característica de la semilla, cuyo grado define las condiciones que se deben cumplir para que ésta germine.

Existe una variedad de mecanismos para romper la latencia de las semillas, tanto naturales como experimentales. En condiciones naturales la latencia puede eliminarse por factores externos como la alternancia de temperaturas extremas

(calor-frío), condiciones de humedad contrastantes, el fuego o el humo, el consumo por animales que actúan como dispersores, los microorganismos del suelo o la calidad de la luz. En condiciones experimentales, los factores asociados al rompimiento de la latencia son: 1) la postmaduración, asociada a la reducción del contenido de humedad en las semillas por secado, 2) la estratificación, que consiste en la exposición de periodos prolongados de frío y humedad, y 3) la luz, en términos de la exposición a un fotoperiodo específico para promover la germinación (Baskin y Baskin, 2001). Existen también algunos factores especie-específicos, es decir, dependientes de las características de las semillas de una especie o grupo de especies. Por ejemplo, en las especies cuyas semillas presentan cubiertas muy duras e impermeables al agua, es recomendable la aplicación de un tratamiento de escarificación que favorezca la imbibición y por tanto la germinación (Hartmann y Kester, 1994).

I.2. Estudios previos de la germinación de semillas del género *Bursera*

Existen muy pocos estudios sobre la germinación de semillas de diferentes especies de *Bursera*. En un estudio previo realizado con seis especies, Bonfil *et al.* (2008) encontraron que tres de ellas (*B. glabrifolia*, *B. grandifolia* y *B. bicolor*) presentaron un mayor porcentaje de germinación cuando se mantuvieron bajo temperatura fluctuante (18-32 °C) en comparación con las que estuvieron a temperatura constante (25 °C), y que la aplicación de un tratamiento con la citocinina benziladenina incrementó la germinación de una especie (*B. copallifera*).

En otro estudio realizado con *B. bipinnata* se reportó que el porcentaje de germinación se incrementó al someter a las semillas a un tratamiento con ácido giberélico (AG₃), o a la escarificación mecánica en comparación con un control (93%, ~90% y 63% respectivamente); y que la viabilidad de las semillas disminuyó

después de ser almacenadas durante un año a temperatura ambiente (25 °C; Orantes-García *et al.*, 2013).

Se han reportado porcentajes de germinación muy bajos en diversas especies del género, y algunos autores proponen que esto se debe a que existe una alta proporción de frutos sin semilla (frutos partenocárpicos o semillas vanas) en algunas especies y poblaciones; tal es el caso de *B. fagaroides* y *B. grandifolia* en Xochicalco, Morelos, en donde se encontraron porcentajes muy altos (cercaos al 100%) de semillas vanas, determinados a partir de pruebas de viabilidad por flotación (Bonfil *et al.*, 2008).

Velázquez (2011) también analizó las diferencias en viabilidad de las semillas de *B. copallifera* y *B. glabrifolia* provenientes de distintos árboles de Xochicalco, Morelos (colectados entre finales de 2007 y principios de 2008), y encontró porcentajes promedio de viabilidad de 68.4% y 63.3% respectivamente. En dicho estudio se analizó la viabilidad tanto por flotación como por rayos X, sin que se encontraran diferencias importantes entre ambos métodos. Por su parte Healy (2007), al analizar la viabilidad de las semillas de cuatro especies de *Bursera* a partir de la prueba de flotación, encontró que, de las semillas que flotaron, entre el 0 y el 5% fueron viables (evaluadas por la tinción del embrión), mientras que el resto estuvieron vacías (entre el 30 y el 80%) o fueron inviables (valores de 18-65%). Ramos-Ordoñez *et al.* (2012), en un estudio con 12 especies, reportaron altas proporciones de frutos partenocárpicos en *B. biflora* (41.3%) y *B. arida* (26.7%) colectados en San Rafael Coxcatlán, Puebla, y porcentajes menores en *B. aptera*, *B. fagaroides* y *B. glabrifolia* (12-14%).

Dada la importancia del género *Bursera*, es necesario desarrollar más estudios sobre la viabilidad de las semillas y las condiciones que favorecen la germinación de un grupo de especies más amplio, lo que permitirá desarrollar protocolos para su propagación sexual. Esto a su vez redundará en una mayor diversidad de especies disponibles para la restauración de las selvas bajas de México (Bonfil y Trejo, 2010). Es con este fin que se realizó el presente trabajo. En él se denomina semilla a la unidad de dispersión, es decir a la semilla cubierta por el endocarpio.

II. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la viabilidad y la germinación de semillas de diez especies del género *Bursera*.

Objetivos particulares

- Evaluar la viabilidad, por el método de flotación, de las semillas de *B. aptera*, *B. arida*, *B. ariensis*, *B. bicolor*, *B. biflora*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia*, *B. grandifolia*, *B. morelensis* y *B. submoniliformis*.
- Describir algunas características morfológicas (tamaño, peso, volumen y densidad) de las semillas de dichas especies.
- Analizar la respuesta germinativa de las semillas bajo dos condiciones de temperatura (constante y fluctuante) y dos tratamientos pre-germinativos (escarificación mecánica y control).

III. Métodos

III.1. Recolección de semillas

La recolección de semillas de cinco especies (*B. ariensis*, *B. bicolor*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia* y *B. grandifolia*) se llevó a cabo en dos localidades del estado de Morelos: a) El Limón y b) Xochicalco, entre noviembre y diciembre de 2012. Las semillas de otras cinco especies fueron donadas por la Unidad de Biología y Prototipos (UBIPRO) de la FES Iztacala (ver abajo).

Se realizaron dos visitas a la localidad de El Limón, durante las cuales se recolectaron semillas de *B. ariensis*, *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. grandifolia*. En la primera salida, se identificaron los árboles de las distintas especies, anotando sus coordenadas para identificarlos posteriormente, y se tomaron muestras de follaje y fotos de hojas y corteza. En las dos primeras salidas realizadas en noviembre y diciembre, se recolectaron las semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. ariensis*, directamente del árbol o bajo su copa. Posteriormente (enero de 2013), con la ayuda de un habitante de la localidad se recolectaron semillas de *B. grandifolia*.

Adicionalmente, se realizaron cuatro visitas a la zona arqueológica de Xochicalco, Morelos, durante las cuales se recolectaron las semillas de *B. copallifera* y *B. glabrifolia*. En la primera visita se georeferenciaron los árboles y se tomaron muestras de follaje y fotos de hojas y corteza, para identificarlos posteriormente. Las semillas se recolectaron a partir del 12 de diciembre de 2012. En ambas localidades se recolectaron semillas de al menos cinco individuos por especie (con excepción de *B. glabrifolia* N=3). En *B. ariensis*, *B. glabrifolia* y *B. grandifolia*, en donde el número de frutos con las valvas abiertas fue bajo, se procedió a recolectar frutos sin abrir, directamente de las ramas. Éstos se trasladaron al laboratorio, donde se dejaron reposar en el invernadero hasta que abriera el

pericarpio, y posteriormente las semillas se limpiaron y separaron para evaluar su viabilidad.

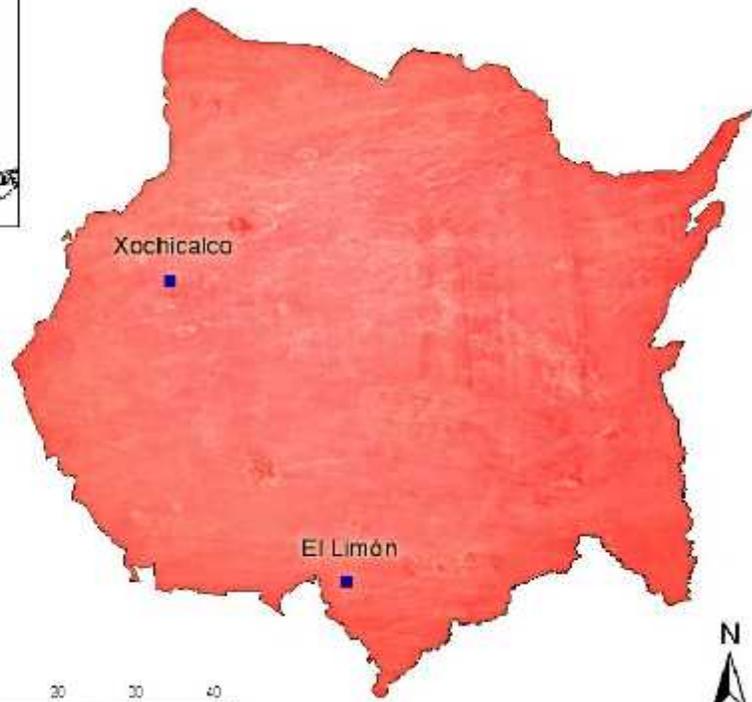
A continuación se describen brevemente los sitios de recolecta:

El Limón de Cuauchichinola, Estación de investigación del Centro de Educación Ambiental e Investigación Sierra de Huautla (CEAMISH).

La estación se localiza al sureste de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH), al sur del Estado de Morelos, en las coordenadas 18°31' N y 98°56' W; tiene una altitud promedio de 1,253 m (De la O 2009, Fig. 1). Se localiza en los límites del Eje Neovolcánico y la depresión del Balsas, en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (De León, 2009). El clima que predomina es cálido subhúmedo con lluvias en verano [Aw₀''(w)(i')g], con una temperatura media anual de 20.3°C y una precipitación media anual de 910 mm (De la O, 2009). Se presentan dos tipos de suelo: feozem (predominante en 99.7% de la superficie) y vertisol, que es un tipo de suelo muy fértil por su alto contenido de materia orgánica. La vegetación predominante es la selva baja caducifolia, de la cual el 56% se encuentra conservada y 19% presenta algún grado de perturbación (De la O, 2009). Entre las familias de plantas más importantes se encuentran Fabaceae, Poaceae, Burseraceae y Bombacaceae (De León, 2009).

Zona arqueológica de Xochicalco.

Se ubica en el noroeste del estado de Morelos, en el municipio de Miacatlán, entre las coordenadas 18°47'40" - 18°48'40" N y 99°17'00" - 99°18'00" W y a una altitud promedio de 1,298 m (Piña 2005, Fig. 1). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano [Aw₀(w)(i')g], con una temperatura media anual de 22.87°C y una precipitación media anual de 1,055 mm (Camacho, 2004). La zona arqueológica de Xochicalco tiene una superficie total de 1,100 ha (Piña, 2005). El tipo de suelo



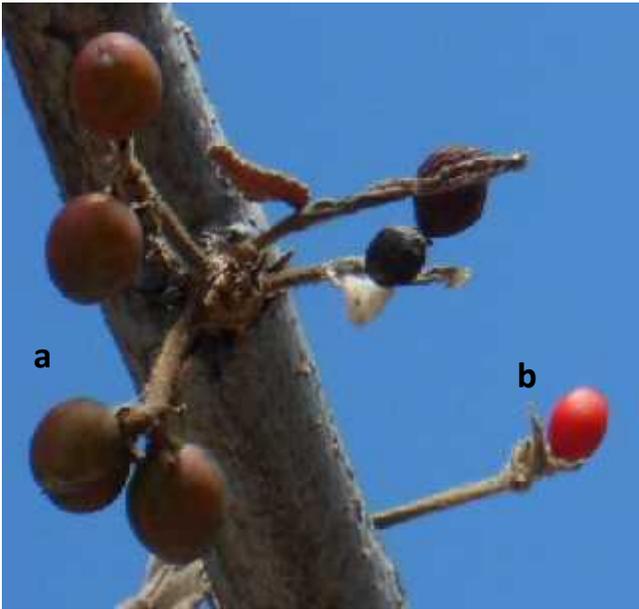
Las semillas de *B. arida*, *B. aptera*, *B. morelensis*, *B. biflora* y *B. submoniliformis* fueron obtenidas a través de una donación de la Unidad de Biología y Prototipos (UBIPRO) de la FES Iztacala, y proceden de San Rafael Coxcatlán, Puebla. Fueron recolectadas en diferentes fechas: *B. submoniliformis* en octubre de 2008, *B. morelensis* en marzo de 2009 y *B. arida* y *B. biflora* en marzo de 2010.

San Rafael Coxcatlán, Puebla.

Se localiza al suroeste del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en el municipio de Coxcatlán, en el estado de Puebla, en las coordenadas 18° 12' y 18° 14' N y 97° 07' y 97° 09' W. La altitud promedio es de 1,217 m. El clima que predomina es BS₁ (h')w"(w)eg, que corresponde a un clima árido a semiárido con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 22°C y una precipitación media anual de 394.6 mm (Canales *et. al.*, 2006). Se presentan dos tipos de suelo, regosol y xerosol, y dos tipos de vegetación predominantes, bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo, respectivamente. Entre las familias de plantas más abundantes se encuentran Burseraceae, Cactaceae, Malvaceae, Fabaceae y Agavaceae (Rzedowski, 1978; Canales *et al.*, 2006).

III.2. Las especies de estudio

El género *Bursera* incluye árboles y arbustos dioicos o polígamo-dioicos, caducifolios, de exudados resinosos y muy aromáticos. Las hojas son generalmente alternas, imparipinnadas o bipinnadas, trifoliadas o unifoliadas, los folíolos con margen entero, dentado o laciniado. Las flores son axilares o terminales, solitarias o agrupadas en cimas, racimos o panículas, con 3 a 5 sépalos y pétalos; estambres del mismo número o dos veces más que los pétalos, con filamentos libres; estilo de 0 a 1, lóbulos del estigma de 2 a 5, ovario súpero, bi o trilobular y carpelar, placentación axial, regularmente con un óvulo por lóculo; generalmente solo uno de ellos se desarrolla, aunque se han visto casos de poliembrionía en algunas especies (Becerril, 2009). El fruto es una drupa



Como se mencionó en la introducción, las especies del género *Bursera* se agrupan en dos secciones: *Bursera* y *Bullockia*. A continuación se describen algunas características distintivas de las diez especies de estudio: el tipo de corteza, el número de valvas en sus frutos (bivalvados o trivalvados), su distribución, altura, características de las hojas y sus usos (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Principales características de las diferentes especies de estudio de la sección *Bursera* (distribución, altura, hojas, corteza, frutos, usos). Datos obtenidos de Cajero (2009), CONABIO (2009), Gil (2010), Gillet (1980), Medina-Lemos (2008), Rzedowski (1978), Rzedowski y Kruse (1979) y Rzedowski *et al.* (2005).

Especie	Distribución en México	Altura	Hojas	Corteza	Frutos	Usos
B. arida	Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla.	1 a 4 m	Imparipinnadas con peciolos largos y alados. Láminas 0.8 a 2.5 cm de largo, con raquis alado, folíolos con haz y envés glabros.	Exfoliante color rojizo-anaranjada o pardo-amarillenta.	Trivalvados color oscuro, pilosos o glabros, pseudoarilo amarillo pálido.	Troncos se utilizan como horcones en viviendas.
B. ariensis	Cuenca del Balsas, Nayarit y Chiapas.	2 a 8 m	Imparipinnadas y pecioladas. Láminas 5 a 22 cm de largo con raquis alado, folíolos con haz y envés pubescentes.	Exfoliante, color amarillo-grisácea.	Trivalvados, agrupados, color rojizo, pseudoarilo color amarillo o anaranjado.	Cercas vivas. Látex como pegamento y resina como incienso.
B. aptera	Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla.	8 m	Imparipinnadas y pecioladas. Láminas 1 a 8.5 cm de largo, con raquis sin alas y folíolos con haz y envés glabros.	Exfoliante, color amarillo.	Trivalvados, pseudoarilo amarillo o blanquecino.	—
B. grandifolia	Cuenca del Balsas, Chihuahua, Colima, Durango, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Zacatecas.	18 m	Imparipinnadas. Láminas con raquis sin alas, y folíolos con haz de color verde más oscuro que el envés, ambos pubescentes.	Exfoliante, color verde oscuro.	Trivalvados, con un largo pedicelo, pseudoarilo color rosa a violeta.	Cerca viva y ornamental.
B. morelensis	Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla, Queretaro y San Luis Potosí.	3 a 10 m	Imparipinnadas, con peciolos acanalados, de 5 a 11 cm de largo. Láminas con raquis alado, y folíolos subsesiles.	Exfoliante, color rojizo.	Trivalvados, color café pardo, glabros, pseudoarilo amarillo pálido.	Madera para la elaboración de cerillos y los troncos como cercas vivas.

Cuadro 2. Principales características de las diferentes especies de estudio de la sección *Bullockia* (distribución, altura, hojas, corteza, frutos, usos). Datos obtenidos de CONABIO (2009), Gil (2010), Gillet (1980), Linares y Bye (2008), Medina-Lemos (2008), Rzedowski (1978), Rzedowski y Kruse (1979) y Rzedowski *et al.* (2005).

Especie	Distribución en México	Altura	Hojas	Corteza	Frutos	Usos
B. bicolor	Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Puebla y Oaxaca.	4 m	Pecioladas, folíolos con haz color verde oscuro y pubescente, envés tomentoso color blanquecino.	No exfoliante, grisácea.	Bivalvados con endocarpio cubierto por pseudoarilo amarillo-naranja.	Resina utilizada en tratamiento contra reumas.
B. biflora	Puebla y Oaxaca.	8 m	En roseta, pecioladas, de 1 a 7 cm de largo,. Láminas con raquis alado y folíolos con haz glabro y envés pubescente.	No exfoliante, gris y ocasionalmete pardo-amarillenta en la base del tronco.	Bivalvados, con pedúnculos rojos y glabros, pseudoarilo anaranjado y ápice negro.	_____
B. copallifera	Cuenca del Balsas, Colima, Hidalgo, Nayarit y Zacatecas.	3 a 6 m	Imparipinnadas, en rosetas, pecioladas. Láminas de 9 a 19 cm de largo, con raquis alado, y folíolos sésiles con haz pubescente color verde oscuro y envés pubescente verde-amarilento.	No exfoliante, gris a rojiza.	Bivalvados, rojizos, pseudoarilo anaranjado y ápice negro.	Se extrae la resina sólida conocida como copal.
B. glabrifolia	Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla.	12 m	Imparipinnadas, pecioladas. Láminas de hasta 12.5 cm de largo, con raquis alado, y folíolos sésiles, con haz y envés pubescentes y color verde.	No exfoliante, gris y ramillas rojizas.	Bivalvados, glabro y pseudoarilo amarillo o rojo-anaranjado.	Extracción de copal, cerca viva. La madera se utiliza para elaborar alebrijes.
B. submoniliformis	Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla.	2.5 a 12 m	Imparipinnadas, en rosetas, pecioladas. Láminas de 15 a 20 cm de largo, con raquis alado, y folíolos subsésiles, con haz y envés pubescentes, envés color más claro o grisáceo.	No exfoliante, gris a gris-rojizo.	Bivalvados, pseudoarilo amarillo o anaranjado.	Extracción de copal. Madera para artesanías.



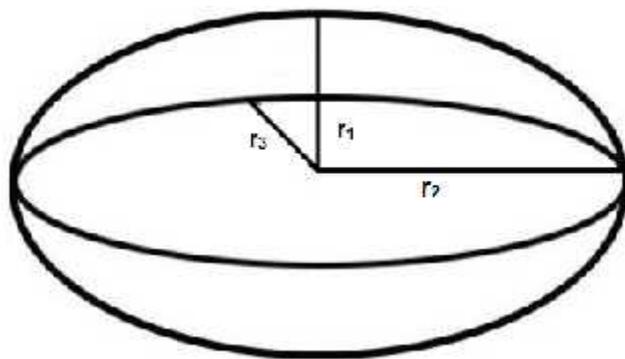
Las semillas viables fueron usadas en tres experimentos posteriores, sin embargo, debido a que su número era reducido en algunas especies, no fue posible realizar todos los experimentos con todas las especies de estudio.

III.3.II. Análisis de la viabilidad individual (entre árboles)

Con el número de semillas viables y no viables obtenidos en la prueba de flotación en las cinco especies recolectadas en Morelos, se evaluaron las variaciones en la entre los individuos (árboles), de los cuales provenían. Se hizo un análisis de dichos valores para cada especie, por medio de una prueba de ji cuadrada (χ^2), bajo la hipótesis nula de que no existen diferencias entre los individuos (árboles).

III.3.III. Comparación de la viabilidad de semillas entre poblaciones (localidades)

B. copallifera fue la única especie en que se encontraron semillas de dos localidades (de Morelos), por lo que se decidió separarlas por localidad y analizar las posibles diferencias de viabilidad entre poblaciones, por medio de una prueba *t* de Student, transformando previamente las proporciones con la transformación arcoseno.



Densidad - se calculó con la finalidad de conocer si podría proporcionarnos información indirecta sobre la dureza de las semillas, usando la fórmula general de densidad:

$$D=m/v \dots\dots\dots F\acute{o}rmula 2$$

Donde m=masa (g) y v= volumen (mm³).

Las diferencias entre especies en el peso de las semillas, su volumen y su densidad se evaluaron con pruebas de Kruskal-Wallis, debido a que los supuestos para realizar un ANOVA no se cumplieron, y se realizó una comparación visual de las gráficas de caja y bigotes cuando el resultado fue significativo (Zar, 2010).

III.4.II. Relación Peso/Volumen

Con los datos obtenidos de peso y volumen, se realizó una regresión lineal para evaluar la relación entre dichas variables.

III. 5. Prueba de imbibición

Esta prueba se realizó para evaluar si la entrada de agua a las semillas se favorecía al escarificarlas por lijado o por perforado, lo que se traduciría en un mayor incremento en su peso respecto al de las semillas sin escarificar, después de un periodo de imbibición de 48 h.

La prueba sólo se pudo realizar con tres especies (*B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*). Se usaron treinta semillas por especie, de las cuales 10 se sometieron a escarificación con lija, 10 a escarificación con un taladro pequeño y 10 se usaron como control (sin escarificar). El lijado se realizó con una lija del número 80 (Fandelli®), tomando las semillas con unas pinzas para relojero y pasándolas

lateralmente por la lija. El número de veces que se lijó una semilla varió dependiendo del grosor del endocarpio: en *B. bicolor* y *B. copallifera* fue de aproximadamente 30 veces y en *B. glabrifolia* ~5 veces. El perforado se realizó con un taladro pequeño marca Dremel y una broca de 0.8 mm, realizando un pequeño agujero en la parte apical de la semilla (en la que se une el pericarpio con la planta madre) y usando como referencia la primera de tres partes de la profundidad de la semilla. Una vez escarificadas, cada semilla se pesó en una balanza analítica (Sartorius®) y se registró su peso, lo mismo se hizo con las semillas no escarificadas. Posteriormente cada semilla se colocó en un vaso desechable (capacidad 10 ml) al que se agregó agua sin cubrirla totalmente, con la finalidad de que se imbibiera en un ambiente oxigenado. Las semillas permanecieron en el agua 48 h y posteriormente se secaron con papel absorbente y se registró nuevamente el peso de cada una.

Se determinó la ganancia de peso en agua como un porcentaje de su peso inicial con la siguiente fórmula:

$$\text{Ganancia de peso} = ((\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Peso inicial}) * 100 \dots \dots \dots \text{Fórmula 3}$$

Los incrementos en peso se analizaron mediante una prueba de Kruskal-Wallis y se realizó una comparación visual de las gráficas de caja y bigotes cuando el resultado fue significativo (Zar, 2010).

III. 6. Germinación

III.6.I. Análisis de los porcentajes de germinación final

Se consideraron dos factores experimentales que pueden afectar la germinación: la escarificación (con dos niveles: sin escarificación y escarificación por lijado), y la temperatura (con dos niveles: temperatura constante y fluctuante). En cuanto a la escarificación, se lijó cada semilla como se describió en el apartado anterior, después de lo cual tanto las semillas escarificadas como las no escarificadas (control) permanecieron 24 h en imbibición. Posteriormente se retiró el pseudoarilo y las semillas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1% y una solución de Captan al 1% para evitar su contaminación por hongos o bacterias. No se pudo contar con el mismo número de semillas en todo los casos debido a la limitación en el número de semillas viables en algunas especies. El número de semillas empleado en cada caso se muestra en el Cuadro 3, y se señala también el número de réplicas (~ 20 semillas por réplica).

Cuadro 3. Número de semillas por especie usadas en el análisis de germinación. Temperatura constante de 28°C y fluctuante de 18-32°C, ambas con un fotoperiodo de 12:12 h (luz/oscuridad).

Especie	Temperatura constante		Temperatura fluctuante		N
	Control (sin escarificar)	Escarificación (lijado)	Control (sin escarificar)	Escarificación (lijado)	
<i>B. bicolor</i>	80	80	80	80	320
<i>B. copallifera</i>	80	80	80	80	320
<i>B. ariensis</i>	60	60	60	60	240
<i>B. glabrifolia</i>	46	46	46	46	184
<i>B. biflora</i>	25	25	25	25	100
<i>B. morelensis</i>	22	22	22	22	88
<i>B. grandifolia</i>	80		80		160
<i>B. submoniliformis</i>	60		60		120
<i>B. aptera</i>			40	40	80
<i>B. arida</i>				36	36

Las semillas se sembraron en charolas de plástico (PET) (15.8 cm largo x 13.5 cm ancho y 5 cm de altura), con 315 g de arena sílica esterilizada como sustrato, y se colocaron en dos cámaras de germinación: una con temperatura constante de 28 °C y una con temperatura fluctuante de 18-32 °C. El fotoperiodo en ambas cámaras fue de 12:12 h (luz/oscuridad), al igual que el termoperiodo en la segunda cámara, en donde la temperatura alta coincidió con las horas luz y la baja con las horas de oscuridad.

La germinación se evaluó cada tercer día a partir de la siembra, y se consideró que una semilla había germinado cuando presentó una radícula 5 mm. La germinación se registró hasta siete semanas después de la siembra. Se aplicó fungicida CAPTAN a las cajas que presentaron contaminación por hongos a lo largo del experimento.

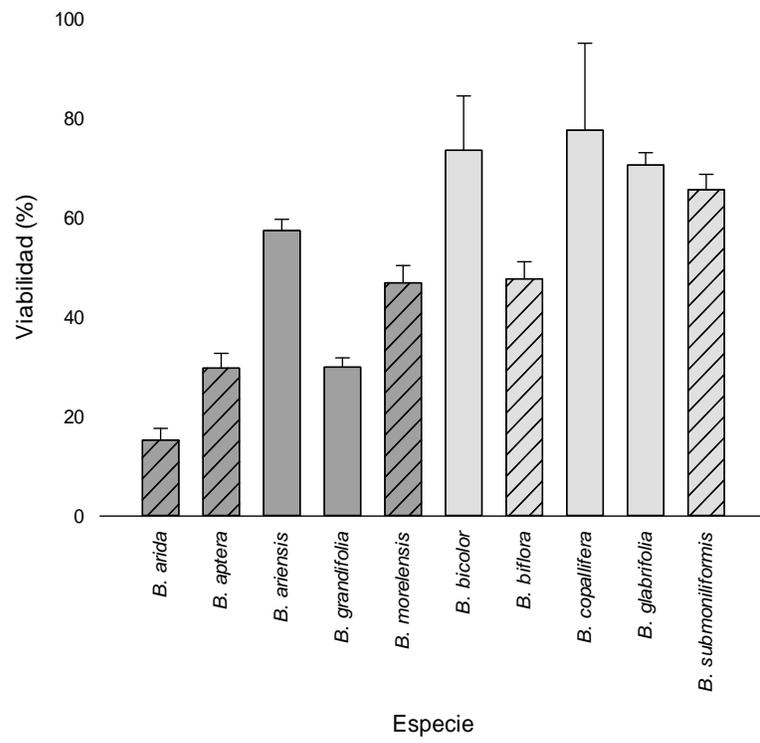
Para analizar el efecto de los factores experimentales se usaron Modelos Lineales Generalizados con el programa R (versión 3.0.3 R for Windows GUI front-end; The R Foundation for Statistical Computing). Se usó una función de ligamiento binomial, debido a que la probabilidad de germinar tiene una distribución binomial, ya que cada semilla germina (valor 1) o no germina (valor 0); de esta forma, cada semilla es una unidad experimental. La relación entre la variable dependiente y las independientes se ajustó a una función de ligamiento logit (función logarítmica). Con base en el criterio de Akaike (AIC) se eligió el modelo que explicara mejor la variación de los datos. El análisis completo, con todos los factores experimentales y sus interacciones, se realizó con las seis primeras especies del Cuadro 3. En el caso de *B. grandifolia*, *B. submoniliiformis* y *B. aptera* se realizó un análisis por especie, para evaluar en cada caso el efecto del factor experimental que se pudo probar (temperatura o escarificación).

Adicionalmente en cuatro especies, en las que se contaba con más semillas (*B. bicolor*, *B. copallifera*, *B. grandifolia* y *B. submoniliformis*), se realizó una escarificación por perforación como se describió en el apartado anterior. Debido a que la muestra fue muy pequeña, únicamente se registró el porcentaje final de germinación obtenido en este ensayo y no se incluyó en análisis posteriores.

III.6.II. Análisis de la tasa máxima de germinación y del tiempo en que se alcanza

Se analizó la tasa máxima de germinación (cambio en la germinación a través del tiempo) y el número de días en que se alcanzó dicha tasa. Estas variables se analizaron en seis especies (*B. ariensis*, *B. bicolor*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia*, *B. grandifolia* y *B. submoniliformis*), debido a que en las otras cuatro especies se contó con un tamaño de muestra muy pequeño y no se tuvieron réplicas suficientes para poder extraer conclusiones sólidas.

Los datos obtenidos de la germinación acumulada (No. de semillas/día) se ajustaron a curvas sigmoide exponencial ($y = a / [1+b^{-cx}]$) con el programa TableCurve 2D® 4.0. La tasa máxima de germinación se tomó como la primera derivada máxima de esas curvas y el número de días en que se alcanza como el valor de la variable X. Posteriormente el efecto de los factores experimentales en las tasas de germinación de cada especie se compararon mediante análisis de varianza de dos vías (temperatura y tratamiento), transformando previamente los datos de la primera derivada máxima con logaritmo natural (Zar, 2010); la significancia de las diferencias se evaluó mediante pruebas de Tukey; para ello se usó el programa STATISTICA (Statsoft 8.0.360.0).



IV.1.II. Análisis de la viabilidad individual (entre árboles)

En las cinco especies en que se pudieron analizar las variaciones en la proporción de semillas viables entre individuos, se encontraron diferencias significativas (Cuadro 4). La variación entre individuos fue muy alta en *B. glabrifolia* y menor en *B. bicolor*.

Cuadro 4. Proporción máxima y mínima de semillas viables por individuo (árbol) en cinco especies del género *Bursera* del estado de Morelos. Se muestran los resultados de la prueba de Ji cuadrada (χ^2). Superíndice 1 - Xochicalco, 2 - El Limón. N – número de individuos (árboles).

Sección	Especie	Proporción de semillas viables		N	χ^2	P
		Valor menor	Valor mayor			
Bursera	<i>B. ariensis</i> ²	0.38	0.69	5	25.09	<0.0001
	<i>B. grandifolia</i> ²	0.15	0.58	5	64.03	<0.0001
Bullockia	<i>B. bicolor</i> ²	0.58	0.91	8	129.02	<0.0001
	<i>B. copallifera</i> ¹	0.41	0.92	7	404.40	<0.0001
	<i>B. copallifera</i> ²	0.61	0.98	4	142.70	<0.0001
	<i>B. glabrifolia</i> ¹	0.38	1	3	17.12	0.0002

IV.1.III. Análisis de la viabilidad entre poblaciones (localidades)

La proporción de semillas viables de *B. copallifera* en las dos poblaciones analizadas (76-79%) no difirió significativamente ($t=0.821$, g. l. = 9, $P = 0.433$, datos transformados con arcoseno; Apéndice 2). Por ello, se decidió juntar las semillas de ambas localidades para los experimentos posteriores.

IV.2. Caracterización de las semillas

IV.2.I. Comparaciones entre especies

El peso fresco de las semillas difirió significativamente entre especies ($H_{9,199} = 163.7959$, $P < 0.0001$). Las comparaciones múltiples permitieron distinguir tres grupos diferentes. El primero está formado únicamente por *B. grandifolia*, que presentó semillas con un peso significativamente mayor (0.151 g) que el del resto de las especies. El segundo grupo está formado por semillas de pesos bajos (0.03-0.04 g), e incluye a *B. arida*, *B. morelensis* y *B. biflora*. El tercer grupo incluye al resto de las especies, con valores intermedios entre 0.057 g (*B. aptera*) y 0.081 g (*B. bicolor*; Cuadro 5). La mayor variación en el peso de las semillas correspondió a *B. ariensis* y *B. grandifolia* y la menor a *B. arida*. En el Cuadro 5 se muestran los datos de las especies de estudio, ordenadas de acuerdo con los grupos que se han distinguido dentro de las dos secciones (*Bullockia* y *Bursera*) (Espinosa et al., 2006).

Sección	Grupo	Especie	Tamaño		Peso (g)	Volumen (mm ³)	Densidad (g/mm ³ x 10 ⁻²)
			Largo (mm)	Ancho (mm)			
Bursera	Fagaroides	<i>B. ariensis</i>	6.4	4.8	0.08 ± 0.025 ^b	76.6 ± 14.20	0.104 ± 0.025
		<i>B. aptera</i>	5.0	4.5	0.06 ± 0.008 ^b	53.7 ± 11.02	0.108 ± 0.013
	Simaruba	<i>B. grandifolia</i>	9.3	6.7	0.15 ± 0.025 ^a	219.1 ± 44.67	0.070 ± 0.011
	Microphylla	<i>B. arida</i>	3.3	4.6	0.03 ± 0.004 ^c	37.2 ± 5.73	0.082 ± 0.009
		<i>B. morelensis</i>	5.2	4.0	0.04 ± 0.007 ^c	45.1 ± 7.38	0.096 ± 0.017
Bullockia	Copallifera	<i>B. bicolor</i>	7.0	4.5	0.08 ± 0.017 ^b	74.5 ± 14.96	0.109 ± 0.014
		<i>B. copallifera</i>	6.0	4.4	0.08 ± 0.010 ^b	59.7 ± 11.41	0.128 ± 0.012
		<i>B. submoniliformis</i>	6.3	4.8	0.07 ± 0.011 ^b	76.1 ± 16.00	0.089 ± 0.012
	Glabrifolia	<i>B. biflora</i>	4.9	4.3	0.04 ± 0.007 ^c	47.5 ± 7.76	0.090 ± 0.017
		<i>B. glabrifolia</i>	5.9	3.8	0.07 ± 0.011 ^b	42.4 ± 18.27	0.178 ± 0.057

Bursera copallifera



Bursera bicolor



Bursera grandifolia



Bursera ariensis



Bursera biflora



Bursera morelensis



Bursera submoniliformis

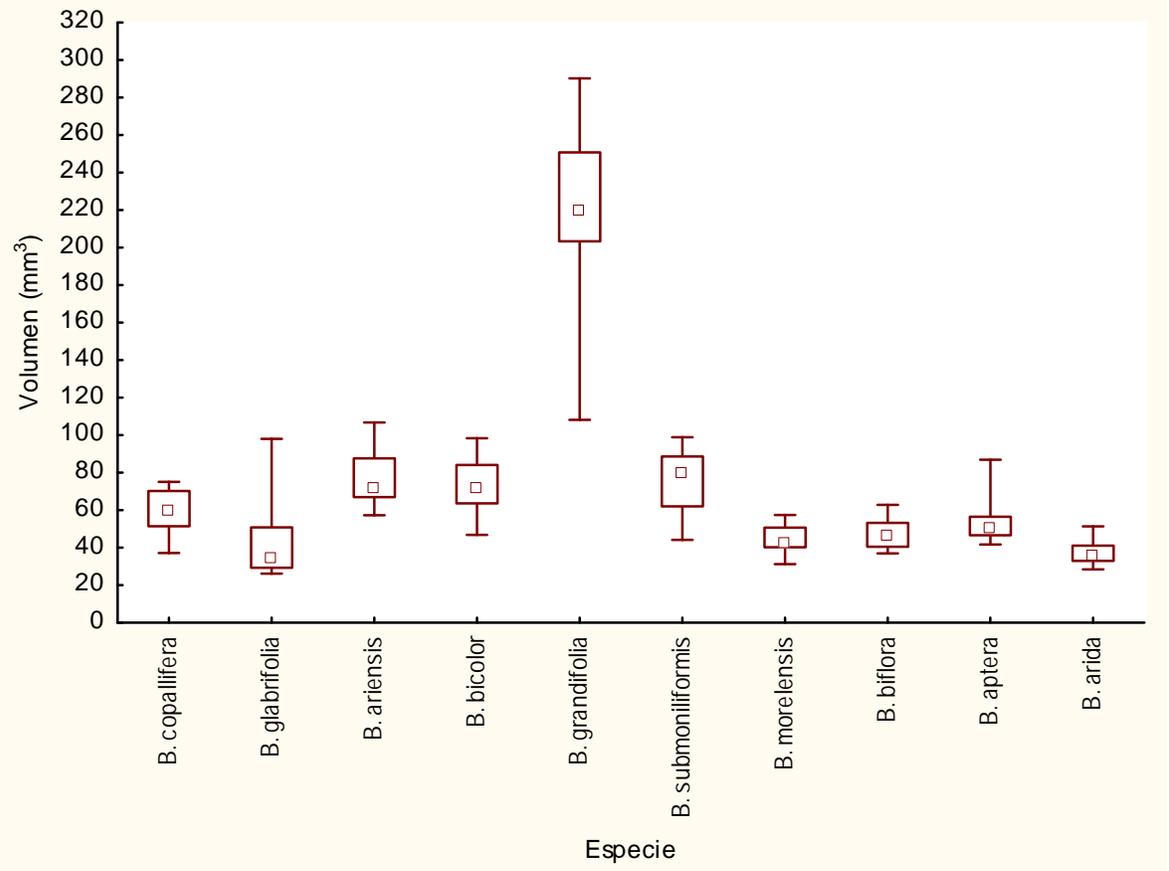


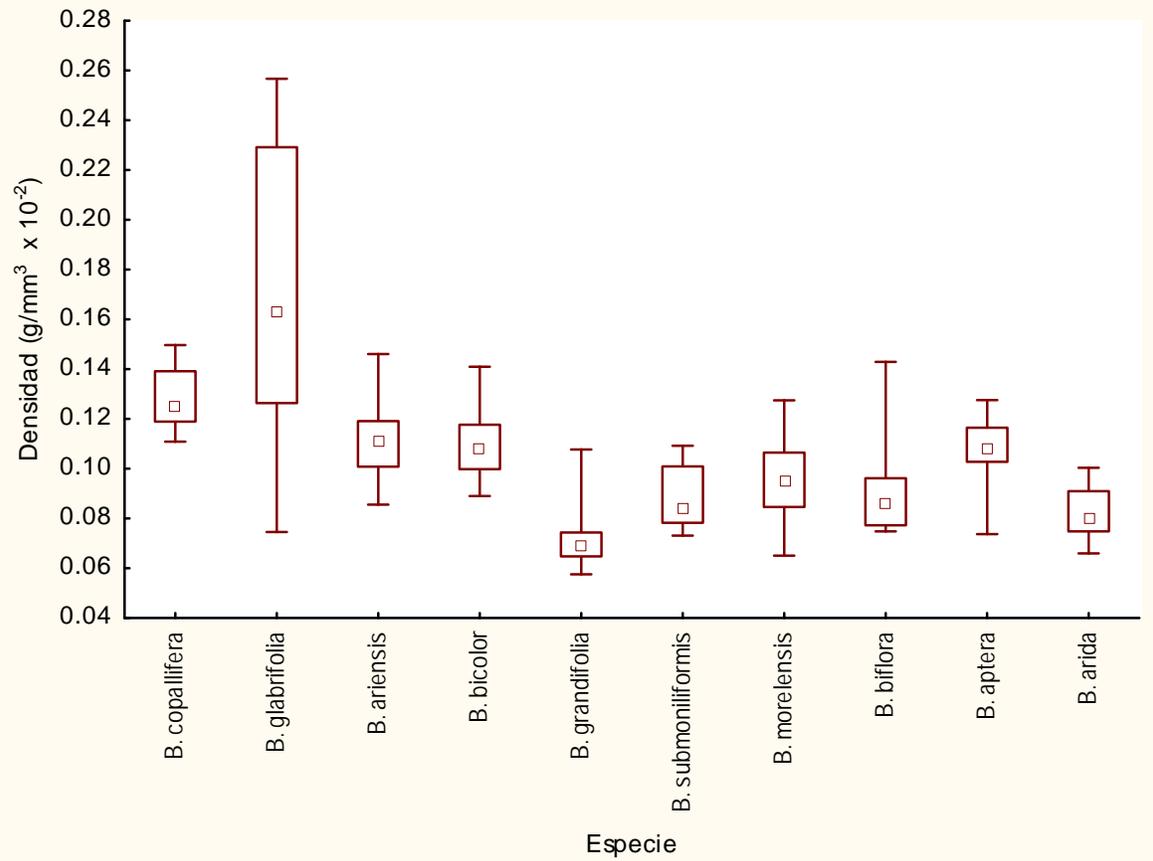
Bursera aptera



Bursera glabrifolia







IV.2.II. Relación Peso/Volumen

Se encontró una relación significativa entre ambas variables en casi todas las especies ($P < 0.05$); sin embargo en *B. biflora* el porcentaje de variación que explica la regresión (R^2) fue muy bajo, mientras que en el resto de las especies fue cercano o superior al 50%. La regresión no fue significativa en *B. glabrifolia* y *B. morelensis* (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de la regresión lineal entre peso y volumen de las especies de estudio.

Especie	F	g.l.	R²	P
B. aptera	15.58	18	0.46	0.0009
B. arida	18.80	18	0.51	0.0003
B. ariensis	36.49	18	0.67	<0.0001
B. bicolor	31.20	18	0.63	<0.0001
B. biflora	4.92	18	0.21	0.040
B. copallifera	70.94	18	0.80	<0.0001
B. glabrifolia	1.69	17	0.09	0.21
B. grandifolia	43.08	18	0.70	<0.0001
B. morelensis	2.92	18	0.14	0.105
B. submoniliformis	26.33	18	0.59	<0.0001

IV.3. Prueba de imbibición

Esta prueba se realizó con el fin de establecer si al escarificar el endocarpio se facilita la imbibición de las semillas. En *B. bicolor* y *B. glabrifolia* la escarificación no tuvo un efecto significativo, mientras que en *B. copallifera* se incrementó más el peso de las semillas perforadas con taladro, mientras que las diferencias entre las semillas sin escarificar (control) y las lijadas no fueron significativas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Incremento porcentual en peso (media \pm d. e.) de semillas de tres especies del género *Bursera* sometidas a tres tratamientos pregerminativos (control, lijadas y perforadas) y mantenidas en agua durante 48 h.

Espece	Control (sin escarificar) (%)	Escarificación (lijado) (%)	Escarificación (perforado) (%)	P
B. bicolor	21.28 \pm 0.06 ^a	22.32 \pm 0.05 ^a	25.51 \pm 0.06 ^a	0.285
B. copallifera	19.22 \pm 0.03 ^a	18.67 \pm 0.04 ^a	27.67 \pm 0.06 ^b	<0.001
B. glabrifolia	31.11 \pm 0.07 ^a	32.68 \pm 0.10 ^a	28.94 \pm 0.08 ^a	0.622

Letras diferentes en un mismo renglón indican diferencias significativas $P < 0.05$

IV.4. Germinación

IV.4.I. Análisis de los porcentajes de germinación finales

El modelo lineal generalizado que se usó para analizar el efecto de la especie, la temperatura y el tratamiento pre-germinativo, y que incluye todas las interacciones (de segundo y tercer orden), tuvo un AIC menor (1555.9), que el modelo en que se eliminó la interacción de tercer orden (AIC = 1585.9), por lo que el primero se conservó por ser un mejor modelo. El análisis de la devianza mostró que el efecto de la especie, de la escarificación y de las interacciones especie × escarificación y especie × temperatura × escarificación fueron significativos (Cuadro 9). Cabe recordar que este análisis se realizó con seis especies, con las que se contaba con suficientes semillas para aplicar todos los tratamientos.

Cuadro 9. Resultados del Análisis de devianza realizado para analizar el efecto de la especie, la temperatura, la escarificación y sus interacciones en la germinación de semillas de seis especies del género *Bursera*.

	Devianza	g.l.	Dev. residual	g.l. residuales	P
Especie	92.98	5	1543.2	1247	<0.00001
Temperatura	<0.0001	1	1543.2	1246	0.991
Escarificación	5.92	1	1537.3	1245	0.015
Esp \hat{I} temp	2.94	5	1534.4	1240	0.709
Esp \hat{I} esc	12.03	5	1522.3	1235	0.034
Temp \hat{I} esc	0.001	1	1522.3	1234	0.975
Esp \hat{I} temp \hat{I} esc	14.48	5	1507.9	1229	0.013

En este modelo se comparó la germinación de las especies y tratamientos con una línea base, representada por la especie *B. ariensis*, la temperatura constante y el tratamiento control (sin lijar). Sin embargo, a pesar de los resultados mostrados en el Cuadro 9, las comparaciones posteriores mostraron pocas diferencias significativas, ya que solo la germinación de las semillas de *B. biflora* y *B. morelensis* fue significativamente menor que la de *B. ariensis* ($P = 0.029$ y 0.045 respectivamente). Además de estas diferencias, que fueron claras, solo se encontró que la germinación de semillas escarificadas de *B. bicolor* fue marginalmente menor ($P = 0.075$) que la de *B. ariensis* (a temperatura constante y sin escarificar), al igual que la de *B. glabrifolia*, que fue marginalmente mayor a temperatura fluctuante y con escarificación ($P = 0.066$) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentajes de germinación (media \pm d.e.) de semillas de las especies de estudio en dos tratamientos pregerminativos (control y escarificado) y dos temperaturas (constante 28° C y fluctuante 18–32° C).

Especie	Temperatura constante		Temperatura fluctuante		N
	Control (sin escarificar)	Escarificación (lijado)	Control (sin escarificar)	Escarificación (lijado)	
B. bicolor	41.2 \pm 29.8	48.75 \pm 18.0	57.5 \pm 10.4	35 \pm 10	320
B. copallifera	40 \pm 18.7	22.5 \pm 6.5	27.5 \pm 20.2	21.2 \pm 14.4	320
B. ariensis	41.7 \pm 7.6	28.33 \pm 10.4	45 \pm 26.5	28.3 \pm 10.4	240
B. glabrifolia	54.3 \pm 9.2	50 \pm 3.1	43.48 \pm 18.4	71.7 \pm 15.4	184
B. biflora	16.0	8.0	16.0	8.3	100
B. morelensis	17.4	13.6	13.6	27.3	88
B. grandifolia	25 \pm 9.1	-	48.75 \pm 24.3	-	160
B. submoniliformis	5 \pm 8.7	-	8.3 \pm 7.6	-	120
B. aptera	-	-	7.9 \pm 11.2	5.3 \pm 7.4	80
B. arida	-	-	-	31.4 \pm 2.8	36

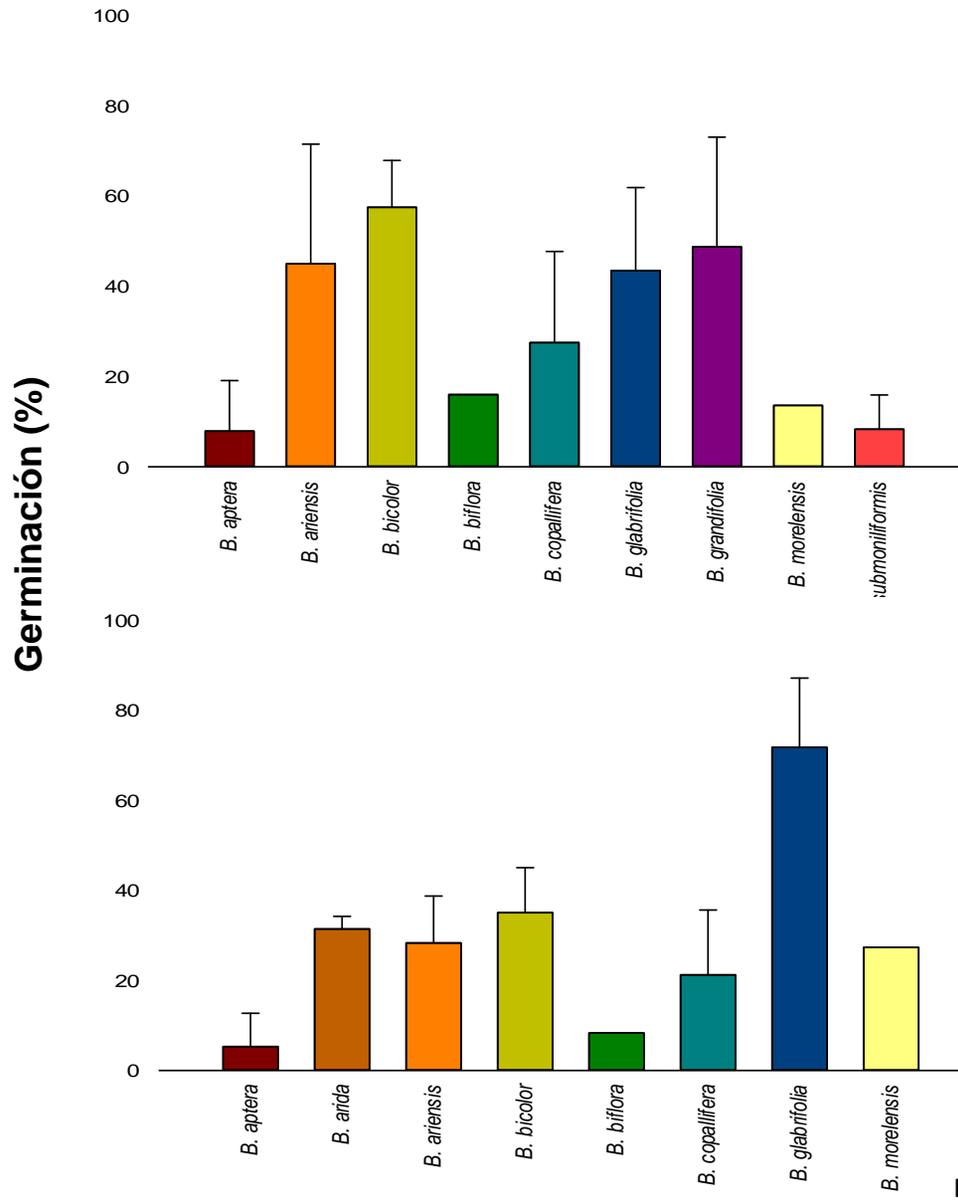
En el análisis realizado con *B. grandifolia* y *B. submoniliformis*, en que solo se comparó el efecto de la temperatura en semillas sin escarificar, mostró que las semillas de *B. submoniliformis* tuvieron una germinación significativamente menor que las de *B. grandifolia*, y que en temperatura fluctuante ambas especies presentaron una mayor germinación que en temperatura constante (Cuadros 10 y 11).

Cuadro 11. Resultados del Análisis de devianza del efecto de la especie, la temperatura y sus interacciones en la germinación de semillas de dos especies del género *Bursera*.

Factor	Devianza	g.l.	Dev. residual	g.l. residuales	P
Especie	38.71	1	269.44	278	<0.00001
Temperatura	10.01	1	259.43	277	0.002
Esp \hat{I} temp	0.36	1	259.07	276	0.55

En *B. aptera* se registraron los porcentajes de germinación más bajos y no se encontraron diferencias significativas entre semillas escarificadas y sin escarificar (a temperatura fluctuante; Cuadro 10). En *B. arida* sólo se pudo registrar el porcentaje de germinación de semillas escarificadas en temperatura fluctuante. En la figura 8 se muestran los porcentajes de germinación de las especies de estudio en los distintos tratamientos.

Temperatura fluctuante



Temperatura constante

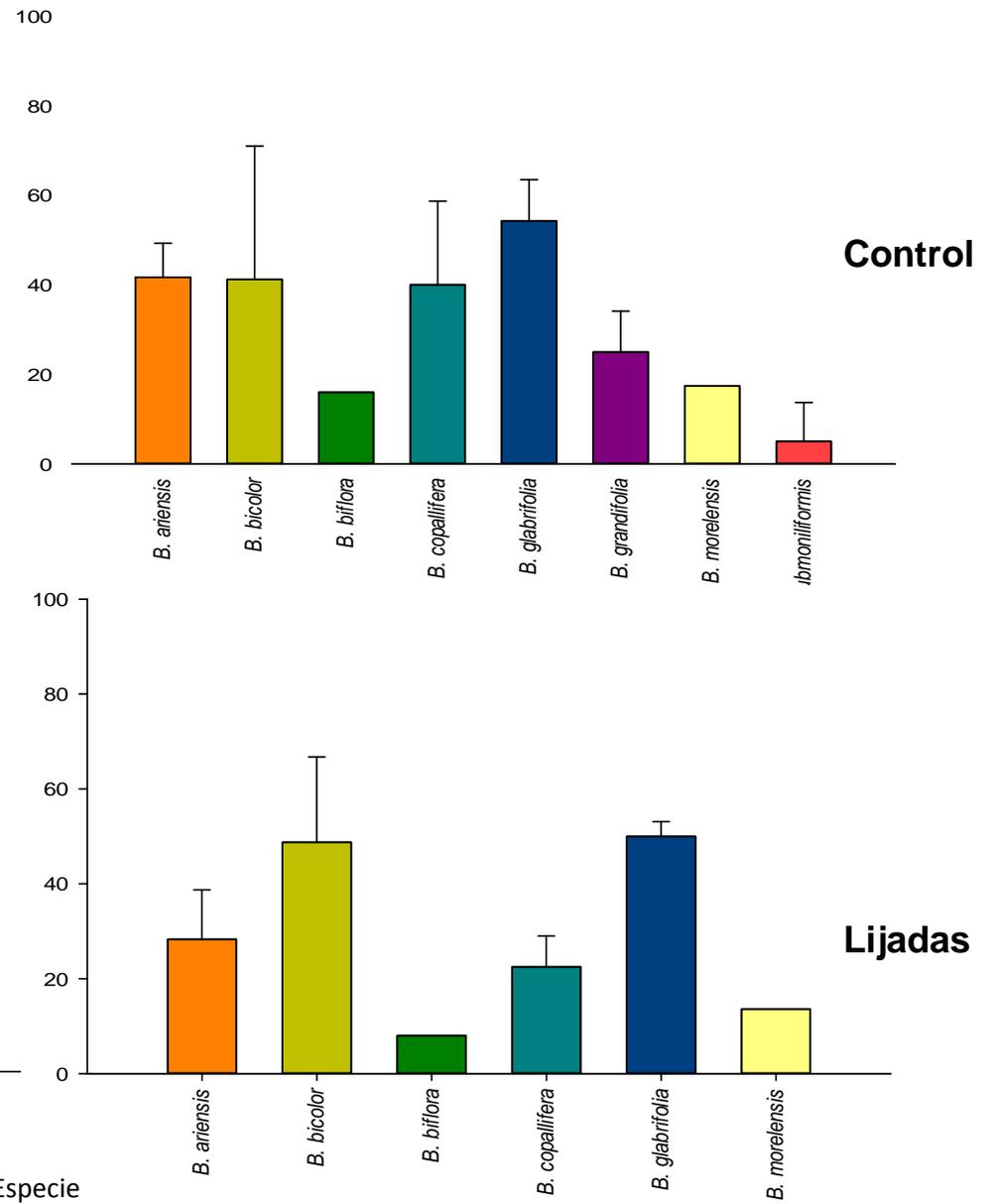


Figura 8. Porcentaje de germinación (media ± d. e.) de semillas de las diez especies de estudio en dos tratamientos pregerminativos (escarificado y control) y dos temperaturas (constante 28 °C y fluctuante 18–32 °C).

IV.4.II. Análisis de las tasas de germinación

En las seis especies en las que se tenían suficientes réplicas del control y del tratamiento de escarificación (lijado) se analizó el efecto de la temperatura y de la especie sobre la tasa de germinación máxima.

En general no hubo un efecto significativo de la temperatura sobre dicha variable ni en las semillas sin escarificar (control) ($F = 0.13$, g.l. 1, $P = 0.72$) ni en las escarificadas (lijadas) ($F = 0.91$, g.l. 1, $P = 0.35$). Sin embargo, sí se presentaron diferencias significativas entre especies en las semillas escarificadas (lijadas) ($F = 5.70$, g.l. 3, $p = 0.006$): las de *B. glabrifolia* en temperatura fluctuante presentaron la tasa de germinación más alta (1.66 semillas germinadas/día, Cuadro 12) mientras que las de *B. copallifera* en temperatura fluctuante presentaron la tasa de germinación más baja (0.24 semillas germinadas/día, Cuadro 12); el resto de las especies presentaron valores intermedios entre estos valores.

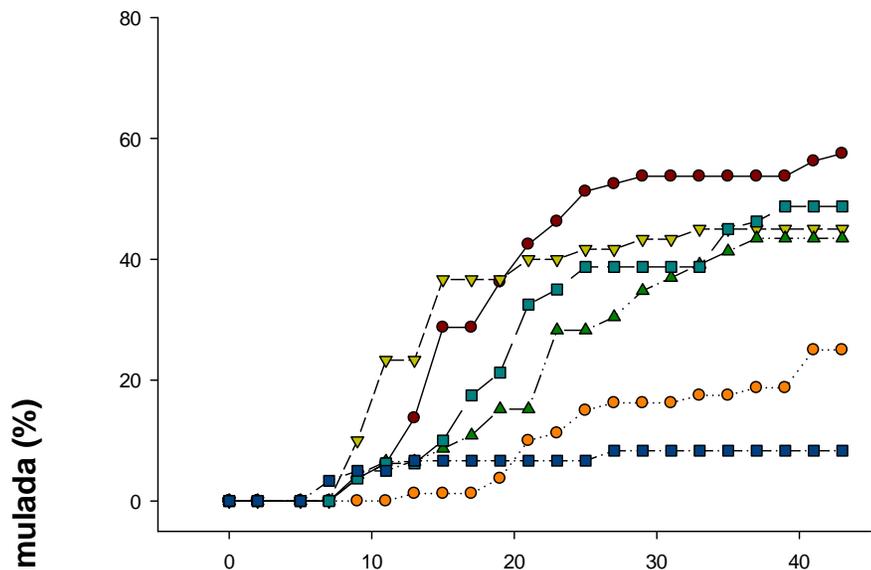
En todos los tratamientos se puede apreciar una alta variación, cabe mencionar que en casos como los de *B. ariensis* y *B. submonifoliformis*, en donde la desviación estándar es más grande que la tasa de germinación es porque en alguna de las réplicas del tratamiento no se registraron semillas germinadas.

Cuadro 12. Tasas de germinación máxima (No. semillas germinadas / día, \pm d. e.) de semillas de seis especies de estudio en dos tratamientos pre-germinativos (control y escarificado) y dos temperaturas (constante 28° C y fluctuante 18–32° C).

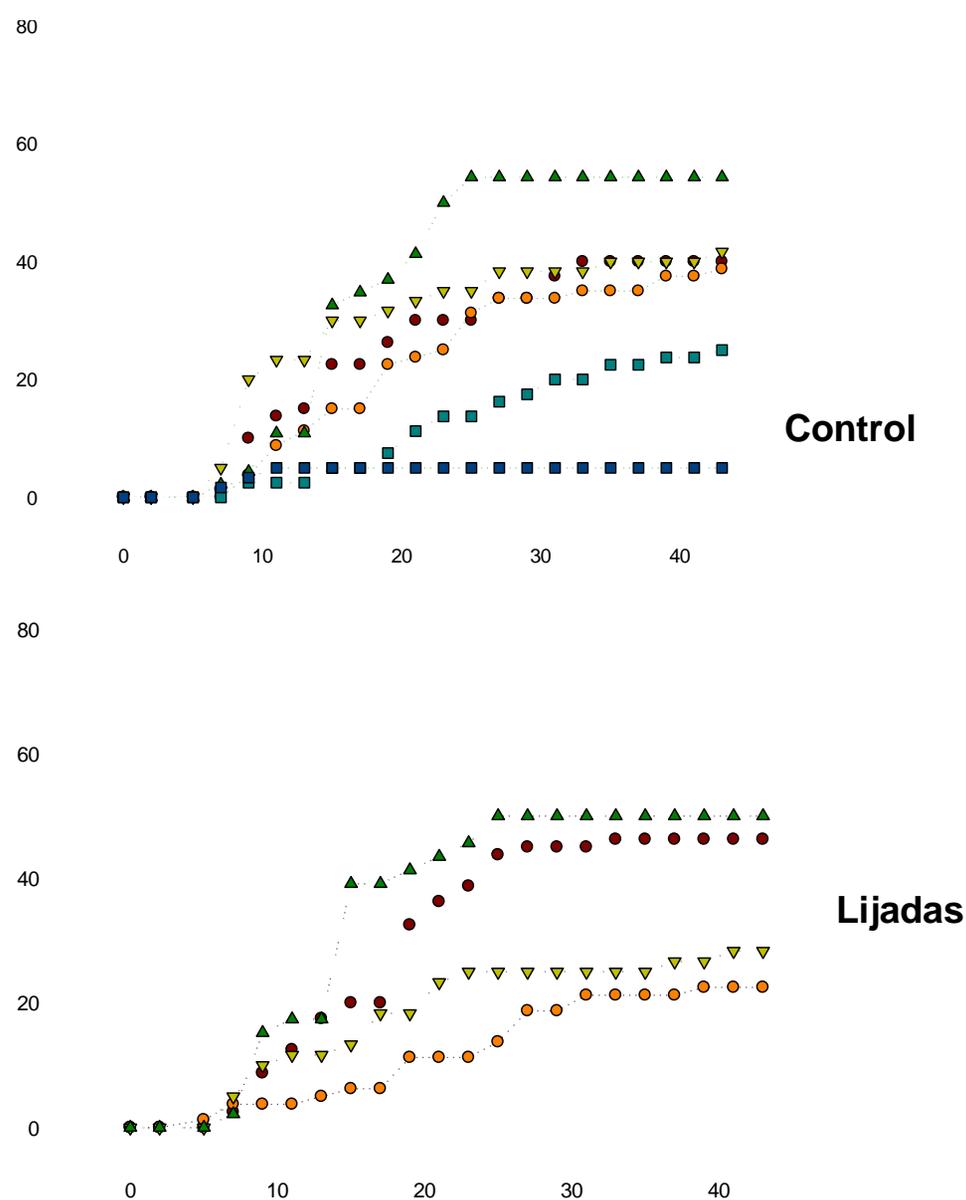
Especie	Temperatura constante		Temperatura fluctuante		No réplicas/trat.
	Control (sin escarificar)	Escarificación (lijado)	Control (sin escarificar)	Escarificación (lijado)	
<i>B. bicolor</i>	0.67 \pm 0.48	0.72 \pm 0.11	1.29 \pm 0.72	0.46 \pm 0.15	4
<i>B. copallifera</i>	0.44 \pm 0.19	0.24 \pm 0.17	0.75 \pm 0.50	0.22 \pm 0.17	4
<i>B. ariensis</i>	0.93 \pm 0.77	0.81 \pm 0.85	1.23 \pm 0.81	0.69 \pm 0.28	3
<i>B. glabrifolia</i>	1.01 \pm 0.33	0.99 \pm 0.06	0.54 \pm 0.40	1.66 \pm 0.26	2
<i>B. grandifolia</i>	0.27 \pm 0.13	-	0.67 \pm 0.52	-	4
<i>B. submoniliformis</i>	0.23 \pm 0.40	-	0.17 \pm 0.25	-	3

Los análisis del número de días requeridos para alcanzar la tasa de germinación máxima solo mostraron diferencias significativas entre especies en las semillas sin escarificar (control) a temperatura constante; las de *B. submoniliformis* alcanzaron dicha tasa en 3 días y las de *B. grandifolia* en 25 días. En el resto de las especies el intervalo fue de entre 9 y 22 días (Figura 9). El inicio de la germinación se produjo entre cinco (*B. bicolor*, *B. coapllifera* y *B. morelensis*) y nueve días (*B. grandifolia*) después de la siembra en los cuatro tratamientos (Figura 9).

Temperatura fluctuante



Temperatura constante



Tiempo (días)

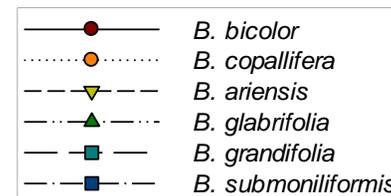


Figura 9. Germinación acumulada porcentual de semillas de seis especies del género *Bursera* sin escarificar (control) en dos temperaturas (constante y fluctuante).

IV.5. Observaciones adicionales

Un resultado adicional de las pruebas de germinación fue la observación de que tres especies (*B. ariensis*, *B. bicolor* y *B. copallifera*) presentaron algunas semillas con dos embriones, como se muestra en la Figura 10. Este fenómeno fue más común en *B. bicolor*.



Figura 10. Germinación de semillas con dos embriones.

Además de las pruebas de viabilidad y germinación, se realizó un análisis del tamaño inicial, biomasa y área foliar de las plántulas de tres especies (*B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*). Las plántulas tenían una edad aproximada de seis semanas, y todas tenían las hojas cotiledonarias totalmente desarrolladas, al igual que un par de hojas verdaderas.

Los resultados de la comparación de las características de las plántulas de las distintas especies se presentan en el Apéndice 3, porque no fueron parte de los objetivos principales de este trabajo. En resumen, no se encontraron diferencias significativas entre especies en la biomasa total, el cociente Raíz/Vástago, el área foliar o el área foliar específica de los cotiledones. Solo se presentaron diferencias significativas en el área foliar total ($F= 5.50$, g. l. 3, $P = 0.009$), el área foliar específica (cm^2/gr) ($F= 8.46$, g.l. 3, $P = 0.0016$) y el peso específico de las hojas (gr/cm^2) ($F= 4.56$, g.l. 3, $P = 0.018$). *B. glabrifolia* presentó una menor biomasa y

área foliar específica de las hojas verdaderas, que no difirieron en el resto de las especies (Apéndice 3).

V. Discusión

Viabilidad de semillas – El porcentaje de semillas que flotaron (inviabiles) fue mayor a 30% en casi todas las especies, mientras que la mayoría de los porcentajes de viabilidad fueron entre 30 y 73%. Bonfil *et al.* (2008) reportaron porcentajes de viabilidad de 47-56% en *B. bicolor* y 65-68% en *B. copallifera*, valores menores a los encontrados en este estudio (73 y 76-79% respectivamente). Dichos autores recolectaron las semillas de las dos especies en Xochicalco, Mor., mientras que en este estudio las de *B. bicolor* proceden de El Limón, mientras que las de *B. copallifera* provienen de Xochicalco y de El Limón, sin que se encontraran diferencias entre ambas localidades. Lo mismo sucede con *B. glabrifolia* y *B. grandifolia*, que en este estudio registraron porcentajes de semillas viables mayores (70 y 30% respectivamente) que los reportados por dichos autores (62% y 0-2%, respectivamente). Las semillas de *B. glabrifolia* fueron recolectadas en la misma localidad (Xochicalco), en ambos estudios, lo que podría indicar cierta variación interanual, aunque la diferencia es pequeña (8%). En el caso de *B. grandifolia* las semillas de este estudio procedieron de El Limón, mientras que las de Bonfil *et al.* fueron recolectadas en Xochicalco, lo que hace más difícil la comparación, sobre todo si consideramos que recolectaron las semillas antes de que maduraran por completo (cuando los frutos aún se encontraban verdes), lo que pudo haber afectado los valores de viabilidad que obtuvieron. De cualquier forma, de las especies recolectadas en Morelos para este estudio, *B. grandifolia* fue la que presentó un menor porcentaje de semillas viables.

Por otra parte, Ramos-Ordoñez *et al.* (2012) reportaron porcentajes de frutos partenocárpicos (que definen como frutos sin semilla, debido a la falta de desarrollo de un embrión, lo que en este trabajo correspondería a semillas inviábiles) muy bajos en nueve especies: *B. aptera*, *B. arida*, *B. bicolor*, *B. biflora*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia*, *B. grandifolia*, *B. lancifolia* y *B. submoniliformis*. Dos de dichas especies, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*, fueron recolectadas en Xochicalco en ambos estudios, pero los porcentajes de semillas inviábiles encontradas son bastante más altos en este estudio que en el de dichas autoras; lo mismo sucede con el resto de las especies. La única especie en que los resultados de ambos estudios son relativamente similares es *B. biflora*, ya que dichas autoras reportan un porcentaje de frutos partenocárpicos alto (41%), no muy distinto de la cifra reportada aquí (52%), y en ambos casos las semillas proceden de San Rafael Coxcatlán, Puebla, aunque en nuestro caso tenían ya tres años de almacenamiento (2010-2013).

En el caso de *B. morelensis*, Ramos Ordoñez *et al.* (2008) reportaron un porcentaje de frutos partenocárpicos de ~20% (recolectados en 2006-2007), mientras que en nuestro caso dicho valor fue de 53%, aunque los frutos tenían cuatro años almacenados cuando se hizo la evaluación, periodo en que pudieron perder viabilidad, lo que impide hacer una comparación válida. Ambas muestras fueron obtenidas de San Rafael Coxcatlán, Puebla. El método usado para definir la viabilidad es también distinto entre ambos estudios, pues dichas autoras abrieron los frutos y los observaron al microscopio, mientras que en este estudio se usó la prueba de flotación, que sólo permite separar a los frutos vacíos o con un embrión poco desarrollado (que flotan) de los llenos (que se hunden).

En seis especies se encontró un porcentaje de semillas viables relativamente alto (>50%): *B. ariensis*, *B. bicolor*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia* y *B. submoniliformis*; el valor mayor se registró en *B. copallifera* (77.5%). En cuatro especies, *B. aptera*, *B.*

biflora, *B. grandifolia* y *B. morelensis*, se presentaron valores intermedios, y el porcentaje más bajo correspondió a *B. arida* (15.2%). En general, las semillas recolectadas en Coxcatlán, que tuvieron un mayor tiempo de almacenamiento, presentaron una menor viabilidad que las recolectadas más recientemente en Morelos, con la excepción de *B. submoniliformis*, que mantuvo una viabilidad relativamente alta (66%) después de cuatro años de almacenamiento, y de *B. grandifolia*, cuyas semillas recientes presentaron un porcentaje de viabilidad inferior a los de tres especies de Puebla. Estos datos mostraron que la viabilidad no guarda una relación directa con la edad de las semillas, y que las diferencias entre especies son más importantes. Sin embargo, quedan muchos aspectos por investigar en trabajos futuros, especialmente sobre los posibles cambios en la viabilidad una vez que los frutos se desprenden del árbol, ya que ésta podría aumentar y/o disminuir a lo largo del tiempo de forma diferente en las distintas especies, e incluso podrían registrarse diferencias entre poblaciones de la misma especie.

La comparación de la proporción de semillas viables en las dos secciones del género, *Bursera* y *Bullockia*, solo puede hacerse con las semillas colectadas en una misma temporada, cuando los frutos se encuentran relativamente frescos, lo cual incluye a las cinco especies del cuadro 4. El único rasgo que distingue a las dos secciones es la mayor uniformidad de los valores de las especies de la sección *Bullockia* (*B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*), que oscilan entre 70 y 80%, mientras que en las especies de la sección *Bursera* se registró una mayor variabilidad, con valores menores, de entre 30% y 60% (*B. grandifolia* y *B. ariensis* respectivamente, Cuadro 4). Sería necesario analizar con más detalle en futuros trabajos las variaciones en los diversos grupos que conforman la sección *Bursera* (*simaruba*, *fragilis*, *inaguensis*, *microphylla* y *fagaroides*) para poder tener una visión más completa.

Con el análisis realizado se encontraron diferencias significativas en la viabilidad entre los individuos (árboles) de las especies recolectadas en Morelos. La mayor variación se presentó en *B. glabrifolia*, y la menor en *B. bicolor*, debido a que en esta última todos los árboles tuvieron porcentajes de viabilidad relativamente altos (>60%). *B. grandifolia* también presentó una variación menor pero en sentido contrario ya que en todos los árboles se presentaron bajos porcentajes de semillas viables.

Velázquez (2011) analizó las diferencias en viabilidad de las semillas de *B. copallifera* y *B. glabrifolia* provenientes de distintos árboles de Xochicalco (colectados entre finales de 2007 y principios de 2008). En la primera especie las diferencias entre individuos no fueron significativas, pero sí lo fueron en *B. glabrifolia*. Ella reportó porcentajes de viabilidad promedio de 68.4% en *B. copallifera* y de 63.3% en *B. glabrifolia*, valores similares, aunque ligeramente inferiores (6-10%) a los encontrados en este estudio. En dicho estudio se analizó la viabilidad tanto por flotación como por rayos X, sin que se encontraran diferencias importantes entre ambos métodos, aunque los rayos X solo permitían discriminar entre semillas vacías o llenas.

La viabilidad de semillas de *B. copallifera* fue muy similar en ambas localidades de colecta (Apéndice 2), pero pudo observarse una diferencia en la maduración de frutos entre localidades, ya que los frutos en El Limón maduraron aproximadamente un mes antes que los de Xochicalco. Es difícil explicar la causa de estas diferencias, pero una hipótesis a analizar en futuros estudios es si los frutos maduran antes en localidades con temperaturas más altas, ya que la temperatura media anual en Xochicalco es de 22.9 °C (Camacho, 2004), mientras que en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla es de 24.5 °C (Martínez-Garza *et al.*, 2011).

El análisis realizado en este trabajo parte del supuesto de que hay una alta correlación entre las semillas que flotan y su falta de viabilidad, que puede deberse a la falta de embrión (vacías) o a la presencia de un embrión poco desarrollado. Esta suposición está basada en los resultados de Healy (2007), quien al analizar las semillas de cuatro especies de *Bursera* encontró que, de las semillas que flotaron, entre el 0 y el 5% fueron viables (evaluadas por la tinción del embrión), mientras que el resto estuvieron vacías (entre el 30 y el 80%) o fueron inviables (valores de 18-65%, Apéndice 4). Por lo tanto, la correspondencia entre semillas que flotan y la falta de capacidad de germinar y producir una plántula parece ser alta. Sin embargo, esto no garantiza que todas las semillas que se hunden sean viables. Este es un aspecto que requiere de un análisis mucho más detallado y que deberá investigarse en el futuro. Por lo tanto, los resultados de la proporción de semillas viables aquí presentados deben tomarse como una primera aproximación a la estimación del valor real de viabilidad.

Caracterización de las semillas > De la comparación de las semillas de las distintas especies, destaca el hecho de que las de *B. grandifolia* tuvieron una masa mucho mayor que las del resto de las especies, mientras que las más ligeras correspondieron a *B. arida*, *B. morelensis* y *B. biflora* (Cuadro 5). Es difícil encontrar un patrón porque la variabilidad es alta, pero los resultados muestran la presencia de semillas pequeñas en las dos especies del grupo Microphylla, de la sección *Bursera*; en futuros estudios podría confirmarse la presencia de semillas pequeñas en este grupo. En la misma sección se encontraron también las semillas más pesadas y con mayor volumen, en *B. grandifolia*. En futuros estudios también se podrá establecer si este mayor tamaño es compartido por las especies del grupo *Simaruba*, al que pertenece dicha especie.

El volumen presentó una tendencia similar, ya que fue mayor en *B. grandifolia*, *B. bicolor*, *B. ariensis* y *B. submoniliiformis* y menor en *B. arida*, *B. aptera*, *B. biflora*,

B. morelensis, y *B. glabrifolia*. Sin embargo, el volumen fue estimado a partir de una ecuación y no medido directamente, por lo que los datos deben tomarse con precaución. Por tanto, lo mismo sucede con la estimación de la densidad: cinco especies mostraron una densidad relativamente alta con respecto al resto, que presentaron densidades bajas.

En un trabajo en que se analiza la lluvia de semillas en Xochicalco, Mor. (Hernández A., 2007) se reporta la masa y el volumen de las semillas de cuatro especies de *Bursera*, tres de las cuales se incluyen en este trabajo. Los datos de dichas especies se muestran en el Apéndice 5. La comparación de los resultados muestra valores similares del peso promedio de *B. copallifera* en ambos estudios (0.076 vs 0.071 g), mientras que los valores reportados por Hernández (2007) son menores en *B. glabrifolia* y ligeramente mayores en *B. grandifolia* que los encontrados en este trabajo. Esto puede deberse a variaciones en el grado de humedad de los propágulos al momento de pesarlos o a diferencias normales entre años o sitios de recolecta. Sin embargo, se encuentra la misma tendencia en el orden de tamaños en los dos trabajos, con los valores mayores de peso y volumen correspondientes a *B. grandifolia* y valores intermedios en *B. copallifera*.

La relación entre el peso y volumen de las semillas fue significativa en ocho de diez especies, pero el coeficiente de determinación (R^2) solo fue alto en cuatro (*B. copallifera*, *B. grandifolia*, *B. ariensis* y *B. bicolor*), y de alrededor del 50% en tres especies (*B. aptera*, *B. arida* y *B. submoniliformis*, Cuadro 6). Esto podría explicar la variabilidad detectada en los valores de densidad de los frutos. Sería interesante en el futuro obtener mediciones directas del volumen de los frutos de las distintas especies para tener resultados más conclusivos. Hernández (2007) reportó relaciones significativas entre el peso y el volumen de *B. copallifera* y *B. glabrifolia*, mientras que en este trabajo dicha correlación no fue significativa en la última especie.

Prueba de imbibición – En general las semillas de tres especies aumentaron su peso entre 20 y 30% después de permanecer en agua por 48 h, incluso sin ser escarificadas, lo que indica que el endocarpo es permeable y permite la entrada del agua. Sin embargo, la imbibición parece ser un proceso lento, pues el peso se incrementó relativamente poco comparado con el de otras especies cuyas semillas incorporan el agua mucho más rápidamente en sus tejidos (Hong y Ellis, 1992; Fenner y Thompson, 2005).

Las semillas sometidas a los dos tratamientos de escarificación no incrementaron notablemente su peso en relación a los del grupo control. Bonfil *et al.* (2008) ya habían reportado un incremento en el peso de semillas de *B. grandifolia* y *B. fagaroides* remojadas durante 24 h, sin diferencias significativas entre semillas escarificadas y sin escarificar, lo que se confirma en el presente trabajo.

Aunque se encontró una tendencia a un mayor aumento del peso en las semillas escarificadas con un taladro pequeño, la diferencia respecto al control fue muy baja (entre 2 y 8%) en las tres especies usadas en esta prueba (Cuadro 7). Además, durante el experimento se observó que este procedimiento ocasionó una elevada contaminación por hongos, aunado a que el tiempo y esfuerzo que implica son mucho mayores. En las especies en que pudo aplicarse como un tratamiento pre-germinativo adicional, se obtuvieron porcentajes de germinación bajos en comparación con los otros tratamientos (control y lijado; Apéndice 1), lo que podría indicar que se dañó el embrión durante la perforación y el tejido fue susceptible al ataque de hongos, o bien la broca con la que se realizó la perforación estaba contaminada por falta de asepsia. Por ello, no se aconseja usar este procedimiento en futuros estudios.

Germinación > En general, las semillas de las especies procedentes de Coxcatlán, que fueron almacenadas por un periodo de entre tres y cinco años, presentaron bajos porcentajes de germinación (entre 7% y 18%), con la excepción de *B. arida*, que luego de tres años de almacenamiento registró una germinación de 31%. Las semillas recolectadas en Morelos presentaron porcentajes de germinación >30%, con la excepción de *B. copallifera*, quien presentó porcentajes bajos en tres de cuatro tratamientos (Figura 8).

En el primer análisis, que incluyó seis especies a las que se aplicaron todos los tratamientos, la especie y la escarificación tuvieron efectos significativos en la germinación, al igual que la interacción especie × escarificación y la interacción de tercer orden. Sin embargo, en las comparaciones múltiples sólo en dos especies mostraron diferencias marginalmente significativas: *B. bicolor* en semillas escarificadas y en *B. glabrifolia* en semillas escarificadas a temperatura fluctuante. Esto podría explicar la interacción significativa especie × escarificación. Bonfil *et al.* (2008) también encontraron un efecto marginalmente significativo de la escarificación con lija en semillas de *B. glabrifolia*. Orantes-García *et al.* (2013) reportaron que la escarificación con lija incrementó el porcentaje final de germinación de *B. bipinnata*. Sin embargo, en nuestro caso no tuvo el efecto de aumentar notablemente la germinación en las especies de estudio. La gran variabilidad en la germinación registrada al interior de los tratamientos puede haber contribuido a que no se detectaran diferencias significativas entre ellos.

En el análisis de *B. grandifolia* y *B. submoniliformis*, la temperatura tuvo un efecto significativo en la germinación (Cuadro 11), con mayores porcentajes de germinación a temperatura fluctuante en ambas especies. En el estudio de Bonfil *et al.* (2008) también se registraron diferencias entre la germinación a temperatura constante y la registrada a temperatura variable, que fue significativamente mayor. La temperatura constante que emplearon fue de 25 °C, mientras que la usada en este trabajo fue más alta (28 °C), por lo que es probable que con este cambio las

diferencias en la germinación desaparecieran en el resto de las especies analizadas, con excepción de estas dos.

La comparación de los porcentajes de germinación obtenidos en este estudio y los que reportan Bonfil *et al.* (2008) muestra valores similares para *B. glabrifolia* en ambos trabajos (55 vs 63%), mientras que en *B. bicolor* y *B. copallifera* fueron ligeramente mayores en este trabajo (46% vs 34% y 26% vs 15% respectivamente). Aunque las semillas que usaron estos autores tenían un periodo de almacenamiento de seis meses, esto no parece haber afectado su capacidad de germinar. El resto de las especies usadas en este estudio procedentes de Coxcatlán. Pue., tenían un periodo de almacenamiento mayor que pudo haber disminuido su capacidad germinativa.

Los factores analizados (temperatura y/o escarificación) tampoco tuvieron efectos significativos en las tasas de germinación de las especies de estudio. El inicio de la germinación se produjo entre cinco y nueve días después de la siembra, y la tasa de germinación se incrementó cuando transcurrieron entre 9 y 22 días, y se estabilizó 25 días después de la siembra (Figura 9). En *B. glabrifolia* la tasa de germinación, así como el porcentaje de germinación final, parecen aumentar con el tratamiento de escarificación (lijado) a temperatura fluctuante, y en *B. copallifera* en el control a temperatura fluctuante (Figura 8, Cuadro 12), pero la variabilidad es alta. No se encontraron estudios en donde se analicen las tasas de germinación en las semillas de otras especies de *Bursera*.

La presencia de dobles embriones en las semillas del género *Bursera* ya fue reportada con anterioridad por Becerril (2009), en un estudio de morfología de semillas y plántulas, aunque la autora no menciona las especies en las que se observa tal característica. Ordoñez *et al.* (2012) reportaron la presencia de

embriones dobles en *B. bicolor*, resultado que se confirma en este trabajo, pero se amplía a un mayor número de especies, aunque parece ser más importante en dicha especie. Este fenómeno y sus posibles consecuencias deberían recibir mayor atención en futuros trabajos.

VI. Conclusiones

- La prueba de imbibición mostró que el endocarpo no es impermeable y que la entrada de agua se lleva a cabo incluso sin escarificar las semillas.
- En semillas recolectadas en Morelos el porcentaje de viabilidad (evaluado por la prueba de flotación) fue muy variable, con valores mayores a 50% en *B. glabrifolia*, *B. copallifera*, *B. bicolor* y *B. ariensis*; sólo fue menor a este valor en *B. grandifolia*.
- En las semillas recolectadas en Coxcatlán, almacenadas por varios años, la proporción de semillas viables fue menor que en las especies colectadas más recientemente en Morelos, con la excepción de *B. submonilliformis*.
- Los valores mayores de peso y volumen de semillas viables se registraron en *B. grandifolia* y los más bajos en *B. arida*, *B. morelensis* y *B. biflora*.
- Se presentaron efectos significativos de la especie, la escarificación y las interacciones especie \times escarificación, y especie \times escarificación \times temperatura en la germinación de semillas de seis especies. *B. biflora* y *B. morelensis* registraron los porcentajes de germinación más bajos, pero solo se encontraron diferencias marginalmente significativas, y en sentido contrario, con la escarificación en semillas de *B. glabrifolia* y *B. bicolor*.
- Los factores experimentales no tuvieron efectos significativos en las tasas de germinación. El inicio de la germinación es un proceso relativamente lento; la tasa de germinación se incrementa cuando han transcurrido entre 9 y 20 días y se estabiliza casi un mes después de la siembra.

Literatura Citada

- Andrés- Hernández, A. y D. Espinosa. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. Ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. Boletín de la Sociedad Botánica de México 70: 5-12.
- Baskin, C.C. y J.R. Baskin. 2001. Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press. 1600 pp.
- Becerra, X. J. 2005. Timing the origin and expansion of the Mexican tropical dry forest. *PNAS* 102: 10919 - 10923.
- Becerril, F. 2009. Morfología y Anatomía del fruto del género *Bursera* Jacq. Ex L. (Burseraceae). Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F. 75 pp.
- Besnier, R. F. 1989. Semillas: Biología y Tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 637 pp.
- Bewley, D. y M. Black. 2006. The Encyclopedia of seeds: science, technology and uses. CABI International. Washington, D.C. 828 pp.
- Bonfil, C., I. Cajero y R.Y. Evans. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia* 42:827-834.
- Bonfil, C. y Trejo, I. 2010. Plant propagation and the Ecological Restoration of Mexican Tropical Deciduous Forests. *Ecological Restoration* 28: 369-376.

- Burgos, A. y J. M. Maass. 2004. Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of western Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:475–481.
- Cajero, I. 2009. Germinación de seis especies del género *Bursera* de la Selva Baja Caducifolia del noroeste de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 54 pp.
- Camacho, F. 2004. Estructura y composición de la vegetación del fondo de la barranca del Río Tembembe, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México, D.F. 88 pp.
- Canales, M., T. Hernández, J. Caballero, A. Romo, A. Durán y R. Lira. 2006. Análisis cuantitativo del conocimiento tradicional de las plantas medicinales de San Rafael Coxcatlán, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana* 75: 21-43.
- CONABIO. 2009. Burseraceae: copales y cuajotes. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, edición digital. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/catalogo_autoridades/doctos/bruseas.html
- Contreras-MacBeath T., J.C. Boyás y F. Jaramillo. 2006. La diversidad biológica en Morelos. Estudio del Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 156 pp.
- De la O, J. 2009. Efecto de la ganadería extensiva en el estrato herbáceo de la selva baja caducifolia en El Limón de Cuachichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias biológicas, UAEM. Morelos, México. 51 pp.

- De León, A. 2009. Relación entre el orden carnívora, fruta carnosa y comunidades rurales en dos microcuencas al sur del Estado de Morelos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 70 pp.
- De-Nova, J., R. Medina, J. Montero, A. Weeks, J. Rosell, M. Olson, L. Eguiarte y S. Magallón. 2012. Insights into the historical construction of species-rich Mesoamerican seasonally dry tropical forest: the diversification of *Bursera* (Burseraceae, Sapindales). *New Phytologist* 193: 276-287.
- Espinosa, D., J. Llorente y J.J. Morrone. 2006. Historical biogeographical patterns of the species of *Bursera* (Burseraceae) and their taxonomic implications. *Journal of Biogeography* 33: 1945-1948.
- Fenner, M. y K. Thompson. 2005. The ecology of seeds. Cambridge University Press. USA. 262 pp.
- Gil, R. 2010. Revisión taxonómica del “complejo copallifera” sección *Bullockia* del género *Bursera* (Burseraceae) en México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 102 pp.
- Gillet, J.B. 1980. *Commiphora* (Burseraceae) in South America and its relationships to *Bursera*. *Kew Bulletin* 34: 569-587.
- González-Zertuche, L., y A. Orozco-Segovia. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Bol. Soc. Bot. México* 58: 15-30.
- Hartmann, H.T. y D.E. Kester. 1994. Propagación de plantas y principios básicos. CECSA. México, D.F. 760 pp.

- Healy, E. 2007. Germination and Seed Viability of the Seasonally Dry Tropical Forest tree *Bursera copallifera* (DC.) Bullock (Burseraceae) and other common *Bursera* of Morelos, Mexico. Master in Science. University of California, campus Davis.
- Hernández, A. 2007. El efecto de la exclusión de las perturbaciones antrópicas por once años en la lluvia de semillas en un bosque tropical seco de Morelos. Facultad de Ciencias Biológicas, UAEM. Morelos. 94 pp.
- Hernández-Pérez, E., M. González-Espinosa, I. Trejo y C. Bonfil. 2011. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos, México y su relación con el clima. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 964-976.
- Hernández-Apolinar, M., T. Valverde y S. Purata. 2006. Demography of *Bursera glabrifolia*, a tropical tree used for folk woodcrafting in Southern Mexico: an evaluation of its management plan. Forest Ecology and Management 223:139-151.
- Hersch-Martínez, P. y R. Glass. 2006. Linaloe: un reto aromático diversas dimensiones de una especie mexicana, *Bursera linanoe*. CONACULTA: Instituto Nacional de Antropología e Historia. Colección Científica 497:155.
- Hong, T.D. y R.H. Ellis. 1992. The survival of germinating orthodox seeds after desiccation and hermetic storage. Journal of Experimental Botany 43 (2):239-247.
- Jiménez-Ramírez y Vázquez-Santana en: Márquez- Guzmán, J. et. al. 2013. Biología de Angiospermas. México, UNAM, Facultad de Ciencias: Coordinación de la Investigación científica. 622 pp.
- Linares, E. y R. Bye, 2008. El copal en México. CONABIO. Biodiversitas 78:8-11.

- Martínez-Garza, C., M. Osorio-Beristain, D. Valenzuela-Galván y A. Nicolás Medina. 2011. Intra and inter-annual variation in seed rain in a secondary dry tropical forest excluded from chronic disturbance. *Forest Ecology and Management* 262: 2207-2218.
- McVaugh, R. y J. Rzedowski. 1966. Synopsis of the genus *Bursera* L. in western Mexico, with notes on the material of *Bursera* collected by Sessé & Mociño. *Royal Botanical Gardens, Kew Bulletin* 18: 317-384.
- Medina-Lemos, R. 2008. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM. 79 pp.
- Miranda, F. y X. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Orantes-García, C., M. Pérez-Farrera, T. Rioja-Paradela y E. Garrido-Ramírez. 2013. Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica* 36:117-127.
- Orozco-Segovia, A. y L. González-Zertuche. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58:15-30.
- Piña, E. 2005. Análisis de la estructura y la composición de la selva baja caducifolia con diferentes grados de conservación en la zona de Xochicalco, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 67 pp.
- Purata, S., M. Chibnik, B. Brosi y A. López. 2004. Figuras de madera de *Bursera glabrifolia* H.B.K. (Engl.) en Oaxaca, México. *Productos forestales, medios de subsistencia y conservación: Estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables* 3: 415-499.

- Ramos-Ordoñez M., J. Márquez-Guzmán y M.C. Arizmendi. 2008. Parthenocarpy and seed predation by insects in *Bursera morelensis*. *Annals of Botany* 102:713-722.
- Ramos-Ordoñez, M. F., M. C Arizmendi y J. Márquez-Guzmán. 2012. The fruit of *Bursera*: structure, maturation and parthenocarpy. *AoB Plants* 2012: pls027; doi: 10.1093/aobpla/pls027.
- Ramos-Ordoñez M., M.C. Arizmendi, M. Martínez y J. Márquez-Guzmán. 2013. The pseudaril of *Bursera* and *Commiphora*, a foretold homology?. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84:509-520.
- Reséndiz, M. 2009. Análisis de la distribución ecológica de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) Sección *Bullockia* en México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F. 77 pp.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.
- Rzedowski, J. y H. Kruse. 1979. Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae). *Taxón* 28: 103-116.
- Rzedowski J. y G. Calderón. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. 1ra. edición digital. México. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora del Vall de Mx 1.pdf>
- Rzedowski, J. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Botánica Mexicana* 66: 23-151.

- Rzedowski, J., Medina-Lemos, R. y 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.
- Trejo, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas* 39: 40-52.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a nacional and local analisis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.
- Velázquez, J. 2011. Biología reproductiva de dos especies del género *Bursera*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Vleeshouwers, L. M., H.J. Bouwmeester y C.M. Karssen. 1995. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology* 83: 1031-1037.
- Zaar, H.J. 2010. *Bioestatistical Analysis*. PEARSON, 5th ed. 944 pp.

Apéndices

Apéndice 1. Porcentajes de germinación (media \pm d. e.) de semillas de cuatro especies (*B. bicolor*, *B. copallifera*, *B. glabrifolia* y *B. submoniliformis*) sometidas al tratamiento de escarificación por perforación con taladro a dos temperaturas (constante 28° C y fluctuante 18–32° C).

Especie	Temperatura fluctuante	Temperatura constante
<i>B. bicolor</i>	18 \pm 5.6	50 \pm 8.4
<i>B. copallifera</i>	12 \pm 2.8	38 \pm 8.4
<i>B. grandifolia</i>	0	0
<i>B. submoniliformis</i>	0	0

Apéndice 2. Porcentaje de viabilidad por prueba de flotación, de semillas de *B. copallifera* provenientes de dos localidades.

Especie	Xochicalco			El Limón		
	Número de individuos	semillas N	semillas viables (%)	Número de individuos	semillas N	semillas viables (%)
<i>B. copallifera</i>	7	3042	75.7	4	1670	79.3

Apéndice 3. Tamaño, biomasa inicial y área foliar de las plántulas de cuatro especies. Las plántulas tenían una edad aproximada de seis semanas, y todas tenían las hojas cotiledonarias totalmente desarrolladas, al igual que un par de hojas verdaderas.

Cuadro 1. Tamaño inicial de plántulas (cm) de tres especies del género *Bursera* (media \pm d.e.).

Especie	Altura total	Altura a hojas cotiledonarias	Diámetro basal	Longitud de raíz
<i>B. copallifera</i>	17.2 \pm 4.9	12 \pm 4.4	0.15 \pm 0.01	5.2 \pm 1.6
<i>B. bicolor</i>	14.3 \pm 4.1	8.3 \pm 2	0.17 \pm 0.03	5.9 \pm 2.7
<i>B. glabrifolia</i>	12.9 \pm 4.8	8.2 \pm 4.8	0.15 \pm 0.02	4.6 \pm 0.9

Sin diferencias significativas entre especies.

Cuadro 2. Área foliar (cm²) y área foliar específica (cm² g⁻¹) de plántulas de tres especies del género *Bursera* (media \pm d.e.).

Especie	AF cot	AF hojas	AFE cot	AFE hojas
<i>B. copallifera</i>	8.4 \pm 3.9	8.1 \pm 2.1 ^a	374.1 \pm 30.6	421.1 \pm 30.2 ^a
<i>B. bicolor</i>	6.3 \pm 2.1	6.7 \pm 3.3 ^a	382.8 \pm 47.8	439.3 \pm 49.8 ^a
<i>B. glabrifolia</i>	6.9 \pm 1.9	2.5 \pm 0.8 ^b	363.8 \pm 36.9	334.4 \pm 36.0 ^b

Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas

Cuadro 3. Biomasa (g) de plántulas de tres especies del género *Bursera* (media \pm d.e.).

Especie	Total	Tallo + hojas	Raíz	Tallo	Hojas cotiledonarias	Hojas verdaderas	R/V
<i>B. copallifera</i>	0.06 ± 0.01	0.03 ± 0.008	0.007 ± 0.003	0.01 ± 0.02	0.02 ± 0.003	0.02 ^a ± 0.005	0.1 ± 0.1
<i>B. bicolor</i>	0.05 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.007 ± 0.004	0.01 ± 0.006	0.02 ± 0.005	0.01 ^a ± 0.007	0.2 ± 0.1
<i>B. glabrifolia</i>	0.04 ± 0.009	0.02 ± 0.005	0.005 ± 0.001	0.01 ± 0.004	0.02 ± 0.004	0.007 ^b ± 0.002	0.1 ± 0.05

Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas

Apéndice 4. Porcentajes de viabilidad por prueba de flotación y tinción del embrión con tetrazolio reportados por Healy (2007) en semillas de cuatro especies del género *Bursera*.

Especie	Frutos que flotan			Frutos que se hunden
	Vacíos %	Inviabiles %	Viabiles %	Viabiles %
<i>B. aptera</i>	82	18	0	30
<i>B. copallifera</i>	30	65	5	48
<i>B. lancifolia</i>	75	25	0	48
<i>B. morelensis</i>	68	30	2	70

Apéndice 5. Peso y volumen (media \pm e.e.) de semillas de cuatro especies del género *Bursera*, provenientes de la Zona arqueológica de Xochicalco, Morelos.

Especie	Peso (mg)	Volumen (cm³)	R²
<i>B. copallifera</i>	0.071 \pm 0.0023	65.717 \pm 1.91	R= 0.86, p <0.01
<i>B. glabrifolia</i>	0.043 \pm 0.0015	36.88 \pm 1.58	R= 0.71, p <0.01
<i>B. grandifolia</i>	0.189 \pm 0.0151	216.52 \pm 12.70	-
<i>B. fagaroides</i>	0.0199 \pm 0	58.50 \pm 0	-

Tomado de: Hernández, A.P. 2007.

Apéndice 7. Descripción de las especies de estudio.

El género *Bursera* incluye árboles y arbustos dioicos o polígamo-dioicos, caducifolios, de exudados resinosos y muy aromáticos. Las hojas son generalmente alternas, imparipinnadas o bipinnadas, trifoliadas o unifoliadas, los folíolos con margen entero, dentado o laciniado. Las flores axilares o terminales, solitarias o agrupadas en cimas, racimos o panículas; sépalos y pétalos de 3 a 5; estambres del mismo número o dos veces más que los pétalos, filamentos libres; ovario súpero, 2 a 5 locular y carpelar, placentación axial, regularmente con 2 óvulos por lóculo, estilo de 0 a 1, lóbulos del estigma de 2 a 5. Fruto en forma de drupa bivalvada o trivalvada, dehiscente, con una semilla por fruto (Rzedowski y Calderón, 2001).

Sección Bursera

Bursera arida (Ramírez, 1894).

Árboles dioicos de hasta 4m de altura, con una corteza de color rojizo-anaranjada o pardo-amarillenta, exfoliante y con exudados resinosos aromáticos. Las Hojas son imparipinnadas, con peciolos alados, láminas de 0.8 a 2.5 cm de largo, con 5 y hasta 11 folíolos ovados, margen entero, con el haz y envés glabros. Flores solitarias subsésiles. Flores masculinas trímeras o tetrámeras de color rojizo y las femeninas trímeras con pedicelos. Frutos pedunculados, con endocarpio cubierto por un pseudoarilo de color amarillo pálido. Floración en mayo y junio, y fructificación de mayo a septiembre.

Se distribuye en México, en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla. Es conocido con el nombre de “cuajote verde”, “cuajote amarillo”, “cabrestillo” y “zapotillo”. Sus troncos son usados como horcones en algunas viviendas.

Bursera ariensis (Kunth) McVaugh & Rzed.

Es un árbol dioico de 2-8 m de altura, con una corteza de color amarillo a amarillo grisácea, exfoliante y con abundantes exudados resinosos aromáticos. Hojas imparipinnadas, alternas, pecíoladas; con láminas de 5 a 22 cm de largo, raquis alado, margen entero, sésiles o subsésiles; con 5-19 folíolos oblongos, lanceolados, margen serrado a entero, con haz y envés pubescentes. Flores solitarias o a menudo aglomeradas y sésiles, de color amarillo a anaranjado con tintes rojizos; las masculinas pentámeras y las femeninas trímeras. Frutos densamente agrupados, endocarpio cubierto por un pseudoarilo de color amarillo o anaranjado. Floración de abril a junio y fructificación de junio a octubre.

Se distribuye en México, en los estados de Guerrero, Chiapas, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca y Puebla. Es conocido con el nombre de

“guande” o “cuajote blanco” (nombre Náhuatl). Los troncos pueden ser utilizados como cercas vivas, el látex como pegamento y la resina como incienso.

Bursera aptera (Ramírez, 1894).

Árbol o arbusto dioico de hasta 8 m de altura, con una corteza de color amarillo, exfoliante y con abundantes exudados resinosos y aromáticos. Hojas imparipinadas, pecioladas; láminas de 1 hasta 8 cm de largo con un raquis sin alas; con 7 y hasta 19 foliolos sésiles, ovados, margen entero y glabros. Flores solitarias o dispuestas en grupos de 2 o 3, de color amarillo, rojizo o blanquecino, las masculinas trímeras o tetrámeras, las femeninas trímeras, ambas pediceladas. Frutos trivalvados, agrupados, con endocarpio cubierto por un pseudoarilo de color amarillo o blanquecino. Floración de abril a julio y fructificación de junio a noviembre.

Se distribuye en México, en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla. Es conocido con el nombre de “copalillo”, “cuajote”, “cuajote verde” o “cuajote amarillo”.

Bursera grandifolia (Schltdl.) Engl.

Árbol de 18 m de altura, con una corteza exfoliante de color verde oscuro, con poco exudado pegajoso e incoloro. Las hojas son imparipinnadas y presentan de 5 a 7 foliolos ovados, margen entero, el haz con una tonalidad verde más oscura que el envés, ambos hirtos. Raquis desnudo. Flores masculinas pentámeras y las femeninas trímeras, de color blanco. El fruto es trivalvado y con un largo pedicelo, presentan un pseudoarilo de color rosa a violeta que las cubre en su totalidad. Floración de junio a julio y fructificación de julio a diciembre (Ramos-Ordoñez *et al.*, 2012).

Se distribuye en los estados de Chihuahua, Colima, Durango, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Sonora y Zacatecas. Es conocido con el nombre de “jiote blanco” (nombre Náhuatl) o “chutama”. Tiene usos particulares como cerca viva y ornamental (Cajero, 2009).

Bursera morelensis (Ramírez, 1896)

Árbol dioico de hasta 13 m de altura, de corteza exfoliante color rojizo, con abundante resina aromática y aceitosa. Hojas imparipinnadas de 5 a 11 cm de largo, pecioladas, con raquis alado; foliolos sésiles o subsésiles de 0.7 a 2.2 cm de largo, margen entero. Flores solitarias, pares o paniculadas, de color amarillo, verde o blanco, trímeras a pentámeras (masculinas y femeninas). Fruto trivalvado, con endocarpio cubierto por un pseudoarilo de color amarillo pálido. Floración de mayo a junio y fructificación de julio a octubre.

La especie se distribuye en los estados de Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro y San Luis Potosí. Localmente se conoce como “palo mulato”, “palo colorado”, “copalillo” o “cuajote rojo”. La madera se utilizaba para producir cerillos, el tronco como cerca viva (Ramos- Ordoñez, 2012).

Sección Bullockia

Bursera bicolor (Willd. ex Schlttdl.) Engl.

Es un árbol pequeño (cuatro metros de altura) de corteza no exfoliante color grisáceo, con exudados resinosos aromáticos. Las hojas son de 12-30cm de largo incluyendo el peciolo, notables por presentar una coloración verde oscuro en el haz y color blanquecino en el envés, con márgenes enteros, raquis alado y con 5-7 pares de foliolos sésiles. Presenta inflorescencias paniculadas, con un raquis. Las

flores son tetrámeras de color rosado. Los frutos son bivalvados y presentan semillas con un pseudoarilo de color amarillo-naranja que la cubre, dejando libre el ápice. Floración de junio a julio y fructificación de julio a diciembre (Ramos-Ordoñez *et al.*, 2012).

En México se distribuye en los estados de Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla. Es conocido con el nombre de “copali”, “mulatillo”, “amarillo”, “cupalaca” o “copal”. La resina es utilizada localmente como tratamiento de reumas (Cajero, 2009).

Bursera biflora (Rose) Standl. 1929.

Árbol dioico de hasta 8 m de alto. Corteza no exfoliante de color gris y ocasionalmente amarillenta en la base del tronco, con resina aromática. Hojas en rosetas y alternas en ramas juveniles, de 1 a 7 cm de largo, pecioladas, con 1 y hasta 5 foliolos ovados, con raquis alado, coriáceos en la madurez, haz glabro y envés densamente viloso. Flores masculinas y femeninas trímeras, de color blanquecino. Frutos bivalvados, con una semilla cubierta por un pseudoarilo de color anaranjado casi en su totalidad, dejando el ápice expuesto de color negro.

Floración de mayo a principios de julio y fructificación de junio a septiembre. Se distribuye en los estados de Oaxaca y Puebla. Se conoce como “mulatillo amarillo” y “copal”.

Bursera copallifera (Sessé & Moç. ex DC.) Bullock.

Es un árbol o arbusto de 3-6 m de altura con una corteza lisa de color gris a rojizo, no exfoliante, con exudados resinosos muy aromáticos. Hojas de 9-15 cm de

largo, con 5-7 pares de foliolos peciolados con un haz y un envés pubescentes. Presenta flores tetrámeras, de color verde-amarillento. El fruto es bivalvado; la semilla está cubierta casi en su totalidad por un pseudoarilo de color beige a naranja con una región oscura en el ápice. Floración de abril a mayo y fructificación de junio a noviembre.

Se distribuye en los estados de Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Zacatecas. Se conoce como “c'uájtutacu” (nombre Tarasco), “copalcuáuitl” (nombre Náhuatl) y “copal”. Es la principal especie de la que se extrae la resina sólida conocida como copal, el cual es usado como incienso en ceremonias religiosas (Linares y Bye, 2008).

Bursera glabrifolia (Kunth) Engl.

Es un árbol o arbusto dioico, de hasta 12 m de altura, con una corteza de color gris generalmente lisa, no exfoliante, ramillas de color rojizas, con abundantes exudados resinosos y aromáticos. Las hojas son imparipinnadas de 3.5-12.5 cm de largo, con 5-6 pares de foliolos peciolados, con raquis alado. Las flores son tetrámeras de color blanquecino-amarillentos. El fruto es bivalvado, de color rojizo en la madurez. Las semillas presentan un pseudoarilo amarillo o rojo-anaranjado que la cubre casi la totalidad, dejando el ápice expuesto y con un color negro. Floración en mayo y junio y fructificación de junio a octubre.

Se distribuye en los estados de Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla. Localmente se conoce como “linanoé”, “copal”, “copal blanco”, “copal hembra” o “copalillo”. La madera se utiliza como cerca viva, ya que es encontrada

en la proximidad de algunos arroyos, y en la elaboración de artesanías; la resina es utilizada como incienso (Cajero, 2009).

Bursera submoniliformis (Engl., 1883).

Árbol o arbusto dioico de 2.5 y hasta 12 m de alto. Corteza no exfoliante de color gris a gris-rojiza, con resina aromática de olor desagradable. Hojas imparipinnadas en rosetas, pecioladas; láminas de 15 a 20 cm de largo, raquis alado, con 9 - 17 foliolos de margen serrado, haz densamente viloso y envés densamente tomentoso de color grisáceo. Flores masculinas y femeninas tetrámeras, de color amarillo y con el centro oscuro. Frutos bivalvados; semilla cubierta casi en su totalidad por un pseudoarilo de color amarillo o anaranjado. Floración de mayo a julio, fructificación de junio a noviembre.

Se distribuye en los estados de Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla y Sonora. Localmente se conoce como “copal”, “copalillo”, “copalillo blanco” y “tecomaca” (nombre Náhuatl). Extracción de copal y en algunas regiones la madera se extrae para elaborar artesanías.