COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENZEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

POLIMORFISMO SEXUAL, GERMINACIÓN Y ANATOMÍA DE LA MADERA *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA

IRIS JACARANDA CRUZ LARIOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

La presente tesis titulada: **"POLIMORFISMO SEXUAL, GERMINACIÓN Y ANATOMÍA DE LA MADERA *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA"**, realizada por la alumna: **Iris Jacaranda Cruz Larios**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO _____
DR. JESÚS JASSO MATA

ASESOR _____
DR. MARCOS JIMÉNEZ CASAS

ASESOR _____
DRA. AMPARO MAXIMA BORJA DE LA ROSA

ASESOR _____
M.C. VIRGINIA JACOB CERVANTES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

Al Dr. Jesús Jasso Mata, por el extraordinario apoyo que me brindó durante mis estudios de Maestría, y por haber promovido en mi persona un espíritu científico.

Al Dr. Marcos Jiménez Casas, por su importante orientación en el desarrollo de este trabajo.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por ayudarme con el trabajo de laboratorio, y por su constante asesoría.

A la M. C. Virginia Jacob Cervantes, por el empeño mostrado en las actividades realizadas en laboratorio y en la revisión de este texto.

A la M. C. Yanet Jiménez Salmerón, persona de gran calidad humana quien me apoyó en el trabajo de campo.

Al Sr. Luis Méndez Hidalgo, por toda su importante colaboración en campo.

A las autoridades locales de Mezquitlán y Comala de Gómez, Guerrero, por permitirnos trabajar en sus comunidades, y acompañarnos en cada visita; en especial a la señora Lucina Desiderio.

A mis compañeros del Postgrado en Ciencias Forestales, por haber hecho tan amena mi estadía, y en especial a la M. C. Sandra Luz Castro Garibay, con quien he compartido tantos momentos importantes.

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres, José Cruz Ortega y María Guadalupe Larios Durán, que incentivaron en mi persona las ganas de estudiar.

A mis hermanos, Jessica Guadalupe y José Adolfo, por su apoyo incondicional.

A Itsi Natalia, que con su hermosa sonrisa y espontaneidad, alivió mi cansancio todas aquellas veces que me sentía rendida. Hija mía, recuerda siempre que los logros se construyen con esfuerzo y dedicación.

A mi compañero Antonio, quien me apoyó durante todo el proceso y me aconsejó honesta y objetivamente. Gracias por el cariño que me brindas, por escucharme todo el tiempo y compartir conmigo tantos momentos felices. Gracias totales.

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL viii
ABSTRACT ix
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL 1
1.1. Revisión de literatura 2
1.1.1. Género *Bursera* 2
1.1.2. Descripción del linaloe 3
1.1.3. Distribución natural 5
1.1.4. Propagación sexual 5
1.1.5. Propagación asexual 7
1.1.6. Usos 7
1.1.7. Características de la madera 8
1.1.8. Determinación sexual 9
1.2. Literatura citada 11
CAPITULO II. VARIABILIDAD SEXUAL DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE), RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA (BURSERACEAE) EN EL ESTADO DE GUERRERO. 14
2.1. Resumen 14
2.2. Introducción 15
2.3. Materiales y métodos 16
2.3.1. Zona de estudio 16
2.3.2. Sexualidad y morfología floral 16
2.3.3. Análisis estadístico 17
2.4. Resultados y discusión 17
2.4.1. Morfología floral 17
2.4.2. Sexualidad 18
2.4.3. Morfología de inflorescencias 21
2.5. Conclusiones 25
2.6. Literatura citada 25
CAPITULO III. CALIDAD DE SEMILLA Y GERMINACIÓN DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA PROCEDENTE DEL ESTADO DE GUERRERO 29
3.1. Resumen 29

3.2. Introducción 30
3.3. Materiales y métodos 31
3.3.1. Recolecta de semilla 31
3.3.2. Análisis de semilla 31
3.3.3. Ensayos de germinación con tratamientos pregerminativos 32
3.4. Resultados y discusión 36
3.4.1. Análisis de semilla 36
3.4.2. Ensayos de germinación con tratamientos pregerminativos 41
3.5. Conclusiones 43
3.6. Literatura citada 44
CAPITULO IV. VARIACIÓN DE ANATOMÍA DE LA MADERA DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA POR EFECTO DEL SEXO Y SITIO ... 48
4.1. Resumen 48
4.2. Introducción 49
4.3. Materiales y métodos 50
4.3.1. Zona de estudio 50
4.3.2. Colecta del material 50
4.3.3. Características microscópicas 51
4.3.4. Densidad básica 52
4.3.5. Análisis estadístico 53
4.4. Resultados 53
4.4.1. Características microscópicas 53
4.4.2. Densidad básica 54
4.5. Discusión 61
4.5.1. Características microscópicas 61
4.5.2. Densidad básica 64
4.6. Conclusiones 65
4.7. Literatura citada 65
ANEXOS 69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza de inflorescencias de *Bursera linanoe*, considerando el efecto del sitio, sexo y exposición. 23
Cuadro 2. Comparación de medias de las características de las inflorescencias *de Bursera linanoe*, considerando el efecto del sitio, sexo y exposición. 24
Cuadro 3. Tratamientos pregerminativos de semilla de *B. linanoe* de 2014 para el primer ensayo. 33
Cuadro 4. Tratamientos pregerminativos de semilla de *B. linanoe* de 2014 para el segundo ensayo. 34
Cuadro 5. Tratamientos pre-germinativos con semilla de *B. linanoe* recolectada en 2014 para el tercer ensayo. 35
Cuadro 6. Tratamientos pregerminativos con semilla de *Bursera linanoe* recolectada en 2015 para el tercer ensayo. 35
Cuadro 7. Características de la semilla de *Bursera linanoe* de diferentes años de recolecta en el estado de Guerrero. 36
Cuadro 8. Análisis de varianza del contenido de humedad de la semilla de *B. linanoe* por año de recolecta. 37
Cuadro 9. Variables evaluadas para determinar el efecto del sitio y sexo en las características anatómicas de la madera de *B. linanoe*. 52
Cuadro 10. Factores de variación de las características evaluadas en la madera para *Bursera linanoe*. 53
Cuadro 11. Análisis de varianza de las características microscópicas de la madera de *Bursera linanoe*. 56
Cuadro 12. Pruebas de comparación de medias para las características microscópicas de la madera de *Bursera linanoe* por efecto del sexo. 57
Cuadro 13. Pruebas de comparación de medias para las características microscópicas de *Bursera linanoe* por efecto del sitio. 58
Cuadro 14. Características microscópicas generales de la madera de *B. linanoe* en Atenango del río, Guerrero. 69
Cuadro 15. Características microscópicas generales de la madera de *B. linanoe* en los sitios de estudio. 70
Cuadro 16. Características microscópicas generales de la madera de *B. linanoe* entre sexos. . 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flores de *Bursera delpechiana*.. 4
Figura 2. Estructuras florales de *Bursera linanoe*.. 19
Figura 3. Porcentaje de sexos encontrados en poblaciones naturales de *B. linanoe* en el estado de Guerrero. 22
Figura 4. Inflorescencias de *Bursera linanoe*. 22
Figura 5. Porcentaje de semillas de *Bursera linanoe*, clasificadas en llenas y vanas en lotes de semilla son procedencia del estado de Guerrero. 38
Figura 6. Porcentaje de semillas llenas y vanas de *Bursera linanoe* por color de testa en lotes de semilla del estado de Guerrero.....39
Figura 7. Semillas de *Bursera linanoe* clasificadas por color.. 39
Figura 8. Semilla de *Bursera linanoe*. 40
Figura 9. Forma de obtención de las probetas 51
Figura 10. Densidad básica de la madera de *Bursera linanoe* por tipo de sexo. 54
Figura 11. Densidad básica de la madera de *Bursera linanoe* por sitio. 55
Figura 12. Anatomía de la madera de los árboles hembra, macho y monoico 59
Figura 13. Características microscópicas de la madera *Bursera linanoe*.. 60
Figura 14. Características generales de las fibras y elementos de vaso de *B. linanoe*.. 61

POLIMORFISMO SEXUAL, GERMINACIÓN Y ANATOMÍA DE LA MADERA DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZESOWSKI, CALDERÓN & MEDINA

Iris Jacaranda Cruz Larios, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN GENERAL

Sobre la sexualidad de *Bursera linanoe* poco se ha estudiado, aspecto que repercute en la problemática del deterioro de las poblaciones naturales. Se documentaron las formas sexuales de esta especie en el estado de Guerrero, relacionando el polimorfismo con aspectos de germinación y variables anatómicas de la madera. Se encontraron tres tipos de sexo, determinados como hembra, macho y monoico. Nominalmente presentan flores hermafroditas y estaminadas, por lo cual las poblaciones de estudio se consideran poligamodioicas. Existen diferencias en la calidad de la semilla de linaloe entre años, respecto a la pureza, número de semillas y porcentaje de contenido de humedad. La viabilidad de la semilla es baja, relacionado al 45% de semillas llenas. La coloración de la testa de las semillas puede ser un buen indicador de la viabilidad de las mismas. El efecto del sexo de los árboles en la anatomía de la madera del linaloe tiene efectos significativos para cuatro de las variables evaluadas en este estudio, los monoicos son los que presentan estas diferencias. Las características anatómicas de la madera varían entre sitios, el sitio 2 presenta mayores dimensiones.

Palabras clave: monoico, dioico, linaloe, tratamientos pregerminativos, características de la madera.

SEXUAL POLYMORPHISM, GERMINATION AND ANATOMY OF WOOD *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZESOWSKI, CALDERÓN & MEDINA

Iris Jacaranda Cruz Larios, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

Sexuality about Bursera linanoe there is little research, aspect that affects the problem of deterioration of natural populations. Sexual forms of this species were documented in the state of Guerrero, relating the polymorphism with aspects of germination and anatomical variables of wood. Three types of sex, determined as female, male and monoecius found. Nominally they have hermaphroditic and male flowers, so study populations are considered poligamous. There are differences in quality between seed linaloe years for purity, seed number and content of humidity. The viability of the seed is low, related to 45% of filled seeds. The color of the seed coats may be a good indicator of the viability of them. The effect of the sex of the trees in the wood anatomy of linaloe has significant effects for four of the variables evaluated in this study, monoicos are those with these differences. The anatomical characteristics of wood they are different between sites, site 2 has greater dimensions.

Keywords: monoecious, dioecious, linaloe, germinative treatments, wood characteristics.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El árbol de linaloe (*B. linanoe*), es uno de los copales aromáticos que existen en México, su resina es utilizada para diversos productos por ejemplo los cosméticos, medicinales e industriales; lo que genera un ingreso monetario significativo en las zonas rurales con índices marcados de pobreza (Hernández-Vásquez *et al*., 2013); además ha sido utilizado por siglos en ceremonias de los pueblos indígenas en diversas regiones de nuestro país (Hersch-Martínez, 2005).

El aprovechamiento de la madera y del fruto para la extracción de aceite en la fabricación de cajitas artesanales en Olinalá, Guerrero; han ejercido una presión significativa sobre las poblaciones naturales del linaloe (Cruz-Cruz *et al*., 2009). Siendo el resultado de actividades de derribo ilegal, falta de incentiva en la reforestación y nula protección de las plántulas contra el silvopastoreo (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002; Hersch-Martínez, 2005). Aunque han existido algunos intentos aislados por hacer plantaciones y sembrar linaloe en la región de Olinalá, la mayoría de los esfuerzos han dado pocos resultados (Rufino- Morales *et al*., 2008).

Esta especie se describe como dioica o polígamo-dioica (Srivastava y Srinath, 1965; Rzedowski, 2004); la falta de información acerca de la sexualidad es parte de la problemática del linaloe, debido a que frecuentemente se considera como un árbol dioico (Cruz-Cruz *et al*., 2009; Arellano-Ostoa *et al*., 2014; Vázquez-Cisneros, 2014), sin considerar la diversidad sexual que presenta.

Es fundamental que se apliquen planes de manejo que ayuden a administrar los bosques tropicales caducifolios basados en la biología de este género (Bonfil-Sanders, *et al.*, 2008). La escasa información, replantea la generación de información acerca de las características reproductivas de esta especie, herramienta que contribuiría a poder conocer y manejar adecuadamente poblaciones naturales.

Los objetivos de este estudio están orientados a identificar y documentar la variabilidad sexual de poblaciones naturales de *Bursera linanoe* en el estado de Guerrero, relacionando el polimorfismo con aspectos de germinación y variables anatómicas.

1.1. Revisión de literatura

1.1.1. Género *Bursera*

El género *Bursera* tiene poco más de un centenar de especies de plantas leñosas, encontrándose principalmente en el continente americano, se extiende desde los extremos suroeste y sureste de los Estados Unidos hasta el norte de Perú y de Brasil, incluyendo las Antillas y las Galápagos. Su centro de diversidad se localiza en México, donde hasta el momento se conocen unas 80 especies, pero este número probablemente sea mayor a las cien unidades debido a que faltan especies por estudiar y por descubrir (Rzedowski *et al*., 2004).

Este género "es un miembro prominente y característico tanto de la flora como de la vegetación de México" (Rzedowski *et al.*, 2005). Como lo menciona Becerra, 2003, el género *Bursera* puede considerarse como viejo, debido a que su distribución se extendía por el centro de América del Norte; actualmente, está muy adaptado a las condiciones ecológicas y climáticas del bosque tropical caducifolio y es de gran importancia fisonómica, lo que hoy sugiere una marcada evolución y diversificación, podría estar vinculado a la historia de éste ecosistema y por lo tanto podría ser un poderoso indicador de su expansión a través del tiempo en México.

Los representantes de *Bursera* son mayormente árboles o algunas veces arbustos, de hoja decidua, que constituyen un elemento característico y no pocas veces dominante o codominante de los bosques tropicales caducifolios de México, donde habitan preferentemente en altitudes entre 0 y 1800 m. Solamente una especie, *B. simaruba*, llega a ser componente de ambientes más húmedos y puede prosperar en bosques tropicales subcaducifolios y perennifolios. Varias especies prosperan en matorrales xerófilos y algunas llegan a elevaciones cercanas a 2400 m, penetrando en ocasiones a áreas transicionales con bosques de encino y de coníferas. Dadas estas afinidades ecológicas, la mayor diversidad de las especies mexicanas se establece en la vertiente del pacífico de nuestro país, con su máxima concentración en la cuenca del río Balsas (Rzedowski y Kruse, 1979).

A pesar de los esfuerzos de varias generaciones de botánicos, el avance en el conocimiento taxonómico de los componentes de *Bursera* ha sido lento y dista aún mucho de ser satisfactorio. Debido a diversos factores como a: 1) la sexualidad de las plantas y al corto tiempo en el que se

desarrolla la floración, por lo que en diversos herbarios no se cuenta con el material suficiente para su definición, 2) la gran diversidad de especies que se encuentran en un área restringida, 3) la morfología de hojas es el principal determinante taxonómico, debido a la escases de descripciones de las características de flores y frutos, siendo la causa de una equivocada delimitación de los taxa, 4) algunos complejos (como por ejemplo, el grupo de *B. simaruba*, el de *B. fagaroides* y el de *B. excelsa*), son difíciles de separar mediante caracteres morfológicos, siendo necesarios la apreciación de diferencias a nivel del genoma, 5) existen variaciones en los metabolitos secundarios entre especies y poblaciones, y 6) la frecuente hibridación, resultando en individuos con rasgos intermedios (Rzedowski *et al*., 2004).

1.1.2. Descripción del linaloe

La descripción botánica de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina, ha sido proporcionada por Rzedowski *et al*., 2004, y, Srivastava y Srinath, 1965, y que a continuación se cita:

Se define como un árbol dioico o a veces polígamo-dioico, hasta de 8(10) m de alto, muy resinoso, con aroma agradable y penetrante al estrujarse; tronco hasta de 60 cm de diámetro, con corteza gris-rojiza, no exfoliante, ramillas lignificadas francamente rojizas oscuras, glabras o las más jóvenes a veces densamente pubérulas o esparcidamente vilosas.

Hojas. Frecuentemente aglomeradas en los ápices de ramillas cortas, otras veces alternas en ramillas de crecimiento nuevo, precedidas en su aparición por un conjunto de catafilos lanceolados a angostamente ovados, de 6 a 10 mm de largo, agudos a redondeados en el ápice, densa y muy finamente glanduloso-pubérulos en ambas caras, con frecuencia ciliados en el margen, precozmente caducos, hojas por lo general imparipinnadas, de 6 a 12 cm de largo y 3 a 8 cm de ancho, peciolo de 1 a 3 cm de largo, viloso o esparcidamente glanduloso-pubérulo, foliolos raramente 3, y generalmente presentándose 5 ó 7, raquis con alas de margen entero, peciólulos de 0.3 a 1 mm de largo, foliolos ovados a elípticos, lanceolados u oblongos, el terminal a menudo subrómbico, agudos a redondeados en el ápice, cuneados a redondeados en la base, toscamente serrados a crenados en el margen y a veces con tendencia a doblemente serrados (con escotadura en al ápice de los dientes), de textura membranácea, algo brillantes en

el haz, con venación prominente en el envés, con pelos de 0.6 mm de largo y a menudo también acompañados de diminutos pelos glandulosos espaciados.

Inflorescencias. Racimoso-paniculadas, de 6 a 8 cm de largo y hasta con 35 flores, aunque por lo general mucho más modestas, vilosas y glanduloso-pubérulas, bracteolas linear-subuladas, de 2 mm de largo, pedicelos de 3 a 8 mm de largo.

Flores. Masculinas tetrámeras, lóbulos del cáliz triangulares, de 0.6 a 0.8 mm de largo, glanduloso-pubérulos y esparcidamente vilosos, pétalos blanquecinos, oblongos a oblanceolados, de 3 a 4 mm de largo, glanduloso-pubérulos y vilosos por fuera, estambres 8 obdiplostémonos con filamentos libres insertados debajo del disco, filamentos de 1.5 a 2 mm de largo, anteras oblongas, de 0.9 a 1.2 mm de largo, anteras dorsifijas. Flores hermafroditas, con pétalos de 2 mm de largo, 8 estambres pero reducidos a estaminodios y sin formar tejido esporógeno, estaminodios con anteras de 0.7 a 0.8 mm de largo, los filamentos de los estaminodios son aplanados y triangulares, ovario bilocular cada lóculo contiene un solo óvulo, sincárpico, estilo evidente, a veces con dos ramas libres casi hasta la base, disco prominente, estigmas 2; pedúnculos fructíferos hasta de 4 cm de largo, pedicelos ligeramente engrosados. Polinización entomófila, presencia de flores hermafroditas o estaminadas en diferentes individuos (Figura 1).

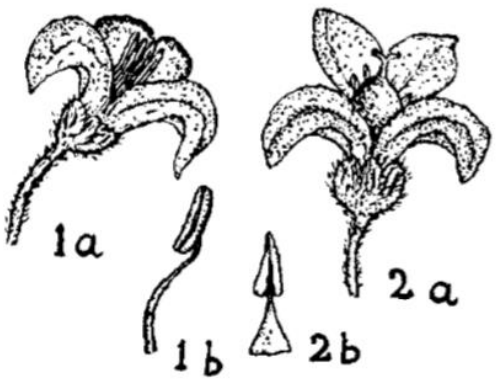

Figura 1. Flores de *Bursera delpechiana*. 1a, Flor masculina, 1b, estambre simple de flor masculina, 2a, flor hermafrodita y 2b, estaminodio (Srivastava y Srinath, 1965).

Se ha reportado el inicio, duración y término de las etapas de floración, fructificación y liberación de la semilla en tres poblaciones de la Cuenca del Balsas (Chimalacatlán, al sur de Morelos, Chiautla al sur de Puebla, Papalutla al noreste de Guerrero) obteniendo diferencias significativas al nivel de cuenca en las etapas fenológicas mencionadas, y también en la producción potencial y real del fruto. La proporción entre sexos fue de 65% para machos y de 35% hembras en La Cañada. Existe diferenciación fenotípica en La Cañada contrastándola con las poblaciones de la Cuenca del Balsas. Se alude la frugivoría como mecanismo de dispersión del linaloe, representado principalmente por el chiquitón y zenaida (Cruz-Cruz *et al*., 2009).

Frutos. Hasta 8 por infrutescencia, generalmente solitarios, bivalvados, obovoides y a menudo atenuados en el ápice, pero algo comprimidos, de 9 a 11 mm de largo, glabros, rojizos en la madurez, hueso sublenticular o plano-convexo, de 5 a 6 mm de diámetro, a menudo más ancho que largo, cubierto en la mitad o en los 2/3 inferiores por un pseudoarilo anaranjado.

En la actualidad, *Bursera linanoe* se ha convertido en una especie de gran interés y ha sido corroborada con dicha denominación por Becerra y Noge, 2010, mediante técnicas moleculares que identifican al árbol como la lavanda India (denominado en India como *B. delpechiana*).

1.1.3. Distribución natural

El linaloe es un habitante relativamente frecuente del bosque tropical caducifolio y de algunos matorrales xerófilos, desarrollándose sobre diversos sustratos geológicos, en altitudes de 650 a 1500 m. Florece de mayo a principios de julio, se encuentra desprovisto de follaje de noviembre a mayo y se reporta como una especie endémica del sur de México, específicamente en Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca (Rzedowski *et al*., 2004).

1.1.4. Propagación sexual

Castellanos-Castro y Bonfil-Sanders, 2010, brindan recomendaciones sobre la cosecha y germinación de la semilla del linaloe, tomando como muestra a nueve poblaciones comprendidas en Oaxaca, Morelos y Guerrero. Obteniéndose los siguientes valores en semilla: 16.87 a 47.5% de producción de frutos con semilla, 5.2 a 6.7 g de 100 semillas, mejoras en la

germinación aplicando ácido sulfúrico por 30 y 45 min, además de conservar la semilla en un almacenamiento a 4°C durante un año para aumentar la germinación al 40%.

El beneficio de la semilla, sugiere según Cruz-Cruz *et al*., 2009, que la recolecta de frutos se realice durante los meses de julio y agosto, colocándolos en bolsas de papel o en materiales que permitan la perdida de humedad favoreciendo la ventilación, hasta que éstos se desprendan de las valvas y alcancen el 10% de contenido de humedad . El periodo de plantación en campo se recomienda hacerlo de enero a mayo, cuando las plántulas tengan 25 a 30 cm de altura lo que tarda alrededor de cuatro a cinco meses de edad (Ayala-Sosa *et al*., 2011).

1.1.4.1.Tratamientos pregerminativos

Se reporta una merma en la germinación pues su porcentaje es de 10% (Swetha, 2005), sin embargo, se ha logrado aumentar este porcentaje utilizando germinadores o tratamiento de escarificación, con ácido sulfúrico por 30 minutos y la aplicación de ácido giberélico. También se incrementa la germinación cuando en condiciones de laboratorio la semilla se conserva por un año (Ayala-Sosa *et al*., 2011).

La germinación de seis especies del género *Bursera* (*B. bicolor, B. bipinnata, B. copallifera, B. fagaroides, B. glabrifolia y B. grandifolia*) ha sido reportada por Bonfil-Sanders, 2008. Las especies que presentaron semillas vanas fueron *B. bipinnata, B. fagaroides y B. grandifolia.* La germinación se vio favorecida en semillas con temperatura fluctuante en contraste con las que estuvieron a temperatura constante en la etapa de almacenamiento. Las especies analizadas tienen una proporción alta de semillas vanas; en *B. fagaroides* y *B. grandifolia* casi es del 100%.

Las plántulas de *Bursera* presentan germinación faneroepígea, las especies de la sección *Bursera* (que considera a *B. simaruba*, es decir, mulatos y cuajiotes) tienen raíz axonomorfa e hipocótilo delgado, hojas cotiledonares multilobadas (en cuajiotes) y trilobadas (en mulatos); las especies de la sección *Bullockia* tienen plántulas con raíz axonomorfa, hipocótilo estriado y lenticelado, y hojas cotiledonares trilobadas. Las pruebas de germinación están relacionadas con la madurez de las semillas, puesto que el fruto debe recolectarse cuando los pseudoarilos estén

expuestos y coloreados, para evitar las semillas vanas (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002).

1.1.5. Propagación asexual

Se ha probado el enraizamiento de estacas de tres especies del género *Bursera*, en las que fueron evaluadas 30 estacas de *B. linanoe, B. gabrifolia* y *B. copallifera* en dos sitios pertubados, efectuando un análisis clásico de crecimiento durante 4 meses. Se obtuvo un resultado de 77% de prendimiento en linaloe, siendo el más alto en comparación con las otras especies; mostrando mayor supervivencia, incremento en el diámetro y altura de las plantas en campo, mientras que *B. glabrifolia* y *B. copallifera* tienen un crecimiento de raíz menor (Castellanos-Castro y Bonfil-Sanders, 2010)

El enraizamiento de estacas de linaloe requiere un tratamiento con auxinas, la concentración óptima oscila entre 8,000 y 10,000 mg kg^{-1}. Las épocas de primavera y verano son las más propicias para inducir el enraizamiento y se sugiere que cuando se trate de árboles adultos se utilice material vegetativo con características juveniles (Arellano- Ostoa *et al.*, 2014).

1.1.6. Usos

Los primeros reportes sobre el aceite de linaloe aparecen en 1869, donde se informa que la fuente de origen de este aceite se obtiene de *B. delpechiana* o *B. aloexylon*. En 1910, Anderson acompañado de Humpries, fue a estudiar *B. penicillata* en su lugar de origen, y finalmente, estableció una plantación en India, donde el árbol se cultiva a partir de la semilla que recolectó en México (Bullock, 1936).

La innovación de la destilación de los frutos maduros en lugar de la madera, como se había hecho en México, resultó ser un éxito, dando al aceite de la lavanda india un olor superior y una mayor persistencia. Debido al desarrollo de las plantaciones fuera del lugar de origen y a la extracción del aceite en condiciones más industriales, Becerra, 2003, indica que el aceite producido en India desplazó al mexicano, haciéndose cargo de los mercados internacionales, lo que provocó el desplome industrial nacional.

Hersch-Martínez, 2005, describe el uso tradicional del aceite de linaloe, y la forma en la que se realiza la extracción artesanal para la obtención de éste mediante el calado de la madera. Puntualiza que recolectores, artesanos y comerciantes han visto disminución de esta actividad productiva dado el estado en el que se encuentra la disponibilidad de los árboles; aunado a los equipos y tecnología rudimentaria que se siguen usando en el país. El potencial de las artesanías y el aceite esencial requiere de una oferta sustentable, además de rescatar el perfil original de las artesanías; lo que implica una parte del patrimonio cultural.

1.1.7. Características de la madera

En México predomina una cultura artesanal de uso de maderas suaves como es el caso de *B. glabrifolia* en el estado de Oaxaca para la elaboración de los famosos "alebrijes", así como en Olinalá, Guerrero, *B. linanoe*, para la elaboración de "las cajitas y baúles de Olinalá" (Castellanos-Castro y Bonfil-Sanders, 2010).

Borja de la Rosa *et al*., 2009, describe las características macroscópicas de la madera de linaloe con los siguientes parámetros: olor aromático, sabor característico, color Hue 2.5 y 8/2 blanco, textura media, hilo entrecruzado, veteado pronunciado y brillo alto. En cuanto a las características físicas presenta una densidad básica muy ligera, contracción volumétrica baja, contracción tangencial baja, contracción radial muy baja y una relación de anisotropía moderadamente estable. Lo anterior remarca que la madera de linaloe es apropiada para la elaboración de artesanías donde su principal característica es el aroma.

Las propiedades tecnológicas de la madera se describen por Ayala-Sosa *et al.*, 2011, identificando la madera de linaloe como un material anisotrópico, es decir, que sus propiedades físicas y mecánicas son variables según la dirección que se considere. El color es claro, parecido al de otras especies del género *Bursera* como el copal (*B. glabrifolia*) y la tecomaca (*B. palmeri*). El olor de la madera de linaloe es aromático fuertemente alimonado y tiene un sabor amargoso, posee hilo entrecruzado, provocado por las condiciones de desarrollo y crecimiento del árbol. Su brillo es clasificado como una madera de brillo alto, lo que es deseable para una usarla en artesanías y muebles en general. Tiene porosidad difusa, lo que permite una adecuada absorción en los tratamientos contra la polilla y agentes de deterioro, así como de lacas y barnices en los

tratamientos de acabados de la superficie. El veteado es pronunciado, siendo una característica valorada en la elaboración de muebles finos. Su textura es media lo que permite una gran variedad de usos.

En el radio leñoso se encuentran canales gomíferos saturados con contenidos celulares (aceites), además, de forma más específica, se ha reportado que los árboles hembra poseen mayor cantidad de aceite, pues tiene dos canales gomíferos por milímetro cuadrado en comparación con los árboles macho, que solo tienen uno. Aunque la madera se clasifica como muy ligera y de contracciones muy bajas, presenta una relación de anisotropía muy alta, pues es una madera muy estable, con pocas probabilidades de deformarse, por lo tanto, al llevarse al proceso de secado no debería presentar defectos severos. En relación a las propiedades mecánicas de la madera indicaron resistencias muy bajas para los árboles dioicos, en consecuencia no debe someterse a cargas (Borja *et al.*, 2009).

1.1.8. Determinación sexual

La sexualidad en plantas tiene presenta una gran diversidad de formas, condicionada en parte por el ecosistema donde se desarrolla, de lo que se desprende que la diecia se presente en el 10% de las especies de bosques templados en contraste con 20% de los bosques tropicales; considerando entonces, que las especies monoicas estén más frecuentemente en zonas templadas. La evolución a especies dioicas representó un mecanismo de exogamia, lo cual requirió de modificaciones genéticas en la supresión de alguno de los órganos sexuales (Bawa y Opler, 1975; Charlesworth, 1999); la presencia de organismos cosexuales en una población, puede explicarse a un aumento de la aptitud individual (Pannell, 1997).

El sexo es una propiedad que tiene consecuencias en el comportamiento de los individuos, poblaciones y especies, resultado de condiciones ecológicas a primera instancia y de fuerzas evolutivas como explicaciones últimas (Harper, 1988). Así como otras características fenotípicas, el sexo, puede estar controlado por un componente genético; sin embargo, también la expresión sexual puede ser influenciada por el ambiente (Lloyd, 1975; Chattopadhyay y Sharma, 1991).

La determinación del sexo en algunas plantas crea serios problemas, especialmente en aquellos taxa donde el dioecismo y monoecismo convergen. La propiedad de poligamia ocurre cuando el sexo femenino y masculino está en diferentes plantas, en la misma o pueden estar representados por flores hermafroditas (Chattopadhyay y Sharma, 1991).

Los sistemas reproductivos que presentan estas múltiples formas, ejemplificadas por la subdioecia y la poligamia usualmente resultan de una expresión sexual inestable en especies genéticamente dioicas (Chattopadhyay & Sharma, 1991). Como muchas inconstancias, estas pueden ser encontradas al mismo tiempo en un individuo o en una población (Richards, 1986).

Desde el punto de vista ecológico, conocer la proporción de machos y hembras en las poblaciones naturales garantiza la permanencia y facilita el manejo de las mismas al poder modificar los atributos demográficos relacionados con la fecundidad (Baldo-Romero *et al.*, 2013).

De igual forma, como lo indica Obeso, 2002, las plantas de diferentes sexos pueden desarrollar diversas estrategias en el uso de los recursos para reproducción y crecimiento, debido a que la sexualidad tiene implicaciones en el ciclo vital de las plantas. La diecia puede conducir a diferencias desde la dispersión de semillas y supervivencia de plántulas hasta, naturalmente, la morfología y fisiología, y por supuesto en los sutiles compromisos de reproducción y crecimiento, (Montesinos-Torres, 2007), por mencionar que las hembras de la mayoría de las especies dioicas invierten proporcionalmente más biomasa y energía que los machos en la reproducción (Lloyd y Webb, 1977), lo anterior se traduce según Tuomi *et al*., 1983, en mayores costos, y puede ser evaluado en términos somáticos ya sea menor tamaño o tasa relativa de crecimiento.

En las plantas dioicas como en el linaloe, las diferencias entre sexos en el gasto reproductivo a menudo resultan en diferencias sexuales en la tasa de crecimiento, rendimiento económico, y la mortalidad. Tales diferencias a menudo han sido explotadas en el mejoramiento de cultivos para desarrollar plantas masculinas y femeninas para diferentes propósitos (Emebiri y Nwufo, 1996).

1.2. Literatura citada

Andrés-Hernández, A. R. y D. Espinosa-Organista. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. Boletín de la Sociedad Botánica de México(70): 5-12.

Arellano-Ostoa, G., S. González-Bernal y G. Arellano-Hernández. 2014. El linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina), especie maderable amenazada: una estrategia para su conservación. Agroproductividad, 7(3):42-51.

Ayala-Sosa, J. C., N. Carrillo-Ávila, E. Cruz-Cruz, R. Flores-Velázquez, M. Fuentes-Lopez, y J. Tamarit-Urias. 2011. Linaloe [*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina], una especie con importancia económica. Folleto técnico INIFAP(56):25-26.

Baldo-Romero, M. A., L. G. Iglesias-Andreu, M. Vázquez-Torres, L. R. Sánchez-Velásquez, M. Luna-Rodríguez y P. Octavio-Aguila. 2013. Marcadores morfométricos para la identificación del sexo en *Zamia furfuracea* L. f. (Zamiaceae). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente XIX(3): 425-434.

Bawa, K. y P. Opler. 1975. Dioecism in tropical forest trees. Evolution 29: 167-179.

Becerra, J. X. 2003. Evolution of Mexican *Bursera* (Burseraceae) inferred from ITS, ETS, and 5S nuclear ribosomal DNA sequences. Elsevier Science, 26(2): 300-309.

Becerra, J. X. and K. Noge. 2010. The Mexican roots of the Indian lavander tree. Acta Botánica Mexicana, 91: 27-36.

Bonfil-Sanders, C., I. Cajero-Lázaro y R. Y. Evans. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de méxico. Agrociencia, 42: 827-834.

Borja-de la Rosa, A.; M. Fuentes-López; E. Cruz-Cruz; V. Mariles-Flores; D. Vargas-Alvarez; D. Ayerde-Lozada; F. Solares-Arenas; M. Gómez-Cárdenas; S. Orozco-Cirilo; J. F. Castellanos Bolaños; V. Serrano-Altamirano. 2009. Características tecnológicas de la madera de linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina. *In:* Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvares (Comp.) 2009. Fundamentos técnicos para el manejo de poblaciones naturales de Linaloe (*Bursera linanoe*

(La Llave) Rzedowski, Calderon & Medina) en México. INIFAP- Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca. México. Libro Técnico Núm. 14: 222-244.

Bullock, A. 1936. Notes on the mexican species of genus Bursera. Bolletin Miscellaneous Information: 346-387.

Castellanos-Castro, C., y C. Bonfil-Sanders. 2010. Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. ex L. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1(2): 93-108.

Charlesworth, D. 1999. Theories of the evolution of Dioecy. In: Gender and Sexual Dimorphism in Flowering Plants. Berlín: Springer Verlag. 305 p.

Chattopadhyay, D. y A. K Sharma 1991. Sex determination in dioecious species of plants. Feddes Repertorium 102 (1-2):29-55.

Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (Comp.) 2009. Fundamentos técnicos para el manejo de poblaciones naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderon & Medina) en México. INIFAP- Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca. México. Libro Técnico Núm. 14: 14-15.

Emebiri, L. C. y M. I. Nwufo. 1996. Occurrence and detection of early sex-related differences inTelfairia occidentalis. Sexual Plant Reproduction, *9*(3): 140-144.

Harper, J. L. 1988. An apophasis of plant population biology. *In*: A. J. Davy, M.J. Hutchings y A. R. Watkinson (eds.) Plant population biology: 435-452.

Hernández-Vásquez, R., E. Cruz-Cruz, G. O. Díaz-Zorrilla, M. I. Pérez-León, S. Lozano-Trejo y V. A. Velasco-Velasco. 2013. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (6): 1119-1128.

Hersch-Martínez, P. 2005. Linaloe. *In*: C. López, S. Chanfón y G. Segura (Edits.), La riqueza de los boques mexicanos: más allá de la madera. SEMARNAT: 43.

Lloyd, D. G. 1975. The maintenance of gynodioecy and androdioecy in angiosperms. Genetica, *45*(3): 325-339.

Lloyd, D. G., y C. J. Webb. 1977. Secondary sex characters in plants. The botanical review, *43*(2), 177-216.

Montesinos-Torres, D., 2007. *Juniperus thurifera*: una especie dioica, vecera y relíctica. Ecosistemas, 16(3):169-182.

Pannell, J. 1997. Mixed genetic and environmental sex determination in an androdioecious population of Mercurialis annua. Heredity, 78(1): 50-56.

Richards, A. J. 1986. Plant Breeding Systems. George AlIen & Unwin (Publishers) Ltd. London. 529 p.

Rzedowski, J. y H. Kruse. 1979. Algunas tendencias en *Bursera* (Burseraceae). *Taxon*, 28: 103-116.

Rzedowski, J., R. Medina Lemus y G. Calderón de Rzedowski. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan (México). Acta Botánica Mexicana, 66: 23-151.

Rzedowski, J., R. Medina Lemos y G. Calderón de Rzedowski., 2005. Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera*. Acta Botánica Mexicana, 70: 85-111.

Rufino-Morales, R., J. A. Sierra-Huelsz y P. Hersch-Martínez. 2008. Del fruto al aceite: el linaloe y otros copales. *In*: S. E. Purata Velarde (Ed.). CONABIO/RAISES. Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites: 20-21.

Srivastava, G. N. y K. V. Srinath. 1965. Floral morphology and chromosomes in *Bursera delpechiana*. Poiss. Current Science, 34: 514-515.

Tuomi, J., T. Hakala y E. Haukioja. 1983. Alternative concepts of reproductive effort, costs of reproduction, and selection in life-history evolution. American Zoologist, 23(1): 25-34.

Vázquez-Cisneros, I. 2014. Producción de embriones somáticos de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina, en biorreactores de sistema de inmersión temporal. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 80 p.

CAPITULO II. VARIABILIDAD SEXUAL DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE), RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA (BURSERACEAE) EN EL ESTADO DE GUERRERO.

2.1. Resumen

Las características sexuales de las especies pueden ser de gran ayuda para la implementación de proyectos de aprovechamiento y manejo de poblaciones naturales. Se determinaron algunos aspectos fundamentales de la biología reproductiva de linaloe, documentando los tipos florales, inflorescencias y sexualidad. La floración tiene un periodo corto de duración de entre 8 a 10 días, en el año 2015 inició el 20 de mayo. Los árboles presentan nominalmente flores hermafroditas y estaminadas, por lo que dichas poblaciones se consideran poligamodioicas. Los sexos se clasificaron a nivel individual como hembra, macho y monoico, dicha variabilidad fue encontrada en los sitios estudiados, puntualizando que existe una menor proporción de machos. Los individuos monoicos presentan en mayor proporción flores masculinas y menor porcentaje de flores femeninas (máximo 30%). La proporción de sexos en el sitio 1 fue de 56% hembras, 8% machos y 36% monoicos, mientras que para el sitio 2 fue de 38%, 24% y 38% respectivamente. La población natural poco intervenida presenta valores máximos en cuanto a inflorescencias. Los machos presentan un mayor número de inflorescencias por ramilla terminal que las hembras y los monoicos; pero éstas son más cortas. La exposición sur presenta los valores máximos respecto a inflorescencias. El número de flores por inflorescencia es similar entre sitios, sexo y exposición.

.

Palabras clave: monoico, dioico, poligamodioecia, sexo.

2.2. Introducción

El sexo es una propiedad que tiene consecuencias en el comportamiento de los individuos, poblaciones y especies, resultado de condiciones ecológicas y de fuerzas evolutivas (Harper, 1988). La determinación del sexo en algunas plantas crea serios problemas, especialmente en aquellos taxa donde el dioecismo y monoecismo convergen; esta condición es denominada como poligamia, y ocurre cuando el sexo femenino y masculino está en diferentes plantas, en la misma o pueden estar representados por flores hermafroditas (Chattopadhyay y Sharma, 1991).

Desde el punto de vista ecológico, conocer la proporción de sexos en las poblaciones naturales garantiza la permanencia y facilita el manejo de las mismas al poder modificar los atributos demográficos relacionados con la fecundidad (Baldo-Romero *et al*., 2013). Siendo necesario mantener proporciones adecuadas, éste estudio tiene como propósito determinar algunos aspectos fundamentales de su biología reproductiva, además de documentar la presencia de individuos monoicos.

El género *Bursera* tiene más de un centenar de taxa en México, siendo éste su centro de diversidad y es un elemento importante que constituye a los bosques tropicales caducifolios, presenta individuos que frecuentemente son dioicos, se asocia al hábito leñoso y presencia de entomofilia para su polinización. Referente a la anatomía sexual de estas especies existe escasa información, en parte porque presentan eventos florales que se desarrollan en un corto tiempo y a que el dimorfismo sexual se revela mediante la disección de flores (Rzedowski *et al*., 2004; Matallana *et al.* 2005, Daly *et al*., 2011).

El árbol de linaloe (*Bursera linanoe*) se describe como una especie dioica o polígamo-dioica, con inflorescencias en forma de racimos, flores estaminadas y también flores hermafroditas (Srivastava y Srinath, 1965; Rzedowski, 2004). Parte de la problemática de linaloe es la falta de información acerca de la sexualidad de la especie, debido a que frecuentemente se considera como un árbol dioico (Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Arellano-Ostoa *et al*., 2014; Vázquez-Cisneros, 2014), sin considerar la diversidad sexual que presentan algunas poblaciones naturales, lo anterior puede contribuir a conocer su comportamiento natural y generar las herramientas científicas en beneficio de su rescate.

El objetivo de este estudio fue identificar y caracterizar las estructuras reproductivas de *B. linanoe*, así como determinar la proporción de sexos en las poblaciones del estado de Guerrero.

2.3. Materiales y métodos

2.3.1. Zona de estudio

Se eligieron sitios con vegetación de bosque tropical caducifolio en laderas con exposición este, altitud de 650 a 750 m, suelo pobre y pedregoso, clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, y temperatura media anual de 22°C.

Se estudiaron dos poblaciones de *B. linanoe* en el estado de Guerrero. El sitio 1 fue el paraje "El Calvario", ubicado en la localidad de Mezquitlán municipio de Copalillo (entre los paralelos 17° 49' y 18° 08' de latitud norte; los meridianos 98° 51' y 99° 13' de longitud oeste; altitud de 600m); lugar donde realizan actividades de aprovechamiento de madera y fruto de linaloe, además de pastoreo. Sitio 2, denominado paraje "Llano La Herradura" en la localidad de Comala de Gómez, municipio de Atenango del Río (entre los paralelos 18° 00' y 18° 16' de latitud norte; los meridianos 98° 52' y 99° 14' de longitud oeste, Instituto Nacional Estadística y Geografía, 2010), con poca intervención humana.

2.3.2. Sexualidad y morfología floral

Se observó la floración de 100 árboles, se hizo el registro fotográfico de la proporción de tipos florales en cada sexo. Por exposición (norte, sur, este y oeste) se cortó una ramilla terminal de 30 a 45 cm, se registró el tipo, número (NI) y longitud de inflorescencias (LI), número de flores de cada inflorescencia (NF) y sexualidad floral. De cada sexo se colectaron 25 flores que se fijaron en FAA (formol, agua destilada, alcohol etílico, ácido acético 10:50:5:35, V/V/V/V) para definir su morfología.

2.3.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la medición de las inflorescencias se analizaron con el programa Statistical Analysis System (SAS v. 9.0, 2002) para las fuentes de variación de sitio, exposición y sexo en las que se encontraron diferencias significativas se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el procedimiento PROC GLM, incluyéndose las interacciones.

2.4. Resultados y discusión

2.4.1. Morfología floral

En 2015 la floración inició el 20 de mayo, el evento duró entre 8 y 10 días, este evento se considera de corta duración y ha sido reportado a nivel de familia (Daly, 2011). Se observaron árboles que son precoces e incluso presentan frutos antes de que la mayoría de individuos florezcan, por lo que presentan incluso frutos maduros. Se encontraron dos tipos florales: flores hermafroditas y flores masculinas ambas tetrámeras, siendo estas últimas 20% más largas (Figura 2).

Nominalmente las flores hermafroditas presentan 8 estaminodios y un pistilo bifurcado casi hasta la base; las masculinas tienen 8 estambres bien desarrollados. Los estaminodios presentes en las flores hermafroditas son estructuras que han perdido su capacidad funcional, debido a ello se consideran estériles (Font-Quer, 2001); el androceo de las hermafroditas es 40% más corto que el de las flores masculinas. Este hallazgo ha sido previamente señalado por Srivastava y Srinath, 1965; Rzedowski *et al*., 2004, de manera que puede ser considerado un carácter distintivo para el sexado de los individuos.

Las especies que poseen vestigios de androceos en flores femeninas de individuos monoicos y unisexuales sugieren una evolución del hermafroditismo hacia la diecia, vía monoecia (Richards, 1986; Madriz y Ramírez, 1997). Los beneficios de la diecia se centran en la fertilización cruzada, como fuerza selectiva responsable de la evolución de esta expresión sexual

(Charlesworth y Charlesworth, 1978), lo que sugiere que el linaloe presenta un sistema de reproducción exogámico. A su vez, la diecia es un camino que favorece la fertilización cruzada, y además los factores ecológicos pueden influir en la asignación de funciones masculinas o femeninas en el proceso de reproducción para favorecer la evolución de esta estrategia (Bawa, 1980).

2.4.2. Sexualidad

Funcionalmente las flores de *B. linanoe* (Figura 2) se clasificaron a nivel individual como ginoicas o hembras (a los árboles que presentaban sólo flores pistiladas funcionales), androica o macho (los que presentaban solo flores estaminadas funcionales) y andromonoica o monoica (los que tenían flores pistiladas y estaminadas en un mismo individuo). Los árboles monoicos presentan en promedio 70% de flores masculinas y el porcentaje restante flores femeninas o frutos, similar a lo reportado en *Coccoloba uvifera* de la familia *Polygonaceae*, especie poligamodioica en la que los individuos monoicos presentan pocas flores femeninas y frutos (Madriz y Ramírez, 1997).

La estrategia en la que en una misma planta predominen flores masculinas presupone ventajas como la exogamia, reduce la depredación de estructuras femeninas y permite que la función masculina se favorezca por la competencia, siendo de menor costo (Willson, 1983).

Debido a las expresiones sexuales encontradas a nivel de población en *B. linanoe* en este estudio, individuos dioicos y monoicos, este trabajo confirma lo anticipado por Rzedowski *et al*., 2004, en cuanto a que esta especie presenta una sexualidad poligamodioica, esta condición refiere a poblaciones que tienen sexos que se encuentran en diferentes plantas, en la misma planta o en flores hermafroditas (Chattopadhyay y Sharma, 1991). De hecho, el género *Bursera* se caracteriza por ser dioico o poligamodioico por lo que numerosas especies presentan poblaciones de este tipo, con flores unisexuales y raramente funcionalmente hermafroditas (Medina-Lemos, 2008; León-de la Luz y Pérez-Navarro, 2010; Cerda-Lemus, 2011; Daly *et al*. 2011; Velázquez-Herrera, 2011).

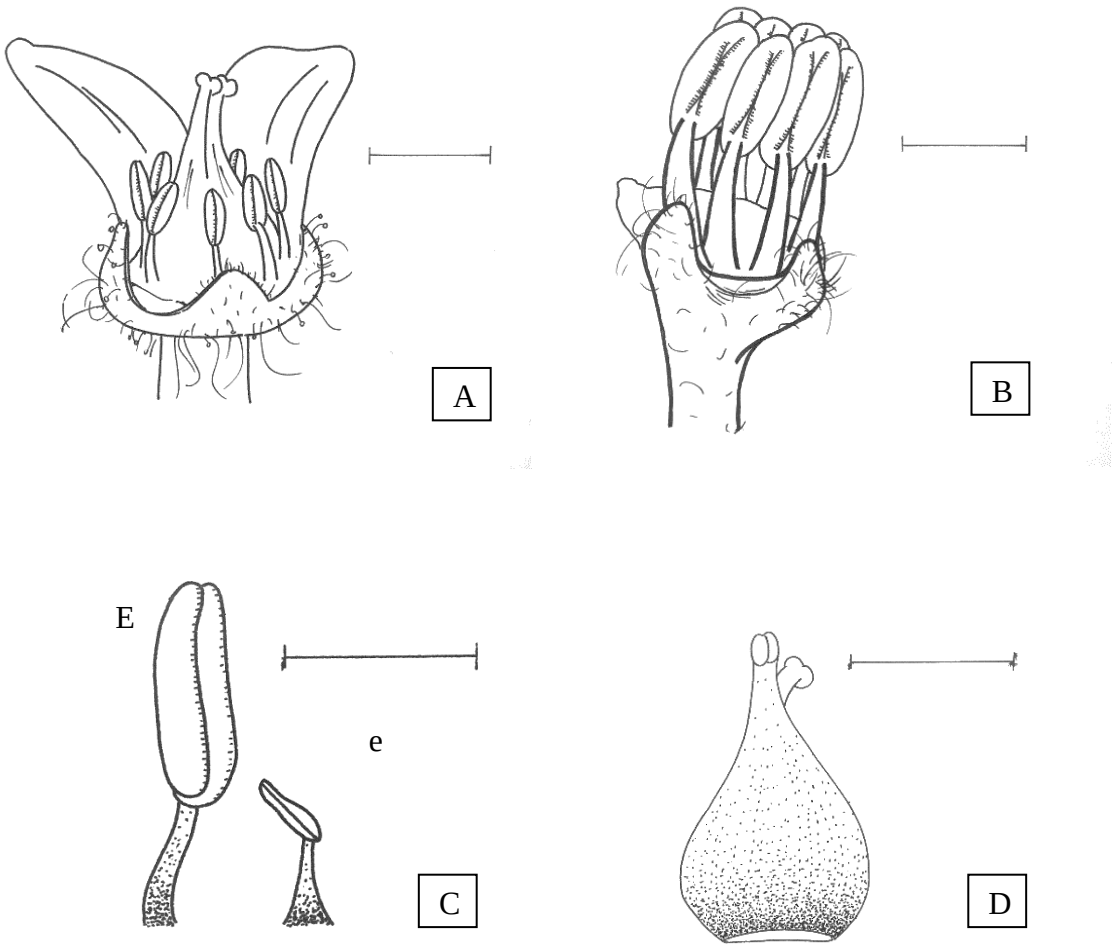

Figura 2. Estructuras florales de *Bursera linanoe.* A: Flor hermafrodita, B: flor masculina desprovista de pétalos, C, androceo (E, estambre y e, estaminodio), D: gineceo. Dibujo elaborado por Antonio de Jesús Juárez-Toribio.

Estudios similares en *Coccoloba uvifera* evidencian la condición de poligamia, considerando que la expresión sexual de la misma está influenciada por los genes y patrones fisiológicos (Madriz y Ramírez, 1997). Por lo tanto, es recomendable realizar estudios más profundos acerca del sexo de linaloe en diferentes años y condiciones ambientales, debido a que existen factores como la temperatura, precipitación o tipo de vegetación que pueden modificar la expresión sexual e incluso presentar reversión (Antonovics y Ellstrand, 1984; Korpelainen, 1998).

En las poblaciones estudiadas en Guerrero se presentaron los tres sexos, en Mezquitlán se registraron 28 hembras, 5 machos y 17 monoicos, mientras que en Comala hubo 19 hembras, 11 machos y 20 monoicos.

Estos resultados no coinciden con lo reportado en poblaciones naturales de Oaxaca, Puebla y Guerrero debido a que se ha observado que el número de árboles machos es casi el doble que las hembras, y no se reporta hasta el momento la presencia de individuos monoicos (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). Aguirre *et al.*, 2007, encontró en *Jacaratia mexicana* que la separación de sexos en algunas poblaciones no es completa, por lo que se presentan individuos con estructuras del sexo opuesto, condición que puede estar presentándose en linaloe.

Es posible que esta variabilidad sexual se deba a los factores del medio, debido a que en poblaciones de plantas dioicas en ausencia de condiciones de estrés, la proporción de sexos es 1:1 (Charnov, 1982; Carroll y Mulcahy, 1990; Ortiz-Pulido y Pavón, 2010), mientras que en ambientes xéricos los machos tienden a aumentar (Ortiz *et al*., 1998).

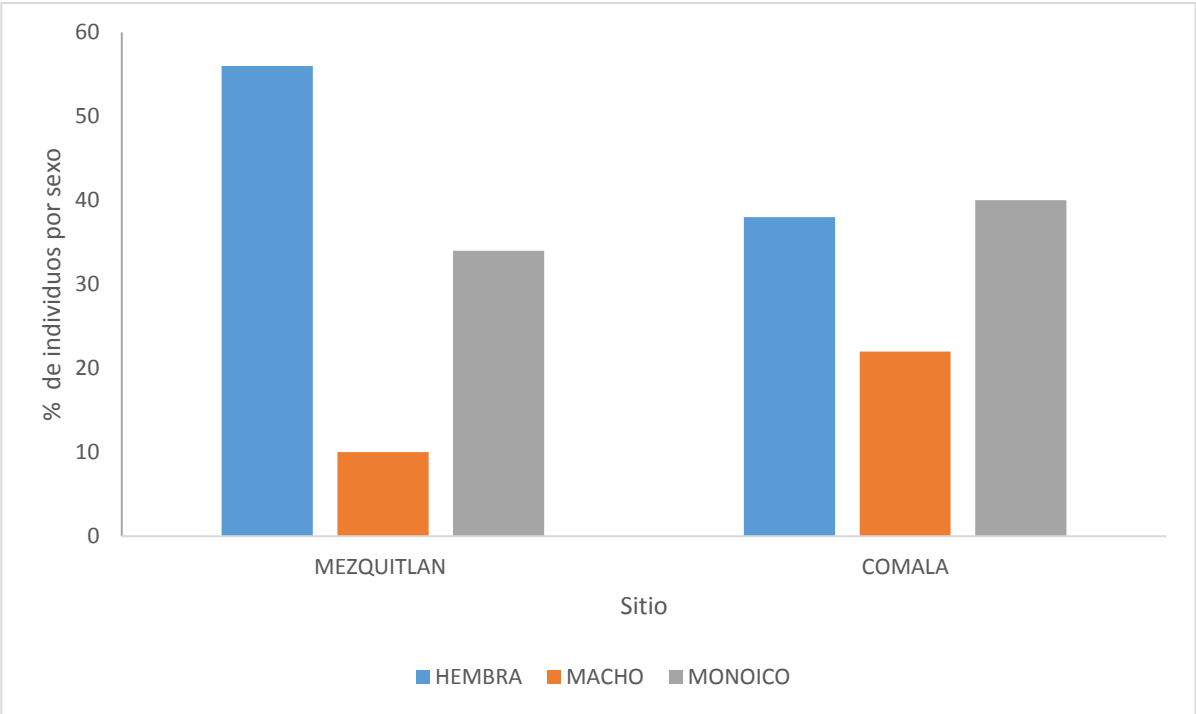

Figura 3. Porcentaje de sexos encontrados en poblaciones naturales de *B. linanoe* en el estado de Guerrero.

2.4.3. Morfología de inflorescencias

Las inflorescencias son predominantemente racimos (90%) y raramente panículas (10%), estas se encuentran en los brotes terminales de las ramillas (Figura 3). El máximo número de inflorescencias por rama, que se encontró fue en el sitio 2 (73), en comparación con el sitio 1 (26), el mayor número de flores por inflorescencia es de 23 estructuras en el sitio 1 mientras que en el sitio 2 es de 26.

Hay tres veces más inflorescencias por ramilla terminal en el sitio 2 que en el sitio 1, las inflorescencias en el sitio 1 son 30% más largas que en el sitio 2, aunque el número de flores por inflorescencia es similar 4.64 y 4.7 respectivamente (Cuadro 1).

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.0001$) entre sitios respecto a la morfología de inflorescencias. Referente a la morfología de las inflorescencias, las diferencias más significativas se encuentran entre sitios, no así para sexo y exposición.

En relación al análisis de las interacciones de dichos factores presentan diferencias con una tendencia significativa en cuanto al número de inflorescencias por ramilla y longitud de inflorescencias, la interacción entre sexo y exposición también muestra significancia para dichas variables; mientras que la interacción del sitio, sexo y exposición solo muestra diferencias significativas para el número de inflorescencias por ramilla.

El número de flores no presenta diferencias significativas entre las fuentes de variación, contrario a lo reportado por Ramsey y Vaughton, 2001, quienes señalan que las hembras presentan flores más pequeñas. Entre sexos, las inflorescencias de los machos son 28% más cortas que las de las hembras.

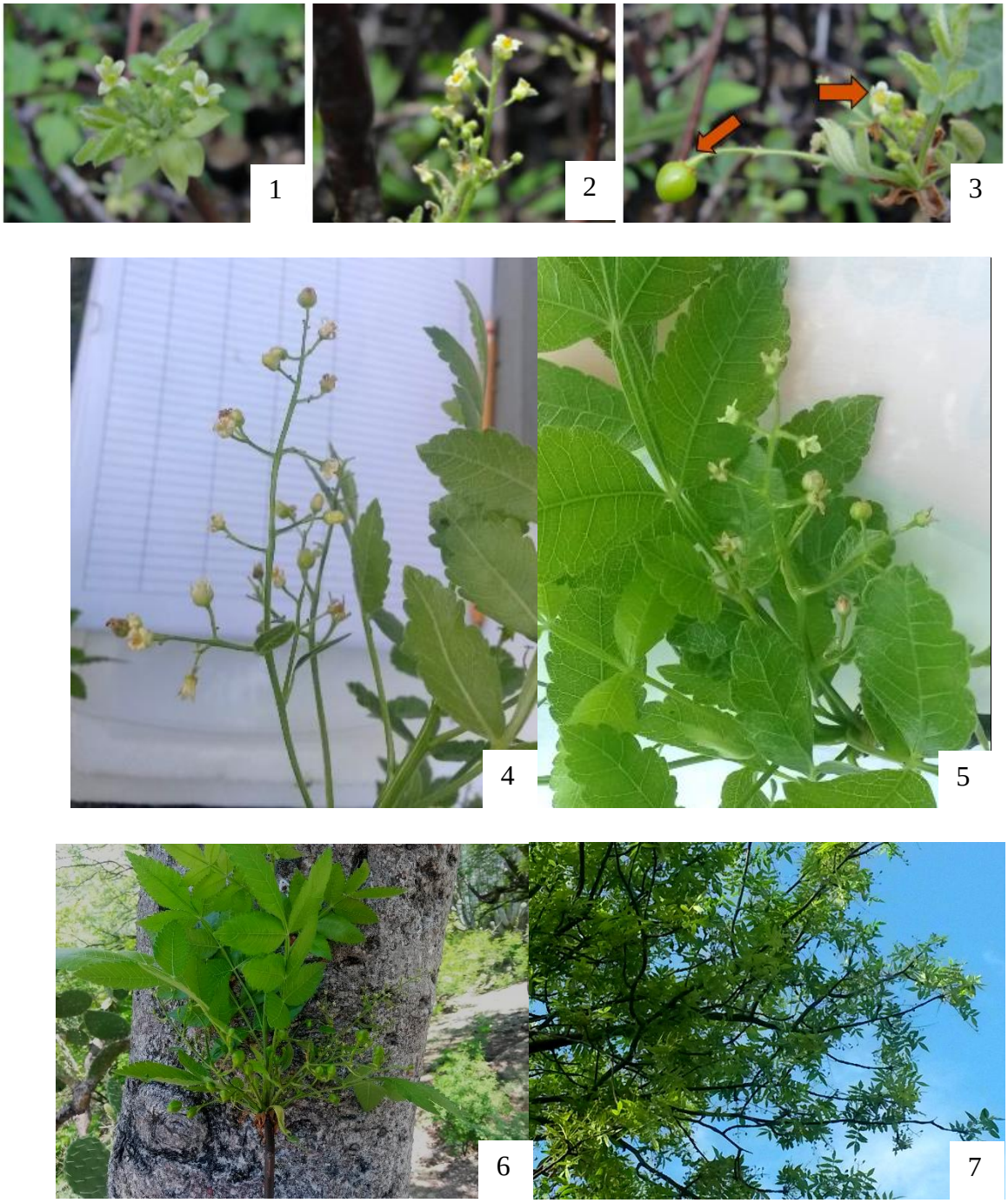

Figura 4. Inflorescencias de *Bursera linanoe*. 1: detalle de brote floral con flores pistiladas, 2: detalle de brote floral con flores estaminadas, 3: detalle de brote floral con flores estaminadas y fruto, 4: inflorescencias masculinas, 5: inflorescencias femeninas, 6: infrutescencias en brote terminal, 7: aspecto de la copa con infrutescencias.

En comparación con lo reportado por Cruz-Cruz *et al*., 2009, el número de flores por inflorescencia es menor para poblaciones de Oaxaca (el 80% tiene 3 flores), el largo de las inflorescencias es similar (intervalo longitudinal de 6 a 8 cm). De manera que existe una variación en la producción de inflorescencias por ramilla entre las poblaciones de la Cuenca del Balsas y la Cañada en Oaxaca, siendo esta última población la que presenta menor número (inferior a 12).

Cuadro 1. Análisis de varianza de inflorescencias de *Bursera linanoe*, considerando el efecto del sitio, sexo y exposición.

Fuente de variación	Número de inflorescencias por ramilla terminal	Longitud de inflorescencias	Número de flores por inflorescencia
Sitio	<0.0001	<.0001	NS
Sexo	0.4721	0.0052	
Exposición	0.6404	0.4203	
Sitio*Sexo	0.0004	0.0024	
Sitio*Exposición	0.6211	0.8446	
Sexo*Exposición	<0.0001	0.9350	
Sitio*Sexo*Exposición	0.0009	0.1261	

La exposición sur tiene en promedio más número de inflorescencias respecto a las otras exposiciones, así como los valores más altos en cuanto al número de flores para los sitios estudiados (Cuadro 2). Lo que está relacionado con otros trabajos, pues dicha exposición presenta mayor número de frutos (Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Gutiérrez-Santiago, 2016).

En cuanto a las inflorescencias, los machos presentan un mayor número por ramilla terminal que las hembras y los monoicos; pero éstas son un tercio más cortas.

Cuadro 2. Comparación de medias de las características de las inflorescencias *de Bursera linanoe*, considerando el efecto del sitio, sexo y exposición.

	NI	LI (cm)	NF
Sitios			
Mezquitlán	7.93 ±0.22a	6.07±0.55a	4.64±0.28a
Comala	24.16±0.96b	4.29±0.33b	4.70±0.20a
Sexo			
Hembra	14.25±1.15a	5.66±2.40b	4.67±0.28a
Macho	21.18±1.46b	4.10±1.81a	4.96±0.32a
Monoico	15.44±0.82a	5.26±1.40b	4.57±0.26a
Exposición			
Norte	15.45±1.21a	4.93±0.71a	4.02±0.30a
Sur	16.95±1.35a	5.12±0.70a	5.03±0.39a
Este	15.54±1.18a	5.38±0.66a	4.96±0.34a
Oeste	16.25±1.19a	5.29±0.70a	4.68±0.33a

NI= Número de inflorescencias por ramilla, LI=Largo de inflorescencias y NF= número de flores por inflorescencia

2.5.Conclusiones

Se encontraron tres tipos de sexo, determinados como hembra, macho y monoico. Los machos se presentan en menor proporción, lo que puede tener un efecto en la producción de frutos viables. Nominalmente presentan flores hermafroditas y estaminadas, por lo cual las poblaciones de estudio se consideran poligamodioicas. Los machos presentan un mayor número de inflorescencias por ramilla terminal que las hembras y los monoicos; y éstas son más cortas. El número de flores por inflorescencia es similar entre sitios, sexo y exposición.

Debido a que presenta flores hermafroditas, se sugiere la elaboración de estudios sobre estrategia reproductiva que puedan dilucidar la compatibilidad en la fecundación entre los tipos florales, así como estudios relacionados a la expresión, labilidad y determinación sexual a nivel genético de esta especie.

2.6.Literatura citada

Aguirre, A.; Vallejo-Marín, M., Salazar-Goroztieta, L., Arias, D. M. y R. Dirzo. 2007. Variation in sexual expression in *Jacaratia mexicana* (Caricaceae) in sothern Mexico: Frecuency and relative seed perfomance of Fruit-Producing Males. Biotropica, 39(1): 79-86.

Antonovics, J. y N. C. Ellstrand. 1984. Experimental studies of the evolutionary significance of sexual reproduction. II. A test of the frecuency-dependent selections hypothesis. Evolution, 38 (1):103-115.

Arellano-Ostoa, G., González-Bernal, S., & Arellano-Hernández, G. (2014). El linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina), especie maderable amenazada: una estrategia para su conservación. Agroproductividad, 7(3):42-51.

Baldo-Romero, M. A., L. G. Iglesias-Andreu, M. Vázquez-Torres, L. R. Sánchez-Velásquez, M. Luna-Rodríguez y P. Octavio-Aguilar. 2013. Marcadores morfométricos para la identificación del sexo en *Zamia furfuracea* L. f. (Zamiaceae). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, XIX(3): 425-434.

Bawa, K. S. 1980. Evolution of dioecy in flowering plants. Annual Review of Ecology and Systematics, ll: 15-40

Carroll, S. B. y D. L. Mulcahy. 1990. Progeny sex ratios in dioecious *Silene latifolia*. American Journal of Botany, 80: 551–556.

Cerda-Lemus, M. E. de la. 2011. La familia Burseraceae en el estado de Aguascalientes, México. Acta Botánica Mexicana, (94): 1-25.

Charlesworth, B. and D. Charlesworth. 1978. A model for the Evolution of dioiecy and gynodioecy. The American Naturalist, 112 (988): 975-997.

Charnov, E. L. 1982. The theory of sex allocation. Princeton University Press, 355 p.

Chattopadhyay, D. y A. K Sharma 1991. Sex determination in dioecious species of plants. Feddes Repertorium, 102 (1-2):29-55.

Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvares (Comp.) 2009. Observaciones preliminares de la floración, fructificación y dispersion de la semilla de linaloe. INIFAP- Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca. México. Libro Técnico Núm., 14:108-139

Daly, D.C., M. M. Harley, M. C. Martinez-Habibe y A. Weeks. 2011. Burseraceae. Springer. 76-91. *In:* Kubitzki, K. 2011. The families and genera of vascular plants. Springer. 436 p.

Font-Quer, P. 2001. Diccionario de Botánica, 2ª edición. Ediciones Península. 1244 p.

Gutiérrez-Santiago, J. 2016. Caracterización sexual, producción de aceites esenciales en árboles y establecimiento de explantes in-vitro de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina en poblaciones del estado de Guerrero. Tesis para obtener grado de Maestría. Colegio de Postgraduados. 50 p.

Harper, J.L. 1988. An apophasis of plant population biology. *In:* A.J. Davy, M.J. Hutchings y A.R. Watkinson (eds.) Plant population biology, 435-452.

Korpelainen, H. 1998. Labile sex expression in plants. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 73:157-180.

León-de la Luz, J. L. y J. J. Pérez-Navarro. 2010. Dos nuevos taxa de *Bursera* (Burseraceae) de Baja California Sur, México. Acta botánica mexicana, (91): 37-49.

Madriz, R., y N. Ramírez.1997. Biología reproductiva de *Coccoloba uvifera* (Polygonaceae) una especie polígamo-dioica. Revista de Biolología Tropical, 44(3)/45(1): 105-115.

Matallana, G., T. Wendt, D. S. S. Araújo, F. R. Scarano. 2005. High abundance of dioecious plants in a tropical coastal vegetation. American Journal of Botany, 92:1513–1519.

Medina-Lemos, R. 2008. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fasciculo 66. UNAM, Instituto de Biología. 76 p.

Ramsey, M. y G. Vaughton. 2001. sex expression and sexual dimorphism in subdioecious *Wurmbea dioica* (Colchicaceae). International Journal of Plant Sciences, 162(3):589-597.

Richards, A. J 1986. Plant Breeding Systems. George AlIen & Unwin (Publishers). Garland Science, 529 p

Rzedowski, J., R. Medina Lemus y G. Calderón de Rzedowski. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan (México). Acta Botánica Mexicana 66: 23-151.

Ortiz, P. L., M. Arista y S. Talavera. 1998. Low reproductive success in two subespecies of Juniperus oxycedrus L. International Journal of Plant Sciencies, 159: 843-847.

Ortiz-Pulido, R. y N. P. Pavón. 2010. Influence of slope orientation on sex ratio and size distribution in a dioeciuos plant *Bursera fagaroides* var. *purpusii* (Brandeg.) McVaugh and Rzed. (Burseraceae). Plant ecology, 208(2): 271-277.

SAS. 2002. SAS User´s Guide. Ver. 9.0. SAS. Institute. Cary, N. C. USA.

Srivastava, G. N. y K. V. Srinath. 1965. Floral morphology and chromosomes in *Bursera delpechiana* Poiss. Current Science, 34: 514-515.

Vázquez-Cisneros, I. 2014. Producción de embriones somáticos de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina, en biorreactores de sistema de inmersión temporal. Tesis para obtener grado de maestría en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. 80 p.

Velázquez-Herrera, J. 2011. Biología reproductiva de dos especies del género *Bursera*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 68 p.

Willson, M.F. 1983. Plant reproductive ecology. Wiley, 282 p.

CAPITULO III. CALIDAD DE SEMILLA Y GERMINACIÓN DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA PROCEDENTE DEL ESTADO DE GUERRERO

3.1. Resumen

La calidad de la semilla es un factor determinante en la germinación. Se analizaron lotes de semilla de *Bursera linanoe* de poblaciones naturales procedentes del estado de Guerrero, se obtuvieron valores para los parámetros de pureza, número de semillas por kg, contenido de humedad y viabilidad. Se establecieron tres ensayos con tratamientos germinativos para estimular la germinación de los lotes. La pureza es de 62.5%, el número de semillas por kg es de 21,908.55 y el contenido de humedad es de 9.67%. Se encontraron diferencias en la calidad de la semilla de *B. linanoe* entre años de recolecta. La viabilidad de la semilla es baja, relacionado al 45% de semillas llenas. La coloración de la testa de las semillas puede ser un buen indicador de la viabilidad, determinando que las de color oscuro tienen mayor porcentaje de semillas llenas. Los tratamientos pregerminativos sugeridos con ácido sulfúrico para la semilla de linaloe no favorecieron la germinación en los lotes procedentes de Comala, Guerrero, se propone una reducción del tiempo de inmersión.

Palabras clave: semilla, color, testa, latencia física, tratamientos pregerminativos.

3.2. Introducción

El aprovechamiento indiscriminado de *Bursera linanoe* derivado de la extracción de la madera y del fruto para la obtención de aceite y la fabricación de cajitas artesanales, ha reducido las poblaciones naturales en Olinalá, Guerrero (Rufino Morales *et al*., 2008). Además, la falta de reforestación y la nula protección a la regeneración natural amenaza seriamente a esta especie (Hersch-Martínez, 2005; Cruz-Cruz *et al*., 2009).

Para disminuir la presión sobre las poblaciones naturales de linaloe, aún existentes en la región, es necesario el establecimiento de plantaciones con fines comerciales y de conservación. Sin embargo, especies de este género presentan una alta proporción de semillas vanas y bajos porcentajes de germinación (Swetha, 2005; Bonfil-Sanders *et al*., 2008), lo cual dificulta la producción de planta solicitada en programas de reforestación.

Algunos factores que interfieren en la producción de plántulas de esta especie, incluyen la calidad de semilla en relación a la pureza, contenido de humedad (CH) y viabilidad; estándares que considera la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA por sus siglas en inglés); así como condiciones poco estudiadas sobre el beneficio de la semilla y los posibles efectos de la latencia y de los inhibidores de la germinación.

Algunos estudios han utilizado ácido sulfúrico para incrementar los porcentajes de germinación (Cruz-Cruz *et al*., 2009; Ayala-Sosa *et al*., 2011). Además, se ha considerado que la temperatura fluctuante en algunas especies del género *Bursera* ha favorecido los resultados en este tipo de ensayos (Bonfil-Sanders *et al*., 2008).

Se sugiere que las poblaciones naturales de linaloe en Guerrero presentan una buena calidad de semilla y la germinación puede ser alta usando tratamientos pregerminativos recomendados por estudios previos.

Este estudio tiene el objetivo de analizar la calidad de semilla de *B. linanoe* procedente de la población natural existente en Comala del estado de Guerrero, y estimular la germinación mediante el uso de tratamientos pregerminativos.

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Recolecta de semilla

Los frutos se recolectaron en mayo de 2014 y 2015 en la localidad de Comala de Gómez, municipio de Atenango del Río en el estado de Guerrero (entre los paralelos 18° 00’ y 18° 16’ de latitud norte; los meridianos 98° 52’ y 99° 14’ de longitud oeste, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010); éstos debían estar maduros considerando una coloración rojiza. Para el secado de las valvas, los frutos se colocaron sobre papel periódico bajo sombra, la semilla obtenida se guardó en bolsas de plástico en un lugar seco y fresco.

Las pruebas de análisis de semillas y germinación descritas a continuación se tuvieron que ajustar a tamaños mínimos de muestra debido a la poca disponibilidad de la semilla de esta especie.

3.3.2. Análisis de semilla

El análisis de semilla se basó en la metodología del ISTA, 2011, ajustándose a la disponibilidad de la semilla de esta especie.

Pureza. La pureza del lote de semilla se calculó con la fórmula utilizada por Martínez *et al.*, 2008:

$$P= (PS/PT) (100)$$

Dónde: P=Pureza, PS=peso de la semilla limpia y PT= peso de la semilla sin limpiar.

Se obtuvo el peso de un lote de semillas (PT), y luego se quitaron las impurezas como arilo, valvas y hojas para posteriormente pesarlo (PS).

Número de semillas por kg. El peso de la semilla se determinó en 4 repeticiones de 100 unidades para la colecta de 2014 y 2015.

Contenido de humedad. Las pruebas de CH se ajustaron para esta especie debido a la poca disponibilidad de frutos encontrados durante la colecta y difiriendo en el tamaño de muestra requerido por las normas internacionales del ISTA, 2011, por lo que se utilizaron 4 repeticiones de 20 semillas para cada año de colecta. Se obtuvo el CH de semilla almacenada durante un año a 4 °C (semilla de 2014) y de semilla recolectada en 2015.

Primero se obtuvo el peso inicial de las semillas, con una balanza analítica, después se colocaron en una estufa a 103°C durante 18 horas, luego se introdujeron en un desecador con silica gel y se estabilizaron por 20 min y se realizó la medición del peso final. Se obtuvo el contenido de humedad con la siguiente fórmula:

$$Contenido\ de\ humedad\ (\%) = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial}$$

Se compararon los datos obtenidos por año mediante un análisis de varianza (ANDEVA).

Viabilidad. Se verificó la viabilidad por el método de corte, basado en la metodología de Bonner, 1974, se inspeccionaron las condiciones de la semilla y de los embriones, provocando una fisura en la testa con una prensa de mano para observar los componentes de la misma en un estereoscopio. Las semillas que solo desarrollan endocarpio sin embrión, embriones poco desarrollados o están totalmente vacías, se clasificaron como vanas, mientras que las llenas eran todas aquellas que el embrión se encontraba bien desarrollado ocupando todo el espacio interno de la testa. Las semillas se clasificaron con base al color de la testa, determinando dos tipos: claras y oscuras, y se fisuraron para comprobar la presencia de embriones.

3.3.3. Ensayos de germinación con tratamientos pregerminativos

3.3.3.1. Primer ensayo

Se establecieron cinco tratamientos pre-germinativos (Cuadro 3) para favorecer la germinación, se colocaron 20 semillas para cada tratamiento en bolsas de 5x10 cm de mallas de plástico, los primeros cuatro se pusieron en agua caliente (AC) a temperatura de 90 a 92 °C durante una hora

en un agitador magnético Barnstead Thermolyce modelo CIMAREC, la temperatura se registró con termómetro; después se enjuagaron y enfriaron las semillas con agua destilada. Los tratamientos se detallan a continuación: el primer tratamiento (1) consistió en solo sumergirlas en AC, el segundo tratamiento (2), se usó AC y luego se sumergió en peróxido de hidrógeno en una solución al 30% durante 15 min, para luego enjuagar con agua destilada, el tercero (3) se realizó con AC y ácido sulfúrico al 99% durante 15 minutos y un posterior enjuague. Para el cuarto (4), se usó AC y después hipoclorito de sodio en una solución al 10% durante 15 min y luego se enjuago hasta que fuera imperceptible el olor del cloro. El quinto (5), fue el testigo.

En los cinco tratamientos, se utilizó perlita lavada y desinfectada, humedecida con agua de garrafón, este sustrato se puso en cajas Petri de vidrio y las semillas se sembraron en el sustrato y se cubrieron con una capa del mismo. Los tratamientos se mantuvieron en una cámara de crecimiento forma Scientific con una temperatura promedio de 28°C. Se realizaron observaciones durante 30 días.

Cuadro 3. Tratamientos pregerminativos de semilla de *B. linanoe* de 2014 para el primer ensayo.

Clave	Tratamientos
1	Agua caliente (AC)
2	AC +Peróxido de hidrógeno
3	AC +Ácido sulfúrico
4	AC+ Hipoclorito de sodio
5	Testigo

3.3.3.2. Segundo ensayo

Debido a que no hubo germinación en el primer ensayo, se estableció una segunda prueba con germoplasma recolectado en 2014, para cada tratamiento se usaron 10 semillas. Los tratamientos a probar fueron (Cuadro 4): tratamiento uno (1), siguió la metodología de Hernández, 2014, AC a 75°C sumergiendo la semilla durante 6 min con agitación, tratamiento dos (2), hipoclorito de sodio al 5% durante 6 min con agitación, tratamiento tres (3), estratificación con arena la cual consiste en enterrar las semillas para promover la abrasión en la testa, cabe mencionar que la arena se lavó y desinfectó previamente y tratamiento cuatro (4) testigo.

Se sembraron en perlita humedecida y se utilizó una caja Petri por tratamiento. Las cajas se metieron a la cámara de germinación con una temperatura promedio de 28°C y se observaron periodicamente durante 30 días.

Cuadro 4. Tratamientos pregerminativos de semilla de *B. linanoe* de 2014 para el segundo ensayo.

Clave	Tratamientos	Tiempo
1	Agua caliente	6 min de inmersión
2	Hipoclorito de sodio al 5%	6 min de inmersión
3	Estratificación con arena	30 días de incubación
4	Testigo	x

3.3.3.3. Tercer ensayo

Esta prueba se estableció para comprobar la germinación de semilla recolectada en 2014 y 2015 considerando tratamientos pregerminativos y fotoperiodo, toda la semilla utilizada en esta prueba fue desinfectada con cloro al 1% con agitación durante 10 min y posteriormente enjuagada para disminuir problemas de contaminación por hongos que se presentaron en los ensayos anteriores; la arena usada como sustrato también fue desinfectada y se usaron recipientes de plástico como unidad de siembra, después del establecimiento se hicieron observaciones cada tercer día.

Para la semilla recolectada en 2014 se establecieron cuatro tratamientos (Cuadro 5): el primero (1) en el que se sumergió la semilla en ácido sulfúrico puro durante 30 min (Cruz-Cruz *et al*., 2009) , con agitación manual y con fotoperiodo de 12 h de luz fluorescente y segundo (2) sin tratamiento de escarificación y mismo fotoperiodo, el tercero (3) también se usó ácido sulfúrico pero con fotoperiodo constante y se estableció el testigo (4) correspondiente. Los tratamientos 1 y 2 se establecieron en una germinadora convencional modelo marca Scientific, los tratamientos 3 y 4 en una germinadora automática (cámara de clima constante marca memmert Modelo HPP750).

La germinadora convencional funciona con lámparas florescentes, con una eficacia luminosa de 46 a 75 lm/W aproximada, mientras que la germinadora automática cuenta con lámparas led de 4.5 a 150 lm/W.

Cuadro 5. Tratamientos pregerminativos con semilla de *B. linanoe* recolectada en 2014 para el tercer ensayo.

Clave	**Tratamiento pre-germinativo**	**Condiciones de luz**
1	Ácido sulfúrico concentrado	Luz fluorescente, fotoperiodo 12 h
2	Testigo	Luz fluorescente , fotoperiodo 12 h
3	Ácido sulfúrico concentrado	Luz led, fotoperiodo continuo
4	Testigo	Luz led, , fotoperiodo continuo

Los tratamientos para la semilla recolectada en 2015 fueron dos (Cuadro 6), el primero (5) fue el testigo y en el segundo (6) el germoplasma se sumergió en sumergir en ácido sulfúrico concentrado pura durante 30 min, ambos tratamientos se colocaron en una germinadora con fotoperiodo continuo a temperatura constante de 28°C y humedad relativa 30%.

Cuadro 6. Tratamientos pregerminativos con semilla de *Bursera linanoe* recolectada en 2015 para el tercer ensayo.

Clave	**Tratamiento pre germinativo**	**Condiciones de luz**
5	Testigo	Luz led, fotoperiodo continuo, temperatura constante 28°C
6	Ácido sulfúrico concentrado	

3.4. Resultados y discusión

3.4.1. Análisis de semilla

Las características de la semilla se detallan por año en el cuadro 7. La pureza de la semilla del 2015 es mayor que la del 2014, se recomienda recolectar los frutos maduros y separarlos de las valvas mediante el secado para obtener la semilla, y después seleccionar las semillas tanto para disminuir el contenido de humedad en los recipientes de almacenamiento como para tener lotes con pocas impurezas.

Un kg de semilla de linaloe del 2014 contiene 17% más semillas en comparación con 2015; la semilla recolectada en este último año fue más pesada que la del primer año. El peso unitario promedio para el primer año fue de 0.0416 y para el segundo año de 0.0504 g. Se calculó que el peso de 1000 semillas para el 2014 fue de 4.16 g mientras que en el 2015 fue de 5.04 g, siendo ligeramente menor en comparación con lo reportado por Cruz-Cruz *et al.*, 2009, en donde el promedio del peso de semilla de ocho poblaciones de linaloe de Guerrero, Oaxaca, Puebla y Morelos fue de 5.48 g.

Cuadro 7. Características de la semilla de *Bursera linanoe* de diferentes años de recolecta en el estado de Guerrero.

Año de recolecta	**Pureza**	**Número de semillas·kg^{-1}**	**Contenido de humedad**
2014	52%	23987.32	10.27%
2015	73%	19829.78	9.08%

El peso de las semillas puede ser un indicador de un mayor porcentaje de germinación y plántulas mejor desarrolladas, debido a la relación de semillas vanas y llenas; sumado a lo anterior, un mayor peso unitario puede indicar un desarrollo completo del embrión y de los componentes que lo nutren (Willian, 1991).

Contenido de humedad. Las semillas almacenadas durante un año tuvieron 12% más humedad en comparación con las del 2015 (Cuadro 8). La semilla de linaloe es considerada como

ortodoxa (Cruz-Cruz *et al*., 2009), lo que coincide con el contenido de humedad encontrado. Aunque se recomienda profundizar acerca de las condiciones de almacenamiento relacionándolo con el contenido de humedad, temperatura y duración del mismo, dado que no se tienen parámetros exactos para la semilla de linaloe, con lo que respecta a este apartado y que pueden mermar en la calidad de semilla y por consiguiente en la germinación.

Cuadro 8. Análisis de varianza del contenido de humedad de la semilla de *B. linanoe* por año de recolecta.

	Contenido de Humedad (%)
2014	10.27±0.08a
Lote A	10.51
Lote B	10.27
Lote C	10.20
Lote D	10.08
2015	9.08± 0.11b
Lote A	9.17
Lote B	8.75
Lote C	9.17
Lote D	9.22

Viabilidad. El porcentaje de semillas llenas en promedio es de 45% (Figura 5), estas semillas tienen bien desarrollado el embrión ocupando todo el espacio interno de la testa. Como resultado de las observaciones se encontró una relación entre la viabilidad y el color de la semilla.

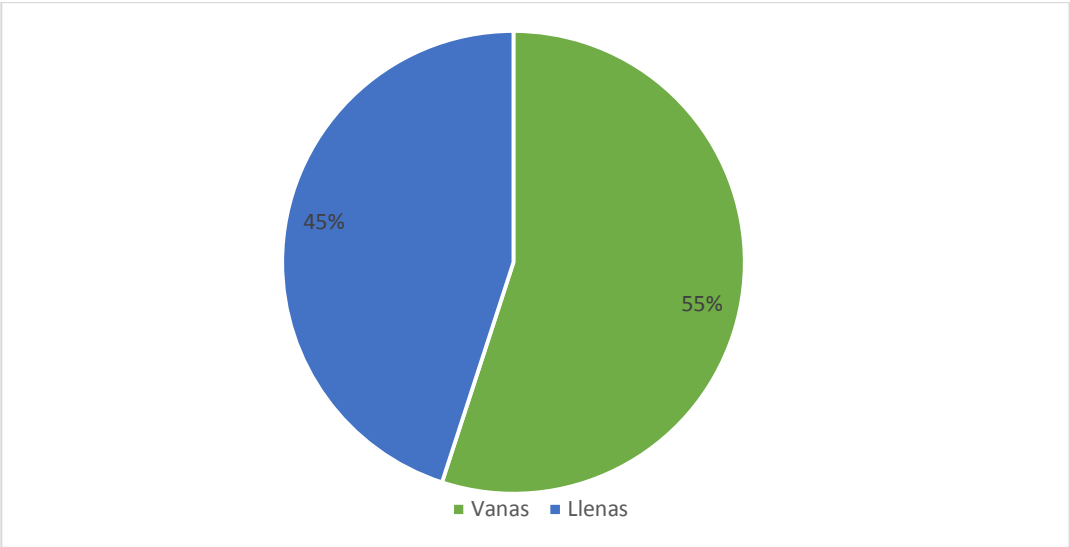

Figura 3. Porcentaje de semillas de *Bursera linanoe*, clasificadas en llenas y vanas en lotes de semilla son procedencia del estado de Guerrero.

En este estudio se puntualiza que del total de las semillas claras que se abrieron, el 31% tenían embrión y las restantes eran vanas (Figura 6), mientras que las oscuras presentan más semillas llenas (92%) y un reducido porcentaje de semillas vanas (8%). Los indicadores de cosecha de semilla reportados por Cruz-Cruz *et al*., 2009, consideran que la semilla de testa color café obscura y negra presenta embriones y la de testa blanquecina es infértil. Por lo que se corrobora que el color de la testa de la semilla es determinante en la proporción de semillas llenas, las claras tienen mayor proporción de semillas vanas mientras que las oscuras presentan casi en su totalidad semillas llenas.

El método de determinación de viabilidad por corte, aunque es destructivo, permitió observar a detalle las semillas vanas, este método aunque es laborioso, puede ser utilizado para determinar la viabilidad de forma indirecta (Castillo-Cartajena y Muñoz-Villagra, 1999).

El separar las semillas por color, puede ser un buen indicador de la viabilidad de las mismas (Figura 7 y 8), por lo que se sugiere la siembra de semillas con testa de color oscuro; el color de la testa en otras especies es determinante en la germinación y capacidad germinativa (Duran y Retamal, 1989; Tenorio-Galindo *et al*., 2008). Es importante mencionar, que la mayoría de las semillas de linaloe en esta población, fueron de color claro (alrededor del 77%), y al recolectar

frutos no se sabe con certeza el porcentaje de semillas viables lo que tiene mayores implicaciones en la producción de plántulas en vivero.

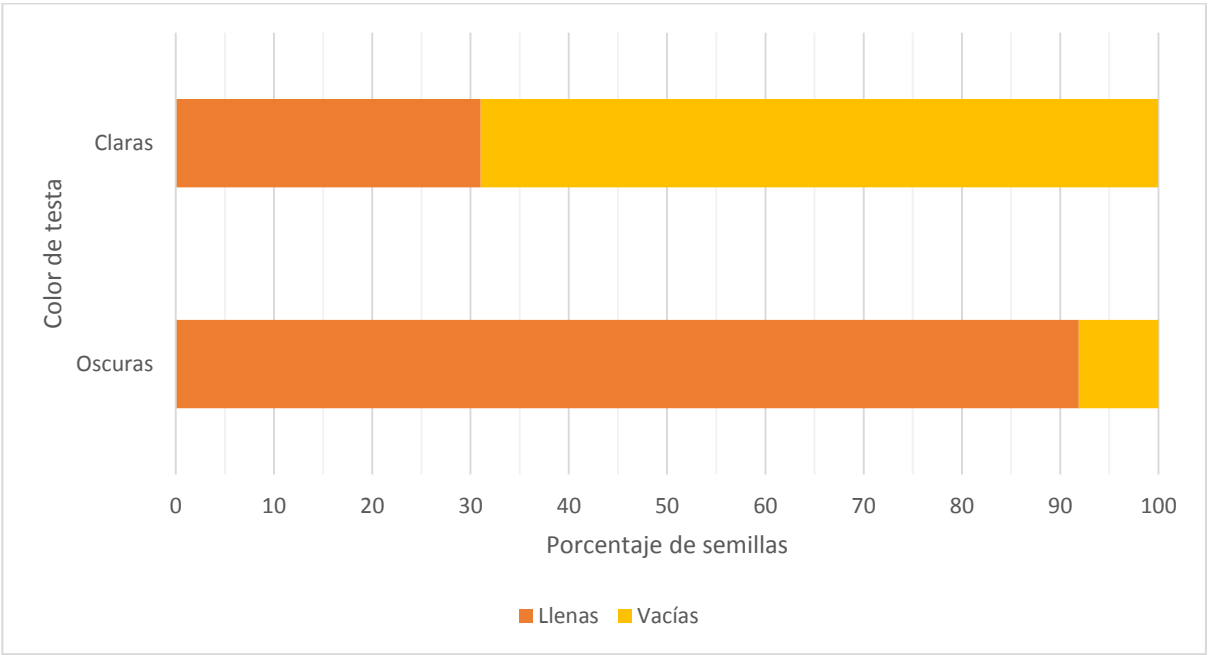

Figura 4. Porcentaje de semillas llenas y vanas de *Bursera linanoe* por color de testa en lotes de semilla del estado de Guerrero.

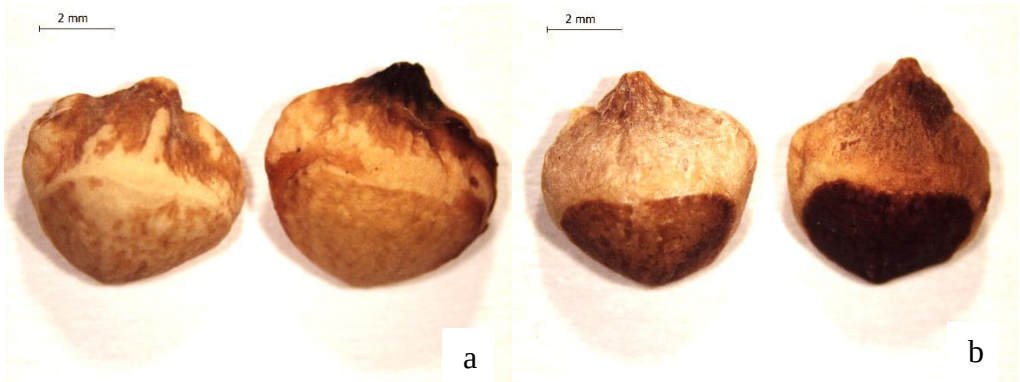

Figura 5. Semillas de *Bursera linanoe* clasificadas por color. a: semillas claras, b: semillas oscuras, la coloración inferior en las semillas es determinante en la cantidad de semillas llenas (barra negra en la esquina superior izquierda indica en cada imagen 2 mm, aumento de 8x).

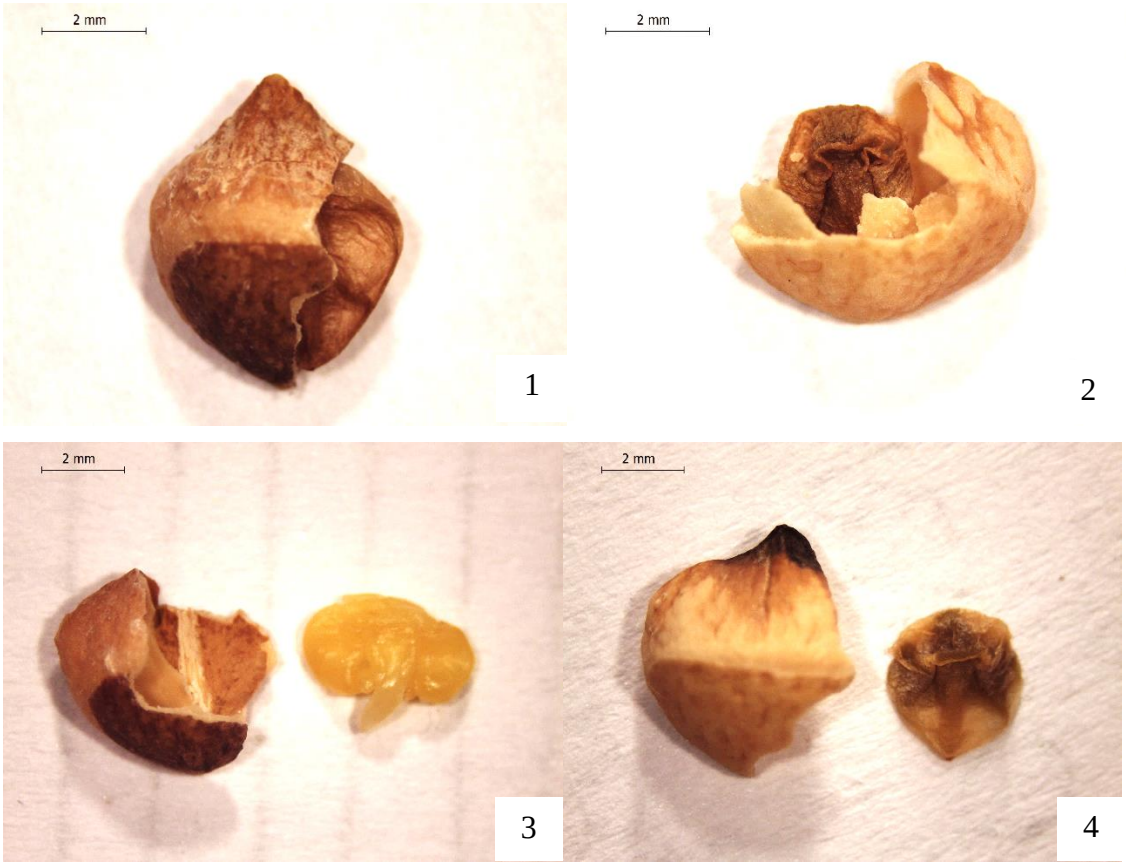

Figura 6. Semilla de *Bursera linanoe*. 1: Semilla llena con embrión cubriendo todo el interior de la testa, 2: semilla vana con embrión poco desarrollado (aumento de 10x) 3: detalle de semilla llena con embrión completamente desarrollado presentando radícula y cotiledones, 4: detalle de semilla vana que tiene embrión reducido (la barra negra indica la escala de 2 mm, fotos tomadas en aumento de 8x).

En varias especies del género *Bursera* se ha reportado un alto porcentaje de semillas vanas de más del 40%(Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002; Bonfil-Sanders *et al*., 2008;) lo que coincide con el comportamiento de linaloe, sin embargo, deben realizarse estudios que puedan esclarecer si esto se debe a cambios en la estructura genética de las poblaciones naturales derivado de una probable endogamia (Menges, 1991), o bien, ser una estrategia ecológica (Verdú y García-Fayos, 1998; Chacoff *et al*., 2004; Ramos-Ordoñez *et al*., 2008; Ramos-Ordoñez *et al*., 2012) o como consecuencia de la fragmentación de hábitats que puede reducir el éxito reproductivo de la especie (Ponce-Gónzalez, 201).

3.4.2. Ensayos de germinación con tratamientos pregerminativos

3.4.2.1 Primer ensayo

Solo germinó una semilla del tratamiento testigo a los 6 días de establecer la prueba, los demás tratamientos no presentaron respuesta. Se sugiere utilizar cloro para desinfectar las semillas, debido a que el tratamiento 4 no presentó contaminación por hongos, mientras que el 1, 2 y 5 presentaron hasta un 80% de semillas contaminadas por hongos.

Las semillas del 2014 fueron almacenadas a 4°C por un año, como lo sugiere Cruz-Cruz *et al*., 2009, y sólo se alcanzó el 5% de germinación en el tratamiento testigo diferente a lo que reportan los autores mencionados de hasta un 38%. También, se considera que el tratamiento AC fue demasiado agresivo para los embriones debido a que estuvieron en contacto con altas temperaturas por mucho tiempo, y aunque poco se modificó la estructura de la testa, el tejido embrionario presentaba daños. Lo que indica que la testa de la semilla de linaloe es una barrera poco permeable.

El AC supone ser un agente que promueve la germinación (González, y Mendoza, 1995; Rodrigues *et al.*, 2008) por lo que se sugiere reducir el tiempo de exposición, se consideraba que este tratamiento promovería el reblandecimiento de la testa y por consecuencia la germinación.

En cuanto al uso del peróxido de hidrógeno, se ha documentado como promotor de la germinación de semillas en coníferas (Bonner, 1974), aunque el efecto combinado con el AC no permitió verificar el efecto del agua oxigenada en las semillas, similar a lo ocurrido al usar ácido sulfúrico y cloro.

3.4.2.2. Segundo ensayo

Se registró la germinación de una plántula del tratamiento testigo a los dos días de establecida la prueba, los tratamientos que se probaron no favorecieron la germinación.

El tratamiento con AC no favoreció la germinación, se consideraba que los cambios de temperatura fragmentarían o reblandecerían la testa de la semilla, sin embargo, no hubo cambios en la cubierta. El tratamiento con cloro presenta menos hongos, siendo de hasta 2%, en

comparación con los demás que presentan hasta un 80% de presencia de hongos tanto en las semillas como en el sustrato; en semillas del género *Bursera* se ha documentado la presencia de hongos al realizar pruebas de germinación (Bonfil-Sanders *et al*., 2008) por lo que se sugiere una desinfección previa tanto al almacenamiento como a las pruebas de germinación.

La estratificación caliente puede intervenir en el rompimiento de latencia física o morfofisiológica (Baskin y Baskin, 2004), en este estudio se decidió probar con arena en el que las partículas gruesas promovieran el desgaste de la testa y que la temperatura de 28°C indujera el crecimiento embrionario, aunque estas condiciones se mantuvieron por más de un mes no hubo respuesta.

3.4.2.3. Tercer ensayo

Con el germoplasma de 2015 escarificado y bajo las condiciones de crecimiento del tratamiento 6, germinaron 3 plántulas de 50 semillas a los 12 días de iniciada la prueba, los demás tratamientos no promovieron la germinación.

A diferencia de lo planteado por Cruz-Cruz, 2009, en este estudio no se favoreció la germinación de semillas almacenadas durante un año a 4°C ni con los tratamientos establecidos de ácido sulfúrico. En este ensayo hubo más germinación en semillas recolectadas en 2015 que en las almacenadas, sin embargo, un factor importante a considerar es el reducido tamaño de muestra con el que se efectuaron las pruebas lo cual es una limitante importante para este tipo de estudios. Sumado a lo anterior, no existe información sobre las condiciones de almacenamiento óptimas que se le debe de dar a la semilla de linaloe, el efecto de la temperatura y el contenido de humedad que impactan sensiblemente la calidad del germoplasma en almacenamiento deben considerarse como referencia previo al almacenaje y durante el tiempo que permanezcan guardadas (Willian, 1991).

El ácido sulfúrico se recomienda como tratamiento pregerminativo en otras especies para incrementar el porcentaje de germinación (Araújo-Neto y Bergemann-Agular, 1999; Yépez y Arboleda, 2009; Tanaka-Oda *et al*., 2009; Gutiérrez-Nava *et al.*, 2010) tal es el caso de este estudio en el que el tratamiento 6 presentó 6%, por lo que el uso de este ácido es recomendable, sin embargo, deben hacerse las adecuaciones necesarias en cuanto al tiempo de inmersión para evitar daños a los tejidos embrionarios.

Respecto al fotoperiodo se ha encontrado que algunas especies de *Bursera* responden mejor a las temperaturas fluctuantes y fotoperiodo constante (Bonfil-Sanders *et al*., 2008), lo que coincide en parte con los resultados obtenidos en esta última prueba pues en dicha condición se presentó la germinación. Las semillas de algunas especies necesitan fotoperiodos más largos que promuevan los procesos fisiológicos para activar la germinación (Willan, 1991), en el linaloe se desconoce el efecto del fotoperiodo y de la temperatura ideal a las que deben someterse estas pruebas.

Los bajos porcentajes de germinación obtenidos en los ensayos se atribuyen a dos problemas principalmente, primero, al gran número de semillas vanas en los lotes de Guerrero y segundo, a que la testa representa una barrera física importante para la emergencia de la radícula (Baskin y Baskin, 2004). Se sugiere que la semilla de linaloe presenta latencia física (Cruz-Cruz, 2009; Ayala-Sosa *et al*., 2011) y los tratamientos pregerminativos deben ir encaminados al desgaste de la testa, este tipo de latencia se presenta en algunas especies del trópico seco, y es una estrategia para mantener a la semilla en estado de quiescencia durante la temporada de sequía (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1991). Sin embargo, se deben realizar estudios que puedan clarificar si existe algún otro tipo de latencia en la semilla, en la que puedan intervenir algún tipo de inhibidores o requerir una condición específica de luz.

Derivado de estas observaciones se recomienda recolectar frutos maduros que tengan coloración rojiza, el secado se debe realizar bajo la sombra, en capas delgadas para permitir la apertura de valvas y evitando la acumulación de humedad entre los frutos, debe conocerse el contenido de humedad de los lotes de semilla y éstos deben contener el menor número de impurezas y de ser posible extraer el arilo, la desinfección de los lotes con hipoclorito parece ser una buena alternativa para evitar la proliferación de hongos, y por último se recomienda realizar la siembra de semillas color oscuro con tratamientos pregerminativos que desgasten la testa (Hersch-Martínez, 2005; Bonfil-Sanders *et al*., 2008; Cruz-Cruz, 2009).

3.5. Conclusiones

Se encontraron diferencias en la calidad de la semilla de *B. linanoe* entre años, respecto a la pureza, número de semillas y porcentaje de CH. La viabilidad es baja y puede ser la

consecuencia de factores genéticos o ecológicos. El color de la testa de la semilla puede ser un buen indicador de la viabilidad de la semilla, determinando que las oscuras tienen mayor porcentaje de semillas llenas. Los tratamientos pregerminativos sugeridos con ácido sulfúrico para la semilla de linaloe no son reproducibles para las poblaciones estudiadas. Los resultados obtenidos en este estudio presentan limitantes debido al tamaño de muestra sujeto a la poca disponibilidad de semilla con el que se efectuaron las pruebas.

3.6. Literatura citada

Andrés-Hernández, A. R. y D. Espinosa-Organista. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. *ex* L. (*Burseraceae*) y sus implicaciones filogenéticas. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 70: 5-12.

Araújo-Neto, J.C. y I. Bergemann- de Aguiar. 1999. Desarrollo ontogénico de plántulas de *Guazuma ulmifolia* (*Sterculiaceae*). Revista de Biología Tropical, 47(4): 785-790.

Ayala-Sosa, J. C., N. Carrillo-Ávila, E. Cruz-Cruz, R. Flores-Velázquez, M. Fuentes-López y J. Tamarit-Urias. 2011. Linaloe [*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina], una especie con importancia económica. Folleto técnico INIFAP 56: 25-26.

Baskin, J. M., y C. C. Baskin. 2004. A classification system for seed dormancy. Seed science research, 14(01):1-16.

Bonfil-Sanders, C., I. Cajero-Lázaro y R. Y. Evans. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. Agrociencia, 42: 827-834.

Bonner, F.T. 1974. Seed Testing. *In*: Seeds of woody plants in the United States, Agriculture Handbook núm 450. For. Serv., USDA, Washington D.C.

Bonner, F.T. 1998. Testing tree seeds for vigor: a review. Seed Technology, 20 (1):5-17.

Castillo-Cartajena, C. y M. Muñoz-Villagra. 1991. Efectividad de tratamientos pregerminativos para semillas de Huala (*Nothofagus leonii* Espinosa). Universidad de Talca (Chile).. 62 p

Chacoff, N. P., J. M. Morales y M. Vaquera. 2004. Efectos de la fragmentación sobre la absorción y depredación de semillas en el Chaco Serrano. Biotropica, 36(1): 109-117.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1991. *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit.), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Ser. Técnico Rep.

Núm. 166: 60 p.

Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (Comp.) 2009. Colecta de fruto, selección y germinación de semilla de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina. INIFAP- Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca. México. Libro Técnico 14:140-160.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos Tropicales, 31(1): 74-85.

Duran, J. M., y N. Retamal. 1989. Coat structure and regulation of dormancy in Sinapis arvensis L. seeds. Journal of Plant Physiology, 135: 218–222.

Gómez-Jiménez, D. M., C. Ramírez-Herrera, J. López-Upton, J. Jasso-Mata. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede *ex* Schltdl. & Cham. Revista Fitotecnia Mexicana, 33(4): 297-304.

Gómez–Tejero, J.; J. Jasso–Mata, J. J. Vargas–Hernández, M. R. Soto–Hernández. 2006. Deterioro de semillas de dos procedencias de *Swietenia macrophylla* King bajo distintos métodos de almacenamiento. Ra Ximhai, 2(1): 223-239.

González, Y. y F. Mendoza. 1995. Efecto del agua caliente en la germinación de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. Pastos y Forrajes, 18(1): 59-65.

González-Ávalos, J., E. García-Moya, J. J. Vargas-Hernández, A. Trinidad-Santos, A. Romero-Manzanares, V. M. Cetina-Alcalá. 2006. Evaluación de la Producción y Análisis de Conos y Semillas de *Pinus cembroides* Zucc. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 12(2): 133-138.

Gutiérrez-Nava, P., F. De León-González, J. Etchevers-Barra Y A. Casas- Fernández. 2010. Effect of Scarification, Self-Inhibition, and Sowing Depth on Seed Germination of Lupinus campestris. Chilean Journal of Agricultural research, 70(3): 365-371.

Hernández, S., D. 2014. Evaluación de algunos parámetros de crecimiento en cinco especies arbóreas del trópico seco. Tesina de Licenciatura. UAM-Xochimilco. 110 p.

Hersch-Martínez, P. (2005). Linaloe. *In*: C. López, S. Chanfón, & G. Segura (Edits.), La riqueza de los boques mexicanos: más allá de la madera. México: SEMARNAT. 45 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Atenango del Río, Guerrero clave geoestadística 12008. 10 p.

ISTA. 2011. International rules for seed testing. International Seed Testing Association. S/P.

Karrfalt, R. P. 2011. Seed testing. The woody plant seed manual. Agriculture Handbook, 727: 97-115.

Mápula-Larreta, M; J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y A. Hernández-Livera. 2008. Germinación y vigor de semillas en *Pseudotsuga menziesii* de México. Ra Ximhai 4(1): 119-134.

Menges, E. S. 1991. Seed germination percentage increases with population size in a fragmented prairie species. Conservation biology, 5(2): 158-164.

Ponce-González, O. O. 2014. Efecto de la fragmentación del bosque tropical caducifolio sobre la estructura poblacional y éxito reproductivo de *Bursera fagaroides* y *B. palmeri*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 35 p.

Ramos-Ordoñez, M. F., J. Márquez-Guzmán y M. del C. Arizmendi. 2008. Parthenocarpy and seed predation by insects in *Bursera morelensis*. Annals of Botany, 02(5):713-722.

Ramos-Ordoñez M. F., M. del C. Arizmendi y J. Márquez-Guzmán. 2012. The fruit of *Bursera*: Structure, maturation and parthenocarpy. AoB Plants, 2012: pls027.

Reyes-Bautista, Z., y D. A. Rodríguez-Trejo. 2005. Efecto de la luz y la temperatura en la germinación de semillas de *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, XI (2):99-104.

Rodrigues, A. P. D. A. C., M. C. Kohi, D. R. Pedrinho, E. R. A. Arias y S. Favero. 2008. Tratamentos para superar a dormência de sementes de *Acacia mangium* Willd. Acta Scientiarum. Agronomy, 30(2): 279-283.

Rufino-Morales, R., J. A. Sierra-Huelsz y P. Hersch-Martínez. 2008. Del fruto al aceite: el linaloe y otros copales. *In*: S. E. Purata Velarde (Ed.). CONABIO/RAISES. Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites: 20-21.

Sánchez-Herrera, D. E. 2008. Obtención, análisis y germinación de semillas de *Jartropha curcas* L. (Euphorbiaceae Juss.) no tóxica de Veracruz, México. Tesis presentada a la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, Región Xalapa. 57 p.

Solares-Arenas, F. y E. Cruz-Cruz. 2009. Ecología, manejo productivo y comercialización del linaloe (*Bursera linanoe* [La Llave] Rzedowski, Calderón y Medina). INIFAP-Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca 5: 61.

Swetha, H. 2005. Propagation of indian lavender (*Bursera delpechiana* Poiss. ex Engl.) thorugh cuttings under mist. Master of Science in Horticulture. Dharwad, India: University of

Agricultural Sciences: 71 p.

Tanaka-Oda, A., T. Kenzo y K. Fukuda. 2009. Optimal germination condition by sulfuric acid pretreatment to improve seed germination of *Sabina vulgaris* Ant. Journal of Forest Research, 14(4):251-256.

Tenorio-Galindo, G., D. A. Rodríguez-Trejo y G. López-Ríos. 2008. Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). Agrociencia, 42(5): 585-593.

Willan, R.L. (Compilador). 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales, FAO: 502 p.

Verdú, M. y P. García-Fayos. 1998. Ecological causes, function, and evolution of abortion and parthenocarpy in *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae). Canadian Journal of Botany, 76(1):134-141.

Yépez, F. y M. E. Arboleda. 2009. Promoción de la emergencia en urape (*Bauhinia monandra* Kurz) y retama (*Thevetia peruviana* (Pers) Schum), especies potenciales para la arboricultura urbana. Bioagro, 21(1): 15-22.

CAPITULO IV. VARIACIÓN DE ANATOMÍA DE LA MADERA DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZEDOWSKI, CALDERÓN & MEDINA POR EFECTO DEL SEXO Y SITIO

4.1. Resumen

Sobre algunas especies dioicas se ha sugerido que existe una diferencia en la madera de distintos sexos; además, se sabe que poblaciones de una misma especie creciendo en diferentes condiciones pueden presentar variaciones anatómicas. Del linaloe poco se conoce sobre la variación de la anatomía de la madera que puede haber en diferentes sitios y sexos, esto puede tener aplicaciones para fines de mejoramiento o manejo. Se estudiaron dos sitios en el estado de Guerrero, se seleccionaron tres árboles por sexo y se obtuvo una probeta de cada árbol utilizando el Taladro de Pressler. Se midieron 13 variables microscópicas; y se calculó la densidad básica. El efecto del sexo en la anatomía de la madera es significativo para la longitud de fibra (LF), grosor de la pared celular (GPC), diámetro total de la fibra (DT) y de lumen (DL) en los individuos monoicos respecto a los dioicos. Los árboles machos presentan rayos de menor altura, en contraste con las hembras y monoicos. Los dos sitios presentan diferencias en LF y DT siendo mayores en el sitio 2, en comparación con el sitio 1. El sitio 2 presenta vasos 8% más largos y 5% más anchos, también presenta rayos 6% más largos en comparación con el sitio 1. Las características anatómicas de la madera difieren entre sexos y sitios.

PALABRAS CLAVE: dioico, monoico, características anatómicas de la madera, linaloe

4.2. Introducción

El linaloe *(Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina), es una especie relativamente frecuente del bosque tropical caducifolio y de algunos matorrales xerófilos, desarrollándose sobre diversos sustratos geológicos, en altitudes de 650 a 1500 m, se distribuye en los estados de Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca. Florece de mayo a principios de julio, se encuentra desprovisto de follaje de noviembre a mayo (Rzedowski *et al*., 2004).

Esta especie, es uno de los copales aromáticos que existen en México, su resina es utilizada en diversos productos cosméticos, medicinales e industriales, lo que genera un ingreso monetario significativo en las zonas rurales con índices marcados de pobreza (Hernández Vásquez *et al*., 2013); sin embargo, el uso más reconocido es el de la madera para elaborar principalmente cajas y baúles (Hersch-Martínez, 2005).

Se ha documentado que en poblaciones naturales de linaloe pueden encontrarse individuos dioicos como monoicos (Gutiérrez-Santiago *et al*., 2016). Este comportamiento podría tener implicaciones en el aprovechamiento de la especie, puesto que el mejoramiento de cultivos, en varias especies, busca desarrollar plantas masculinas o femeninas para diferentes propósitos (Emebiri y Nwufo, 1996).

Por lo anterior, se ha considera que en especies dioicas, la madera de las hembras debería poseer mayor resistencia mecánica, debido a que soportan el peso de los frutos, afectando la calidad de madera (Zheng y Cheng, 1998). En linaloe estudios anatómicos son necesarios referente a los sexos, por lo que se requieren estudios más completos.

Además de la posible influencia del sexo, las características de la madera como densidad, tamaño de fibras, pared celular y diámetro de las células están controladas por componentes genéticos y son afectadas por las condiciones en donde se desarrollan los árboles (Zobel y Talbert, 1992), particularmente el área geográfica, sitios dentro de una misma región, clima, disponibilidad de humedad en el suelo, temperatura, espaciamiento entre árboles, raleo y podas (Jayawickrama, 1992), por lo que poblaciones de una misma especie creciendo en diferentes climas, pueden presentar variación en la anatomía de la madera.

Derivado de lo anterior, este estudio busca determinar la existencia de variación en las características anatómicas de la madera de *Bursera linanoe* considerando el efecto del sexo y sitio.

4.3. Materiales y métodos

4.3.1. Zona de estudio

Las muestras de madera se obtuvieron de dos sitios en el estado de Guerrero, población 1 paraje "Llano La Herradura" y la población 2 paraje "La Peña" ambos en la localidad de Comala de Gómez, municipio de Atenango del Río (entre los paralelos 18° 00' y 18° 16' de latitud norte; los meridianos 98° 52' y 99° 14' de longitud oeste,). Los dos sitios cuentan con vegetación de bosque tropical caducifolio en laderas con exposición este, altitud de 650 a 750 m, suelo pobre y pedregoso, clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, presenta una temperatura media anual de 22°C (Instituto Nacional Estadística y Geografía, 2010).

4.3.2. Colecta del material

En cada sitio se seleccionaron tres árboles por sexo (macho, hembra y monoico); de los cuales se obtuvo una probeta de madera con el Taladro de Pressler a la altura de 30 cm de la base del tronco debido a que la mayoría de los individuos se bifurcan; se señaló con lápiz tinta la orientación de la médula, posteriormente el material se conservó en agua. De cada árbol se seleccionaron dos subprobetas de 3cm, la primera, cercana a la médula y la segunda cercana a la corteza. A cada subprobeta se realizó un corte transversal, donde la mitad del material se utilizó para la determinación de características microscópicas y la otra para la determinación de densidad básica (Figura 9).

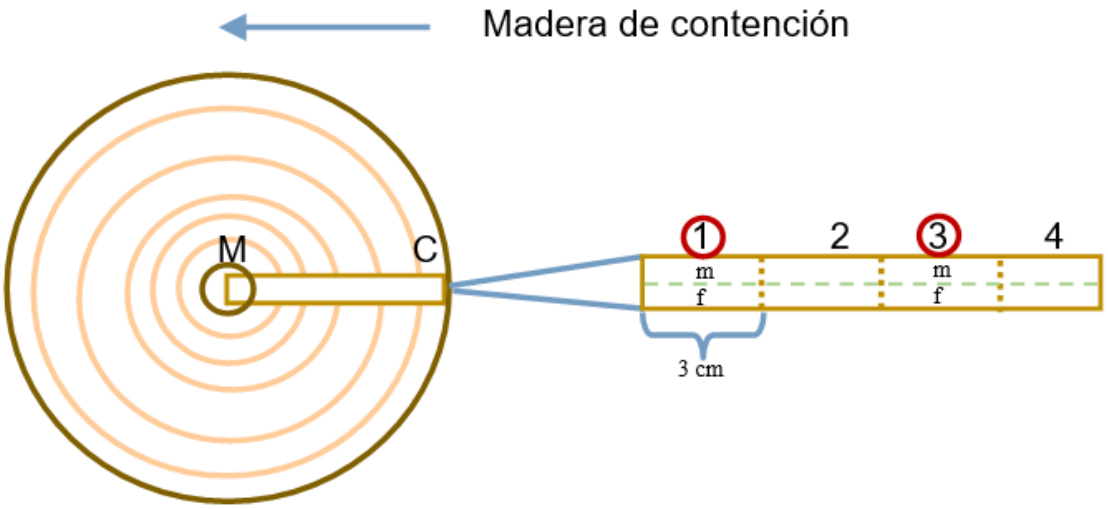

Figura 7. Forma de obtención de las probetas (M= médula del árbol, C=corteza, m=sección para estudio de características microscópicas, y f= sección para estudio de la densidad básica).

4.3.3. Características microscópicas

Los cortes microscópicos típicos se realizaron con un microtomo de deslizamiento marca Leica con un grosor de 25 µm, se tiñeron con colorante Pardo de Bismarck al 1%, luego se sumergieron durante un minuto consecutivamente en alcohol etílico al 96%, alcohol absoluto y xilol. Para las preparaciones se utilizó como fijador resina Entellan (Navarro-Martínez *et al*., 2005). De cada sección de árbol se hicieron preparaciones, con ayuda de un microscopio Leica y el programa Laz Core se evaluaron diámetro de poros (DR), número de poros por mm^2 (NP), altura de rayos (A), ancho de rayos (D), número de rayos por mm^2 (NR), canales gomíferos por mm^2 (CG), ancho de zonas de crecimiento (LZC) y número de zonas de crecimiento por corte (NZC).

Para obtener las fibras y vasos individualizados se utilizó la técnica de disociado, haciendo astillas la submuestra y colocándolas en un frasco con peróxido de hidrógeno y ácido acético glacial en proporción 1:1, para colocarse en una estufa a 60°C durante 24 horas; posteriormente

se lavaron con agua destilada, y se tiñeron con colorante pardo de Bismarck. De cada sección se hicieron preparaciones temporales, con ayuda de un microscopio Leica y el programa Laz Core se midieron longitud de vasos (L), longitud de fibra, (LF), diámetro de fibra (DT), diámetro de lumen (DL) y grosor de pared de fibra celular (GPC) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Variables evaluadas para determinar el efecto del sitio y sexo en las características anatómicas de la madera de *B. linanoe*.

Variables	Unidades	Preparación	Número de mediciones por sección
Longitud de fibra	µm	Disociado	30
Diámetro de fibra	µm	Disociado	30
Diámetro de lumen	µm	Disociado	30
Grosor de pared celular	µm	Disociado	30
Longitud de vasos	µm	Disociado	15
Diámetro radial	µm	Corte transversal	35
Número de poros por mm^2	adimensional	Corte transversal	1
Altura de rayos	µm	Corte tangencial	65
Diámetro de rayos	µm	Corte tangencial	65
Número de rayos por mm^2	adimensional	Corte tangencial	1
Canales gomíferos por mm^2	adimensional	Corte tangencial	5
Longitud de zonas de crecimiento	cm	Corte transversal	Las que presente el corte
Número de zonas de crecimiento	µm	Corte transversal	Las que presente el corte

4.3.4. Densidad básica

De cada submuestra se calculó la densidad básica de las dos secciones de cada árbol, obteniendo el peso y volumen en estado saturado, posteriormente se secaron en una estufa a 103 ±2 °C y se pesaron en estado anhidro.

4.3.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se estudiaron con el programa Statistical Analysis System (SAS v. 9.0, 2002) mediante un análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) considerando el efecto del sexo, sitios y sección (Cuadro 10).

Cuadro 10. Factores de variación de las características evaluadas en la madera para *Bursera linanoe.*

F.V.	Sitios	Sexo	Sección
Niveles	1 2	Hembra Macho Monoico	1 (cercana a la médula) 2 (cercana a la corteza)

4.4. Resultados

4.4.1. Características microscópicas

El modelo presenta diferencias significativas en fibras, vasos y rayos; las variables que no presentaron significancia fueron número de rayos (NR), número de canales gomíferos por mm^2 (CG), longitud y número de zonas de crecimiento (LZC Y NZC) (Cuadro 11).

Sexo. La longitud de fibra, el grosor de la pared de las fibras, el diámetro total y lumen mostraron diferencias significativas ($P=0.0002$, $P=0.0004$, $P<0.0001$ y $P<0.0001$ respectivamente) en los individuos monoicos con respecto a los dioicos (Cuadro 12, Figura 12 y 13). Los rayos fueron más cortos en los machos en comparación con las hembras y monoicos, estos últimos presentan rayos con diámetro 4% más pequeños que los dioicos.

Sitios. Los dos sitios presentan diferencias en LF ($P<0.0001$) y DT ($P=0.0089$) siendo mayores en el sitio 2 en comparación con el sitio 1. La longitud de los elementos de vaso es diferente para los dos sitios ($P<0.0001$), el sitio 2 presenta vasos 8% más largos y 5% más anchos (Cuadro 12). El largo de los rayos es diferente en las dos poblaciones ($P<0.0001$), el sitio 2 presenta

rayos 6% más largos. Además, hay menor número de canales gomíferos por mm^2 en la población 1.

4.4.2. Densidad básica.

No se encontraron diferencias significativas entre sexos y sitios al aplicar el análisis de varianza (Figuras 10 y 11).

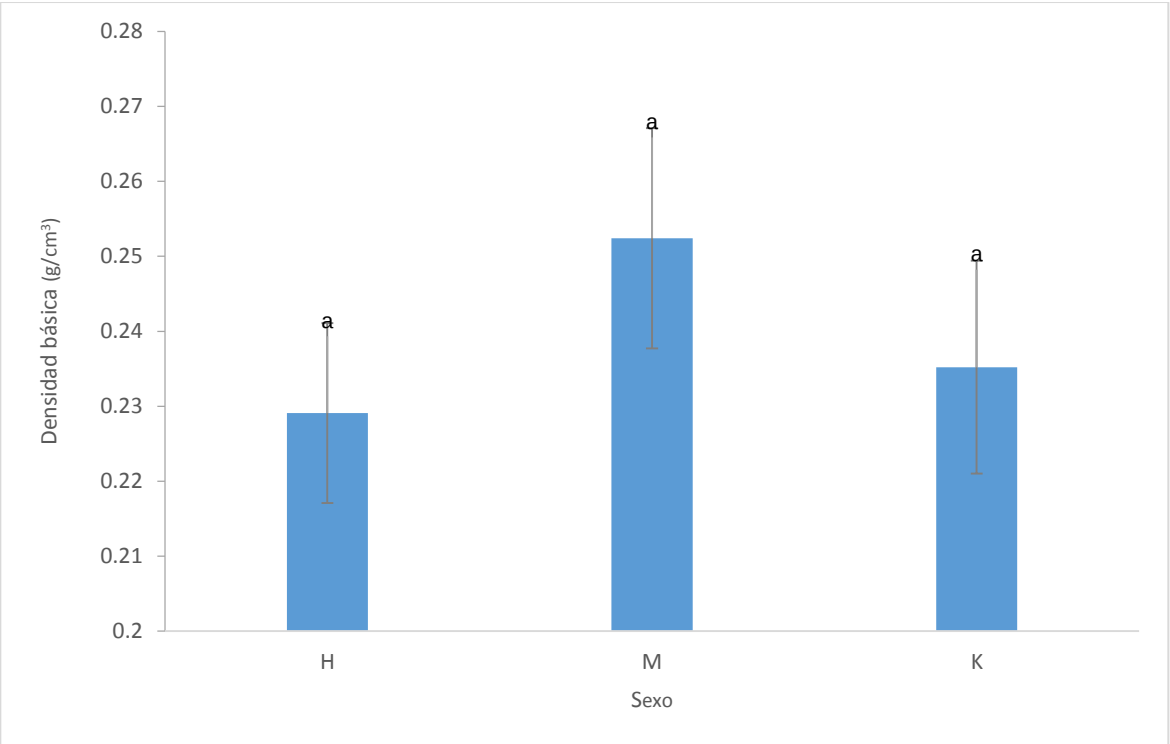

Figura 8. Densidad básica de la madera de *Bursera linanoe* por tipo de sexo (H: hembra, M: macho, K: monoico). Las letras sobre cada barra representan su error estándar.

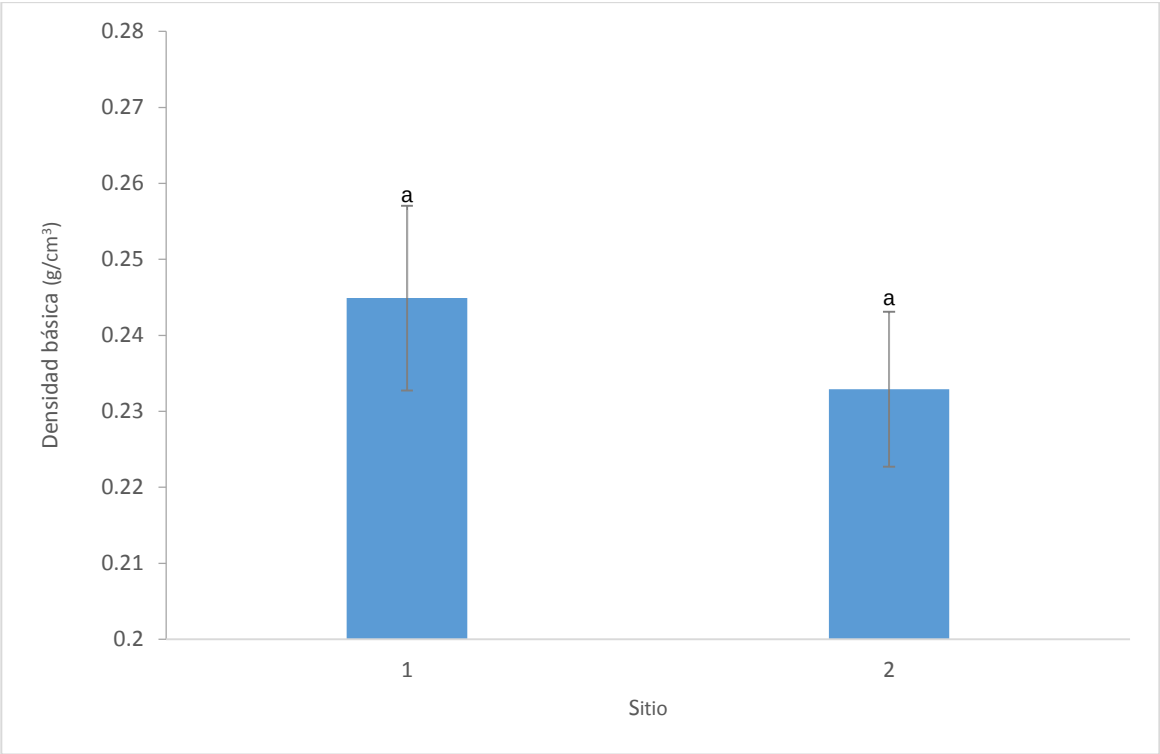

Figura 9. Densidad básica de la madera de *Bursera linanoe* por sitio. Las letras sobre cada barra representan su error estándar.

Cuadro 11. Análisis de varianza de las características microscópicas de la madera de *Bursera linanoe*.

	Fibras				Vasos			Rayos				Zonas de crecimiento	
Fuente	LF	DT	DL	GPC	L	DR	NP/mm^2	A	D	NR/mm^2	CG/mm^2	LZC	NZC
Modelo	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.3192	0.8780	0.6539	0.7389
Sitio	<0.0001	0.0089	0.0051	0.5328	<0.0001	0.0007	0.3379	<0.0001	0.1352	0.2276	0.3235	0.1274	0.2486
Sexo	0.0002	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0426	0.0845	0.0047	<0.0001	0.0017	0.4935	0.3773	0.6478	0.6714
Sección	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0036	<0.0001	0.0001	0.0013	0.6722	0.4935	0.9212	0.2328	0.1818
Sitio*Sexo	<0.0001	0.0010	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	0.3877	<0.0001	0.0150	0.5379	0.3773	0.5417	0.8375
Sitio*Sección	0.3079	0.6035	0.3466	0.1182	0.0175	0.6726	0.5381	0.0017	0.5721	0.6929	0.9212	0.7207	0.3989
Sexo*Sección	0.0855	<0.0001	0.0004	0.0109	0.3888	<0.0001	0.0261	0.0003	0.0006	0.3255	0.9902	0.7833	0.9249
Sitio*Sexo*Sección	0.2440	0.2222	0.0111	<0.0001	0.3671	0.0228	0.0282	0.1541	<0.0001	0.9902	0.9902	0.3373	0.5326

Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$); LF=longitud de fibra; DT= diámetro de total de fibra; DL= Diámetro de lumen; GPC= grosor de pared; L= longitud de vaso, DR= diámetro radial de vaso; NP= número de poros; A= altura de rayo; D= Diámetro de rayo, NR= número de rayos; CG= canal gomífero; LZC= longitud de zonas de crecimiento y NZC= número de zonas de crecimiento.

Cuadro 12. Pruebas de comparación de medias para las características microscópicas de la madera de *Bursera linanoe* por efecto del sexo.

Sexo	Fibras				Vasos			Rayos				Zonas de crecimiento	
	LF (µm)	DT (µm)	DL (µm)	GPC (µm)	L (µm)	DR (µm)	NP / mm^2	A (µm)	D (µm)	NR / mm^2	CG / mm^2	LZC (cm)	NZC
H	676.24a	26.85b	22.23a	4.62a	412.76a	85.12a	22.70a	273.94a	40.55a	11.91a	1.33a	0.27a	4.75a
M	668.50a	26.80b	22.14a	4.66a	394.78a	84.25a	18.00a	253.83b	40.41a	13.95a	1.50a	0.32a	5.16a
K	638.46b	28.25a	24.26b	3.98b	417.29a	87.32a	20.58a	266.97a	38.96b	11.30a	1.50a	0.29a	5.66a

Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$); Sexo= H (Hembra), M (Macho), K (Monoico); LF=longitud de fibra; DT= diámetro de total de fibra; DL= Diámetro de lumen; GPC= grosor de pared; L= longitud de vaso, DR= diámetro radial de vaso; NP= número de poros; A= altura de rayo; D= Diámetro de rayo, NR= número de rayos; CG= canal gomífero; LZC= longitud de zonas de crecimiento y NZC= número de zonas de crecimiento.

Cuadro 13. Pruebas de comparación de medias para las características microscópicas de *Bursera linanoe* por efecto del sitio.

Población	Fibras				Vasos			Rayos				Zonas de crecimiento	
	LF (µm)	DT (µm)	DL (µm)	GPC (µm)	L (µm)	DR (µm)	NP / mm^2	A (µm)	D (µm)	NR / mm^2	CG / mm^2	LZC (cm)	NZC
1	643.63a	26.85a	22.40a	4.44a	390.87a	83.59a	20.97a	256.38a	40.27a	13.77a	1.38a	0.27a	5.50a
2	678.50b	27.74b	23.35b	4.39b	425.68b	87.54b	19.88a	273.45b	39.67a	11.00a	1.50a	0.31a	4.88a

Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$); LF=longitud de fibra; DT= diámetro de total de fibra; DL= Diámetro de lumen; GPC= grosor de pared; L= longitud de vaso, DR= diámetro radial de vaso; NP= número de poros; A= altura de rayo; D= Diámetro de rayo, NR= número de rayos; CG= canal gomífero; LZC= longitud de zonas de crecimiento y NZC= número de zonas de crecimiento.

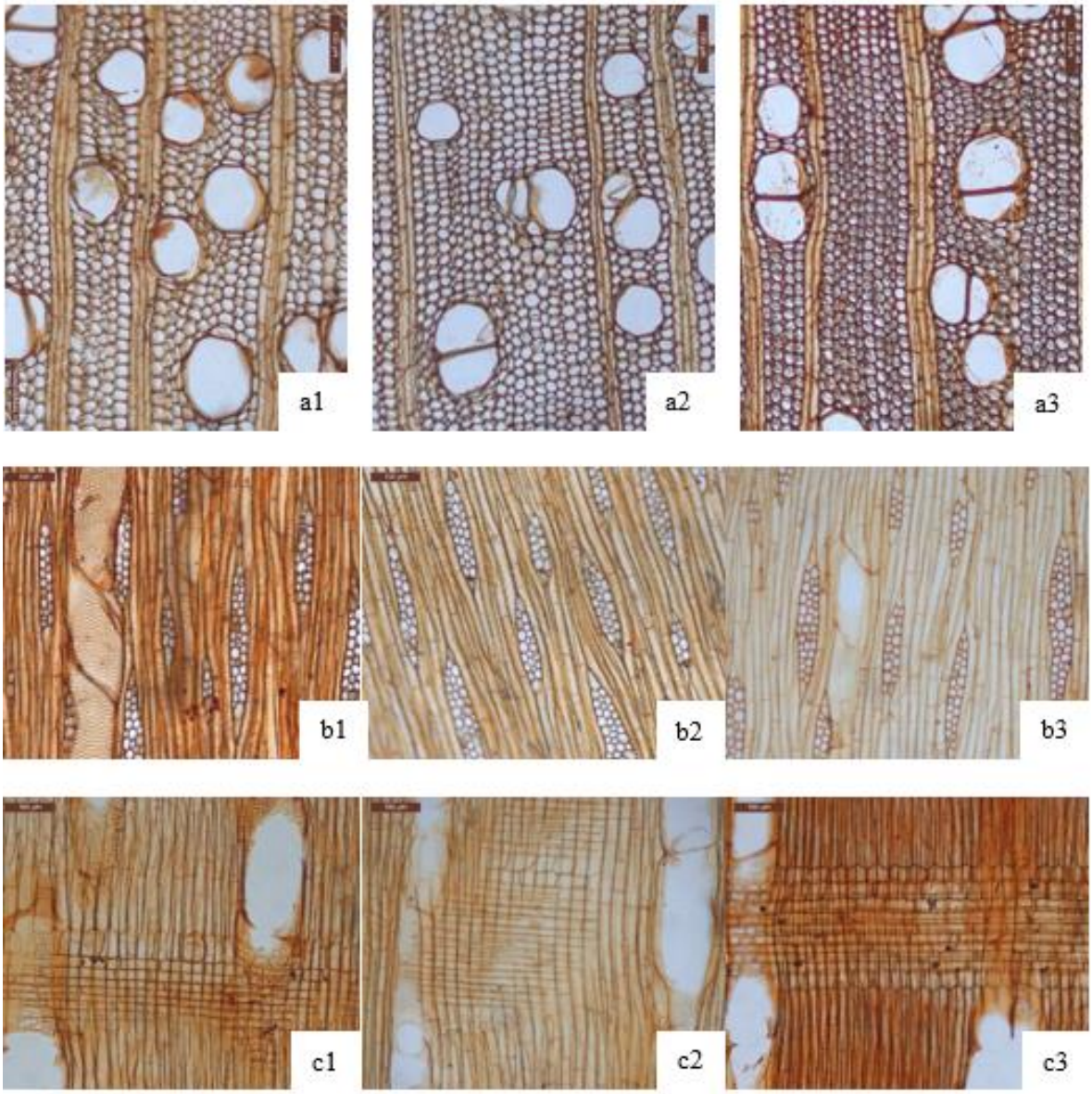

Figura 10. Anatomía de la madera de los árboles hembra (1), macho (2) y monoico (3). a= corte transversal; b= corte tangencial; c= corte radial; barra café en la esquina superior izquierda indica en cada imagen 100 µm; fotos tomadas con aumento de 10x.

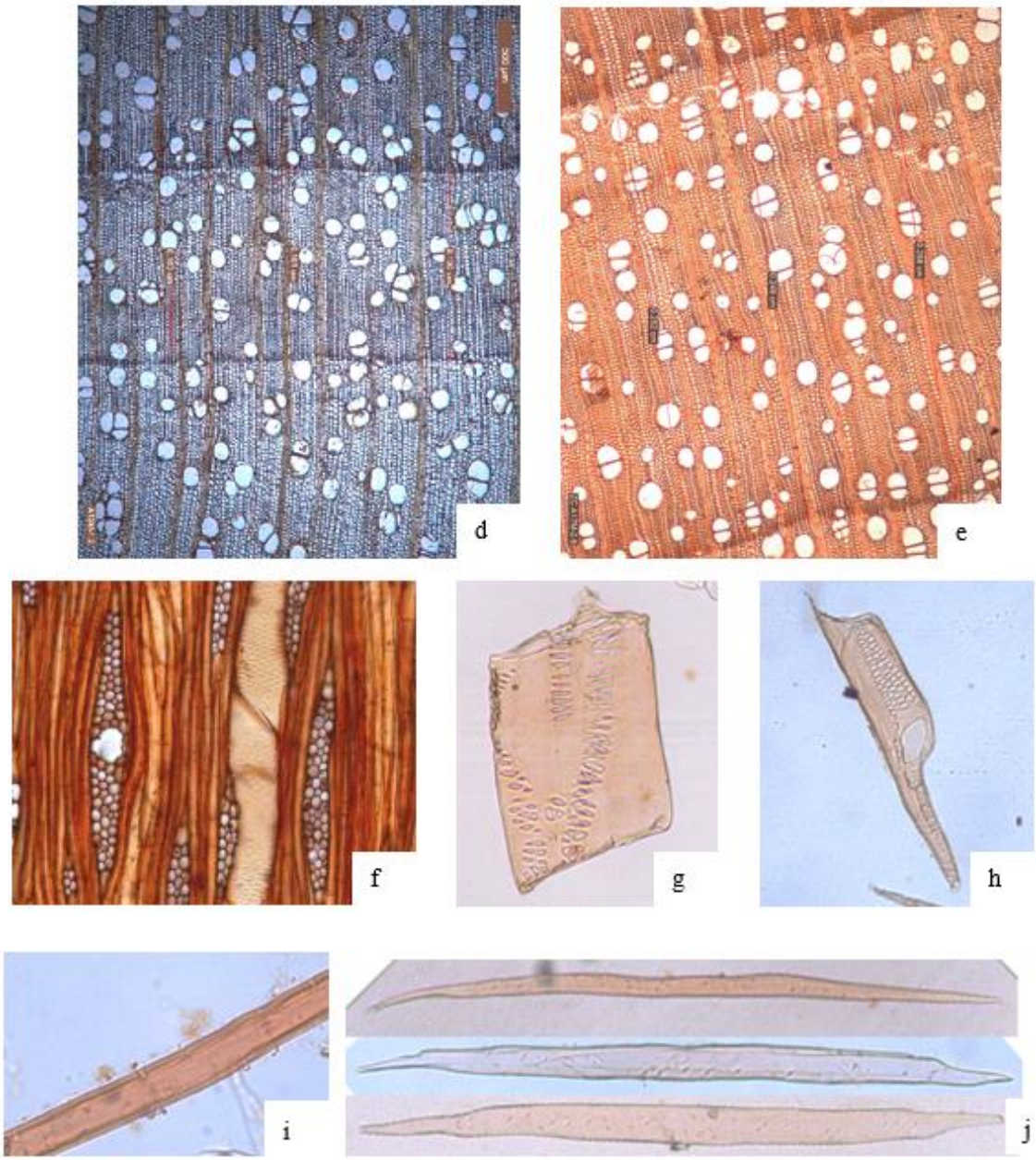

Figura 11. Características microscópicas de la madera *Bursera linanoe*. d y e. corte transversal con zonas de crecimiento (barra indica 500 µm con aumento 2.5x); f. corte tangencial con canal gomífero (10x) ; g y h. elementos de vaso; i. pared de la fibra; j. tipos de fibras.

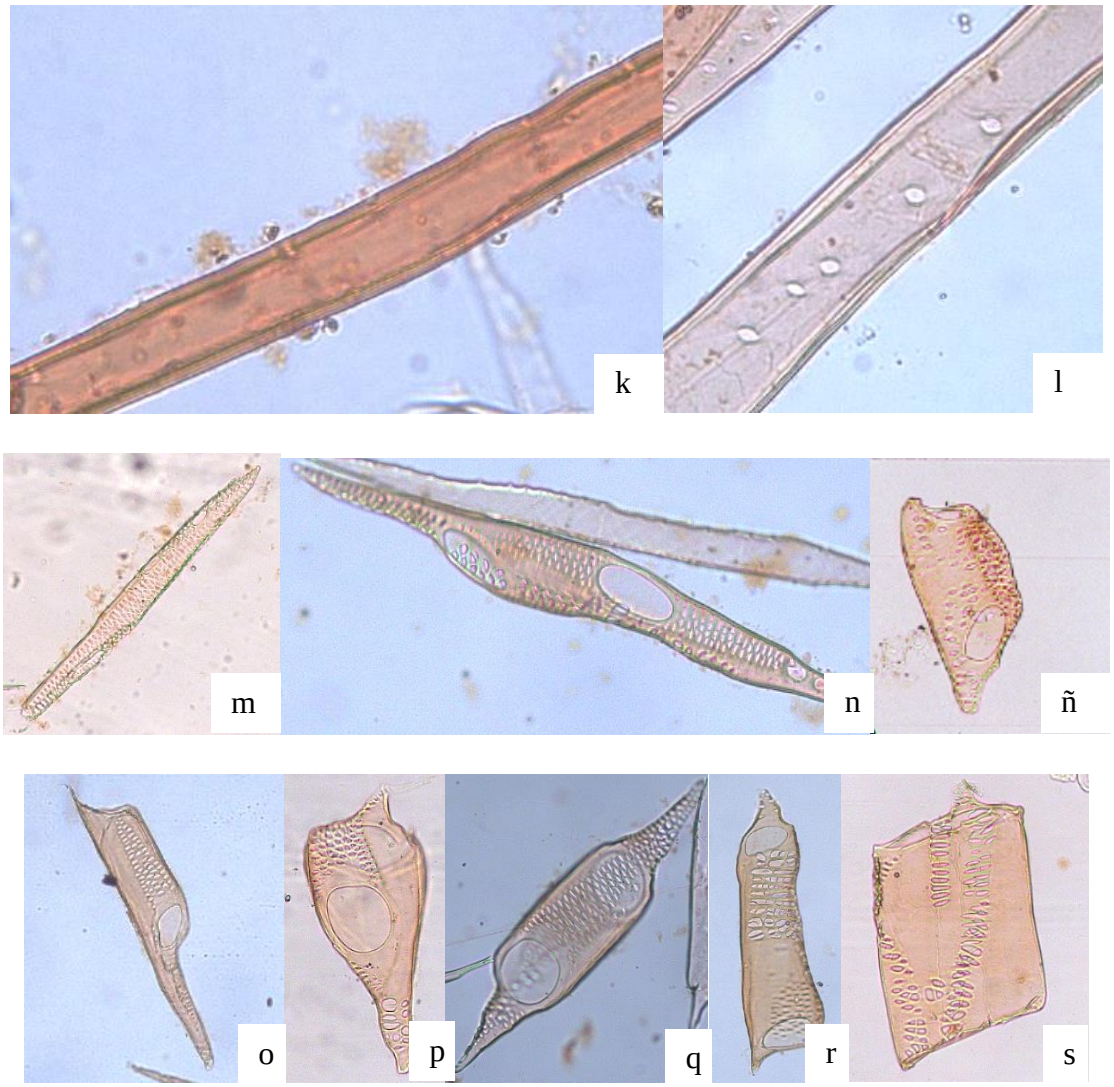

Figura 12. Características generales de las fibras y elementos de vaso de *B. linanoe*. k= detalle del diámetro de fibra; l= puntuaciones de la fibra; m= tipos de fibras encontradas; n= formación de elemento de vaso; ñ, o, p, q, r y s= tipos de elementos de vaso terminales; y=elemento de vaso cilíndrico (diámetro de fibra= 40x, longitud de fibra y elementos de vaso 10 x).

4.5. Discusión

4.5.1. Características microscópicas

Sexo. No se encontraron diferencias significativas para linaloe respecto al diámetro radial de vasos y número de poros por mm^2, distinto a lo reportado por Zheng y Cheng, 1998, quienes

reportan diferencias en estas variables en especies dioicas (*Bischofia javanica, Helium lappaceum* y *Nephelium lappaceum).* Los autores mencionados remarcan en sus resultados menor número de fibras y traqueidas más pequeñas en los machos, atribuyéndolo tal vez a una mayor fuerza de soporte mecánico en las hembras para tolerar el peso de los frutos; en los datos analizados para *B. linanoe* las hembras poseen los valores más altos en cuanto a fibras.

Aunque no presentó diferencias significativas NP, numéricamente las hembras presentan mayor número de poros en comparación con los otros sexos; dentro de la clasificación de Tortorelli, 1956, las hembras presentan poros muy numerosos mientras que los machos y monoicos se clasifican como numerosos denotando a grandes largos una diferencia en la cantidad de elementos de vaso.

Los árboles machos presentan rayos de menor longitud ($P<0.0001$), mientras que los monoicos son menos anchos ($P=0.0017$), en contraste, con las hembras. Esto puede tener implicaciones en procesos de transformación de la madera.

No se encontraron diferencias entre el número de canales gomíferos por mm^2 1.33 y 1.5 para hembras y machos, distinto a lo reportado por Borja-de la Rosa *et al*., 2009 (2 y 1 para hembras y machos, respectivamente), atribuible a diferencias entre procedencias.

Las zonas de crecimiento se evidencian por una línea de fibras, estas zonas no presentaron diferencias significativas, sin embargo, los machos presentan mayor ancho (0.39 cm) que las hembras (0.27 cm) y los monoicos (0.29 cm), semejante a lo que reportan Borja-de la Rosa *et al*., 2009, mencionando que en promedio los machos presentan zonas más amplias (0.073 cm para hembra y 0.30 cm para machos).

De acuerdo a el trabajo de Olano *et al*., 2015, la diferencia entre sexos para esta variable puede estar relacionado con la producción de madera en los meses de mayor precipitación, considerando que los individuos femeninos muestran un uso del agua más oportunista.

De las trece variables evaluadas, cinco presentan diferencias significativas entre sexos, en estas poblaciones del estado de Guerrero. Pocos trabajos han contemplado el estudio de las características microscópicas de la madera considerando el efecto del sexo.

Sitios. Con respecto a la prueba de medias, las diferencias entra el sitio 1 y 2 se encuentran en las variables LF, DT, DL, L, DR y A, lo que nos muestra un efecto del sitio para la mitad de las variables evaluadas en este estudio. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas para el número de zonas de crecimiento, aunque numéricamente, tienen mayor amplitud en el sitio 2. Las variaciones de la anatomía de la madera entre sitios se adjudican a condiciones ecológicas o edáficas; también estas diferencias son atribuibles a la edad de los individuos y el genotipo.

En comparación con lo reportado por Juárez-Luke (2006), algunas muestras de Olinalá, Guerrero, presentan valores más altos en cuanto al número de rayos por mm^2, diámetro de poros, altura y ancho de rayos. Fuentes-López *et al*., 2014, reportan para la localidad de Iyocingo, fibras ligeramente más largas, con menores dimensiones en diámetro total, diámetro de lumen, grosor de pared, y longitud de los elementos de vaso respecto a los promedios generales de Atenango del Río.

Borja-de la Rosa *et al*. (2009), muestran resultados para poblaciones de Oaxaca con promedios mayores a los de este estudio, en las variables de la longitud de fibra, diámetro total de la fibra y rayos. Los datos de anatomía de la madera para las poblaciones de Atenango del Río presentan en promedio poros con mayor diámetro radial (85.56 µm) y en consecuencia un menor número de poros por unidad de área (20.43 poros por mm^2) respecto a la madera muestreada de las poblaciones de Oaxaca.

Las diferencias antes mencionadas se atribuyen en parte al método de evaluación debido a que en este trabajo se consideró material cercano a la médula y a la corteza del árbol.

En *Bursera linanoe* no existen estudios sobre el efecto del sitio, sin embargo esta variación ha sido analizada en otras latifoliadas, en donde las diferencias se centran en las características de las fibras y elementos de vaso (Moya y Tomazello-Fo, 2008; Yáñez-Espinosa *et al*., 2009). Este factor presenta en algunos estudios, la mayor variación respecto al componente total; explicando que las características de la madera son variables, dependiendo de factores como genotipo, condiciones de micrositio, metabolismo del individuo, así como los factores ambientales y ecológicos (Monteoliva e Igartúa, 2010), por

lo que el uso de la madera debe considerar la procedencia (Chávez-Romero, Aguilar-Rodríguez y Terrazas, 2010).

4.5.2. Densidad básica

Sexo. Aunque Borja-de la Rosa *et al*., 2009, mencionan que la madera de los individuos hembra es más pesada que en los machos (0.26 g/cm^3 para hembras en contraste con 0.25 g/cm^3 de los machos), en este estudio no hay diferencias significativas entre sexos, y dichos resultados se muestran en la Figura 4.

Sitios. En relación con los valores de densidad, éstos resultaron muy bajos (Figura 5): sitio 1 = 0.244 y sitio 2 = 0.232 g/cm^3, cercanos a lo reportado por Juárez-Luke (2006) para la población de Olinalá (0.26 g/cm^3) y que también coincide con lo reportado por Borja-de la Rosa *et al*., 2009, para poblaciones de Oaxaca. Es necesario mencionar que la información de Olinalá se obtuvo solo de dos muestras.

Por otro lado, Cruz-Cruz *et al*., (2009), menciona algunas diferencias con respecto al fuste limpio de los árboles, entre las poblaciones de linaloe de Oaxaca, Puebla y Guerrero, indicando que en estos dos últimos estados la altura del fuste limpio es mayor a los 2 metros, dicha característica podría influir en la constitución de la madera; atribuyéndolo a cambios genéticos derivados del aislamiento de las poblaciones.

Otra explicación que se le confiere al efecto del sitio en la densidad de la madera son las condiciones edáficas, de acuerdo con Vázquez-Cuecuecha *et al.*, 2015, existe una correlación negativa entre la densidad aparente del suelo y la de la madera, explicando que la poca exploración de las raíces afecta a la absorción de nutrimentos y agua.

La variación debida a los sitios constituye un componente importante, López-Locia y Valencia-Manzo (2001), desglosan que de la variación total de la densidad de madera en *P. greggi* existe una variación del 13% entre poblaciones y del 24% entre arboles dentro de poblaciones, caso similar a lo reportado en *Cedrela odorata* con diferencias significativas en estos niveles (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012); de lo que se destaca, para fines de mejoramiento o manejo, poder seleccionar genotipos e índices de sitio destacables.

4.6. Conclusiones

El efecto del sexo de los árboles en el linaloe tiene efectos significativos para cuatro de las variables evaluadas en este estudio, los monoicos son los que presentan estas diferencias. Las características anatómicas de la madera varían entre sitios, el sitio 2 presenta mayores dimensiones. Las variables de longitud de fibra, diámetro total de fibra, diámetro de lumen y altura de rayos presentan diferencias significativas para los factores sexo y sitio. Para esta especie, es necesario obtener un conocimiento integral en la formación de madera de cada sexo, incursionando quizás en el análisis de procesos fisiológicos como tasas de crecimiento o asimilación de nutrientes.

4.7. Literatura citada

Borja-de la Rosa, A.; M. Fuentes-López; E. Cruz-Cruz; V. Mariles-Flores; D. Vargas-Alvarez; D. Ayerde-Lozada; F. Solares-Arenas; M. Gómez-Cárdenas; S. Orozco-Cirilo; J. F. Castellanos Bolaños; V. Serrano-Altamirano. 2009. Características tecnológicas de la madera de linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina. *In:* Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvares (Comp.) 2009. Fundamentos técnicos para el manejo de poblaciones naturales de Linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderon & Medina) en México. INIFAP-Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca. México. Libro Técnico 14: 222-244.

Chávez-Romero, D. M., S. Aguilar-Rodríguez, T. Terrazas. 2010. Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). Madera y bosques, 16 (2): 69-87.

Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvares (Comp.). 2009. Fundamentos técnicos para el manejo de poblaciones naturales de Linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderon & Medina) en México. INIFAP- Campo

experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca. México. Libro Técnico 14: 14-15.

Emebiri, L.C., y M.I. Nwufo. 1996. Ocurrence and detection of early sex-related differences in *Telfairia occidentalis*. Sex plant reproduction, 9(3): 140-144.

Espina Lizana, A. I. 2006. Densidad básica de la madera de Eucalyptus globulus en dos sitios en Chile. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile. 25 p.

Fuentes-López, M. E., J.A. Honorato-Salazar, R. Flores-Velázquez y J.C. Tamarit-Urias. 2014. Características anatómicas de la madera de linaloe (*Bursera linanoe*). CIRGOC. INIFAP, Folleto Técnico 78: 60 p.

Fuentes-López, M. E., J.C. Ayala-Sosa, R. Flores-Velázquez, E. Cruz-Cruz, N. Carrillo-Ávila, y J.C. Tamarit-Urias. 2011. Linaloe [*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina] una especie con importancia económica. CIRGOC. INIFAP, Folleto técnico 56: 54 p.

Gutiérrez-Santiago, J.; J. Jasso-Mata, S. A. Queenborough, M. Soto-Hernández, J. Rzedowski, M. Jiménez-Casas y C. R. Castillo-Martínez. 2016. Clasificación sexual de linaloe (*Bursera linanoe*, Burseraceae) e implicaciones productivas de aceite esencial, en tres poblaciones naturales de Guerrero, México. Agroprodutividad, 9 (3): 66-72.

Gutiérrez-Vázquez, B. N., E.H. Cornejo-Oviedo, M. Gómez-Cárdenas y M. H. Gutiérrez-Vázquez. 2012. Variación y predicción de la densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L. Revista Fitotecnia Mexicana, 35(5):87-90.

Jayawickrama, K. 1992. Variaciones de las densidades de la madera de *Pinus radiata*, con énfasis a la producción de pulpa y papel.

Juaréz-Luke, N. R. 2006. Estado actual del conocimiento de *Bursera linanoe*. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, 144 p.

Hernández-Vásquez, R., E. Cruz-Cruz, G.O. Díaz-Zorrilla, M. I. Pérez-León, S. Lozano- Trejo y V. A. Velasco-Velasco. 2013. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de

linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (6): 1119-1128.

Hersch-Martínez, P. 2005. Linaloe. *In:* C. López, S. Chanfón y G. Segura, eds. La riqueza de los boques mexicanos: más allá de la madera. SEMARNAT, : 25.

Instituto Nacional Estadística y Geografía. 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Atenango del Río, Guerrero clave geoestadística 12008. 10 p.

Lloyd D.G. y C. J. Webb. 1977. Secondary sex characters in plants. Botanical Review, 43: 177-216.

López-Locia, M. y S. Valencia-Manzo. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus gregii* Engelm. del norte de México. Madera y Bosques, 7(1):37-46.

Monteoliva, S. y D. V. Igartúa. 2010. Variación anatómica de la madera de *Acacia melanoxylon* implantada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Agronomía, 109 (1): 1-7.

Montesinos-Torres, D. 2007. *Juniperus thurifera*: una especie dioica, vecera y relíctica. Ecosistemas, 16:169-182.

Moya, R. y M. Tomazello-Fo. 2008. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) trees at different ecological conditions in Costa Rica. Revista de Biología Tropical, 56(2): 689-704.

Navarro-Martínez, J., R. Machuca-Velasco y A. Borja-de la Rosa. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de tierra colorada, Guerrero, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 11(1): 73–82.

Rzedowski, J., R. Medina Lemus y G. Calderón de Rzedowski. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan (México). Acta Botánica Mexicana, 66: 23-151.

SAS. 2002. SAS User´s Guide. Ver. 9.0. SAS. Institute. Cary, N. C. USA.

Obeso, J. R. 2002. The costs of reproduction in plants. New Phytologist, 155: 321-348.

Olano, J. M.; A. I. García-Cervigón, A. Arzac y V. Rozas. 2015. Intra-annual wood density fluctuations and tree-ring width patterns are sex- and site-dependent in the dioecious conifer *Juniperus thurifera* L. Trees, 29:1341–1353.

Vázquez-Cuecuecha, O. G., J. A. Ramírez Flores, E. García Gallegos, E. M. Zamora-Campos. 2015. Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. Madera y Bosques, 21(1): 129-138.

Yáñez-Espinosa, L., G. Ángeles, J. López-Portillo y S. Barrales. 2009. Variación anatómica de la madera de *Avicennia germinans* en la Laguna de la Mancha, Veracruz, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, (85): 7-15.

Zheng X. F. y H.P Cheng. 1998. Structural Comparison of Dioecious Wood among Three Species of the Broadleaved Trees. Acta Botanica Yunnanica, 20(4): 424-428.

Zobel B.J. y J. T. Talbert. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. 545 p.

ANEXOS

Cuadro 14. Características microscópicas generales de la madera de *B. linanoe* en Atenango del río, Guerrero.

Elementos vasculares							
Distribución	Agrupación	Valor	Núm./mm^2	Diámetro µm N=1260	Longitud µm **N=540**	Puntuación	Placa perforada
Difusa	Múltiples, hasta 6 poros juntos, algunos son solitarios	Máximo	35.00	162.98	672.54	Alternas	Simple
		Media	20.43	85.56	408.28		
		Mínimo	9.00	26.39	162.50		
		D.E.	5.98	22.32	94.02		
Clasificación		Numerosos *		Muy pequeños*	Moderadamente cortos**		
Fibras N=1080							
Valor	Longitud de fibras µm	Diámetro del lumen µm		Diámetro de fibra µm		Grosor de pared celular	
Máximo	1149.90	42.81		45.28		10.93	
Media	661.07	22.88		27.30		4.42	
Mínimo	327.86	8.47		12.16		1.44	
D.E.	138.14	5.86		5.78		1.55	
Clasificación	Cortas***			Finas***			
Parénquima							
Radial							Axial
Valor	Núm./mm^2	Altura	Ancho N=2340	Tipo	Clase	Tipo	
Máximo	25.60	651.30	84.43	Heterogéneos y homogéneos	Multiseriados, raramente uniseriados	Apotraqueal difuso y paratraqueal escaso	
Media	12.39	264.91	39.97				
Mínimo	6.80	97.84	16.11				
D.E.	3.77	89.43	10.07				
Clasificación	Muy numerosos***	Bajos	Moderadamente angostos				
Contenidos celulares							
Elemento de vaso	Parénquima axial			Parénquima radial			Fibras
Aceites	Aceites		Aceites	Canales gomíferos 1.44 (núm./ mm^2) Mínimo= 0 Máximo= 2.5 mm^2			Aceites

*Jane, F. W. 1970. The structure of wood. 2ª edition. Adam & Charles Black, 195-233.

** Terrazas S., T. 1984. Proposición para clasificar el tamaño de algunas estructuras de madera de angiospermas mexicanas. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 116 p.

*** Tortorelli, L. A. 1956. Maderas y Bosques Argentinos. Orientación gráfica editora, Anexo I. 95.

Cuadro 15. Características microscópicas generales de la madera de *B. linanoe* en los sitios de estudio.

VARIABLE	SITIO	N	MEDIA	C.V.	D.E.	MÁXIMA	MÍNIMA
Fibra							
Longitud (µm)	1	540	643.63	22.48	144.69	1147.37	328.95
	2		678.50	19.02	129.06	1149.90	327.86
Diámetro total (µm)	1		26.85	21.63	5.80	45.28	12.16
	2		27.74	20.66	5.73	44.85	13.80
Diámetro de lumen (µm	1		22.40	26.39	5.91	42.31	8.47
	2		23.35	24.78	5.78	41.38	9.15
Grosor de pared celular (µm)	1		4.44	37.26	1.65	10.93	1.44
	2		4.39	32.97	1.44	10.09	1.68
Vasos							
Longitud (µm)	1	270	390.87	24.00	93.81	672.54	162.50
	2		425.68	21.40	91.12	625.93	205.59
Diámetro radial (µm)	1	630	83.59	25.67	21.46	161.11	26.91
	2		87.54	26.27	23.00	162.98	26.39
Poros por mm^2	1	36	20.97		6.13	34.00	9.00
	2		19.88		5.87	35.00	12.00
Rayos							
Altura (µm)	1	1170	256.38	36.18	92.70	651.30	22.29
	2		272.95	31.51	86.01	636.43	28.53
Diámetro (µm)	1	1170	40.27	24.24	9.76	77.96	16.45
	2		39.67	26.14	10.37	84.43	16.11
Rayos por mm^2	1	114	12.57	38.35	4.82	29.00	6.00
	2		10.92	18.91	2.06	18.00	7.00
Canal gomífero por mm^2	1	90	1.38	55.24	0.76	2.5	0.00
	2		1.50	47.40	0.71	2.5	0.50
Zonas de crecimiento							
Longitud (cm)	1	99	0.24	55.55	0.13	0.63	0.03
	2	88	0.30	53.13	0.16	0.84	0.05
Número	1	12	5.50	49.98	2.74	10.00	1.00
	2	18	4.88	41.44	2.02	10.00	1.00

N= tamaño de muestra, C.V. = Coeficiente de variación, D.E. = Desviación estándar

Cuadro 16. Características microscópicas generales de la madera de *B. linanoe* entre sexos.

VARIABLE	SEXO	N	MEDIA	C.V.	D.E.	MÁXIMA	MÍNIMA
Fibra							
Longitud (µm)	H	360	676.24	21.00	142.02	1149.90	328.95
	M		668.50	20.71	138.44	1130.02	337.30
	K		638.46	20.55	131.21	1115.76	327.86
Diámetro total (µm)	H		26.85	21.67	5.82	45.28	12.81
	M		26.80	20.22	5.42	44.24	13.17
	K		28.25	21.23	5.99	44.94	12.16
Diámetro de lumen (µm)	H		22.23	26.10	5.80	42.31	9.15
	M		22.14	24.94	5.52	38.70	9.44
	K		24.26	24.85	6.03	41.96	8.47
Grosor de pared celular (µm)	H		4.62	35.72	1.65	10.40	1.54
	M		4.66	34.52	1.60	10.93	1.70
	K		3.98	32.50	1.29	9.30	1.44
Vasos							
Longitud (µm)	H	180	412.76	21.44	88.53	624.11	189.28
	M		394.78	25.11	99.14	625.93	162.50
	K		417.29	22.31	93.10	672.54	207.20
Diámetro radial (µm)	H	420	85.12	24.16	20.57	141.71	26.91
	M		84.25	25.96	21.87	156.62	26.39
	K		87.32	27.82	24.29	162.98	27.97
Poros por mm^2	H	27	21.96	24.37	5.35	35.00	13.00
	M	32	17.56	30.02	5.27	30.00	8.00
	K	27	20.51	31.42	6.44	34.00	10.00
Rayos							
Altura (µm)	H	780	273.51	32.08	87.75	636.43	37.55
	M		253.83	36.41	92.43	651.30	97.84
	K		266.39	33.08	88.13	635.33	22.29
Diámetro (µm)	H	780	40.55	26.51	10.75	84.43	18.56
	M		40.41	24.68	9.97	77.96	16.45
	K		38.96	24.10	9.39	75.94	16.11
Rayos por mm^2	H	74	11.56	29.70	3.43	25.00	7.00
	M	68	12.73	37.11	4.72	29.00	7.00
	K	76	10.93	24.78	2.70	20.00	6.00
Canal gomífero por mm^2	H	60	1.33	59.25	0.79	2.50	0.00
	M		1.50	47.53	0.71	2.50	0.50
	K		1.50	47.53	0.71	2.50	0.50
Zonas de crecimiento							
Longitud (cm)	H	57	0.25	52.46	0.13	0.56	0.05
	M	62	0.29	58.50	0.17	0.84	0.05
	K	68	0.26	53.30	0.14	0.61	0.03
Número	H	12	4.75	57.56	2.73	10.00	1.00
	M		5.16	42.75	2.20	9.00	2.00
	K		5.66	41.44	2.34	10.00	2.00

SEXO H: Hembra, M: Macho, K:Monoico; C.V.: Coeficiente de variación, D.E.: Desviación Estándar.