

CLASIFICACIÓN SEXUAL DE LINALOE (*Bursera linanoe*, Burseraceae) E IMPLICACIONES PRODUCTIVAS DE ACEITE ESENCIAL, EN TRES POBLACIONES NATURALES DE GUERRERO, MÉXICO

SEXUAL CLASSIFICATION OF LINALOE (*Bursera linanoe*, Burseraceae) AND PRODUCTIVE IMPLICATIONS FOR THE ESSENTIAL OIL, IN THREE NATURAL POPULATIONS IN THE STATE OF GUERRERO, MEXICO

Gutiérrez-Santiago, J.¹; Jasso-Mata, J.^{1*}; Queenborough, S.A.²; Soto-Hernández, M.³; Rzedowski, J.⁴; Jiménez-Casas, M.¹; Castillo-Martínez, C.R.⁵

¹ Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco, Ed. México. ² Tropical Resources Institute, Yale School of Forestry & Environmental Studies, New Haven, Connecticut, USA. ³ Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. ⁴ Instituto de Ecología, Pátzcuaro, Michoacán, Méx. Retired. ⁵ CENID-COMEF, INIFAP, Coyoacán D.F. México.

*Autor de correspondencia: jejama@colpos.mx

RESUMEN

Xochicopatl o linaloe (*Bursera linanoe*, Burseraceae) árbol endémico que habita la selva baja caducifolia en México. La extracción de sus frutos y tala de árboles de gran tamaño, para extraer sus aceites esenciales y artesanías, está limitando la capacidad de regeneración de sus poblaciones. Se documentan, floración, fructificación, diámetro y producción de aceites esenciales en tres poblaciones durante dos años. Se observaron flores unisexuales distribuidas en tres tipos sexuales. Las hembras predominaron y no se hallaron significativamente más árboles hembras que machos y monoicos combinados entre sitios ($p=0.8065$), los árboles dioicos hembra y macho se hallaron diamétricamente similares, sin embargo los árboles monoicos tienden a ser más anchos ($p=0.0193$). Durante la fructificación, las hembras mostraron menor variación en número de frutos producidos que los monoicos, sin embargo ambos sexos mostraron rendimiento similar de aceite esencial ($p=0.836$). Las poblaciones en Mezquitlán y Comala en Guerrero, México no resultaron estrictamente poligamodioicas, sino subdioicas. Los árboles hembra y macho son idóneos para producción de aceite esencial frutal, mientras que los monoicos son idóneos para producción de madera y resinas.

Palabras clave: Burseraceae, *Bursera*, Polimorfismo sexual, aceites esenciales.

ABSTRACT

Xochicopatl or linaloe (*Bursera linanoe*, Burseraceae) is a native tree that inhabits the low deciduous forest in México. The extraction of its fruits and felling of large trees, to extract essential oils and handcrafts, is limiting the capacity for regeneration of its populations. Flowering, fructification, diameter and essential oil production were documented in three populations for two years. Single-sex flowers were observed distributed into three sexual types. The females predominated and significantly more female trees than males and monoicous were not found between sites ($p=0.8065$); dioicous female and male trees were found to be diametrically similar, although the monoicous trees tend to be wider ($p=0.0193$). During fructification, females showed less variation in the number of fruits produced than the monoicous; however, both sexes showed similar yield of essential oil ($p=0.836$). The populations in Mezquitlan and Comala in Guerrero, Mexico, were not strictly polygamodioecious, but rather subdioicous. The female and male trees are ideal for production of the fruit essential oil, while the monoicous are ideal for the production of wood and resins.

Keywords: Burseraceae, *Bursera*, sexual polymorphism, essential oils.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 66-72.

Recibido: enero, 2016. **Aceptado:** marzo, 2016.

INTRODUCTION

Xochicopatl, linaloe o lavanda India es un árbol dioico, aromático, endémico y dominante en la selva baja caducifolia en México (Rzedowski *et al.*, 2004). Su madera, resinas y frutos se cosechan para obtención de aceites esenciales para uso en cosméticos, medicinas, rituales y artesanías, generando ingresos económicos para personas en zonas rurales pobres (Hernández-Vásquez *et al.*, 2013), sin embargo, están limitando la habilidad de reclutamiento en las poblaciones naturales, además de un porcentaje de germinación menor al 10% (Joy *et al.*, 2001), por lo cual estas poblaciones deben urgentemente ser gestionadas de manera sostenible (Hersch-Martínez, 2004). La investigación desarrollada hasta hoy en este tópico se ha centrado en la propagación sexual (Bonfil-Sanders *et al.*, 2008; Ramos-Ordoñez *et al.*, 2013), la propagación vegetativa para la restauración de áreas nativas (Bonfil-Sanders *et al.*, 2007; Castellanos y Bonfil, 2010), así como el manejo forestal (Hernández-Apolinar *et al.*, 2006). Sin embargo, poco se sabe acerca de la expresión sexual en *Bursera*, la variación en la proporción de sexos en floración, y los conductores de la variación en la producción de frutos y el contenido de aceite, en las poblaciones naturales, información necesaria para su manejo sostenible. Según Daly *et al.* (2011) en toda la familia Burseraceae, el género *Bursera* y subgénero *Bursera* se describen ejemplares bisexuales o en su caso con flores hermafroditas con alguna atrofia sexual, lo que las pudiera convertir en funcionalmente unisexuales, además el término bisexual ha sido confundido y empleado como un sinónimo del hermafroditismo, refiriéndose a nivel floral, de individuos o bien de población (Geber, Dawson y Delph, 1999) por lo que procuramos evidenciar esta disparidad y hacer una exploración de los rasgos sexuales y fenotípicos que pudieran esclarecer la estrategia reproductiva de linaloe. Teóricamente se argumenta que la mayoría de plantas dioicas no son totalmente dimórficas, y frecuentemente suelen tener grandes diferencias inter-sexuales en sus patrones de crecimiento y en la distribución proporcional de recursos para la reproducción (Lloyd y Webb, 1977). Hay un mayor costo de reproducción gamética en las hembras que en los machos (Darwin, 1877; Lloyd y Webb, 1977; Charnov, 1982) y este costo diferencial de reproducción entre los sexos tiene consecuencias que se expresan en diversas formas en diferentes plantas. Algunos estudios generalmente no han censado todo el potencial reproductivo individual ni seguido los mismos árboles durante diferentes épocas de floración (no más de dos años), de esta forma se ha documentado que algunos árboles tropicales no cambian su sexualidad, además algunas especies tropicales presentan inconstancia en la producción frutal (Queenborough *et al.*, 2007). Por tal motivo es necesario referir al diámetro normal (DN) en árboles sexualmente maduros, como un rasgo fenotípico que pudiera dar indicios de las diferencias intersexuales que expresa la especie de interés. Casi todas las partes de los árboles de linaloe, contienen terpenoides debido a su madera suave, sin embargo, varían en su concentración. Por ejemplo la cantidad de rendimiento de aceites a partir de la cascara del fruto seco, la parte cosechada sustentablemente en India (Joy *et al.*, 2001; Hersch-Martínez, 2004) es mucho menor (1.8%) que la obtenida de la madera (2.5-3.0%). Los frutos frescos producen 1.5-2.5% de aceite, mientras que los frutos secos producen 12.8%. El rendimiento de aceites esenciales obtenidos de las hojas es 0.15-0.25% (Joy *et al.*, 2001). Además, los frutos frescos

toman cerca de cinco horas para su destilación, mientras que los frutos secos toman más de 20-25 horas. El aceite de hoja tiene un olor dulce y volátil que contiene 65-70% acetato de linalilo (Adams y Bhatnagar, 1975; Joy *et al.*, 2001). Existen varias técnicas para extracción de aceites esenciales, las cuales difieren en sus características (Lahlou, 2004), sin embargo, la técnica de maceración por solvente orgánico, es una técnica de sencilla aplicación para la extracción de muchas muestras simultáneas (Singh, 2008). Al documentar la expresión sexual, de 150 árboles de *Bursera linanoe* de tres poblaciones durante dos años, se abordaron las siguientes preguntas: ¿Cuántos tipos sexuales de flores y cómo se distribuyen entre los árboles de las tres poblaciones a estudiar?; ¿El sexo de los árboles observados difiere en sus patrones de crecimiento diamétrico?; ¿Los sexos difieren en la cantidad de frutos y aceite esencial producido?

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción taxonómica de linaloe (Rzedowski *et al.*, 2004)

Nombre técnico: *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina; Nombres comunes: copalillo, linaloé, linanoé, ulinoé, inanué, linaloe, linalué, ulinalué, xochicopatl. 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 con frecuencia 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(15) cm de largo y 3 a 8(10) cm de ancho, peciolo de 1 a 3 cm de largo, viloso o esparcidamente glanduloso-pubérulo, foliolos (3)5 ó 7(11?), raquis con alas de margen entero, hasta de 2(2.5) mm de ancho de cada lado, notablemente más anchas hacia el extremo distal del entrenudo, peciólulos de 0.3 a 1 mm de largo, foliolos ovados a elípticos, lanceolados u oblongos, el terminal a menudo subróbico, de 1.2 a 3(4) cm de largo, de 0.8 a 1.8(2) cm de ancho, 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 el ápice de los dientes), de textura membranácea, algo brillantes en el haz, con venación prominente en el envés, con pelos de ca. 0.6 mm de largo y a menudo también acompañados de diminutos pelos glandulosos espaciados; inflorescencias racimoso-paniculadas, hasta de 6(8) cm de largo y hasta con 35 flores, aunque por lo general mucho más modestas, vilosas y glanduloso-pubérulas, bracteolas linear-subuladas, de ca. 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, filamentos de 1.5 a 2 mm de largo, anteras oblongas, de 0.9 a 1.2 mm de largo, gineceo vestigial; flores femeninas semejantes a las masculinas, pero con los pétalos de ca. 2 mm de largo, estaminodios con anteras de 0.7 a 0.8 mm de largo, ovario bilocular, estilo evidente, a veces con dos ramas libres casi hasta la base, estigmas 2; pedúnculos fructíferos hasta de 4 cm de largo, pedicelos ligeramente engrosados, hasta de 9(12) mm de largo, frutos hasta 8 por infrutescencia, pero no pocas veces solitarios, bivalvados, obovoides y a menudo atenuados en el ápice, pero algo comprimidos, de 9 a 11 mm de largo, de ca. 8 mm de ancho, 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, la porción expuesta negra. Habitante relativamente frecuente del bosque tropical caducifolio y algunos matorrales xerófilos, 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 es una especie endémica del sur de México, conocida de Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca, México.

Características ecológicas de los sitios muestreados

Se muestrearon tres sitios de linaloe en selva baja caducifolia de la vertiente del Río Balsas, estado de Guerrero, México: Uno de los sitios (Sitio A) en el paraje "El calvario" Mezquitlán, Municipio de Copalillo (18° 01' 17.30" N, 98° 56' 54" O), este lugar se encuentran perturbado debido a la cercanía de la población, extracción del fruto, madera y pastoreo. Dos sitios mejor conservados en Comala de Gómez, Municipio de Atenango del Río (18° 09' 18.40" N, 99° 04' 05.47" O) en el paraje "Llano la herradura" a riveras del Río Atenango (Sitio B) y en el paraje "La peña" (sitio C). Los tres sitios entre laderas con disposición preferentemente este a una altitud entre 650 a 750 m, suelo muy pobre, pedregoso-arenoso en pendientes pronunciadas. En 2014 y 2015, fueron enumerados con aerosol 150 árboles de linaloe, con ayuda de la clave de identificación de Rzedowski *et al.* (2004), dos guías miembros de la comunidad y por medio del aroma de las hojas, se tomaron al azar 50 árboles por sitio y se geoposicionaron con un (Gpsmap 76S garmin®), se registró también la altura usando una pistola haga®, y diámetro normal (1.3 m) con una cinta diamétrica.

Rasgos sexuales de las flores y sexado de árboles

Se observó la floración en rodales naturales en mayo con las primeras lluvias anuales de 2014 y 2015 para determinar el sexo en árboles de linaloe. Durante este fenómeno el ambiente es muy húmedo debido a la lluvia, y es casi nula la posibilidad de reproducción anemófila de la especie, por lo que los agentes polinizadores aprovechan al máximo la luz del sol para la recolecta de polen y néctar. El sexado floral se realizó identificando cuidadosamente con ayuda de binoculares y un vernier, los órganos reproductivos de acuerdo a (Rzedowski *et al.*, 2004), y se observó el subsecuente desarrollo del fruto hasta la madurez para verificar su sexo en agosto 2014.

Cosecha de frutos

Durante agosto de 2014 los frutos maduros desarrollaron una mancha roja, por lo que se cosecharon en su totalidad los árboles identificados como hembras y monoicos, con ayuda de una garrocha y sacos de tela para mantener la integridad de los frutos frescos, se pesaron y etiquetaron todos los frutos a pie de cada árbol y se tomó una pequeña muestra (~50 g) en una bolsa plástica herméticamente cerrada que se mantuvo en una hielera y se

trasladó a los laboratorios generales del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (19° 19' N, 98° 53' O, 2250 m) para la posterior extracción de aceites esenciales por muestra, el resto se recuperó para programas de producción de plántulas y extracción de aceites de las comunidades. Debido a la dehiscencia y la rápida oxidación de las bayas solo se pudieron cuantificar por completo los frutos por árbol de cinco monoicos y el número de frutos por kg de dos monoicos y 23 hembras para así extrapolar con los datos de cosecha total en kilos.

Extracción de aceites esenciales

La pequeña muestra tomada de frutos (~50 g) a partir de 84 árboles en agosto 2014 se refrigeraron a 4 °C hasta septiembre de 2014 para evitar degradación de los compuestos volátiles y así extraer adecuadamente de aceites esenciales, realizado por medio de un disolvente volátil (n-hexano), en los laboratorios generales del Colegio de Postgraduados. Cada muestra de fruto fue pesada en una balanza digital y fue macerada por 10 s en un mortero cerámico, adhiriendo el solvente orgánico en la misma proporción en peso de muestra. Las muestras fueron selladas en frascos de vidrio, se agitaron una vez al día durante cinco días. La matriz

orgánica fue concentrada mediante un rota evaporador Büchi® con vacío a 40 °C, hasta evaporar la mayor cantidad de disolvente posible y fue decantado a viales de 10 ml previamente pesados en escales de precisión con una pipeta Pasteur. Se dejó evaporar el resto del solvente a temperatura ambiente en una campana de extracción. Para obtener el rendimiento de aceites kg^{-1} de fruto en cada árbol, se tomó el peso del aceite libre de solvente (g) de la pequeña muestra, y se dividió por el peso de muestra (g), para convertirlo a kg se dividió entre 1000 y luego fue multiplicado por 100 para obtener porcentaje. Para los datos del sexado, se empleó el paquete estadístico R para el análisis de datos obtenidos, en el cual se realizaron pruebas de proporción de sexos en los diferentes sitios, así como una regresión lineal para modelar la relación sexo y patrón de crecimiento diamétrico de un solo año (2015). Para nuestro análisis de datos de frutos y aceites esenciales se empleó Excel y el paquete estadístico R en el que se realizaron análisis del peso, número total de frutos y por kg árbol⁻¹, además del rendimiento de aceite esencial individual para el que se comparan 30 muestras de árboles diferentes de dos sexos en tres sitios para análisis de varianza (hembras=15; monoicas=15).

RESULTADOS

Sexado de árboles

En todos los árboles florecidos solo se hallaron dos diferentes tipos de flor: 77 árboles con flores pistiladas (hembra), algunos con escasas flores con estaminodios que se omitieron al considerarlas no funcionales, 29 árboles con solo flores estaminadas (macho), y 44 árboles con flores preferentemente estaminadas y con escasos frutos (monoicos) incipientes. En la prueba de proporción no se hallaron diferencias significativas entre el número de árboles hembras, machos y monoicos combinados ($p=0.8065$) ni tampoco en la proporción de hembras entre los sitios ($p=0.6023$) (Figura 1).

El Diámetro normal promedio del total de árboles hembra fue 21.5 ± 2 cm, en árboles macho 20.9 ± 3.3 cm, y monoicos 26 ± 2.7 cm. Los árboles monoicos fueron 5 cm más grandes que los árboles hembra y macho (Figura 2). Sin embargo, se hallaron también diferencias significativas en el diámetro normal (DN) entre sitios ($p=1.74e-11$) y entre sexos ($p=0.00084$) (Cuadro 1).

El árbol de mayor DN es monoico y se halló en el sitio B (49 cm) mientras que el de menor DN es hembra y se halló en el sitio C (5 cm) por lo cual el monoico de mayor diámetro es 90% más grande que la hembra más pequeña. La hembra de mayor DN se halló en el sitio B (39 cm), mientras la de menor diámetro se halló en el sitio C (5 cm). El macho de mayor DN se halló en el sitio A (40 cm), mientras que el más pequeño en los sitios B y C (10 cm). EL monoico de mayor DN se halló en el sitio B mientras que el de menor porte se halló en los sitios B y C (10 cm). Los patrones de crecimiento diamétricos de 150 árboles analizados por tipo sexual mediante regresión lineal se observa que árboles dioicos (hembra y macho) se asemejan, sin embargo, los árboles monoicos difieren a los dioicos en 5 cm ($p=0.0106$) (Figuras 2 y 3, Cuadro 2).

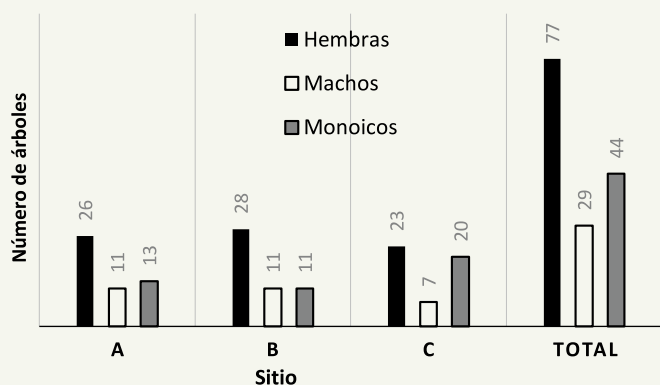


Figura 1. Número de árboles por sexo de *Bursera linanoe* en tres poblaciones naturales muestreadas y en total. (A=Mezquitlán, B=Comala I, C=Comala II).

Análisis de fructificación y aceites esenciales

Durante el sexado de 150 árboles, 50 por sitio, se observaron 121 con flores femeninas y algunos con frutos incipientes (77 hembras y 44 monoicos), de los 121 finalmente solo 84 árboles produjeron frutos bien desarrollados (66 hembras y 18 monoicos) (Figura 4) debido posiblemente a diferentes razones como la inconstancia frutal o año semillero, no polinización, predación o herbivoría, etcétera.

De los 30 árboles en que se contabilizó el número de frutos, se registró a la hembra con mayor cantidad de fru-

tos en el sitio C con 59,248 frutos, en el mismo sitio la hembra con menor cantidad de frutos con 347, lo que representó 99.4% de diferencia productiva. En los árboles monoicos en el sitio B se halló el monoico con mayor cantidad de frutos 3,456, mientras que en el sitio A se halló el de menor número de frutos con apenas dos, lo que representó 99.9% de diferencia productiva. La hembra más productiva fue 84% más productiva que el monoico más productivo. La varianza en el número de frutos entre las hembras fue mucho menor en comparación a los monoicos, lo que sugiere mayor variabilidad de número de frutos entre árboles monoicos y una tendencia relativamente constante en la producción de frutos en hembras (Figura 5). Quince árboles hembras no produjeron más peso en frutos que los quince árboles monoicos dentro de los tres sitios ($p=0.074$) (Cuadro 3, Figura 5).

Cuadro 1. Varianza del DN de árboles de *Bursera linanoe* de acuerdo a sexo y sitio.

	Df	Suma Cuad.	Promedio Cuad.	F valor	Pr(>F)	Signif.
Sexo	2	835	417.7	7.44	0.00084	***
Sitio	2	3316	1658.1	29.53	1.74e-11	***
Residuales		145	8141	56.1		

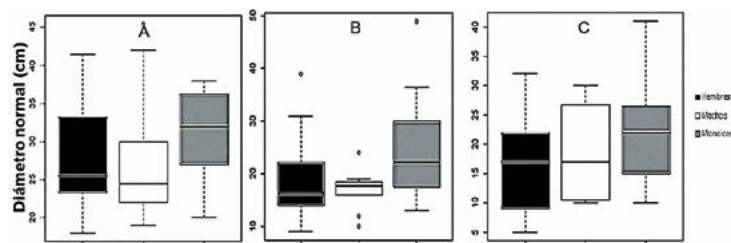


Figura 2. Comparación sexual del diámetro normal en 150 árboles de *Bursera linanoe* entre sitios: A (Mezquitlán), B (Comala I), C (Comala II).

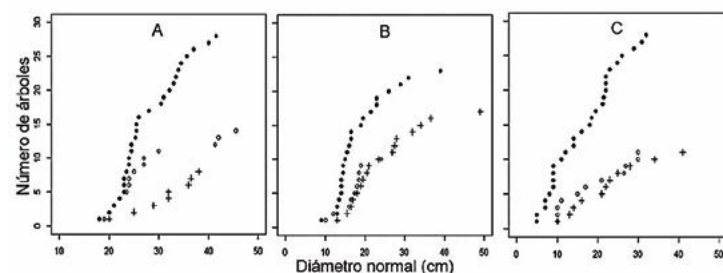


Figura 3. Distribución acumulativa del diámetro normal de árboles de *Bursera linanoe* muestreados en Guerrero. Los círculos rellenos (hembras), los círculos vacíos (machos) y cruces (monoicos) (A=Mezquitlán) 26 hembras, 11 machos y 13 monoicos, (B=Comala I) 23 hembras, 7 machos y 20 monoicos y (C=Comala II) 28 hembras, 11 machos y 11 monoicos.

Cuadro 2. Regresión lineal del DN por tipo sexual de 150 árboles de *Bursera linanoe*.

	Estimación	Error Std.	t valor	Pr(> t)	Signif.
Hembra	21,4792	1,0145	21,172	<2e-16	***
Monoico	4,3571	1,6824	2,59	0,0106	*
Macho	-0,5965	1,9396	-3,08	0,7589	

Significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1. F=4.056, p=0.0193.

No se hallaron diferencias significativas en el rendimiento de aceites esenciales a partir de quince árboles hembras contra quince árboles monoicos dentro de los tres sitios ($p=0.9244$) (Cuadro 4, Figura 6).

En las dos temporadas de floración se registró la observación de solo dos tipos predominantes de flores unisexuales (estaminadas y pistiladas) y frutos, manifestados en tres individuos (hembras, machos y monoicos) en las tres poblaciones estudiadas, sin embargo, a pesar de que los monoicos mostraron escasos frutos, no se precisó si las semillas son viables por lo cual no se puede descartar la posibilidad de frutos a partir de flores bisexuales (Rzedowski et al., 2004), el tamaño milimétrico de éstas pudo pasar desapercibido a la vista, aunque también pudieron ser muy reducidas en número, no polinizadas, no funcionales, o nulas, sin embargo, se podría sugerir un sistema sexual subdioico (Geber et al., 1999; Yakimowski y Barrett, 2014) debido a la fructificación en los monoicos, lo cual contrasta con lo señalado por Rzedowski (2004)

quien clasifica las poblaciones en cuencas altas del Papaloapan, Oaxaca, en dioicos o poligamodioicos. Aunado a lo anterior, la proporción sexual encontrada en este estudio fue similar entre sitios, donde fueron predominantes las hembras (~50%), seguidas de los monoicos

(~30%), haciendo inconstantes a los machos (~20%), lo cual según Yakimowski y Barrett (2014) caracteriza a la subdioecia. En este estudio, árboles monoicos tienden a ser más grandes en diámetro que los dioicos (machos y hembras) de las tres poblaciones. En muchas especies de árboles dioicos, las hembras son más anchas en diámetro que los machos (Darwin, 1877; Lloyd y Webb, 1977; Charnov, 1982; Queenborough *et al.*, 2007). A pesar de esto en nuestro estudio, las hembras no fueron más anchas que los machos. A la fecha no se ha reportado alguna investigación similar que señale las diferencias en crecimiento diamétrico en función del sexo en especies forestales subdioicas. Una posible explicación de esta diferencia observada la menciona Lloyd (1984) quien escribe que las plantas hermafroditicas (monoicas) propagan sus genes en ambas funciones; masculinas y femeninas, habiendo una fijación total de cualquier progenitor de los dos roles sexuales que siempre es aditiva. Los resultados tienen implicaciones para conservación y manejo sustentable de esta especie con beneficios económicos, especialmente en los individuos monoicos, más aún, la dinámica poblacional se verá afectada por la proporción de sexos, pues si la frecuencia de hembras fuera baja, daría oportunidad a monoicos de ganar más aptitud mediante la inversión de óvulos (Yakimowski y Barrett, 2014). Debido a esto la estabilidad de la población a largo plazo requiere una administración focalizada para producción de aceites esenciales, madera y resinas sin descuidar la presencia de machos y hembras lo suficientemente cerca para afectar la transferencia de polen y de esta forma asegurar un mayor éxito reproductivo (House, 1992). Hasta ahora no se había cuantificado y comparado la fructificación en casos de subdioicismo en estos árboles tropicales cuando se sabe teóricamente que árboles machos producen polen y no frutos, sin embargo, la presente complejidad hallada en los tres sitios de muestreo, guía a discriminar a los árboles macho para observar el comportamiento de la fructificación y la implicación en producción de aceites esenciales a partir del fruto. La producción frutal en este caso depende del sexo y los recursos ecológicos disponibles, así como el polen disponible de los machos y monoicos (Peres *et al.*, 2003). Según Joy *et al.* (2001) los frutos frescos producen 1.5-2.5% de aceites esenciales lo cual coincidió cercanamente al presente estudio con extracción mediante solvente

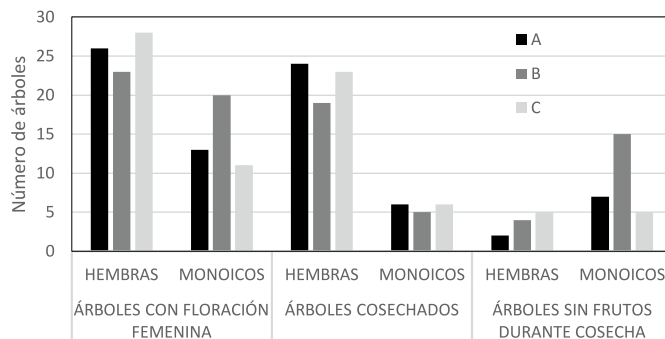


Figura 4. Monitoreo de fructificación en árboles de linaloe (*Bursera linaloe*) por sexo en tres sitios. Cosecha 2014 (n=121) distribuidos por sitio (A) Mezquitlán, (B) Comala I y (C) Comala II.

Cuadro 3. Varianza en peso de frutos de 30 árboles de *Bursera linaloe*.

	Df	Suma Cuad.	Promedio Cuad.	F valor	Pr(>F)	Signif.
Sexo	1	71.19	71.194	32.573	0.07478	.
Residuales	82	1792.26	21.857			

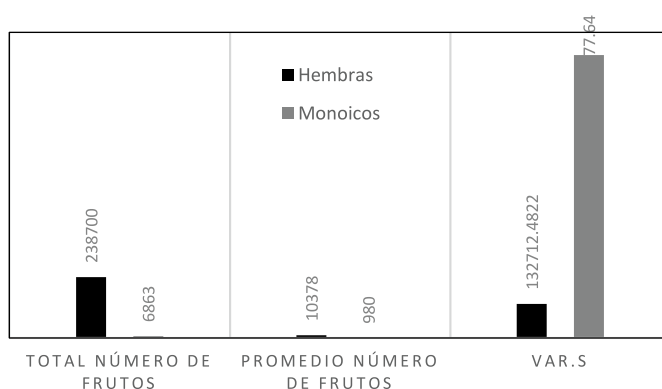


Figura 5. Varianza muestral, número total y promedio de frutos bien desarrollados de árboles hembra (23) y monoicos (7) de *Bursera linaloe*.

Cuadro 4. Varianza en porcentaje de aceites esenciales de 30 árboles de *Bursera linaloe*.

	Df	Suma Cuad.	Promedio Cuad.	F valor	Pr(>F)	Signif.
Sexo	1	0.013	0.01277	0.0091	0.9244	
Residuales	82	115.610	1.4097			

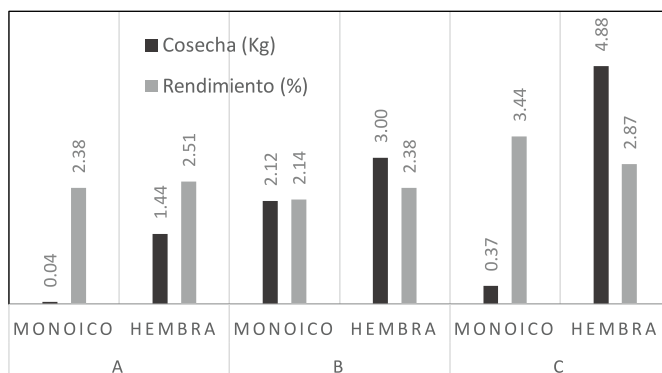


Figura 6. Comparación de la producción frutal y rendimiento de aceites esenciales de 84 árboles de *Bursera linaloe* en tres sitios de muestreo.

orgánico. Además es necesario descartar las diferencias en rendimiento de aceites esenciales entre sexos, pues en este estudio no se registró significancia en porcentaje de aceites esenciales, sin embargo, las hembras atraen mayor cosecha de estos frutos. Un peligro a largo plazo en la sustentabilidad de una población viene si un sexo es etiquetado como preferente entre los otros, la sobre extracción de estos individuos podrían tener profundas implicaciones para su regeneración a largo plazo y existe un peligro de efecto alélico si el tamaño de la población llega a ser muy reducido (House, 1992) como en poblaciones de *Bursera* (Rzedowski et al., 2004). La intensa extracción de frutos interrumpe la regeneración, altera la estructura de la población y dramáticamente altera los porcentajes de crecimiento de las poblaciones (Peres et al., 2003), por lo que debería considerarse una producción de aceites esenciales en forma sustentable. Debido a ello para la estabilidad de la población a largo plazo requiere la presencia de machos y hembras lo suficientemente cerca para afectar la transferencia de polen. Una posible solución a la intensa cosecha de frutos, sería plantar mayor cantidad de árboles macho o la polinización asistida que pudieran proveer suficiente fruto para satisfacer la demanda e incrementar algo de regeneración debido a que los árboles son de porte bajo, si el polen es un factor limitante.

CONCLUSIONES

En los sitios muestreados de linaloe, se documentan únicamente flores unisexuales, flores estaminadas en árboles machos, flores pistiladas en árboles hembras, y se supone que ambas flores unisexuales en árboles monoicos. Aunque previas sugerencias indican presencia de individuos con flores hermafroditas o con órganos sexuales atrofiados. De acuerdo con datos registrados los árboles dioicos son de menor porte diamétrico que los árboles monoicos. Las poblaciones de linaloe en Mezquitlán y Comala, demostraron a través de sus patrones de crecimiento diamétrico ser subdioicas. La cantidad de frutos producidos por árbol fue marginalmente mayor en árboles hembra y en este estudio, el porcentaje de aceites esenciales del fruto fue similar en árboles hembra y monoicos. Se sugiere que las plantaciones de linaloe (lavanda india) para una mayor producción de aceite esencial de origen frutal pudieran ser con árboles dioicos (macho y hembra). Y se visualiza el potencial de individuos monoicos como oportunidad futura para el mejoramiento genético de la especie y mayor rendimiento maderable de acuerdo a (Lloyd, 1984).

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por las becas otorgadas para la realización de esta investigación. A las Autoridades Comunes de Mezquitlán, Municipio de

Copalillo y Comala de Gómez, Municipio de Atenango del Río, Guerrero, M.C. Yaneth Jiménez Salmerón y la Sra. Lucía Desiderio, por su apoyo en la logística de este trabajo. Al Dr. Jerzy Rzedowski, Botánico del Milenio y al Dr. Douglas C. Daly, Director del NY Herbarium, por su apoyo taxonómico y críticas que ayudaron a clarificación de ideas.

LITERATURA CITADA

- Adams D.R., Bhatnagar S.P. 1975. Analysis of the volatile constituents of essential oil of Indian Linaloe. *Indian Flavours Food Addit.*, 6(3), 185–188. Retrieved from <http://jglobal.jst.go.jp/public/20090422/201002039954362716>
- Bonfil-Sanders C., Cajero-Lázaro I., Evans R.Y. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia*, 42, 827–834.
- Bonfil-Sanders C., Mendoza-Hernández P.E., Ulloa-Nieto J.A. 2007. Root and callus development in cuttings of seven species of the genus *Bursera*. *Agrociencia*, 41, 103–109. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-338460949196#38;partnerID=408#38;md5=8535728500ba0e041d8e235105e239f1>
- Castellanos C., Bonfil C. 2010. Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. ex L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1, 93–108.
- Charnov E.L. 1982. The theory of sex allocation. *Monographs in Population Biology* (Vol. 18).
- Daly D.C., Harley M.M., Martínez-Habibe M.C., Weeks A. 2011. Burseraceae. In K. Kubitzki (Ed.), *Flowering Plants. Eudicots SE - 7* (Vol. 10, pp. 76–104). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-14397-7_7
- Darwin C. 1877. *The Different Forms of Flowers on Plants of the Same Species*. London: John Murray.
- Geber M.A., Dawson T.E., Delph L.F. (Eds.). 1999. *Gender and Sexual Dimorphism in Flowering Plants*. American Journal of Botany. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH. <http://doi.org/10.2307/2656693>
- Hernández-Apolinar M., Valverde T., Purata S. 2006. Demography of *Bursera glabrifolia*, a tropical tree used for folk woodcrafting in Southern Mexico: An evaluation of its management plan. *Forest Ecology and Management*, 223, 139–151. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.072>
- Hernández-Vásquez R., Cruz-Cruz E., Díaz-Zorrilla G.O., Pérez-León M.I., Lozano-Trejo S., Velasco-Velasco V.A. 2013. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen * Effect of nitrogen, phosphorus and potassium in linaloe cuttings (*Bursera linanoe*) Andresen Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1119–1128.
- Hersch-Martínez P. 2004. Linaloe, woodcarving/essential oil. In C. López, P. Shantley, & A. C. Fantini (Eds.), *Riches of the forest: fruits, remedies and handicrafts in Latin America* (pp. 93–96). Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Hersch-Martínez P., Glass R. 2006. Linaloe: un reto aromático: diversas dimensiones de una especie mexicana, *Bursera linanoe*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Hersch-Martínez P. 2009. Perspectivas de la producción de linaloe. Retrieved from http://www.nacionmulticultural.unam.mx/edespig/diagnostico_y_perspectivas/RECUADROS/CAPITULO 4/2 Perspectivas de la produccion de linaloe.pdf
- Hilje B., Calvo-Alvarado J., Jiménez-Rodríguez C., Sánchez-Azofeifa A., José S., Rica C., Rica C. 2015. Tree species composition, breeding systems, and pollination and dispersal syndromes in three forest successional stages in a tropical dry forest in Mesoamerica. *Tropical Conservation Science*, 8(1), 76–94.
- House S.M. 1992. Population density and fruit set in three dioecious tree species in Australian tropical rain forest. *J. Ecol.*, 80, 57–69.
- Joy P.P., Mathew J.T.S., Skaria B.P. 2001. *Aromatic Plants*. In T. K. Bose, J. Kabir, & P. P. Joy (Eds.), *Tropical Horticulture Vol.2* (pp. 633–733). Naya Prakash, Calcutta.
- Lloyd D. G. 1984. Gender allocations in outcrossing cosexual plants. In: R. Dirzo & J. Sarukhan (Eds.), *Perspectives on Plant Population Ecology* (pp. 277–300). Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- Lloyd D.G., Webb C.J. 1977. Secondary sex characters in plants. *The Botanical Review*, 43(2), 177–216.
- Peres C.A., Baider C., Zuidema P.A., Wadt L.H.O., Kainer K.A., Gomes-Silva D.A.P., Freckleton, R.P. 2003. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. *Science* (New York, N.Y.), 302(5653), 2112–4. <http://doi.org/10.1126/science.1091698>
- Queenborough S.A., Burslem D.F. Garwood R.P., Valencia N. C.R. 2007. Determinants of biased sex ratios and inter-sex costs of reproduction in dioecious tropical forest trees. *American Journal of Botany*, 94, 67–78. <http://doi.org/10.3732/ajb.94.1.67>
- Ramos-Ordoñez M.F., Arizmendi M.D.C., Martínez M., Márquez-Guzmán J. 2013. The pseudaril of *Bursera* and *Commiphora*, a foretold homology? *Revista Mexicana de Biodiversidad*. <http://doi.org/10.7550/rmb.32114>
- Rzedowski J., Medina L. R., Calderón de R.G. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan, México. *Acta Bot.Mex.*, 23–151.
- Yakimowski S.B., Barrett S.C.H. 2014. Variation and evolution of sex ratios at the northern range limit of a sexually polymorphic plant, 27, 1454–1466. <http://doi.org/10.1111/jeb.12322>