

# Registro histórico de la problemática de la repoblación natural del linaloe *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina

Historical record of the problem of the natural repopulation of the linaloe *Bursera linanoe* (La Llave)  
Rzedowski, Calderón & Medina

Carlos Medina-Tello  
Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Michoacán, México.  
Martín Gómez-Cárdenas\*  
Juan Francisco Castellanos-Bolaños  
Efraín Cruz-Cruz  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.  
Marlén Aparicio-López  
Comisión Nacional Forestal, México.  
Gonzalo Bautista-Bautista  
Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca, México.  
\*Autor para correspondencia: martingomez00@yahoo.com.mx

## Resumen

El linaloe, es un árbol productor de una resina fina, rica en compuestos esenciales, aromáticos, cosméticos, farmacéuticos e industriales de alto valor comercial, solo crece en México, en las porciones medianas de las cuencas de los Ríos Papaloapan y Balsas. El uso excesivo de su fruto y madera para la obtención de aceite esencial, la destrucción de la selva baja donde habita, el pastoreo desordenado y algunas limitantes ambientales y biológicas han generado una repoblación natural excesivamente baja, discontinua y rara. El estudio de las causas de este escenario amenazante es escaso y desalentador, insuficiente para plantear soluciones apropiadas. Esto motivó el presente análisis de las condiciones silvícolas, la regeneración presente y aspectos básicos de la biología reproductiva en tres poblaciones naturales de Oaxaca, Puebla y Guerrero. Se encontraron muy pocos árboles ha<sup>-1</sup> (36 a 45), con pocas hembras (35%). Los diámetros fueron de 5 a 35 cm, con alturas máximas de 10 a 14 m. La regeneración en Chiautla fue de 21 individuos ha<sup>-1</sup>, mientras que en Los Cués y Xalitla no se encontró regeneración. Al revisar los factores biológicos reproductivos de la especie se observó que las etapas de floración, fructificación y dispersión de semilla son seriamente limitadas por las bajas precipitaciones y la ocurrencia de estas en pulsos cortos, raros e irregulares. El potencial de floración es elevado y se incrementa con el diámetro de los árboles hembra, pero la conversión de flores a frutos llenos y viables producidos, es limitado por el régimen pluvial. La germinación se ve diezmada notablemente por la actividad frugívora de aves y mamíferos. Las nuevas plantas son presa del pisoteo y ramoneo de ganado y mamíferos silvestres. La ocurrencia simultánea de algunas o todas las limitantes arriesgan peligrosamente las poblaciones. Se sugiere la propagación asistida para garantizar la permanencia de la especie.

**Palabras clave:** Especie amenazada, selva baja caducifolia, limitantes ecológicas.

## Abstract

The linaloe is a tree that produces a fine resin. Produces essential chemical, aromatic, cosmetic, pharmaceutical, and industrial compounds of high commercial value, only grows in Mexico, in the middle portions of the Papaloapan and Balsas River basins. The excessive use of its wood and its fruit to obtain essential oil, the destruction of the low forest where it lives, disorderly grazing and some environmental and biological constraints have generated an excessively low, discontinuous and sparse natural repopulation. The study of the causes of this threatening scenario is scarce and discouraging, insufficient to propose appropriate solutions. This motivated the present analysis of silvicultural conditions, present regeneration and basic aspects of reproductive biology in three natural populations from Oaxaca, Puebla and Guerrero. Very few trees ha<sup>-1</sup> (36 to 45) were found, with few females (35%). Diameters ranged from 5 to 35 cm, with maximum heights from 10 to 14 m. The regeneration in Chiautla was 21 individuals ha<sup>-1</sup>, while in Los Cués and Xalitla no regeneration was found. When reviewing the reproductive biological factors of the species, it was observed that the stages of flowering, fruiting and seed dispersal are seriously limited by low rainfall and the occurrence of these in short, rare and irregular pulses. The flowering potential is high and increases with the diameter of the female trees, but the conversion of flowers to full and viable fruits produced is limited by the rainfall regime. Germination is notably decimated by the frugivorous activity of birds and mammals. The new plants are trampled and browsed by livestock and wild mammals. The simultaneous occurrence of some or all of the limitations dangerously endangers populations. Assisted propagation is suggested to guarantee the permanence of the species.

**Keywords:** Threatened species, low deciduous forest, ecological constraints.

## Introducción

El árbol del linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón y Medina), una especie maderable, productora de una resina rica en compuestos aromáticos, medicinales e industriales y conocida como copal fino, es un componente arbóreo en zonas restringidas de la selva baja caducifolia, en porciones intermedias de las Cuencas de los Ríos Balsas y del Papaloapan, situadas en el intervalo altitudinal de 500-1,500 m sobre el nivel del mar, que se extienden en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla (Rzedowski *et al.* 2004; 2005; Cruz-Larios *et al.*). Cruz-Cruz *et al.* (2009) precisan su distribución para la Cuenca del Papaloapan en los municipios que conforman la franja que va de la Cañada en Oaxaca hasta el Valle de Tehuacán y que está delimitada por el pie de montaña en las estribaciones de la Sierra Negra. Para la Cuenca del Balsas su distribución comprende un corredor amplio que sigue el curso del Río Balsas desde el límite occidental de la Mixteca Poblana hasta los alrededores de Xalitla y Mezcala en el estado de Guerrero, y que muestra su parte más ancha desde la Sierra de Huautla en el estado de Morelos al norte, hasta las cercanías de Olinalá en el estado de Guerrero por su límite sur.

El linaloe es un recurso de gran importancia ecológica, económica y social en las áreas donde se distribuye (Reyes-Trinidad, 2022). Desde la perspectiva socioeconómica, la distribución natural del linaloe coincide con la presencia de comunidades rurales con altos índices de marginación y pobreza, por lo que su aprovechamiento es una de las limitadas opciones complementarias a la economía de los pobladores (Arellano-Ostoa *et al.*, 2014). En la actualidad, los árboles de linaloe son utilizados para elaborar artesanías de madera, destacan las cajas labradas y laqueadas que se

Guerrero (Nácar-Vázquez *et al.*, 2017. También se usa para elaborar figuras de madera tallada (Hernández-Apolinar *et al.*, 2006), muebles, postes, para extraer aceites esenciales y para medicina tradicional (Rzedowski *et al.*, 2005).

La problemática actual radica en que la repoblación natural de las poblaciones de linaloe en las dos áreas de su distribución endémica; cuenca del Papaloapan y cuenca del Balsas, es rala, discontinua y disminuye progresivamente (Castellanos-Bolaños y Gómez-Cárdenas 2022). Esta situación se asocia al persistente derribo de árboles de manera no sostenible para obtener madera y extraer el aceite, a la cosecha excesiva de su fruto, destinado también a la extracción de aceite, así como por la alta frecuencia de incendios y al pastoreo intenso, principalmente de bovinos y caprinos que pisotean las plantas jóvenes (Hersh *et al.*, 2004; Cruz-Larios *et al.*, 2022; Reyes-Trinidad, 2022).

La demanda de fundamentos para solucionar el problema motivó el presente estudio, cuyo objetivo fue caracterizar la problemática relativa a la repoblación natural del linaloe y sus principales factores silvícolas, ambientales y de manejo para fundamentar alternativas de solución.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

En recorridos de campo por los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla en las zonas de distribución conocida de linaloe, se eligieron tres sitios con abundancia relativamente alta de la especie y con superficie mayor de 25 ha, ubicados en San Juan de los Cués, Oaxaca, Chiautla de Tapia, Puebla y Xalitla, Guerrero (Figura 1). El sitio San Juan de los Cués se ubica a 900-954 m de altitud dentro del área de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, a una distancia de 171 kilómetros al norte de la Ciudad de Oaxaca, entre 18° 02' 55" y 18° 03' 01" de L. N. y 97° 04' 50" y 97° 05' 06" de L. O. El sitio Chiautla de Tapia se localiza a 794-998 m de altitud entre 18° 09' 43" y 18° 10' 05" de L. N. y 98° 34' 39" y 98° 34' 10" de L.O., a 60 km al sur de Izúcar de Matamoros, Puebla. El sitio Xalitla se encuentra a 605-717 m de altitud entre 17° 59' 50" y 18° 00' 06" de L. N. y 99° 32' 48" y 99° 33' 4.5" de L. O. a 45 km al sur de Iguala, Guerrero.

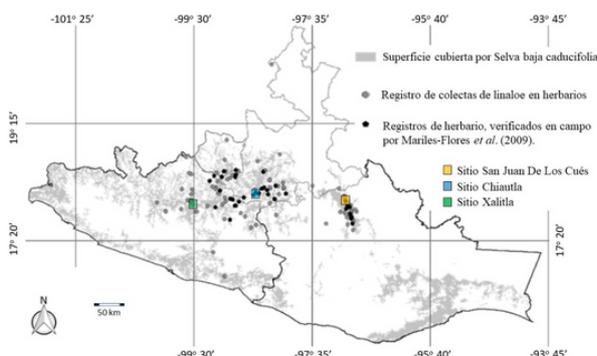


Figura 1. Ubicación de los tres sitios de estudio en el área de distribución conocida del linaloe en la Selva baja caducifolia de Guerrero, Morelos, Puebla y Oaxaca (Mariles-Flores *et al.*, 2009, p. 75)).

### Diseño de muestreo y tamaño de muestra

De acuerdo con Castellanos-Bolaños y Gómez-Cárdenas (2022), en cada sitio se delimitó una superficie cuadrangular de 25 ha, en la cual para registro de variables

dendrométricas se implementó un diseño de muestreo sistemático en un área acumulada de 33,000 m<sup>2</sup>, a través del establecimiento de 66 parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> cada una. Para todos los individuos de linaloe presentes, se registró la altura, el diámetro normal, distancia y ángulo respecto al centro de la parcela circular. Los individuos con altura menor de 1.30 m o con diámetro normal menor de 5 cm, se consideraron como renuevos y se midió su diámetro basal (a 3 cm del suelo) en sustitución del diámetro normal.

Para registrar el potencial y valor actual de floración, fructificación y producción de semilla, en cada parcela circular se eligieron uno a tres árboles hembra en edad reproductiva, hasta un total de 98 hembras elegidas. En cada árbol hembra se marcaron con cinta biodegradable tres ramas en cada uno de los puntos cardinales. Cada rama se dividió en los segmentos basal, medio y terminal para el registro fenológico y conteo de puntos florales potenciales, inflorescencias desarrolladas y frutos desarrollados. Para conocer la actividad frugívora a la que estuvieron sometidos los frutos producidos, y de acuerdo con los trabajos de Gómez-Cárdenas *et al.*, (2009) y Reyes-Trinidad (2022), se eligieron 10 árboles para registrar la remoción de frutos por aves y otros animales. La elección fue al azar entre los árboles hembra cercanos a rocas, y árboles de follaje denso que permitieran observar sin ser vistos por los animales visitantes. En observaciones de 30 minutos por árbol, efectuadas en 12 visitas entre las 8:00 am y 18:00 pm, se registró la presencia de aves que visitaron lo árboles hembra en fructificación y se contó el número de frutos que consumieron durante las observaciones.

**Variables dendrométricas y de regeneración**

Para todos los individuos de linaloe presentes, se registró la altura, el diámetro normal, distancia y ángulo respecto al centro de la parcela circular. Los individuos con altura menor de 1.30 m o con diámetro normal menor de 2.5 cm, se consideraron como componentes de la regeneración y se midió su diámetro basal (a 3 cm del suelo) en sustitución del diámetro normal. A partir del diámetro normal se originó el área basal y el diámetro cuadrático (Dq). Se registró además el sexo de los árboles reproductivos

Con la finalidad de poder determinar las condiciones de sanidad y presencia de amenazas que enfrentan los individuos de la regeneración se registraron condiciones de estado sanitario, (sano, daño por plagas, por aves, mamíferos u otros vertebrados, por incendios, por sequía,

por deficiencia nutricional), amenazas o riesgos evidentes (pisoteo y ramoneo por ganado, cosecha o tala excesiva, incendios frecuentes, cambio de uso de suelo).

**Variables reproductivas**

En los segmentos basal, medio y terminal de las cuatro ramas marcadas en 98 árboles hembra se implementó un registro catorcenal del estado fenológico (fenofases vegetativa, de floración, de fructificación) y número de puntos florales potenciales, inflorescencias desarrolladas, flores por inflorescencia y frutos desarrollados (Gómez-Cárdenas *et al.*, 2009). De acuerdo con los trabajos de Gómez-Cárdenas *et al.*, (2009) y Reyes-Trinidad (2022), en los 10 árboles elegidos para medir la actividad frugívora se registró la hora de remoción, tipo de animal, especie y número de frutos removidos. El diámetro en la base y la longitud de cada segmento fueron registrados al final de las cuantificaciones.

**Resultados**

La densidad de arbolado en cada una de las poblaciones oscila entre los 36 y 45 árboles por ha<sup>-1</sup> (Cuadro1). Un patrón fisiológico característico de la especie fue la división de tallos desde el nivel del suelo, probablemente como una respuesta de sobrevivencia a un ataque frecuente de barrenadores del tallo observado en toda el área de trabajo. Por esa razón en el cuadro 1 se contabilizaron como un solo árbol al número total de tallos presentes con origen en un mismo pie, aunque la ramificación fuera por debajo de 1.30 m de altura.

Cuadro 1. Número de árboles de linaloe (NA) por sexo y número de tallos promedio (NT) por árbol presentes por localidad.

Localidad	Árboles macho		Árboles hembra		Arbolado total	
	NA ha <sup>-1</sup>	%	NA ha <sup>-1</sup>	%	NA ha <sup>-1</sup>	%
San J. de los Cués	30	68.2	14	31.8	44	100
Chiautla	28	62.2	17	37.8	45	100
Xalitla	24	66.7	12	33.3	36	100

NA: número de árboles ha<sup>-1</sup>.

La densidad observada corresponde exclusivamente a individuos maduros reproductivos. Es notablemente inferior a la registrada por Cruz-Larios *et al.* (2022) quienes contabilizaron 313 y 320 árboles reproductivos ha<sup>-1</sup> en parcelas de la cuenca del Balsas, ubicadas por encima y por debajo de la cota altitudinal de 900 m respectivamente. Para la cuenca del Papaloapan, la densidad fue un poco menor, pero aun notablemente superior a la registrada en el presente trabajo. Encontraron 220 y 173 individuos reproductivos ha<sup>-1</sup> para altitudes en

igual orden de menor y superior de 900 m. Las enormes diferencias pueden resultar de las diferencias en criterios de selección, en distribución y en tamaño de la muestra (usaron 24 parcelas de 250 m<sup>2</sup>, distribuidas en tres parajes ubicados por cuenca (del Balsa y del Papaloapan) y en dos intervalos altitudinales en m. Además, pueden haber sido influidos también por las diferencias entre condiciones meteorológicas e historial de disturbios y de manejo de los rodales donde se establecieron las parcelas de observación y muestreo.

La proporción de árboles macho/hembra fue 2:1 en los tres sitios muestreados, lo que equivale en una proporción observada de 32-38 % de árboles hembra para los 66 sitios de cada una de las tres condiciones de estudio. El número total de árboles fue similar entre sitios también. Esto no cambió ni aún para Chiautla, Pue., el cual es un sitio accidentado a la orilla de un cauce permanente de agua y relativamente mejor protegido contra viento e insolación, y para el cual se observó una proporción de hembras reproductivas similar a la de los dos sitios restantes.

La desigualdad en la proporción de sexos de los individuos reproductivos, la cual favorece a los machos, parece considerable como para propiciar un potencial bajo para la producción de frutos. No obstante, se desconoce si esta proporción matemáticamente desigual, fue diferente en el pasado y si podría en el futuro, ser adecuada o inadecuada para garantizar la producción semilla necesaria para la repoblación natural. Otros factores posibles, pero no estudiados incluyen la distribución y por lo tanto las distancias promedio entre hembras y machos, la capacidad productiva de polen y la suficiencia de polinizadores. Tampoco se conoce si esta proporción continuará conservándose a través de las poblaciones que conforman la especie sin importar la variación fisiográfica, meteorológica e interacciones biológico-ambientales que ocurran en toda su distribución. Aquí es interesante considerar que Gutiérrez-Santiago *et al.* (2016), en tres sitios donde habita el linaloe en la Cuenca del Balsas, encontraron una proporción mayor de hembras e incluso encontraron individuos monoicos que produjeron frutos aun cuando lo hicieron en cantidades muy bajas. Este resultado distinto puede ser el resultado de una muestra diferente en tamaño y en criterios de selección.

El número de tallos promedio por árbol fue de 1.3 a 1.8 en los sitios de Puebla y Guerrero respectivamente (Figura 2). Esos valores fueron doblados o triplicados en el sitio del estado de Oaxaca (4.1 tallos por árbol).

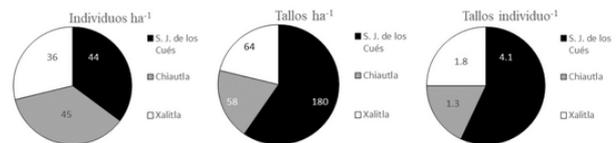


Figura 2. Número de Individuos ha<sup>-1</sup>, tallos ha<sup>-1</sup> y tallos individuo<sup>-1</sup> de linaloe por ha en tres localidades.

A pesar que la densidad del arbolado de linaloe fue bajo y similar en las tres poblaciones estudiadas, el número de tallos por árbol y en consecuencia, el número de tallos ha<sup>-1</sup> fue diferente. Mientras que Chiautla y Xalitla tuvieron de 1 a 2 tallos por individuo reproductivo, la población estudiada de Oaxaca, San Juan de Los Cués, mostró un elevado número de tallos por individuo, con un promedio de 4.1 tallos individuo<sup>-1</sup>.

El trabajo de Castellanos-Bolaños y Gómez-Cárdenas (2022) es el único trabajo que ha abordado recientemente la producción de tallos por individuo y con la información generó un modelo para estimar el volumen por tallo e individuo.

### Caracterización dendrométrica

Con respecto a la estructura de altura, se encontraron diferencias significativas entre sitios ( $p < 0.01$ ) en la altura máxima de los árboles presentes en las parcelas circulares. La diferencia se mantuvo significativa ( $p < 0.01$ ) entre sitios para los promedios de la altura. Los árboles con las mayores alturas se presentaron en la localidad de Chiautla, alcanzaron dimensiones máximas de 13 m de altura (Gráfica izquierda de la figura 3), con un promedio de 6.74 m. Para la localidad de Xalitla la altura máxima fue de 10 m y el promedio de 6.26 m, mientras que en San Juan de los Cués la altura máxima fue similar de 10 m, pero su promedio fue de 3.35 m. Además, se observó que los árboles de la población de Chiautla presentaron fustes con mayor rectitud y fueron menos ramificados en comparación con los árboles de las otras dos poblaciones.

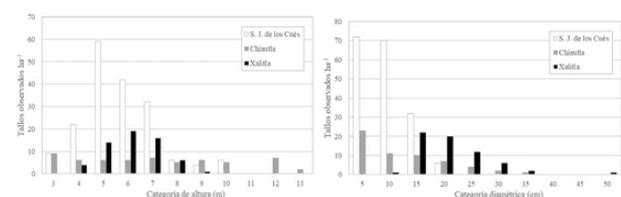


Figura 3. Número de tallos de linaloe por ha<sup>-1</sup> para las categorías de altura (izquierda) y diamétrica (derecha) en tres localidades de Guerrero, Oaxaca y Puebla.

La frecuencia de árboles en las distintas categorías de altura en el sitio de San Juan De Los Cués siguió una

distribución normal con predominancia de árboles en las categorías intermedias de 5 a 7 m de altura. Esta distribución con alturas inferiores a 5 m, implica una insuficiencia de población joven que pueda reemplazar eventualmente a los árboles más viejos. Un patrón similar se observa para el arbolado en Xalitla, y es notoriamente distinto en Chiautla donde casi todas las categorías de altura contuvieron un número similar de árboles por categoría de altura (5-8 árboles por categoría). Es posible que la ausencia de cohortes juveniles en las primeras dos poblaciones esté asociada a disturbios intensos o relativamente frecuentes. Esto es posible realmente si consideramos que en San Juan De Los Cués los incendios y la práctica de pastoreo intensivo de ganado caprino son comunes, mientras que en Xalitla, sitio adyacente a la zona urbanizada, el pastoreo de ganado vacuno, la extracción de leña, la tala y los incendios ocasionales pueden ser algo cotidiano. El patrón observado en Chiautla para la frecuencia de arbolado, aproximadamente igual entre las categorías de altura, sin la prevalencia esperada de individuos de las categorías intermedias (4-7 m), hace suponer la posibilidad de cosecha frecuente de estos individuos, lo cual es compatible con una actividad local observada, de tala no regulada y venta de trozas de linaloe.

La composición de diámetros de los árboles de linaloe en cada una de las localidades se presenta en la gráfica derecha de la figura 3. La mayoría de los árboles, en cada una de las localidades, quedaron agrupados en las categorías menores de 30 cm, mientras que las categorías mayores de 35 cm estuvieron poco representadas o de plano no estuvieron presentes. En Xalitla además no se encontraron individuos juveniles prácticamente (solo dos individuos <15 cm de diámetro), mientras que en San Juan De Los Cués y Chiautla esta etapa de crecimiento comprendió el 80 y 59% respectivamente de todos los individuos del rodal. La ausencia de árboles grandes, es decir con diámetro de 35 cm o mayor, ocurre a pesar que una gran proporción del arbolado es en forma aparente, relativamente viejo. Además, se observó una presencia importante de tallos dañados, podridos o en proceso avanzado de degradación, de los cuales algunas yemas adventicias presentes, emiten nuevos brotes o tallos ramificados en visible estado de crecimiento. Esta característica fue generalizada entre las 66 parcelas circulares del sitio de San Juan De Los Cués, donde menos del 85% de los individuos reproductivos mostró algunos o todos los síntomas anteriores (Gómez-Cárdenas *et al.*, 2014).

### Distribución horizontal

Los valores de área basal como indicador de la dominancia y el diámetro cuadrático, fue para San Juan de los Cués de 1.07 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y 16 cm en ese orden. Para la población de Chiautla fue de 0.9626 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y 17 cm, mientras que para la población natural de Xalitla fue de 2.3141 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y 30 cm, respectivamente.

La prueba de Hopkins (un análisis de agrupamiento de puntos de ubicación determinados por las distancias y ángulos (Zepeda *et al.*, 2017), utilizadas como coordenadas polares, indicó que los patrones de distribución de individuos reproductivos de linaloe fueron de tendencia aleatoria para San Juan de Los Cués (I<sub>h</sub>=0.71) y agregado para los sitios de Chiautla (I<sub>h</sub>=0.91) y Xalitla (I<sub>h</sub>=0.87). Lo cual, en San Juan De Los Cués, puede constituir el reflejo de un número alto de presiones ambientales y de efecto aleatorio acumulativo sobre la germinación, el establecimiento o el crecimiento juvenil de los individuos de linaloe. Esto no pudo ser probado durante el muestreo y procesamiento de la información, sin embargo, los resultados de Cruz-Larios *et al.* (2022), parecen respaldar esta hipótesis, pues también encontraron un patrón de distribución agregado para las poblaciones de linaloe de la Cuenca del Balsas, donde prevalecen ambientes menos agrestes que las del clima más seco y semiárido de San Juan De Los Cués.

### Evaluación de regeneración

La regeneración natural de linaloe fue muy escasa, en San Juan de los Cués y Xalitla prácticamente no se encontró renuevo, lo cual implica que está en riesgo la permanencia de las poblaciones. En Chiautla de Tapia se registraron renuevos en 23 sitios de los 66 evaluados, con un promedio de 21 plántulas ha<sup>-1</sup>.

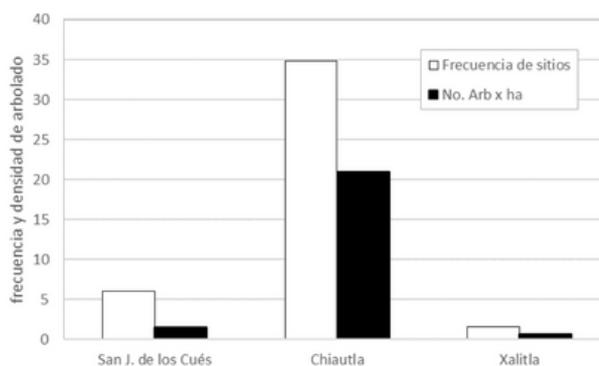


Figura 4. Evaluación de regeneración de linaloe en tres sitios de Guerrero, Oaxaca y Puebla.

La ausencia de regeneración en San Juan De Los Cués y Xalitla, así como su baja presencia en Chiautla, hacen

suponer la ocurrencia de factores que suprimen la germinación, el establecimiento o el crecimiento de nuevas plántulas en las tres poblaciones. Para San Juan De Los Cués y Xalitla se observaron evidencias de daños mecánicos en planta por pastoreo y evidencias de incendios frecuentes. En ambos sitios además el suelo es Regosol arenoso (Cruz-Larios *et al.*, 2022) y en el primer sitio, su clima seco semiárido probablemente incrementa el efecto negativo de los otros factores limitantes. Esta situación se ve fuertemente agravada por una baja producción de semilla viable y disponible en la temporada de lluvias del año posterior inmediato a su producción. Las causas de la baja producción de semilla, obedece a diversos factores ambientales y reproductivos que afectan la fisiología reproductiva de la especie (Gómez-Cárdenas *et al.*, 2009; Gutiérrez-Santiago *et al.*, 2016; Reyes-Trinidad *et al.*, 2002).

**Características fenológicas de las yemas**

Las yemas iniciaron su formación desde la segunda mitad de julio en el 10% de los árboles y la frecuencia de árboles en esa fenofase incrementó gradualmente (Figura 5). A partir de la primera y segunda mitad de septiembre se observó que las yemas en todos los árboles ya mostraban algún grado de formación. La activación de las yemas se hizo evidente por su crecimiento en diámetro (de 3-4 mm en promedio pasaron gradualmente a 4-6 mm), lo cual ocurrió de manera heterogénea de la segunda mitad de marzo hasta mediados de abril. La caída de catáfilos marcó el final del crecimiento de la yema, y sucedió también en forma heterogénea.

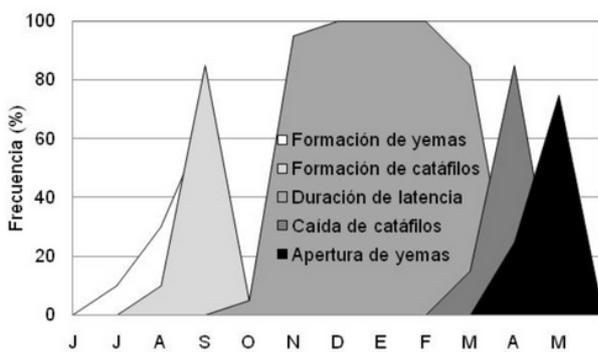


Figura 5. Patrón general para la frecuencia (%) del inicio, duración y término de fenofases de la yema en linaloe durante un ciclo de crecimiento

Al finalizar la primera mitad de abril todas las yemas habían perdido los catáfilos y habían iniciado la apertura exponiendo las brácteas de color verde blanquecino que protegen los primordios vegetativos y mixtos. La apertura de esta bráctea inició entre la última semana de abril y la

primera de mayo y ocurrió en los 3-8 días siguientes a dos eventos cortos de lluvia separados dos días entre sí. El alargamiento de los brotes vegetativos y florales fue lento al principio, pero se tornó rápido una vez que se recibieron varias lluvias de intensidad moderada de la mitad al final de mayo. De hecho, fue en la última semana de mayo que las inflorescencias alcanzaron su máximo desarrollo e iniciaron la antesis.

**Características fenológicas de la floración**

Las observaciones directas mostraron que cada yema floral antes de abrir ya cuenta con los primordios de las inflorescencias y flores, sin embargo, el conteo de ambas es más fácil una vez que estas se han desarrollado totalmente, debido a que la mayoría de las yemas son mixtas, es decir, resguardan partes vegetativas (hojas y nuevas ramas) y florales simultáneamente. Las flores se producen en inflorescencias tipo racimo de 6-8 cm, que, para las poblaciones naturales ubicadas en la Cuenca del Balsas, se presentan en números de hasta 35, mientras que, para la población natural de La Cañada en Oaxaca, se han observado en números menores de 12 (Aparicio-López, 2011).

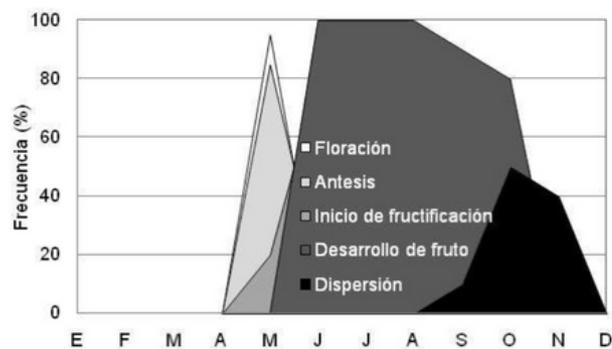


Figura 6. Frecuencia (%) para eventos de floración, antesis, desarrollo de fruto y dispersión de semilla en linaloe durante la estación de crecimiento 2009.

Las características de las flores observadas en todas las poblaciones naturales visitadas fueron similares a las descritas por Rzedowski *et al.* (2004). El crecimiento de las inflorescencias y sus flores, la antesis y caída de las flores ocurrió en un periodo muy corto (Figura 6), de la última semana de mayo a la mitad de junio, con una duración promedio por inflorescencia de 10-12 días.

**Características principales de la fructificación**

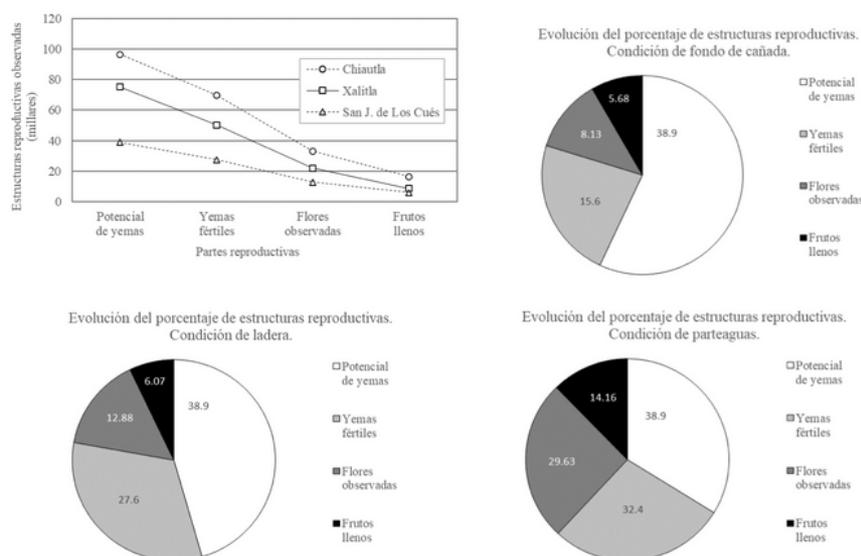
Tal como lo registraron Cruz-Cruz *et al.* (2009), los frutos en su mayoría en 2019 (98.1%) fueron también ovoides, de 9-11 mm de largo, cubiertos por dos valvas (98%; 2% fueron trivalvados), en las cuales, la cara externa de una o

de ambas valvas fue verde o rojiza en la madurez. Esta coloración de las valvas estuvo frecuentemente asociada a la exposición del fruto al sol (valvas colectadas en condiciones expuestas fueron típicamente rojizas). A semejanza con la descripción botánica de Rzedowski *et al.* (2004) para la especie, la semilla fue de 5 a 6 mm de diámetro, más ancha que larga, con la parte externa dura y de color negro, cubierta en la mitad o tres cuartas partes por un pseudoarilo rojizo o anaranjado. El color vistoso, el aroma y sabor agrídulce del arilo fueron agradables en una muestra de 100 frutos probados.

El peso de la semilla subhúmeda (a 13% de humedad), libre de valvas y del arilo, tanto en la muestra mencionada como en otras 10 muestras similares fue de 0.6 g. Esta información no ha sido registrada previamente. Observaciones realizadas en campo mostraron que los frutos se agrupan en racimos de hasta ocho por infrutescencia, aunque el número potencial de frutos, equivalentes al número de flores medio por inflorescencia, fue de 9. La reducción del número potencial (total de yemas) al número observado de yemas fértiles, flores o frutos varió entre la posición topográfica del arbolado. En la ladera y las cañadas se tuvo la mayor reducción y fue notablemente mayor que la observada para árboles ubicados en parteaguas donde hay mayor insolación, más exposición a vientos y suelo de menor calidad. La reducción del potencial a los valores observados para flores fue de 23.8% a 79.1% (Figura 7), mientras que para los frutos producidos la reducción fue de 63.6% a 85.4%.

Los datos correspondientes a condición topográfica

muestran que, en cualquier ubicación topográfica, los árboles presentaron un potencial de frutos de 38.9 millones, sin embargo, este sufrió reducciones que varían en cada condición topográfica. En el parteaguas la reducción fue la menor (14.16 mil frutos producidos equivalentes a una reducción de 24.74 mil frutos o -63.6% del potencial). Las reducciones del potencial en cañada y ladera alcanzaron -85.4% y -84.4% respectivamente de reducción y no fueron significativamente diferentes ( $p < 0.01$ ) entre sí, pero sí contra la reducción en condición de parteaguas. Aparicio-López (2011) coincidió con estos resultados y además mostró que la reducción del número potencial al número observado de frutos fue notoriamente variable entre ramas gruesas, sección, posición vertical en la copa, exposición e individuos muestreados. La forma final del fruto se alcanzó unas 3-4 semanas después que ocurrió la polinización, y el crecimiento del mismo se observó de junio a agosto hasta el momento de alcanzar su madurez. El número medio ponderado de frutos por brote estacional fue de 3.03 (+1.5) frutos para un año, lo cual representa una eficiencia de 33.67% aproximadamente si asumimos que cada brote estacional en las hembras de linaloe en San Juan De Los Cués típicamente formó tres inflorescencias con tres flores cada una, es decir que, a pesar del potencial de producción de 9 frutos, finalmente solo se completa el desarrollo de 3.03 de estos en promedio. En las observaciones efectuadas en Chiautla y Xalitla, se observó que cada brote tiende también a formar tres inflorescencias, pero cada una de estas, forma más de 9 flores con máximos registrados de 27 flores. En



estos dos últimos sitios la inflorescencia puede alcanzar 14 cm, con valores extremos de hasta 21 cm de largo en árboles de Chiautla, mientras que en Oaxaca no supera los 10 cm de longitud.

### Producción de fruto

La relación alométrica existente entre el tamaño del tallo (medido por ejemplo como área basal o diámetro basal) y la producción de fruto (medido como número o biomasa de frutos) fue lo suficientemente alta ( $r^2=0.72$  y  $r^2=0.77$  respectivamente para área y diámetro basal) (Steel et al., 1997) como para considerarse útil en la estimación de cosecha en una estación dada (Figura 8). El potencial de producción de fruto a nivel de rodal es muy irregular a través de los sitios de muestreo. Al considerar las existencias registradas por Castellanos *et al.* (2009), es posible estimar una ausencia de producción en más de dos tercios de los sitios muestreados y muy baja en los sitios restantes, donde la presencia de árboles hembra productores es escasa ( $0.37 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  con un máximo de  $3.74 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ).

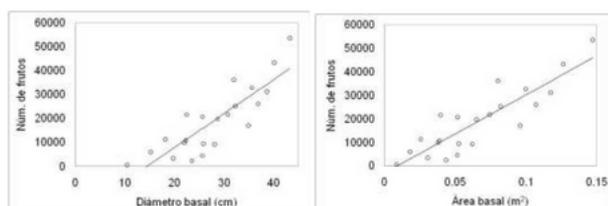


Figura 8. Relación entre el diámetro (izquierda) y el área basal (derecha) del árbol y número de frutos. Para diámetro basal:  $y = -20460 + 1414.95 \text{ db}$ ;  $R^2 = 0.7195$ . Para área basal:  $y = -3136.077 + 333312 \text{ ab}$ .  $R^2 = 0.7722$

El promedio generalizado fue de  $100,439.5 \text{ frutos ha}^{-1}$  (el número máximo fue de  $1,183,865 \text{ ha}^{-1}$ ), lo cual se estimó a partir del conteo de pares de valvas en el área proyectada por la copa de los árboles hembra. Sin embargo, estos montos son altísimos con respecto al número real de semillas sanas y viables que se encuentran disponibles para la llegada de la temporada de lluvias en la siguiente estación de crecimiento y germinación. Estas cifras muestran el total de frutos producidos por los árboles hembra, cuyos montos fueron estimados a partir del conteo de pares de valvas en el terreno bajo la copa de árboles hembra. En contraste, los frutos o semillas que alcanzan y se almacenan en el banco de semillas del suelo hasta que germinen o sean aprovechados por hormigas o vertebrados, generalmente son muy pocos. Así por ejemplo, Reyes-Trinidad (2022) encontró 4 frutos o semillas en promedio en cuadros de  $25 \times 25 \text{ cm}$  muestreados bajo la copa de 20 árboles hembra. De estas,

alrededor de 3 semillas correspondieron a semillas incompletas o depredadas. La extrapolación de estos datos a toda el área de proyección de copa resulta en 576 semillas para un árbol de copa de  $9 \text{ m}^2$ , de las cuales solo la cuarta parte, 144 semillas estarían enteras, pero no necesariamente viables. Las cifras para una ha con 15 árboles hembra son de  $2,160 \text{ semillas ha}^{-1}$  que alcanzan y se almacenan en el banco de semillas hasta su germinación, pudrición, muerte o depredación.

### Dispersión del fruto

La dispersión del fruto inicia desde la segunda mitad de agosto, cuando alcanzan su madurez los primeros frutos. En las observaciones de 2008-2009 en San Juan de Los Cués se registró a un grupo de cuatro especies de aves: *Melanerpes hypopolius* Wagler (pájaro carpintero pechigrís), *Zenaida asiática* (paloma aliblanca) y otras especies no identificadas entonces, pero cuyas características corresponden a *Cassiculus melanicterus*, *Z. macroura*. Estas aves fueron los visitantes de mayor frecuencia a las ramillas de linaloe para abrir las valvas y comer la semilla de los frutos. En observaciones de 2019 se observaron además a *Tyrannus* spp., y a *Vireo huttoni* en actividad frugívora sobre árboles de linaloe en Chiautla y San Juan De Los Cués. Todas las aves anteriores mostraron consumo de la semilla con arilo durante horario diurno y aunque no se tuvieron excretas de alguna de las especies para conocer si la semilla es expulsada posterior a su ingestión, en algunos trabajos como el de Reyes-Trinidad (2022), se ha expuesto el papel como dispersoras de todas las mencionadas, sin que se destruya la semilla y su embrión. De hecho, el epispermo o testa, muestra una dureza extrema que hace muy difícil su destrucción para acceder a los tejidos blandos del endospermo.

En rodales de linaloe dentro de la UMA “Tequiahua”, ubicada en el Municipio Tulcingo de Valle, Estado de Puebla, se desarrolló un estudio exhaustivo de las aves responsables de la ornitocoria de frutos de linaloe (Reyes-Trinidad, 2022) y se pudo registrar una actividad intensa de remoción de frutos llevada a cabo por aves, 19 de ellas clasificadas como tragadoras principalmente. Las especies de aves observadas fueron 23 y correspondieron a 17 géneros. *Myiarchus cinerascens* fue la especie más importante, seguida por *Icterus cucullatus*. Además de las aves, la autora registró mirmecocoria por tres especies de los géneros *Pheidole* y *Sonelopsis*. y endozoocoria por *Sciurus aureogaster*, la ardilla gris.

## Semilla que logra la germinación

El promedio generalizado de 100,439.5 frutos ha<sup>-1</sup> estimado como producción anual de los árboles hembra (Aparicio-López, 2011) representa alrededor de 100 veces el número de semillas enteras, sanas y viables que alcanzan el banco de semillas. Así por ejemplo, Reyes-Trinidad (2022) encontró 4 semillas en promedio en cuadros de 25X25 cm muestreados bajo la copa de 20 árboles hembra. De estas, alrededor de 3 semillas correspondieron a semillas incompletas o depredadas. La extrapolación de estos datos a toda el área de proyección de copa resulta en 576 semillas para un árbol de copa de 9 m<sup>2</sup>, de las cuales solo la cuarta parte, 144 semillas estarían enteras, pero no necesariamente viables. Las cifras para una ha con 15 árboles hembra son de 2,160 semillas ha<sup>-1</sup> que alcanzan y se almacenan en el banco de semillas hasta su germinación, pudrición, muerte o depredación.

De las pocas semillas que sobreviven en el banco de semillas, se espera un porcentaje de germinación desconocido, pero probablemente muy bajo si consideramos que en condiciones de laboratorio la germinación nunca ha superado el 19% (Hernández-Vásquez *et al.*, 2013; Arellano-Ostoa *et al.*, 2017; Guzmán-Pozos *et al.*, 2018) incluso bajo la aplicación de tratamientos pregerminativos. De hecho, es común la germinación menor de 3 % cuando no se usan tratamientos pregerminativos (Guzmán-Pozos *et al.*, 2018).

Tras la revisión de todos los factores que influyen en la producción de semilla, desde la formación de yemas reproductivas (cerca de 50 mil por árbol con hasta 27 flores potenciales por yema; Aparicio-López, 2011) hasta la germinación de la semilla en campo (cerca de 65, equivalente al 3% de las 2,160 que alcanzan el banco de semillas), es posible establecer que los agentes limitantes son numerosos y comprenden factores biológicos (respuestas fisiológicas, fenológicas, genética, edad de individuos), ecológicos (depredación-dispersión, enfermedades, estructura vertical y horizontal de las poblaciones, composición de especies en el rodal), ambientales (calidad física y química del suelo, pendiente, exposición, ubicación topográfica, régimen pluvial, otros meteorológicos de influencia no conocida) y de manejo (pastoreo, incendios, tala, otros disturbios) (Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Gómez-Cárdenas y Cruz-Cruz, 2009). También puede notarse que, con excepción de los relativos a manejo, la mayoría de los factores son difíciles

de manipular. Otra alternativa cuyos resultados no se han evaluado suficientemente es la repoblación asistida y diferenciada por sexos mediante el uso de planta producida por estacas de germoplasma selecto entre los mejores individuos de las poblaciones naturales (Arellano-Ostoa *et al.*, 2017; Guzmán-Pozos *et al.*, 2018).

## Conclusiones

El número de árboles de linaloe varía entre los 36 y 45 árboles por ha<sup>-1</sup> y aunque es un número importante, éstos en su mayoría ya son árboles adultos. La repoblación natural de linaloe en San Juan de Los Cués y Xalitla, Gro. es escasa y nula respectivamente, condición que la coloca en una situación de riesgo, al menos localmente.

El potencial de producción de fruto o semilla disponible para germinación y repoblación natural, es muy bajo (<1,300 semillas ha<sup>-1</sup>), lo cual es el resultado de una baja densidad de arbolado reproductivo hembra, y de una baja expresión del potencial total de floración y fructificación causada por factores diversos no bien conocidos. La producción de frutos varía entre años, árboles y partes de la copa, pero se puede predecir la cosecha del árbol al asociar esta con el tamaño (diámetro o área basal).

Existen varios factores ecológico-ambientales que están influyendo en la distribución de linaloe y que aún no se tienen claramente identificados, lo cierto es que su presencia es restringida.

Para los tres lugares estudiados se sugiere la propagación asistida para garantizar la permanencia de la especie y complementarse con el diseño e implementación de planes de manejo de las poblaciones naturales que de soporte a las diferentes acciones de aprovechamiento sustentable.

**Literatura citada**

- Aparicio-López, M. (2011). Estimación de la producción de frutos en una población natural de linaloe en Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Superior De San Miguel El Grande. San Miguel El Grande, Oaxaca, México. 95 p.
- Arellano-Ostoa, G., S. González-Bernal, G. Arellano-Hernández. (2014). El lináloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina), especie maderable amenazada: una estrategia para su conservación. *Agroproductividad* 7(3): 42-51.
- Castellanos-Bolaños J. F., M. Gómez-Cárdenas, E. Cruz-Cruz, G. Bautista-Bautista y A. A. Sandoval-Hernández. (2009). *Caracterización silvícola de poblaciones naturales de linaloe en Guerrero, Oaxaca y Puebla*. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. INIFAP. Informe de trabajo (Documento Interno). 18 p.
- Cruz-Cruz, E., M. Gómez-Cárdenas, V. Mariles-Flores, F. Solares-Arenas, D. Ayerde-Lozada, V. Serrano Altamirano, D. Vargas-Hernández, A. Borja de la Rosa, J. F. Castellanos-Bolaños, S. Orozco Cirilo y M. E. Fuentes-López. (2009a). *Condiciones ecológicas y climáticas de adaptación de linaloe. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca*. INIFAP. Desplegable Informativo Núm. 6.
- Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez. (2009b). *Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México*. INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. México. Libro Técnico No. 14. 289 p.
- Gómez-Cárdenas, M, Cruz-Cruz E, et al. (2009) Observaciones preliminares de la floración, fructificación y dispersión de la semilla de linaloe. Recuperado: [http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadatos/forestal/Proyectos\\_de\\_investigacion\\_Foro\\_Morelos/Proy\\_invest\\_Morelos/Proyecto%20clave-71436%20Informaci%C3%B3n%20sobre%20conservaci%C3%B3n/Libro%20t%C3%A9cnico%20No.%2014/Fundamentos%20t%C3%A9cnicos1.2.pdf](http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadatos/forestal/Proyectos_de_investigacion_Foro_Morelos/Proy_invest_Morelos/Proyecto%20clave-71436%20Informaci%C3%B3n%20sobre%20conservaci%C3%B3n/Libro%20t%C3%A9cnico%20No.%2014/Fundamentos%20t%C3%A9cnicos1.2.pdf)
- Gómez-Cárdenas, M., E. Cruz-Cruz (2009). Recomendaciones y fundamentos técnicos a considerar para el manejo sustentable de poblaciones naturales de linaloe (*Bursera linanoe*) [La Llave] Rzedowski, Calderón & Medina En: Solares-Arenas, F. y E. Cruz-Cruz (Comps.). *Ecología, manejo productivo y comercialización del linaloe (Bursera linanoe [La Llave] Rzedowski, Calderón & Medina*. INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Etlá, Oaxaca. México. Publicación Especial No. 5:56-61.
- Gómez-Cárdenas, M, Cruz-Cruz E, et al. (2009) Observaciones Preliminares De La Floración, Fructificación Y Dispersión De La Semilla De LINALOE. Recuperado: [http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadatos/forestal/Proyectos\\_de\\_investigacion\\_Foro\\_Morelos/Proy\\_invest\\_Morelos/Proyecto%20clave-71436%20Informaci%C3%B3n%20sobre%20conservaci%C3%B3n/Libro%20t%C3%A9cnico%20No.%2014/Fundamentos%20t%C3%A9cnicos1.2.pdf](http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadatos/forestal/Proyectos_de_investigacion_Foro_Morelos/Proy_invest_Morelos/Proyecto%20clave-71436%20Informaci%C3%B3n%20sobre%20conservaci%C3%B3n/Libro%20t%C3%A9cnico%20No.%2014/Fundamentos%20t%C3%A9cnicos1.2.pdf)
- Gómez-Cárdenas, M., E. Cruz-Cruz, D. Vargas-Álvarez. (2014). *Producción de planta de linaloe y diseño de prototipo para la destilación de aceites esenciales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Campo Experimental Valles centrales. Informe de Proyecto (Documento interno). Oaxaca, México. 23 p.
- Gutiérrez-Santiago, J., J. Jasso-Mata, s. A. Queenborough, M. Soto-Hernández, J. Rzedowski, M. Jiménez-Casas, 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. *Agroproductividad* 9(3): 66-72.
- Guzmán-Pozos, A. M., C. Ramírez-Herrera, A. Aldrete, E. Cruz-Cruz. (2018). Germinación y emergencia de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41 (2): 107-115.
- Hernández-Apolinar M., T. Valverde, S. Purata. (2006). Demography of *Bursera glabrifolia*, a tropical tree used for folk wood-crafting in Southern Mexico: An evaluation of its management plan. *Forest Ecology and Management*. 223: 139-151.
- Hernández-Vásquez, R., E. Cruz-Cruz, G. O. Díaz-Zorrilla, M. I. Pérez-León, S. Lozano-Trejo, V. A. Velasco-Velasco. (2013). Efecto del nitrógeno,

- fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.* 6: 1119-1128.
- Hersh P.R., Glass y A. F. Álvarez. (2004). El linaloe (*Bursera aloexylon*): una madera aromática entre la tradición y la presión económica. *Producto Forestales, Medios de Subsistencia y Conservación. CIFOR.* Vol. 3. 439-462 pp.
- Mariles-Flores, V., E. Cruz-Cruz, V. Serrano-Altamirano, M.A. Cano-García, M. Gómez-Cárdenas, S. Orozco-Cirilo, F. Solares-Arenas, J. F. Castellanos-Bolaños, M. E. Fuentes-López, D. Vargas-Álvarez, A. Borja de la Rosa. (2009). Distribución espacial de linaloe en los estados de Guerrero, Morelos, Puebla y Oaxaca. En: Cruz-Cruz, E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (Comp.). *Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México.* INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Libro Técnico No. 14. Etlá, Oaxaca. México, pp 32-84.
- Nácar-Vázquez, J. M., L. E. Garza-Bueno, E. Zapata-Martelo, J. B. Solís-Sánchez. (2017). Las cajas y alhajeros artesanales de Olinalá (*Bursera linanoe (La Llave) Rzed*); como urnas cinerarias. *Agroproductividad* 10(5): 86-89.
- Reyes-Trinidad, A. J. (2022). *Variación interindividual de Bursera linanoe (Burseraceae), y sus implicaciones en la dispersión de semillas por ornitocoria.* (Tesis de Licenciatura). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 72 p.
- Rzedowski J. (2004). Copales y Cuajotes. In: García Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones (Eds). *Biodiversidad de Oaxaca Instituto de Biología, UNAM.* Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fundation. México pp. 193-198.
- Rzedowski J., R. Medina Lemos, y G. Calderón de Rzedowski. (2005). Inventario del conocimiento taxonómico, así como la diversidad y del endemismo regionales de las especies Mexicanas de *Bursera (Burseraceae).* *Acta Bot. Mex.* 70: 85-111.
- Rzedowski, J., R. Medina L. y G. Calderón. (2004). Las especies de *Bursera (Burseraceae)* en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Botánica Mexicana.* 66: 23-151.
- Rzedowski, J., R. Medina L. y G. Calderón de R. (2005). Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regional de las especies mexicanas de *Bursera (Burseraceae).* Instituto de Ecología. *Acta Botánica Mexicana.* 70: 96.
- Steel R. G. D., J. H. Torrie, D. A. Dickey. (1997). *Principles and procedures of statistics a biometrical approach.* 3ra ed. McGraw-Hill. United States of America. p. 253-299.
- Zepeda, V., J. Golubov, M. C. Mandujano. (2017). Distribución espacial, estructura de tamaños y reproducción de *Astrophytum ornatum (Cactaceae).* *Acta Botánica Mexicana* 119: 35-49.