

INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA

ACEITES ESENCIALES EN FRUTOS DE *Bursera bipinnata* EN SAN PEDRO JUCHATENGO, OAXACA

TESIS QUE PRESENTA:

Emanuel Hernández Cortés

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz

Ex-Hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca
Agosto de 2022



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca
División de Estudios de Posgrado e Investigación

INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA

ACEITES ESENCIALES EN FRUTOS DE *Bursera bipinnata* EN SAN PEDRO JUCHATENGO, OAXACA

TESIS QUE PRESENTA:

Emanuel Hernández Cortés

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz

Ex-Hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca
Agosto de 2022



“La presente tesis titulada: **ACEITES ESENCIALES EN FRUTOS DE *Bursera bipinnata* EN SAN PEDRO JUCHATENGO, OAXACA**, fue realizada bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:”

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR.

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz



COORDIRECTORA:

Dra. Luicita Lagunez Rivera



ASESOR

Dr. José Raymundo Enríquez del Valle



ASESORA.

Dra. Gisela Virginia Campos Angeles



	Nombre de la Información Documentada: Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis.	Código: ITVO-AC-PR-08-03
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Revisión: 1
		Página 1 de 1

Nazareno Xoxocotlan, Oaxaca, **29/Junio/2022**

OFICIO No. DEPI/0534/2022

C. EMANUEL HERNÁNDEZ CORTÉS
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada **“Aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata* en San Pedro Juchatengo, Oaxaca”**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

ATENTAMENTE
“Ciencia y Tecnología para el Campo”


DR. YURI VILLEGAS APARICIO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

	Nombre de la Información Documentada:	Código: ITVO-AC-PR-08-02
	Formato Autorización del comité para entrega de tesis.	Revisión: 1
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Página 1 de 1

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, 27 de junio del 2022

OFICIO No. DEPI/0518/22

C. EMANUEL HERNÁNDEZ CORTÉS
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis **“Aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata* en San Pedro Juchatengo, Oaxaca”**. Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la **AUTORIZACIÓN** para que proceda a la entrega del documento final de la misma en formato digital (PDF); para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.

ATENTAMENTE
“Ciencia y Tecnología para el Campo”


 DR. GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ
 DIRECTOR DE TESIS


 DRA. LUJCITA LAGÚNEZ RIVERA
 CO-DIRECTORA


 DR. JOSÉ RAYMUNDO ENRÍQUEZ DEL VALLE
 ASESOR DE TESIS


 DRA. GISELA VIRGINIA CAMPOS ANGELES
 ASESORA DE TESIS


 DR. YURI VILLEGAS APARICIO
 JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
 DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
 POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del número de becario 1080298, con el tema de investigación: **ACEITES ESENCIALES EN FRUTOS DE *Bursera bipinnata* EN SAN PEDRO JUCHATENGO, OAXACA.**

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores del programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas por proporcionarme los conocimientos necesarios durante mi estancia en el Posgrado.

Al Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz quien fue mi Director, gracias por todo su apoyo, por la confianza depositada en un servidor, la gran amistad que me brindó, sus consejos y todo el aprendizaje adquirido, que fueron parte importante para el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Luicita Lagunez Rivera quien fue mi Codirectora, gracias por abrirme las puertas de su laboratorio, por todo lo aprendido durante la estancia profesional, por su apoyo, la motivación y consejos, que fueron parte importante para el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. José Raymundo Enríquez del Valle quien fue mi asesor, gracias por las revisiones y aportaciones a mi trabajo, su apoyo y consejos, que fueron parte importante para el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Gisela Virginia Campos Angeles quien fue mi asesora, gracias por revisar mi trabajo, su apoyo y consejos, que fueron parte importante en mi desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Inés Guadalupe Vásquez Barranco, a quien quiero agradecer de manera particular, por todas las facilidades otorgadas y apoyo logístico para el desarrollo de la presente investigación.

Al Comisariado de Bienes Comunales de San Pedro Juchatengo, por todas las facilidades otorgadas, por brindarme su confianza, amistad y por su apoyo e interés en esta investigación.

Un agradecimiento especial a los ciudadanos Antelmo Díaz Carvajal, Pablo Altamirano Pacheco y Froilán Ruiz Palacios, por su disponibilidad, amabilidad para la toma de datos, además por su amistad y hospitalidad.

A mi pastor David que con sus consejos y oraciones en todo momento para mí.

A mi sobrina Alison Santiago Aguirre, por su apoyo para alcanzar un mejor dominio del idioma Ingles, por tu amistad incondicional, por los consejos y el tiempo que me dedicaste en cada una de las clases, que fueron parte importante en mi desarrollo de esta investigación. “muchas gracias”.

A todos y cada uno de mis amigos que fueron parte esencial de este proceso, Arely, Rigoberto, Virgen, Ilse, Rocio, Pao, Osacar y Andy gracias por todo.

DEDICATORIA

Le dedico esta Tesis con todo mi amor: a Dios por darme sabiduría para la realización de este estudio, por darme vida, salud y bendecirme para alcanzar mis metas personales y profesionales.

A mi esposa Sofía Angélica Santiago Juárez, por brindarme su cariño, sus consejos y por su apoyo incondicional en cada momento, acompañándome en los días y noches de estudio, “muchas gracias, te amo”.

A mis padres Artemio Hernández Gopar y Carmen Cortes Ortiz, por brindarme su cariño, apoyo, sus consejos, Gracias, las quiero mucho.

A mis hermanos: Marlene, Nayeli, Rafael y Uzziel, por su apoyo y cariño, muchas gracias.

A mis sobrinos: Estrella, Keila, Leonel, Iker, Damián y Damarys, quiero que sepan que las quiero mucho y que siempre fueron mi motivación durante este proceso.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
SUMMARY.....	vii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II.....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Generalidades sobre <i>Bursera</i>	5
2.1.1 Distribución y descripción de <i>Bursera bipinnata</i>	5
2.1.2 Tipo de vegetación al que se asocia.....	8
2.2 Características de crecimiento y reproducción.....	10
2.2.1 Hábitos de crecimiento.....	10
2.2.2 Arquitectura vegetal.....	11
2.2.3 Implicaciones en la intercepción de luz en el dosel.....	11
2.2.4 Adaptaciones fotosintéticas en plantas C3.....	12
2.2.5 Arquitectura de la raíz.....	13
2.3 Formación de la biomasa.....	14
2.3.1 Estructura de la madera.....	14
2.3.2 Acumulación de biomasa.....	15
2.4 Metabolismo primario y secundario.....	15
2.4.1 Metabolitos primarios.....	15
2.4.2 Sitios de demanda y almacenamiento de metabolitos primarios.....	16

2.4.3 Metabolismo secundarios.....	16
2.4.4 Mecanismos de la síntesis de los metabolitos secundarios	17
2.4.5 Factores que afectan la síntesis de metabolitos secundarios	19
2.4.6 Metabolitos secundarios identificados en <i>Bursera</i>	19
2.5 Aceites esenciales.....	20
2.5.1 Generalidades de los aceites esenciales	20
2.5.2 Clasificación de los aceites esenciales.....	22
2.5.3 Aceites esenciales del género <i>Bursera</i>	23
2.6 Extracción y rendimiento	23
2.6.1 Hidrodestilación convencional (HD)	23
2.6.2 Hidrodestilación asistida por microondas (MO)	24
2.6.3 Cinética de extracción.	25
CAPÍTULO III	26
Área foliar y biomasa aérea de <i>Bursera bipinnata</i> (DC.) Engl. influenciadas por	
densidad arbórea y exposición del sitio	26
3.1 Resumen	27
3.2 Abstract	28
3.3 Introducción	29
3.4 Materiales y Métodos.....	31
3.4.1 Área de estudio	31
3.4.2 Inventario de sitios de muestreo.....	31
3.4.3 Muestreo destructivo de hojas y frutos	34
3.4.4 Manejo y análisis de datos	35
3.5 Resultados y discusión	36
3.5.1 Análisis individual	36
3.5.2 Análisis a nivel superficie	39
3.6 Conclusiones	44
3.7 Literatura citada	45
CAPÍTULO IV.....	51
ACEITES ESENCIALES DE FRUTOS DE <i>Bursera bipinnata</i> (DC.) Engl. EN EL	
SUR DE OAXACA	
4.1 Resumen	52
4.2 Abstract	54
4.3 Introducción	55
4.4 Materiales y métodos.....	58
4.4.1 Antecedentes del área de estudio	58
4.4.2 Extracción de aceites esenciales	59
4.4.3 Manejo y análisis estadístico	61
4.5 Resultados y discusión	62
4.5.1 Rendimiento de aceites esenciales en sitios (UM)	62
4.5.2 Métodos de extracción de aceites esenciales	65

4.6 Conclusiones	69
4.7 Literatura citada	70
CAPÍTULO V.....	75
CONCLUSIONES GENERALES	75
CAPÍTULO VI.....	77
RECOMENDACIONES.....	77
CAPÍTULO VI.....	78
LITERATURA CITADA	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	Resumen de 13 análisis de varianza de variables por árbol de <i>Bursera bipinnata</i>	36
3.2	Variables dasométricas por árbol de <i>Bursera Bipinnata</i> en sitios experimentales.....	38
3.3	Resumen de 11 análisis de varianza de variables dasométricas y biomasa de <i>Bursera bipinnata</i> a nivel superficie.....	39
3.4	Variables dasométricas a nivel superficie en sitios de muestreo de <i>Bursera bipinnata</i>	41
4.1	Características de unidades de muestreo de acuerdo al factor de rendimiento en extracción de aceites esenciales.....	58
4.2	Resumen de análisis de varianza en métodos de extracción de aceites esenciales en frutos de <i>Bursera bipinnata</i> en diferentes sitios de exposición y densidad arbórea.....	62
4.3	Rendimiento de aceites esenciales (g/árbol) (g ha ⁻¹) en frutos de <i>Bursera bipinnata</i> colectados en sitios de muestreo de acuerdo al método de extracción.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.1	Localización de los sitios de muestro de <i>Bursera bipinnata</i>	33
3.2	Estimación de biomasa individual por árbol (a) y superficie por sitio (b) en <i>Bursera bipinnata</i>	44
4.1	Análisis clúster de unidad muestrales (UM), por el método hidrodestilación convencional (HD).....	66
4.2	Análisis clúster: clasificación jerárquica unidad experimental (UE), por el método hidrodestilación asistida por microondas (MO).....	69

RESUMEN

Los aceites esenciales son compuestos aromáticos sintetizados por un grupo de plantas, estudiados por su actividad biológica y utilidad en diferentes industrias, estos compuestos son sintetizados en diferentes estructuras de la planta, de acuerdo a la densidad arbórea, la exposición y la calidad del sitio. El objetivo fue evaluar el rendimiento de aceites esenciales contenidos en la biomasa, en frutos de *Bursera bipinnata* de Juchatengo, Oaxaca. Se aplicaron análisis cluster a las unidades muestrales y análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey, 0.05) para diferenciar la formación de biomasa aérea y el rendimiento de aceites esenciales por dos métodos de extracción en sitios de diferente densidad arbórea y exposición. Los resultados del primer artículo mostraron diferencias estadísticas altamente significativas en densidades altas, con exposición al sur (este, oeste), con los mayores contenidos de biomasa en hojas (6708 kg ha^{-1}) y frutos (1582 kg ha^{-1}) y área foliar de $2025 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). En el segundo artículo se encontró que los mejores rendimientos de aceites esenciales en frutos se obtuvieron en los sitios con exposiciones al sur (este, oeste) y densidades arbóreas altas ($>750 \text{ árboles ha}^{-1}$), mediante hidrodestilación convencional e hidrodestilación asistida por microondas (MO1) (1055 g ha^{-1}) y MO2 (720 g ha^{-1}). Se concluye que la exposición y densidad arbórea influyen en el crecimiento de biomasa aérea y, por ende, en el rendimiento de aceites esenciales, el cual fue mayor mediante el método de hidrodestilación convencional para *Bursera bipinnata*.

PALABRAS CLAVE: metabolitos secundarios, nutrientes esenciales, unidad muestral.

SUMMARY

Essential oils are aromatic compounds synthesized by a group of plants, studied for their biological activity and utility in different industries, these compounds are synthesized in different structures of the plant, according to arboreal density, exposure and site quality. The objective was to evaluate the yield of essential oils contained in the biomass in fruits, of *Bursera bipinnata* from Juchatengo, Oaxaca. Cluster analyzes were applied to the sampling units and analysis of variance and means tests (Tukey, 0.05) to differentiate the formation of aerial biomass and the yield of essential oils by two extraction methods in sites with different tree density and exposure. The results of the first article showed highly significant statistical differences in high densities, with exposure to the south (east, west), with the highest content of leaves (6708 kg ha^{-1}) and fruits (1582 kg ha^{-1}) and leaf area of ($2025 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). In the second article, it was found that the best yields of essential oils in fruits were obtained in sites with southern exposures (east, west) and high tree densities ($>750 \text{ trees ha}^{-1}$), by means of conventional hydrodistillation and microwave- assisted hydrodistillation. (MO1) (1055 g ha^{-1}) and MO2 (720 g ha^{-1}). It is concluded that the exposure and tree density influence the growth of aerial biomass and, therefore, the yield of essential oils, which was higher by the conventional hydrodistillation method for *Bursera bipinnata*.

KEYWORDS: secondary metabolites, essential nutrients, sample unit.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los árboles del género *Bursera* crecen en selvas bajas caducifolias, su distribución es muy amplia, por mencionar algunos países como: Venezuela, Colombia, Ecuador, Cuba, Jamaica, en las Islas Galápagos e Islas Revillagigedo. Existen registros fósiles en el Eoceno, Oligoceno y Mioceno con restos de hojas, flores y frutos demostrando endemismos en las Antillas (Cervantes *et al.*, 2016; Gostel *et al.*, 2016). Con relevancia en sus procesos de evolución, biodiversidad y dinámica temporal (Gámez *et al.*, 2014; Antúnez *et al.*, 2021).

En el continente americano el género *Bursera* se distribuye desde el norte de Perú hasta el Sur de Estados Unidos reportando 100 especies, en México se encuentran 80 de ellas, distribuidas a una altitud menor a los 1700 m (Poelchau y Hamrick, 2011; Gámez *et al.*, 2014, Antúnez *et al.*, 2021). Particularmente, en la Cuenca del río Balsas, con 50 especies, y las cuencas del Papagayo, Armería Coahuayana, el Valle de Tehuacán Cuicatlán y Tehuantepec. Albergando el 90% de la riqueza y abundancia en México (Gutiérrez-Santiago *et al.*, 2016).

El género *Bursera* es muy valioso y del cual aprovechan su madera como postes para cercas vivas, en la elaboración de artesanías, de los productos no maderables a partir de hojas y frutos se extrae resina y aceites esenciales (Cruz-Cruz *et al.*, 2017). Ya que en las áreas donde se encuentran, la acumulación de biomasa maderable está condicionada por diversos factores como: grado de exposición, el grado de la pendiente, las condiciones edáficas, la profundidad de las raíces, las etapas fenológicas de los árboles, condiciones climáticas y gradientes de precipitación, que influyen en la densidad arbórea y regeneración natural de árboles de *Bursera bipinnata*, a través de la exposición y donde las cualidades biomecánicas y arquitectura de estos árboles influye en su crecimiento, presentando de 2 a 3 bifurcaciones en su tallo principal con ángulos de 45°, siendo necesarios para el crecimiento del área foliar optimizando la actividad fotosintética, necesaria para la síntesis de sus metabolitos secundarios que le brindan la coloración, olor y sabor (Conn *et al.*, 2017; Vargas-Silva, 2017; Hellström *et al.*, 2018).

A partir de la síntesis de metabolitos secundarios es posible la extracción de aceites esenciales de acuerdo a sus compuestos volátiles terpenos, sesquiterpenos y demás grupos como: aldehídos, fenoles, lípidos éteres, utilizando diferentes métodos de acuerdo a la naturaleza de sus compuestos y polaridad en relación al agua, aunque las más utilizadas son la hidrodestilación convencional (HD) y extracción asistida por microondas (MAE), extrayendo los compuestos volátiles (terpenos, sesquiterpenos) (Gigliarelli *et al.*, 2015; Canales-Martínez *et al.*, 2017; Fernández-Ruiz *et al.*, 2018).

La extracción de aceites esenciales es una actividad ya muy antigua, se carece de estudios para conocer el mejor procedimiento de acuerdo a la cinética de extracción, para determinar la composición de estos aceites esenciales y el rendimiento óptimo utilizando métodos verdes, a partir de la biomasa de los árboles de *B. bipinnata*, La comunidad de San Pedro Juchatengo ya realiza la extracción de resina, por lo cual es necesario innovar y que cuente con un plan para la extracción de aceites esenciales de hojas y frutos de *B. bipinnata* y *B. jorullensis*, para crear una fuente secundaria de ingresos, dándole un valor agregado a la conservación de las especies donde se obtienen los recursos. (Marcano-de Mohali *et al.*, 2013; Gutiérrez-Santiago *et al.*, 2016; Canales-Martínez *et al.*, 2017; Cruz-Cruz *et al.*, 2017; Fernández-Ruiz *et al.*, 2018).

Actualmente existen diversos estudios de los aceites esenciales de *Bursera* con múltiples aplicaciones biológicas, en la medicina, controladores biológicos para plagas y en las industrias de alimentos, cosméticos y debido a la presencia de cariofileno, linalool y acetato de linalilo, de acuerdo el sexo, estado fenológico y órgano del árbol (Ramos-Ordoñez *et al.*, 2013). Por lo cual es importante estandarizar los procedimientos de extracción, optimizando los rendimientos a partir de hojas y frutos (Hernández-Vásquez *et al.*, 2013).

1.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento de aceites esenciales contenidos en la biomasa de *Bursera bipinnata* de Juchatengo, Oaxaca.

1.2. Objetivos específicos

1. Estimar la biomasa de frutos, hojas y área foliar de *Bursera bipinnata* bajo estudio en condiciones contrastantes de sitio y densidad arbórea.
2. Analizar el efecto de factores de sitio y manejo del rodal sobre el rendimiento de aceites esenciales con hidrodestilación asistida por microondas y el método convencional en frutos de *Bursera bipinnata*.

1.3 Hipótesis

Los sitios con exposición sur (este y oeste) y densidades arbóreas mayores a 750 árboles ha⁻¹ generan rendimientos diferenciales de 200% utilizando los métodos de hidrodestilación asistida por microondas e hidrodestilación convencional para extracción de aceites esenciales en *Bursera bipinnata*.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre *Bursera*

2.1.1 Distribución y descripción de *Bursera bipinnata*

De acuerdo con Cervantes *et al.*, (2016) y Gostel *et al.*, 2016), el género *Bursera* se distribuye en los países de Venezuela, Colombia, Ecuador, Cuba, Jamaica y en las Islas Galápagos e Islas Revillagigedo, también se encuentran casos de endemismo en las Antillas, registros de hojas y flores en el Eoceno y Oligoceno inferior de Colorado, así como en el Mioceno se encontraron restos de frutos en Alemania (Rzedowski y Kruse, 1979). En el continente americano su distribución va desde el sureste de Estados Unidos en las cuencas de los ríos Colorado, Gila y Álamo, aunque la mayoría se encuentra en México especialmente en bosques tropicales caducifolios y ambientes xerófilos por debajo de los 1700 m (Poelchau y Hamrick, 2011; Gámez *et al.*, 2014; Antúnez *et al.*, 2021).

Rzedowski *et al.* (2005) mencionan que los estados con mayor diversidad son Guerrero, Michoacán y Oaxaca, encontrando en este último aproximadamente 45 especies de *Bursera* y siendo los principales centros de diversidad la cuenca alta del río Papaloapan, la parte media y baja de la cuenca del río de Tehuantepec y la cuenca del río Balsas, Valles Centrales y la Costa de Oaxaca (Rzedowski *et al.*, 2004). Las burseras contienen fuertes características picantes y dulces, usadas como incienso en iglesias donde es llamado “palo santo”. Esta planta también ha sido usada en medicina tradicional, usando su resina como un analgésico y su exudado disuelto en alcohol para combatir el reumatismo (Rzedowski *et al.*, 2004).

De acuerdo con Montúfar-López (2016), los nombres vernáculos con los que conocen a *Bursera bipinnata* en diferentes lugares son: copal chino, copal santo, palo copal, torote blanco, copal cimarrón, copal amargo, es un árbol bajo con una altura promedio de 6 a 8 m, de corteza grisácea y muy ramificado (Rzedowski y Kruse, 1979), distribuidos en zonas de transición en bosques de pino y encinos de las selvas bajas caducifolias. Con climas cálidos, subhúmedo o seco a alturas de 800 a 1700 m (Castellanos-Castro y Bonfil-Sanders *et al.*, 2010).

El género *Bursera* presenta un aprovechamiento importante en sus recursos maderables y no maderables, como la extracción de resinas y aceites esenciales. Bakkali *et al.* (2008), Estrada-Pérez (2014) y Gutiérrez-Santiago *et al.* (2016) definen a los aceites esenciales como mezclas de compuestos químicos

orgánicos y oxigenados, de plantas que tienen un fuerte olor por sus metabolitos secundarios, constituidos por terpenos, alcoholes, ésteres, éteres, aldehídos, cetonas, lactonas, fenoles y éteres de fenol. Estos compuestos pueden variar de acuerdo a la composición química de la especie, la variedad y ubicación geográfica (Fernández-Ruiz *et al.*, 2018).

Maldini *et al.* (2009) mencionan que muchas especies que pertenecen al género *Bursera* han sido reportadas por contener aceites esenciales, terpenos, esteroides, lignanos y flavonoides que se encuentran en sus resinas. Siendo estos los productos básicos a los que deben su valor económico muchas especies de esta familia (Canales-Martínez *et al.*, 2017).

Los aceites esenciales son compuestos que han tomado relevancia en la industria de productos cosmetológicos, terapéuticos, medicinales, aromatizantes (Rodríguez *et al.*, 2012), pero su posible utilización requiere asegurar el abastecimiento a la industria de materiales vegetales que contienen estas sustancias. Para lo que es conveniente diseñar planes de manejo de los recursos forestales, que aseguraría un desarrollo sostenible de zonas menos industrializadas, pero con una alta disponibilidad de materia vegetal, generando oportunidades de empleo y favoreciendo un mayor crecimiento económico (Rzedowski *et al.*, 2004; Cerpa-Chávez, 2007).

Los aceites esenciales son mezclas naturales muy complejas que pueden contener aproximadamente entre 20-60 componentes en muy diferentes

concentraciones. Ellos son líquidos, volátiles, límpida y rara vez de color, solubles en lípidos y solubles en disolventes orgánicos con una densidad generalmente menor que la del agua. Pueden ser sintetizados por todos los órganos de las plantas, es decir, brotes, flores, hojas, tallos, ramas, semillas, frutas, raíces, madera o corteza, y se almacenan en las células secretoras, cavidades, canales, las células epidérmicas o tricomas glandulares (Rubio-Ortega *et al.*, 2018).

Los extractos obtenidos de la corteza de algunas especies de *Bursera* son utilizadas tradicionalmente como un antipirético, contra hemorragias nasales y para aliviar el dolor muscular. También se utiliza como tratamiento de las lesiones cutáneas y la inflamación del ovario (Bah *et al.*, 2014). Tangarife-Castaño *et al.* (2011) indicaron que la sinergia potencial de los aceites esenciales como antibióticos se ha considerado previamente con los objetivos de aumento de la tasa de destrucción fúngica acortando la duración del tratamiento, evitando la aparición de la resistencia a los medicamentos, la ampliación del espectro de actividad y la disminución de la toxicidad (Black-Solis *et al.*, 2017; Labrada-Hechavarría *et al.*, 2018).

2.1.2 Tipo de vegetación al que se asocia

En México, los árboles de *Bursera* se encuentran generalmente en las selvas bajas caducifolias y se reporta la presencia de especies de este género en bosques secos (Hernández-Pérez *et al.*, 2011), esto está relacionado con sus

procesos fenológicos que están marcados por las estaciones del año que va de 5 a 7 meses, al inicio de la época de lluvias la presencia de hojas, flores y frutos, después de eso durante la época de seca comienzan a defoliarse. También los factores físicos y biológicos tienen gran relevancia.

De acuerdo con Cayuela y Granzow-de la Cerda (2012) las selvas bajas caducifolias (SBC) constituyen el 10% de la superficie la tierra, siendo de vital importancia todos los servicios ambientales que proporcionan y albergando el 70 % de la diversidad florística. La estructura de las poblaciones de árboles presenta una menor altura, las plantas que mayormente se encuentran son espinosas y epifitas, otra cualidad de este ambiente es la caída de su follaje recubriendo el suelo y al llegar la temporada de lluvias empieza la descomposición de hojarasca hasta la incorporación de los minerales en el suelo (Espinosa *et al.*, 2012).

Derivado de esto durante la época de lluvias estos ecosistemas con una precipitación promedio de 800 a 1 200 mm y una temperatura promedio de 24°C mostrando su mayor potencial, aunque en la temporada de secas las especies manifiestan sus adaptaciones biológicas provocadas por el estrés hídrico, al disminuir su producción biológica expresada en la pérdida de follaje (Meira-Arruda *et al.*, 2011; Dzib-Castillo *et al.*, 2014;). En el caso específico de la selva baja caducifolia, está dividida en tres estratos: árboles con dosel continuo, el estrato arbustivo y herbáceas y sabanas, también un factor importante es el pH del suelo esto porque en su mayoría son suelos ácidos con bajas

concentraciones de calcio y magnesio, pero con altas concentraciones de aluminio (Pérez-García *et al.*, 2010).

2.2 Características de crecimiento y reproducción

2.2.1 Hábitos de crecimiento

La SBC se encuentra con un alto grado de fragmentación en áreas de cultivo y zonas de pastoreo en donde las familias vegetales más representativas son Fabaceae, Burseraceae, Rubiaceae, Bignoniaceae y Anacardiaceae, siendo *Bursera* y *Ficus* los géneros con mayor representación. Y se observa un amplio dominio de árboles y arbustos en relación a las plantas trepadoras (Zepeda-Gómez *et al.*, 2017). Siendo la distribución espacial un factor importante de acuerdo a la capacidad de regeneración arbórea, por los procesos ecológicos básicos y la interacción con los factores bióticos que afectan a los procesos de regeneración natural (semillas, propágulos vegetativos y rebrotes) y el establecimiento de los propágulos y rebrotes. La regeneración por propágulos o rebrotes vegetativos presenta una mejor tasa de supervivencia debido a que aprovechan los nutrientes almacenados en la planta madre a través de su raíz, en el caso de reproducción por semillas la generación de plantas también es numerosa, sin embargo, presentan una tasa de supervivencia menor, determinada por los factores antropogénicos (agricultura y ganadería), temperatura, topografía y al estrés hídrico (Espinosa *et al.*, 2012; Zamora-Crescencio *et al.*, 2018).

2.2.2 Arquitectura vegetal

Un aspecto importante es la arquitectura de la copa de los árboles en el dosel de la SBC, este término reconoce que las plantas son organismos que cumplen una importante contribución a través de su arquitectura, con características morfológicas, dimensionales, funcionales y anatómicas que a través de su desarrollo van cambiando (Goethe, 1970; Conn *et al.*, 2017; Vargas-Silva, 2017). A partir de esto dependerá la estructura (ramas, ejes, brotes, hojas), desarrollo de la planta de acuerdo a su proceso evolutivo (filogenia y ontogenia) y la forma y espacio que ocupará la planta. En el caso particular del género *Bursera* presenta una copa mayor por tener ramas en ángulo horizontal (Hellström *et al.*, 2018).

La calidad arquitectónica forma colonias, a través del proceso de reiteración generando un nuevo árbol que crece independiente a la colonia formada. Para garantizar un crecimiento oportuno de los árboles los ángulos de las ramas es un factor importante, a partir de esto se justifica la producción de ramas evitando la superposición de sus hojas para la captación de luz (Peyhardi *et al.*, 2017).

2.2.3 Implicaciones en la intercepción de luz en el dosel

Los árboles realizan múltiples funciones, aunque presenta limitaciones en la captación de luz para los procesos fotosintéticos. La composición biomecánica ejerce influencia al momento de la captación de luz y fijación de carbono

fotosintético, esto comparando la intensidad en la copa a diferencia del sotobosque que es la parte que recibe menor intensidad luminosa, es por esto que las hojas tienen adecuaciones como, por ejemplo: la inclinación de sus hojas en el dosel arbóreo para permitir el ingreso de luz al sotobosque (Alemán-Sancheschúlz *et al.*, 2019).

De acuerdo con Ventre-Lespiauqcq *et al.* (2018) el grado de inclinación está dictado por dos factores importantes: el grado de incidencia solar, la disposición de agua y su grado de exposición. Para esto las plantas durante su crecimiento, presentan un gasto energético, siendo mayor para las que gastan energía en ser más altas, siendo una adaptación fisiológica oportuna en los arboles con mayor copa, ya que en la arquitectura de la planta se produce biomasa para la hoja que requiere consumir energía (Ventre-Lespiauqcq *et al.*, 2016; Ventre-Lespiauqcq *et al.*, 2017).

2.2.4 Adaptaciones fotosintéticas en plantas C3

Las plantas son los únicos organismos con la capacidad de producir sus propias reservas a través de la fotosíntesis, este proceso es fascinante por la absorción de dióxido de carbono que se encuentra abundantemente en la atmosfera. La fotosíntesis es el proceso de excitación de los cloroplastos por absorción de luz durante el proceso fotoquímico ocurre la fotólisis del H₂O que participa como donador de electrones y el transporte de electrones a través de la membrana tilacoidal por el bombeo de protones del estoma cloroplástico a lumen tilacoidal,

a esto lo conocemos como la fase luminosa, en donde el ADP es reducido a adenosin tri fosfato (ATP) y el NADP es reducido a nicotinamida dinucleótido fosfato (NADPH), la fase oscura es un proceso independiente a la luminosa, pero que usa el ATP y NADPH durante el ciclo de Calvin para la fijación del CO₂ atmosférico por la coenzima RubisCO, y la síntesis de carbohidratos (Almeraya-del Valle y Sánchez-Quintanar, 2015).

La coenzima RubisCO es la que controla el ciclo de Calvin para catalizar la reacción de carboxilar así como oxigenar, aunque RubisCO asimila más fácilmente el CO₂ (concentración de 0.035%) presenta la dualidad de sintetizar O₂ (concentración ambiental de 21%), esto mayormente se da porque los estomas se encuentran cerrados y la planta experimenta estrés hídrico, bajas o altas temperaturas y deficiencia de nutrientes, este puede por varios factores como la temporalidad de las lluvias, inclinación y capacidad de retención del suelo (Peterhansel y Offermann, 2012).

2.2.5 Arquitectura de la raíz

La raíz es la responsable de que la planta este anclada al suelo, teniendo tres funciones fundamentales: explorar el sustrato, crecer (en profundidad o distribuirse en las diferentes capas del suelo) y absorción de nutrientes del sustrato y el agua que necesita la planta para crecer. Teniendo tres zonas bien diferenciadas: división celular, diferenciación y elongación. Las raíces son estructuras fundamentales en el balance de carbono en los ecosistemas, y en

éstas se encuentran las raíces finas que son las responsables de la absorción de agua y nutrientes, las raíces gruesas estas brindan sostén, anclaje de las plantas y la aireación del suelo (Quinto-Mosquera *et al.*, 2016).

A través del sistema radicular se absorbe el calcio, fósforo, boro y el 50% de nitrógeno, este último ayuda en el transporte de la fitohormas como la citoquinina que ayuda en estimular el crecimiento de los órganos de la parte aérea (rebrotos, propapulos y estructuras reproductivas). El fósforo estimula el crecimiento de las raíces, actúa en la fotosíntesis, respiración, división, alargamiento celular, almacenamiento y transferencia de energía (Bonfil-Sanders *et al.*, 2007).

2.3 Formación de la biomasa

2.3.1 Estructura de la madera

La biomasa de los árboles está constituida en su mayoría por fibras y materiales celulares. Estas estructuras brindan la estructura y resistencia a los árboles. De acuerdo con Vargas-Silva (2017) existen ocho niveles jerárquicos: órgano (tronco), tejido (madera), célula de madera, paredes celulares laminadas, paredes individuales, fibras de celulosa, microfibrillas y protofibrillas. La celulosa es la encargada de darle soporte y flexibilidad a la estructura, además que forman la pared celular, que constituye a las fibras, microfibrillas y nanocristales de celulosa. Los troncos deben de ser capaces de soportar su propio peso, también deben mantener flexibilidad para soportar la presión, tensión causada por

condiciones climáticas como la lluvia y soportar los vientos fuertes, que pueden causar deformaciones y torsión con la madera (Vargas-Silva, *et al.*, 2019; González-García *et al.*, 2020).

2.3.2 Acumulación de biomasa.

La biomasa es un indicador de los procesos fisiológicos y bioquímicos que se llevan a cabo en la planta como respuesta a las condiciones de producción prevalecientes en el ciclo de vida de la misma (Curiel-Rodríguez *et al.*, 2007). Los aceites esenciales se obtienen de diferentes plantas aromáticas y se almacenan a lo largo de toda su estructura como en: raíces, tallos, hojas, flores, frutos y semillas. Para poder medir la biomasa es necesario llevar a cabo análisis directos o indirectos con base en el tamaño y dimensiones de los árboles (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Díaz-Franco *et al.*, 2007; Fonseca *et al.*, 2009).

2.4 Metabolismo primario y secundario

2.4.1 Metabolitos primarios

Los metabolitos primarios son los que obtiene la planta a través del suelo, agua y el medio ambiente, estos son sintetizados en la fase luminosa de la fotosíntesis, produciendo glucosa, fructosay sacarosa la planta los sintetiza en disacáridos y oligosacáridos que utiliza durante su desarrollo, supervivencia y reproducción de la planta (Ruffino *et al.*, 2008, Verdecia *et al.*, 2021). A nivel celular los

metabolitos primarios son importantes ya que son importantes en la estructura de las membranas, funcionan como estabilizadores regulando la función osmótica en la célula, ya que por estrés salino afecta la fotosíntesis y metabolismo primario afectando la síntesis de carbohidratos, lípidos y proteínas, disminuyendo de manera importante la clorofila y carotenoides (Herrera *et al.*, 2017).

2.4.2 Sitios de demanda y almacenamiento de metabolitos primarios

La planta necesita una ruta eficiente para el transporte de nutrientes, garantizando la correcta comunicación de los órganos (Paumier *et al.*, 2018). Este sistema vascular está formado el xilema y floema, diferenciados cada uno por las células del procámbium, el xilema es el que transporta agua y minerales para su síntesis que va desde la raíz, tallo, ramas laterales, hojas, flores y frutos, para después ser transportados por el floema para la formación de nódulos, sitios de demanda y vertedero de nutrientes (Zúñiga-Sánchez *et al.*, 2017).

2.4.3 Metabolismo secundarios

Los metabolitos secundarios son producidos en el floema el cual se divide en tres partes: el colector que se localiza en las venas del órgano fuente, el transportador que se localiza a lo largo de la ruta desde el órgano fuente hasta el órgano de demanda y el ultimo es el de liberación localizado cerca del órgano

destino. Existe una variación de nutrientes de acuerdo a la ruta en floema en su forma y descarga de la savia (Zúñiga-Sánchez *et al.*, 2017).

Los metabolitos secundarios se almacenan en distintas estructuras de la planta como son las raíces, tallos, hojas (laticíferos, tricomas), a nivel celular se almacenan a presión plástidos en los conductos internos de los ideoblastos, vacuolas, retículo endoplasmático y citosol. La producción de los mismos presenta una alta correlación con las temperaturas máximas y la lluvia esto ayuda a la planta a mantener un buen balance hídrico (Herrera *et al.*, 2017).

2.4.4 Mecanismos de la síntesis de los metabolitos secundarios

Los procesos de síntesis, transporte y degradación están influenciados por la estructura del ecosistema, la cantidad de nutrientes primarios disponibles, el suelo, la humedad, temperatura, la luz, el contenido de sales y la precipitación. Esto va determinar las carencias de la planta o si sufrirá algún tipo de estrés, otro factor poco estudiado que afecta en la evaporación de aceites esenciales, alcaloides tropánicos es la velocidad del viento ya que aumenta la transpiración de la planta, provocando que haya mayor conducción de nutrientes de la raíz hacia los sitios de demanda (Holopainen *et al.*, 2018, Verdecia *et al.*, 2021).

La síntesis se da por las rutas de ácido mevalónico, deoxi-xilulosa fosfato para terpenos, ácido shikímico y la ruta del ácido malónico para polifenoles, activados en el citosol, metileritritol fosfato (MEP) activado en los cloroplastos, incluidas

hormonas giberelinas y ácido abscísico. La ruta de los alcaloides es más compleja en donde está la ruta del mevalonato, ácido shikímico, ácido malónico y mezclas de las mismas. Los cuatro grupos de metabolitos secundarios son: terpenos, compuestos fenólicos, glicósidos y alcaloides (Martín-Gordo, 2018; Estrada-Jiménez *et al.*, 2019).

Los terpenos están estructurados de acuerdo a sus unidades de carbono, isoprenos (cinco carbonos), monoterpenos: como α -pineno, limoneno, geraniol y mentol (dos unidades de carbono), sesquiterpenos como: β -cariofileno y β -bisabileno (tres unidades de carbonos), diprenos como: giberelinas, tocoferol, retinol y fitol (cuatro unidades de carbono), triterpeno como: esteroides, limonoides, cardenolipidos y saponinas (treinta carbonos), tetraterpenos como: carotenoides (cuarenta carbonos) y politerpenos (ocho unidades de isoprenos), plastoquinonas, ubiquinonas y caucho (Martín-Gordo, 2018).

Dentro de los compuestos fenólicos se encuentran: cumarinas, flavonoides, lignina y taninos. Los glicósidos se encuentran saponinas, glicósidos cardiacos, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos y en los alcaloides las quinolinas, isoquinolina, indol, tropano, quinolizidina, piperidina, purina, pirrolizideno (Wencomo y Ortiz, 2012). El transporte de los productos de los metabolitos secundarios se da a través de los plasmodesmos que funcionan como puentes que se conectan entre las paredes celulares, en el retículo endoplasmático. Los plasmodesmos transportan macromoléculas, proteínas que sintetizan los RNA como mecanismos de defensa (Hernández-Alvarado *et al.*, 2018).

2.4.5 Factores que afectan la síntesis de metabolitos secundarios

De acuerdo con Holopainen *et al.* (2018) los factores principales que afectan la síntesis de los metabolitos secundarios son la edad de la planta, sus mecanismos de defensa, la disponibilidad de nutrientes primarios, el clima, la luz y el suelo (González-Sierra *et al.*, 2019; Pinard *et al.*, 2019). Las perturbaciones afectan en la estructura y espacialidad de las plantas, éstas pueden ser naturales o provocadas, las naturales son los temblores, huracanes, inundaciones y fuertes vientos. En el caso de las provocadas intervienen las actividades como la ganadería, agricultura, la infraestructura y el crecimiento de las poblaciones humanas, siendo condicionados los ecosistemas a dar una respuesta adaptativa, durante la sucesión ecológica, para recuperar su diversidad y riqueza, aunque esto dependerá de su capacidad de resiliencia (Rivas-Arancibia *et al.*, 2015; Tadeo-Noble *et al.*, 2019).

2.4.6 Metabolitos secundarios identificados en *Bursera*.

Los metabolitos que se identifican de acuerdo con Noge y Becerra (2009) son: monoterpenos como camfeno, limoneno, β -mirceno, β -felandreno, α -pinneno y β -pineno. En el caso de los sesquiterpenos se encuentran α -bisalboleno, δ -candineno, β -cariofileno, γ -humuleno, α -cedreno, γ -muruleno y δ -sileno, los cuales han sido observados en las hojas de *Bursera fagaroides*. Dentro de los compuestos fenólicos se encuentran fenilpropanoides como: ácido cinámico, ácido benzoico y benzaldehído. Fenol fenilatos como; tetrahidrocannabinol.

Fenilpropanoides dimericos como: ácido nordihidrogualeico al igual que alérgenos fenólicos como: pentadecilcatecol y heptadecilcatecol, también se han encontrado lignanos, taninos y alcaloides en hojas, semillas y frutos (Ruffino *et al.*, 2008; Noge y Becerra, 2009).

2.5 Aceites esenciales

2.5.1 Generalidades de los aceites esenciales

Las plantas de manera natural a través de procesos fisiológicos sintetizan metabolitos secundarios, estos compuestos activos los utilizan para su protección de depredadores y también como atrayentes, ya que estos compuestos presentan olores, sabores peculiares. A través del tiempo se tienen identificados 300 aceites esenciales con actividad biológica de biosida y antimicrobiana, es importante saber que la concentración y disponibilidad de los aceites esenciales va variar de acuerdo a el genotipo de la planta, que su nivel de expresión es afectado por las condiciones ambientales: climáticas y edáficas (Granados-Chinchilla *et al.*, 2016; Granados-Chinchilla, 2017; Bermúdez-Vásquez *et al.*, 2019).

Los aceites esenciales presentan una demanda que va en aumento debido a sus compuestos activos aprovechados en las industrias de alimentos, perfumería, cosméticos, farmacéutica, también sus activos biológicos usados en la medicina como analgésico, antiinflamatorio, antimicrobial, antiviral, antitumoral y

anticombulsiónante, colocándolos en el mercado con un valor económico importante (Murugesan *et al.*, 2011; Fon-Fay *et al.*, 2019).

Esta gran demanda e importancia de los aceites esenciales, generó la realización de diversos estudios para la extracción eficiente y amigable con el medio ambiente, utilizando diferentes órganos de las plantas, evaluando sus compuestos y actividad biológica en diferentes áreas. En el género *Bursera*, se reportan estudios utilizando hojas, frutos y viruta, siendo los frutos lo que presentan un mayor rendimiento del 3 %, con una composición del 95 % de monoterpenos hidrocarbonados y monoterpenos oxigenados (Carrión-Paladines *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2016; Williams-Cáceres *et al.*, 2019; Fon-Fay *et al.*, 2019).

Latino América durante el año 2014 las exportaciones reportadas para Brasil 56%, México 6.71 y Argentina 3.89%, mostrando un crecimiento (Hurtado y Villa, 2016). De acuerdo con un estudio realizado por el Tecnológico de Monterrey en 2011 las empresas que exportan aceites esenciales están asociadas a la fabricación de fragancias, saborizantes y productos de aroma terapia. Europa es uno de los principales mercados, para América Latina, lo que generó una ganancia de 250 mil millones de dólares durante el año 2015, de acuerdo con información de la FAO en 2013, se calcula una producción de 20 a 40 mil toneladas, en el periodo que va de 2016 a 2022. Aunque uno de los principales problemas en el crecimiento en las exportaciones en México se encuentra

asociado a la falta de una producción estable de aceites esenciales (Boom-Cárcamo *et al.*, 2018).

2.5.2 Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se agrupan de acuerdo a diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

Según su consistencia los aceites esenciales se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas. Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente. Los bálsamos son más espesos, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización (Cáceres-Ferreira *et al.*, 2019). Pueden ser de origen natural, artificial o sintético. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas. Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes. Los aceites esenciales sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales, la mayoría de las veces, se producen por procesos de síntesis química (Muñoz-Acevedo *et al.*, 2013).

2.5.3 Aceites esenciales del género *Bursera*

La riqueza florística de México lo sitúa en uno de los primeros lugares con alrededor de 27,000 especies, estando determinado por las condiciones geográficas, la selva baja caducifolia alberga al género *Bursera*. Según lo reportado por Rey-Valeirón *et al.* (2017) y Fon-Fay *et al.* (2019) varias de las especies de este género presentan buenos rendimiento (%) de aceites esenciales (terpenos, esteroides, lignanos y flavonoides), extraídos de diversas estructuras vegetativas de la planta, conservando la integridad de los árboles, no interfiriendo en el incremento de biomasa maderable, desarrollo de hojas y frutos, con dicho manejo se pueden establecer estrategias de acuerdo a algún método de extracción, que brinde un recurso económico que fortalezca la economía familiar (Carretero *et al.*, 2008; Hernández-Pérez *et al.*, 2011; Quiroz-Carranza y Magaña-Alejandro, 2015).

2.6 Extracción y rendimiento

2.6.1 Hidrodestilación convencional (HD)

La extracción de aceites esenciales por el método de hidrodestilación convencional, es el más utilizado en donde la muestra está en contacto directo con una manta que irradia calor directamente a la muestra vegetal, el aceite esencial cae en una trampa de Clevenger, en donde se determina su rendimiento (Volumen, %). Aunque una de las desventajas de este procedimiento es el alto

costo de energía y los tiempos en la extracción es la más utilizada, Cáceres-Ferreira *et al.* (2019) recomienda utilizar muestras de 200 g, con una relación mayor de solvente (agua) para cascara, hojas, frutos y las semillas. Este procedimiento mediante el arrastre de vapor selecciona los compuestos volátiles, los cuales se condensan obteniendo los aceites esenciales (Granados-Chinchilla *et al.*, 2016; Santos-de Oliveira, 2020).

El objetivo de la HD, es llevar a estado de ebullición a presión atmosférica, el solvente obteniendo un extracto con el material vegetal aromático, de tal manera que los vapores generados puedan ser condensados y colectados. El aceite, que es inmiscible en agua, se separa posteriormente de la destilación. El tiempo total de destilación es función al tratamiento previo de la muestra vegetal. La aplicación de calor se debe cuidar que la condensación de los aceites esenciales sea adecuada, para no perder los compuestos volátiles. (León-Méndez *et al.*, 2015; Megawati *et al.*, 2019).

2.6.2 Hidrodestilación asistida por microondas (MO)

El procedimiento de hidrodestilación asistida por microondas, es más reciente que HD, es eficiente en reducir los tiempos de extracción, es más selectivo en los compuestos volátiles, debido a que las microondas interaccionan con la pared celular rompiéndola, obteniendo los aceites esenciales almacenados mayormente en las vacuolas, conservando las cualidades de los compuestos volátiles y aumentando el rendimiento (Mohammad-Taghi *et al.*, 2016).

Algunas ventajas de usar MO, es que se tiene una extracción controlada, se aplica el calor sin contacto, haciendo efectiva la transferencia de calor, controlando el gradiente térmico, se obtienen mayores rendimientos en tiempos cortos, es amigable con el medio ambiente, el manejo de los equipos es más práctico, reducción de espacios (Mohammad-Taghi *et al.*, 2016; Megawati *et al.*, 2019).

2.6.3 Cinética de extracción.

La cinética de la extracción en aceites esenciales es parte fundamental durante una extracción poder correlacionar el caudal de difusión con la temperatura (Mehran, *et al.*, 2020), brindando la rapidez a la extracción, teniendo un procedimiento estandarizado (do-Nascimento-Silveira Dorneles *et al.*, 2019), se establecen modelos que permitan optimizar y cuantificar el rendimiento de aceites esenciales, de acuerdo al tiempo sobre el volumen obtenido (%).

CAPÍTULO III

Área foliar y biomasa aérea de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. influenciadas por densidad arbórea y exposición del sitio

Leaf area and aboveground biomass of *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. influenced by tree density and site exposure

Emanuel Hernández-Cortés¹ Gerardo Rodríguez-Ortiz^{2*} Luicita Lagunez-Rivera³
José Raymundo Enríquez-del Valle² Gisela Virginia Campos-Angeles² Vicente
Arturo Velasco Velasco²

^{1,2} Estudiante, investigador, Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO).
División de Estudios de Posgrado e Investigación, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.
CP 71233. ³ Laboratorio de Extracción y Análisis de Productos Naturales Vegetales, Instituto
Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Oaxaca, Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca,
C.P. 71230, México. * Autor para correspondencia; correo-e:
(gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx).

Artículo enviado a la Revista Mexicana de ciencias Forestales. Con fecha 30/05/2022.

3.1 Resumen

La biomasa aérea de especies arbóreas de la selva baja caducifolia tiene relación estrecha con la densidad arbórea y la calidad del sitio, en la que se incluye la exposición. El objetivo fue estimar la biomasa de frutos y hojas y área foliar (AF) en *Bursera bipinnata*, en condiciones contrastantes de exposición del sitio y densidad arbórea en Juchatengo, Oaxaca. Se establecieron 12 sitios de muestreo (UM) en diferentes condiciones de densidad arbórea y exposición; en donde durante los meses de mayo a septiembre del 2021, se registraron datos, y colectaron muestras de 70 ramas con diámetros basales de 0.5 a 3.8 cm, separando rama, hoja y fruto y tomando el peso fresco. El AF por rama se determinó escaneando las hojas y mediante el software ImageJ®. Posteriormente en laboratorio, las muestras se secaron y se registró el peso seco de los componentes. La biomasa y AF por rama y árbol se estimó mediante el ajuste de modelos regresión, para integrar los valores por unidad muestral (UM). Se realizó análisis de varianza (Proc GLM) y pruebas de medias (Tukey, 0.05) para los componentes por árbol y UM. Los sitios con exposición sureste y densidad superior a 750 árboles ha⁻¹, presentaron los mayores crecimientos, altamente significativos ($p \leq 0.0001$) en todas sus variables, en árboles individuales y a nivel de superficie. La biomasa de *B. bipinnata* en ramas, hojas y frutos fueron, respectivamente 11.1, 7.1 y 1.6 t ha⁻¹. Los resultados son útiles para la estimación de aceites esenciales en frutos y hojas de la especie, pero se recomienda realizar estudios de acuerdo al estado fenológico de la planta.

Palabras clave: Área foliar, biomasa de frutos, biomasa foliar, copal chino, crecimiento isométrico, ImageJ.

3.2 Abstract

The aboveground biomass of arboreal species in the low deciduous jungle has a close relationship with arboreal density and site quality, in which the includes the exhibition. The objective was to estimate the biomass of fruits and leaves and leaf area (AF) in *Bursera bipinnata*, in under contrasting conditions of site exposure and arboreal density in Juchatengo, Oaxaca. twelve sampling sites (UM) were established under different conditions of arboreal density and exposure; data were recorded, during the months of May to September 2021, and samples of 70 branches with basal diameters of 0.5 to 3.8 cm were collected separating branch, leaf and fruit and taking the fresh weight. Leaf area (AF) per branch was determined by scanning the leaves and using ImageJ® software. Subsequently, in the laboratory, the samples were dried and the dry weight of the components was recorded. Biomass and AF per branch and tree was estimated through adjusting regression models, to integrate the values per sample unit (MU). Analysis of variance was performed (Proc GLM) and mean tests (Tukey, 0.05) were performed for the tree and MU components. The sites with southeast exposure with a density greater than 750 trees ha⁻¹, presented the heights growth, highly significant ($p \leq 0.0001$) in all its variables, in individual trees and at surface level. The biomass of *B. bipinnata* in branches, leaves and fruits were, respectively, 11.1, 7.1 and 1.6 t ha⁻¹. These results Can be useful for the

estimation of essential oils in fruits and leaves of the species, but it is recommended to carry out studies according to the phenological state of the plant.

Index words: Leaf area, fruit biomass, foliar biomass, Chinese copal, isometric growth, ImageJ.

3.3 Introducción

Bursera bipinnata Sessé & Moc. ex DC. conocido localmente como “copal chino” forma parte de la selva baja caducifolia existente en el centro y sur de México, donde los habitantes de esas zonas la han aprovechado de diferentes formas: cercos vivos, uso de la madera para elaborar artesanías y recolecta de resina para quemarla durante rituales que tienen antecedentes prehispánicos; también de sus frutos y hojas se extraen aceites esenciales que se usan en las industrias médicas, de alimentos, cosmética, como fungicidas y controladores biológicos (Bravo-Bolaños *et al.*, 2016; Cruz-Cruz *et al.*, 2017).

En las zonas donde se aprovecha *B. bipinnata*, los suelos son de fertilidad limitada y es importante generar estrategias sustentables que promuevan la regeneración de las poblaciones vegetales, sin afectar la estructura arbórea ni provocar estrés o la muerte de esta especie (Peyhardi *et al.*, 2017; Vargas-Silva, 2017; Zepeda-Gómez *et al.*, 2017).

La magnitud de crecimiento de *B. bipinnata* es afectada por diversos factores como la calidad del sitio, la competencia y densidad arbórea. Estos árboles son caducifolios que modifican sus hábitos generando estrategias de adaptación y así asegurar su supervivencia (Hellström *et al.*, 2018; Vargas-Silva, 2019).

Durante la estación seca, periodo en que disminuye la disponibilidad de agua en el suelo, *B. bipinnata* reduce su crecimiento, optimiza su potencial hídrico, presenta defoliación y las hojas desprendidas se depositan en el suelo (Almeraya-del Valle y Sánchez-Quintanar, 2015; Ventre-Lespiauq *et al.*, 2016; Quinto-Mosquera *et al.*, 2016).

Durante el periodo de lluvia la disponibilidad de los recursos hídricos favorece las condiciones para el desarrollo de nuevas hojas y de frutos, también se requiere que los nutrimentos esenciales estén disponibles pues son importantes para que la planta desarrolle área foliar y sea eficiente fotosintéticamente; estos factores tienen relación en el incremento de volumen maderable, la acumulación de biomasa, en tanto la densidad arbórea favorece el crecimiento isométrico de las ramas y copa de los copales en el dosel arbóreo (Ventre-Lespiauq *et al.*, 2017; Peters *et al.*, 2018).

Otro aspecto que favorece el incremento de biomasa en las áreas en donde se encuentran árboles de edad avanzada, que al morir se forman claros en donde la incidencia de luz aumenta, lo que promueve el crecimiento de los árboles menores favoreciendo la densidad arbórea del rodal, influenciados por los factores abióticos y la exposición de los sitios (Ventre-Lespiauq *et al.*, 2018; Alemán-Sancheschúlz *et al.*, 2019).

Actualmente, en San Pedro Juchatengo se aplica un plan de manejo y aprovechamiento en 1,585 ha comunales, para la extracción de resina en *B. bipinnata* y *B. jorullensis* (Kunth) Engl. En dicho plan de manejo se tiene determinado la magnitud de recursos arbóreos y su distribución de acuerdo a su clase diamétrica. Ya que, para implementar acciones que sean acordes con un

manejo sustentable se requieren datos sobre la magnitud del recurso forestal y de su dinámica estructural (Montúfar-López, 2016). El presente trabajo tuvo el objetivo de estimar la biomasa de frutos, hojas y área foliar de *Bursera bipinnata*, en condiciones contrastantes de exposición del sitio y densidad arbórea en San Pedro Juchatengo, Oaxaca.

3.4 Materiales y Métodos

3.4.1 Área de estudio

El área de estudio de San Pedro Juchatengo se localiza a los 16° 15' 22" N y 97° 04' y 98° 09' O; en un rango de altitudes entre 800 y 1,900 m (Figura 1). La superficie total de la comunidad es de 5,768 ha. Los climas predominantes son: semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (29.56%); cálido subhúmedo (Cwa), con lluvias en verano. La temperatura varía entre 16° y 26°C con precipitaciones promedio que fluctúan de 1,000 a 1,500 mm. Los suelos predominantes son el Regosol con un 41.0% y Leptosol de 35.4% (INEGI, 2017). A partir del año 2017 se realiza el aprovechamiento en extracción de resina de *B. bipinnata* y *B. jorullensis* en el plan de manejo de 1,585 ha; ambas especies con potencial para la extracción de aceites esenciales en frutos y hojas.

3.4.2 Inventario de sitios de muestreo

Los datos se recabaron durante la temporada primavera-verano en los meses de mayo a septiembre de 2021, en 12 sitios de muestreo de 400 m², los cuales

fueron establecidos de forma selectiva, de acuerdo a su densidad arbórea (alta: ≥ 750 árboles ha^{-1} y baja: < 525 árboles ha^{-1}) y exposición (Corral-Rivas *et al.*, 2009; Cruz-Cruz *et al.*, 2017). Se realizó inventario del arbolado con diámetros al pie (DP) > 7.0 cm, para los árboles de *B. bipinnata* se tomaron las siguientes variables dasométricas: diámetro de pie (DP, cm) altura a la primera bifurcación (APB, cm), diámetro de la primera bifurcación (DPB, cm), diámetro normal (DN, cm), diámetro de copa (DC, m) en sus dos ejes (N-S y E-O) y altura total (AT, m). Los datos de diámetro se tomaron con un vernier LATINTUL[®], el área de copa con un flexómetro TRUPER[®] 50 m y la altura total con un flexómetro PRETUL[®] de 8 m (Figura 3.1) (Hernández-Ramos *et al.*, 2021).

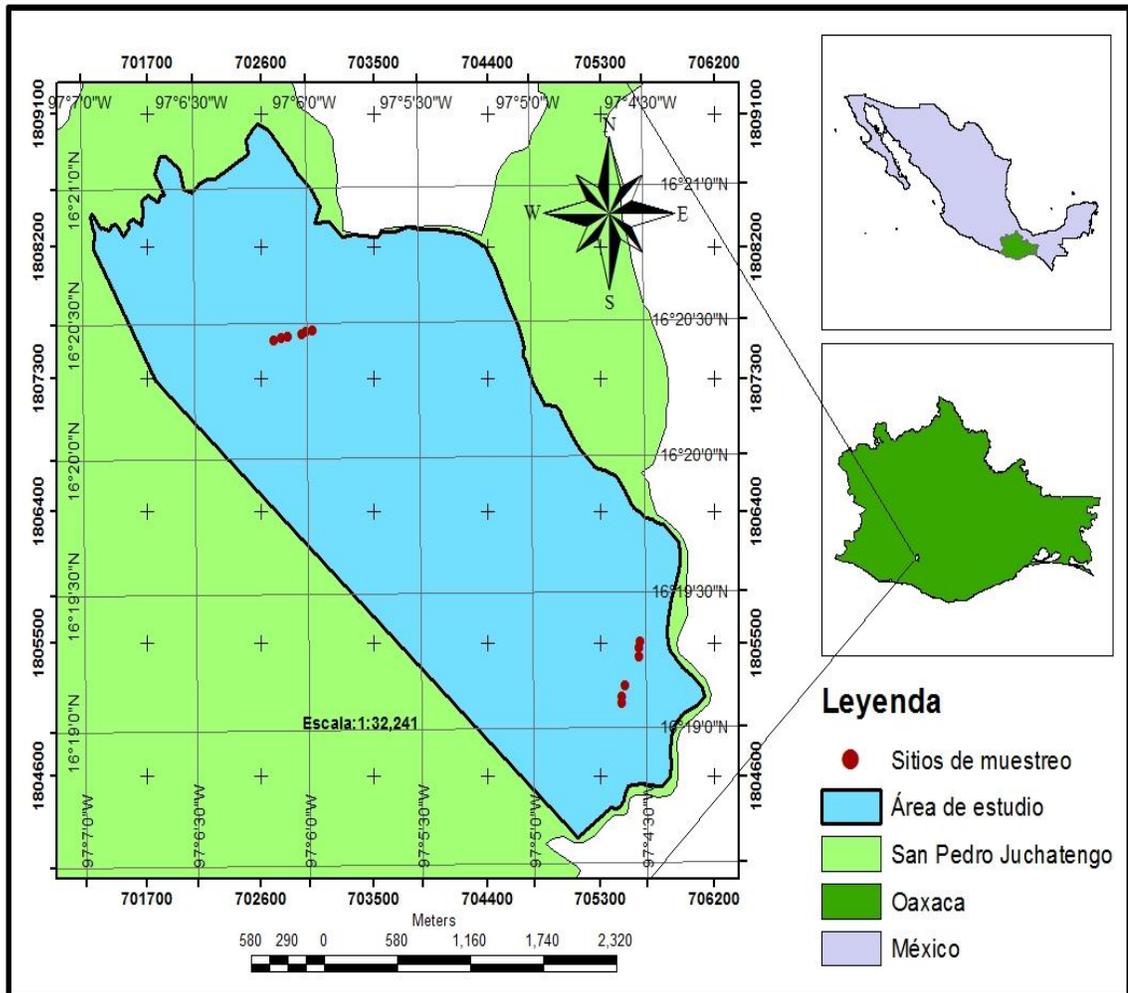


Figura 3.1. Localización de los sitios de muestreo de *Bursera bipinnata*. Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de volumen maderable se seleccionaron en total 60 árboles (5 árboles por sitio), entre 7 y 90 cm de DP (Navarro-Martínez *et al.*, 2002; Guzmán-Santiago *et al.*, 2020); estos se cubicaron en pie tomando su diámetro y longitud de cada sección (tallos y ramas) (cm), con ayuda de un vernier marca LATINTUL® y un flexómetro de 8 m marca PRETUL® (Quiñonez-Barraza *et al.*, 2019; José-Hernández *et al.*, 2020; García-Aguilar *et al.*, 2021). El volumen de cada rama fue estimado mediante la ecuación de Newton (García-Cuevas *et al.*, 2017), y entonces se sumaron los volúmenes de las ramas para así obtener el volumen

por árbol. Se ajustaron modelos de regresión por árbol para estimar volumen (Vol), en función al diámetro normal (DN, cm) y altura total (AT, m):

$$Vol = 0.001006 \times \ell^{(DN^{0.263738} \times AT^{0.380176})}, R_{adj}^2 = 0.68).$$

3.4.3 Muestreo destructivo de hojas y frutos

Durante el mes de septiembre del 2021 en el paraje “La Curva”, se realizó el muestreo destructivo, al cortar 70 ramas con diámetro basal entre 0.5 y 3.8 cm de *B. bipinnata*. Se separaron hojas y frutos de las ramas, posteriormente se guardaron las muestras en bolsas de papel previamente identificadas; se obtuvo peso fresco (g) con una báscula digital TRUPER®, modelo 15161 con capacidad de 5,000±1.0 g. Se calculó área foliar (AF, cm²) mediante escaneo de las hojas de cada rama con una multifuncional EPSON® modelo L210, para después procesar la información en el programa ImageJ®. Se realizaron regresiones para estimar por rama, área foliar (AF) y biomasa de hojas (BH), de frutos (BF) y rama (BR), en función del área basal de rama (ABR, cm²) ($AF = 142.7 \times ABR^{0.4563}$, $R_{adj}^2 = 0.87$; $BH = 21.82 \times ABR^{0.69}$, $R_{adj}^2 = 0.88$; $BF = 48.99 \times \ell^{1/ABR \times -2.62}$, $R_{adj}^2 = 0.70$; $BR = 32.66 \times ABR^{0.70}$, $R_{adj}^2 = 0.90$); de igual manera se realizaron regresiones para estimar la biomasa de hojas, frutos y rama a nivel árbol, en función a diámetro de pie (DP, cm) y altura total (AT, m) ($BH = 56.1656 \times DP^{1.1724} \times AT^{1.0314}$, $R_{adj} = 0.83$; $BF = 31.4035 \times DP^{1.0316} \times AT^{0.7145}$, $R_{adj} = 0.82$; $BR = 85.1791 \times DP^{1.1769} \times AT^{1.0421}$, $R_{adj} = 0.83$).

Las muestras se secaron en estufa de secado Memmert®, modelo 100-800, las hojas y frutos a 72 °C y ramas a 102 °C hasta obtener peso constante, posteriormente se obtuvo el peso seco (g). La biomasa se calculó con el factor de conversión $FC = Ps/Pf$.

Donde

B = biomasa (g)

Pf = peso fresco (g)

Ps = peso seco (g).

3.4.4 Manejo y análisis de datos

Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$); las variables que no cumplieron los supuestos se transformaron a \log_{10} , \log , arcoseno , $\log_{10}\sqrt{x}$ y $\text{arcotangente}\sqrt{x}$. Los 12 sitios (mezcla de dos densidades arbóreas y exposiciones) se diferenciaron mediante el modelo general lineal (PROC GLM), pruebas de medias (Duncan, 0.05) por árbol y pruebas de medias (Tukey, 0.05) por superficie. Los procedimientos estadísticos se realizaron en el programa SAS (SAS Institute Inc., 2014).

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Análisis individual

La mayoría de variables evaluadas mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.0001$) debido a las condiciones de los sitios, solo número de bifurcaciones no fue significativa ($p > 0.05$), respecto a los datos dasométricos y de biomasa en frutos, hojas y ramas de cada árbol. La mayor heterogeneidad (CV = 251.0%) se mostró en el volumen (m³) y la mayor homogeneidad se encontró en las variables altura total y número de bifurcaciones (CV < 44%) (Cuadro 3.1). El CV alto puede ser debido a que la muestra incluyó el arbolado de todas las clases diamétricas desde 1.5 a 54.1 cm.

Esto se debe a las diferencias biomecánicas en la estructura de los árboles, en las densidades arbóreas bajas existe un crecimiento mayor en su copa en relación a su altura, para densidades altas existe un mayor crecimiento en su altura total en relación a la copa, esto se debe que se encuentran en conglomerados, ya que presentan un crecimiento, con una mecánica estructural de dos bifurcaciones en promedio, en su tallo principal, el crecimiento de sus ramas en ángulos de 45 grados, con la distribución espacial adecuada en el dosel arbóreo que permite el ingreso de luz a los niveles inferiores del dosel, a las clases de árboles pequeños y codominantes, para el crecimiento de las masas irregulares, en función al grado de exposición, la disponibilidad de nutrientes (Interián-Ku *et al.*, 2009; Dzib-Castillo *et al.*, 2014; García-Cuevas *et al.*, 2017; Alemán-Sancheschúlz *et al.*, 2019; García-Aguilar *et al.*, 2021).

Cuadro 3.1. Resumen de 13 análisis de varianza de variables por árbol de *Bursera bipinnata*.

Variable	GL error	Sitio	Error	CV (%)	\sqrt{MSE}
Diámetro de pie	671	1.24**	0.07	76.7	0.27
Altura de la primera bifurcación ^{††}	637	10.74**	1.02	75.3	1.01
Diámetro de primera bifurcación	671	0.21**	0.01	97.8	0.11
Número de bifurcaciones [†]	671	0.05 ^{ns}	0.01	18.4	0.12
Diámetro normal [†]	625	2.22**	0.17	107.6	0.41
Diámetro de copa ^{†††}	671	0.13**	0.01	61.8	0.09
Altura total [†]	671	0.68**	0.04	44.0	0.20
Área de copa ^{††}	671	4.87**	0.30	131.1	0.54
Área foliar [§]	671	0.21**	0.01	149.2	0.10
Volumen ^{§§}	671	0.04**	0.00	251.0	0.07
Biomasa de frutos [†]	671	2.70**	0.15	112.9	0.39
Biomasa de hojas [†]	671	4.12**	0.23	147.1	0.48
Biomasa de ramas [†]	671	4.17**	0.24	148.3	0.49

Datos transformados a [†]LOG10, ^{††}LOG, ^{†††}LOG10, [§]ATAN, ^{§§}ARCOS.

GL = grados de libertad, CV = coeficiente de variación, MSE = cuadrado medio del error, **=altamente significativo ($p \leq 0.01$), ns = no significativo ($p > 0.05$).

Los mayores crecimientos en diámetros: normal, de pie, de la primera bifurcación y de copa, también en área de copa, altura total y volumen en *B. bipinnata*, se presentaron en sitios con densidad arbórea alta ($A \geq 750$ árboles ha^{-1}) y exposición sureste (A_SE). El arbolado que tuvo altura de la primera bifurcación mayor estuvo ubicado en los sitios al suroeste (A_SO). De esta manera, los sitios localizados en A_SE mostraron un crecimiento diferencial mayor en área foliar (105%), altura total (39%) y volumen (10%) con respecto al resto de los sitios (Cuadro 3.2).

Estos resultados se encuentran relacionados de forma directa en la calidad diamétrica de cada individuo de *B. bipinnata*, de acuerdo a lo reportado por Quinn y Thomas (2015) y Peters *et al.* (2018), que mencionan que este factor influye en

la biomasa aérea, tomando como referencia una calidad diamétrica mayor a 10 cm. De esta misma manera, la exposición influye en la relación de la productividad primaria que existe de acuerdo a estos sitios y de la regulación entre los agentes externos en la disponibilidad de agua y nutrientes primarios, almacenados durante la estación de secas, lo que genera un proceso de reposo en la planta en donde los agentes internos optimizan los procesos hídricos del tallo y raíz. Esto es una adaptación de la planta para poder mejorar su potencial osmótico, en áreas donde el terreno no presenta pendientes pronunciadas, favoreciendo la retención de suelo y captación de agua. Urquiza-Haas *et al.* (2007), estudiaron el efecto de los niveles de perturbación (perturbación forestal, huracanes e incendios), sobre la biomasa aérea en zonas de sucesión ecológica en la Península de Yucatán, encontrando que las áreas con mayor humedad muestran recuperación acelerada y mayor crecimiento en la biomasa aérea. En la latitud norte intertropical donde se ubica Oaxaca, México, en zonas de montaña, las exposiciones sur reciben más radiación solar directa apropiada para mayor intensidad fotosintética, acumulación de biomasa y crecimiento, y las temperaturas suelen ser más cálidas que las exposiciones norte (Rentería y Jaramillo 2011; Bhaskar *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2016; Ngangyo-Heya *et al.*, 2017; León-Peláez *et al.*, 2021).

Cuadro 3.2. Variables dasométricas por árbol de *Bursera bipinnata* en sitios experimentales.

Variable	Sitios			
	B_NE	A_SO	B_E	A_SE
Diámetro de pie (cm)	9.6±0.7 ^b	7.8±0.4 ^c	7.2±0.4 ^c	12.1±0.8 ^a
Altura de la primera bifurcación (cm)	53.9±4.4 ^c	102.9±4.3 ^a	69.1±4 ^b	78.9±5.5 ^b

Diámetro de la primera bifurcación (cm)	9.2±0.8 ^b	6.5±0.4 ^c	6.1±0.4 ^c	11.9±0.9 ^a
Número de bifurcaciones	2.3±0.1 ^a	2.1±0.0 ^b	2.2±0.0 ^{ba}	2.1±0.0 ^b
Diámetro normal (cm)	12.5±1.3 ^a	7.9±0.6 ^b	7.7±0.6 ^b	13.5±1.1 ^a
Diámetro de copa (m)	2.6±0.2 ^b	2.4±0.1 ^b	2.3±0.1 ^b	3.4±0.1 ^a
Altura total (m)	2.8±0.2 ^c	3.2±0.1 ^b	3.0±0.1 ^{cb}	3.9±0.1 ^a
Área de copa (m ²)	7.5±1.1 ^b	6.3±0.5 ^b	5.9±0.7 ^b	11.6±1.1 ^a
Área foliar (m ²)	1.0±0.1 ^b	0.8±0.1 ^b	0.7±0.1 ^b	1.7±0.2 ^a
Volumen (dm ³)	2.3±3.1 ^b	2.1±2.4 ^b	2.0±3.1 ^b	5.3±10.7 ^a

Media se acompaña ± desviación estándar. Letras diferentes en filas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

B_NE= baja densidad (<525 árboles ha⁻¹) con exposición noreste; A_SO= alta densidad (≥750 árboles ha⁻¹) exposición suroeste; B_E = baja densidad con exposición este; A_SE= alta densidad con exposición sureste.

3.5.2 Análisis a nivel superficie

Todas las variables evaluadas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre sitios, la mayor heterogeneidad ($CV > 30.0\%$) se presentó en biomasa de ramas y hojas; por otro lado, las variables diámetro de pie, de copa y número de bifurcaciones fueron más homogéneas ($CV < 11.9\%$) (Cuadro 3.3).

Los sitios experimentales presentan diferencias en su composición arbórea debido a que en el ciclo pasado se realizó aprovechamiento en la extracción de resina, que, al realizar heridas en el tronco, y si éstas son muy severas originó que cierta cantidad de individuos adultos murieran localizados en zonas de alta densidad en exposiciones al sur (A_SO y A_SE) (Hernández-Stefanoni *et al.*,

2015; Puglielli *et al.*, 2015). Cabe destacar que dichas exposiciones presentan diferencias en la estructura del dosel, debido al grado de conservación; el promedio de la densidad arbórea alta fue de 750 y para densidades bajas 750 árboles ha⁻¹, con clases diamétricas superiores a 7.5 cm (Figura 2b) (Joalland *et al.*, 2016; Victoria-Meakem *et al.*, 2017; León-Peláez *et al.*, 2021).

Cuadro 3.3 Resumen de 11 análisis de varianza de variables dasométricas y biomasa de *Bursera bipinnata* a nivel de superficie.

Variables	GL error	Sitio	Error	CV (%)	\sqrt{MSE}
Diámetro de pie [†]	8	0.2**	0.01	11.9	0.10
Altura a la primer bifurcación [†]	8	0.2*	0.06	26.1	0.25
Diámetro de la primer bifurcación [†]	8	0.3**	0.03	21.2	0.17
Número de bifurcaciones	8	0.2**	0.02	2.9	0.16
Diámetro normal ^{††}	8	0.1*	0.01	23.9	0.09
Diámetro de copa [†]	8	0.1**	0.01	9.7	0.10
Altura total	8	0.7*	0.15	12.2	0.39
Área foliar	8	1575263**	173229.2	29.5	416.2
Biomasa de ramas	8	4383.1**	4795956	30.2	2189.1
Biomasa de hojas	8	1790.1**	1960143.9	30.1	1400.1
Biomasa de frutos	8	88.8**	105557.6	28.1	324.1

Datos transformados a [†]LOGn, ^{††}LOG10.

GL = grados de libertad, CV = coeficiente de variación, MSE = cuadrado medio del error.

**Altamente significativo ($p \leq 0.01$), *significativo ($p \leq 0.05$).

Los mayores crecimientos para *B. bipinnata* se presentaron en el tratamiento A_SE para la mayoría de las variables, excepto en número de bifurcaciones. La altura de la primera bifurcación presentó el mayor valor en el sitio A_SO (exposición suroeste); de esta manera se observa que existe un crecimiento diferencial mayor en 78% de área foliar y 29% altura total de sitios localizados A_SE que en otras localizaciones (Cuadro 3.4). Estos resultados coinciden por

lo reportado por Avella-M *et al.* (2019) y Derroire *et al.* (2016), debido que la selva baja caducifolia presenta un alto nivel de resiliencia por tener una estructura arbórea madura; además que para esto influyen una serie de aspectos en *B. bipinnata*, los principales el nivel de competencia, el clima y las condiciones edáficas en la disponibilidad de nutrientes que se encuentra en el suelo (Almazán-Núñez *et al.*, 2012). Esto factores son importantes durante el crecimiento de *B. bipinnata* ya que influyen directamente bajando los niveles de mortalidad y favoreciendo a la sucesión ecológica para las áreas de los sitios en alta densidad localizados al sur (A_SO y A_SE), donde se observa mayor grado conservación de al menos 10 años. También su grado de exposición en dirección al mar (sur) provoca que los vientos al superar las montañas favorezcan dichas áreas, ya que se favorece el crecimiento de hierbas, arbustos y árboles, que en terrenos de laderas la vegetación ayuda a la retención del suelo y agua (Avella-M *et al.*, 2019).

Los sitios en densidades arbóreas bajas localizados al noreste y este (B_NE y B_E) están expuestos a actividades ganaderas y agrícolas, aunado a que los sitios presentan pendiente promedio de 40%, son factores que influyen en la erosión de suelo, bajas tasas de regeneración de arbolado y que los individuos establecidos mueren jóvenes (Lebrija-Trejos *et al.*, 2010; González-M *et al.*, 2018).

Cuadro 3.4. Variables dasométricas a nivel superficie en sitios de muestreo de *Bursera bipinnata*.

Variable	Sitio			
	B_NE	A_SO	B_E	A_SE
Diámetro de pie (cm)	10.1±0.7 ^b	7.82±0.3 ^c	7.14±0.2 ^c	12.42±1.0 ^a
Altura a la primer bifurcación (cm)	51.6±4.7 ^b	106.44±6.7 ^a	68.41±6.1 ^{ba}	77.46±13.6 ^{ba}
Diámetro de la primer bifurcación (cm)	9.8±1.3 ^{ba}	6.44±0.4 ^{bc}	5.99±0.2 ^c	12.14±1.6 ^a
Número de bifurcaciones	2.3±0.1 ^a	2.11±0.02 ^b	2.18±0.02 ^{ba}	2.10±0.01 ^b
Diámetro normal (cm)	11.3±2.1 ^{ba}	7.33±0.5 ^b	7.22±0.05 ^b	13.95±1.7 ^a
Altura total (m)	2.8±0.1 ^b	3.23±0.3 ^{ba}	3.00±0.3 ^b	3.88±0.2 ^a
Área foliar (m ² ha ⁻¹)	668.7±246 ^b	1876±164.1 ^a	934.8±172 ^b	2173±337.5 ^a

Media se acompaña ± desviación estándar.

Letras diferentes en filas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

B_NE= baja densidad (<525 árboles ha⁻¹) con exposición noreste; A_SO= alta densidad (≥750 árboles ha⁻¹) exposición suroeste; B_E = baja densidad con exposición este; A_SE= alta densidad con exposición sureste.

Ngangyo-Heya *et al.* (2017) reportan un valor para biomasa foliar de (2,687 kg ha⁻¹), en estudio realizado en la misma estación de primavera con cinco especies leñosas en plantaciones semiáridas del noreste de México. Mientras que en el presente trabajo la biomasa foliar fue de 7,098 kg ha⁻¹ (Figura 2b). De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos mostraron diferencias estadísticas significativas en las variables de biomasa, a nivel individual y de superficie ($p \leq 0.05$). Al respecto en la evaluación a nivel individual (por árbol), los árboles con los valores más altos de biomasa de frutos, hojas y ramas (1.3, 5.7 y 8.9 kg/árbol)

estuvieron en los sitios A_SE (Figura 2a). En el caso del análisis a nivel superficie la biomasa de hojas y ramas tuvieron los valores más altos (7,098 y 11,106 kg ha⁻¹) para los sitios A_SE, mientras que el valor más alto en la biomasa de frutos se presentó en el tratamiento A_SO (1,596.1 kg ha⁻¹). Considerando para los tratamientos con mayor crecimiento una densidad arbórea alta ≥ 750 árboles ha⁻¹.

La acumulación de biomasa en *B. bipinnata* se encuentra muy marcada por la estacionalidad y su fenología, ya que el estudio se realizó en primavera, los árboles venían de una temporada de secas, que es una etapa de reposo, con ramas sin hojas y frutos (Derroire *et al.*, 2016). En el presente trabajo, en los sitios A_SE y A_SO el terreno tiene una pendiente de 40%; rodal por anualidad cerrado y con un grado de perturbación moderado por actividades de ganadería y agricultura (Guzmán-Santiago *et al.*, 2020; José-Hernández *et al.*, 2020).

Conociendo el comportamiento de la biomasa (incluyendo frutos) y área foliar en *B. bipinnata* en San Pedro Juchatengo y tomando en consideración que la especie está sujeta a extracción de resina, es posible integrar planes de manejo sustentables en los que se pueda realizar el aprovechamiento para la extracción de aceites esenciales de hojas y frutos (Marcano-de Mohali *et al.*, 2013; Gutiérrez-Santiago *et al.*, 2016; Canales-Martínez *et al.*, 2017; Fernández-Ruiz *et al.*, 2018), sin causar algún estrés o daño a los copales, logrando brindar un recurso extra a las familias y fortalecer su economía (Huerta-García *et al.*, 2019; Avella-M *et al.*, 2019).

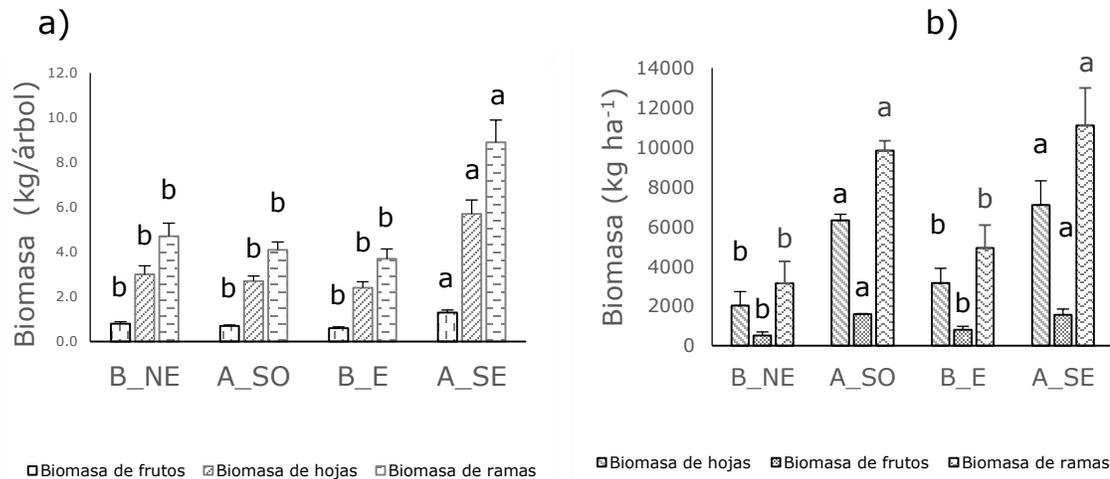


Figura 3.2. Estimación de biomasa individual por árbol (a) y superficie por sitio (b) en *Bursera bipinnata*. B_NE= baja densidad (<525 árboles ha⁻¹) con exposición noreste; A_SO= alta densidad (≥750 árboles ha⁻¹) exposición suroeste; B_E = baja densidad con exposición este; A_SE= alta densidad con exposición sureste. En cada gráfica y variable, letras distintas en columnas por compartimento son estadísticamente distintas (a Duncan, b Tukey, 0.05).

3.6 Conclusiones

En San Pedro Juchatengo, Oaxaca, los sitios con exposición al sur (A_SO y A_SE) y vegetación en densidades mayores a 750 árboles ha⁻¹ de *Bursera bipinnata* presentaron los mejores crecimientos. Estos sitios no presentan altos índices en disturbios, tienen los árboles de mayor edad y dimensiones. De acuerdo a los montos de biomasa obtenidos en los sitios A_SO y A_SE, en hojas (6,318±304.1, 7,098±1,212.3 kg ha⁻¹), frutos (1,596.21±31.1, 1,567.2±278.9 kg ha⁻¹) y área foliar (1,876±164.1, 2,173±337.5 m² ha⁻¹). Con los resultados obtenidos se puede elaborar un plan de manejo, con estrategias para el aprovechamiento sustentable innovando la extracción de aceites esenciales por medio de órganos de la planta

(hojas y frutos), evitando la sobre explotación de este recurso, daño y estrés a los árboles, ya que estas áreas presentan un potencial alto en el área foliar y biomasa aérea, derivado de su buen estado de conservación y regeneración natural de árboles de *Bursera bipinnata*.

3.7 Literatura citada

Alemán-Sancheschúlz, G., E. Solano, T. Terrazas y J. López-Portillo. 2019. La arquitectura hidráulica de las plantas vasculares terrestres, una revisión. *Madera y Bosques*. 25(3): 1-17. doi: 10.21829/myb.2019.2531828

Almazán-Núñez, R. C., M. del C. Arizmendi, L. E. Eguiarte, and P. Corcuera. 2012. Changes in composition, diversity and structure of woody plants in successional stages of tropical dry forest in southwest Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83(4): 1096-1109. DOI: 10.7550/rmb.30403

Almeraya-del Valle, E. V. y E. Sánchez-Quintanar. 2015. Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación del carbono. *Ciencia*. 66(4): 74-79.

Avella-M. A., N. García-G, F. Fajardo-Gutiérrez y A. González-Melo. 2019. Patrones de sucesión secundaria en un bosque seco tropical interandino de Colombia: implicaciones para la restauración ecológica. *Caldasia* 41(1):12-27. DOI: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.65859>

Bhaskar, R., S. Porder, P. Balvanera and E. J. Edwards. 2016. Ecological and evolutionary variation in community nitrogen use traits during tropical dry forest secondary succession. *Ecology*. 97(5): 1194-1206. DOI: 10.1890/15-1162.1/supinfo

Bravo-Bolaños, O., A. Sánchez-González, J. A. de Nova Vázquez y N. P. Pavón Hernández. 2016. Composición y estructura arbórea y arbustiva de la vegetación de la zona costera Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Botanical Sciences*. 94(3): 603-623. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.461>

Canales-Martínez, M., C. R. Rivera-Yañez, J. Salas-Oropeza, H. R. Lopez, M. Jimenez-Estrada, R. Rosas-Lopez, D. A. Duran, C. Flores, L. B. Hernandez, and M. A. Rodriguez-Monroy. 2017. Antimicrobial activity of *Bursera morelensis* Ramírez essential oil. *Tradit Complement Altern Med*. 14(3): 74-82. doi:10.21010/ajtcam.v14i3.8

Corral-Rivas, J. J., B. Vargas L., C. Wehenkel, O. A. Aguirre C., J. G. Álvarez G. y A. Rojo A. 2009. Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos en Bosques del Estado de Durango. Editorial UJED. Durango, Dgo., México. 81 p.

Cruz-Cruz, M., V. M. Antonio-Gómez, G. Rodríguez-Ortiz, I. G. Vásquez-Barranco, L. Lagunes-Rivera y E. Hernández-Santiago. 2017. Resina y aceites esenciales de tres especies de copal del sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 4(1): 12-23.

Derroire, G., P. Balvanera, C. Castellanos-Castro, G. Decocq, D. K. Kennard, E. Lebrija-Trejos, J. A. Leiva, P. C. Odén, J. S. Powers, V. Rico-Gray, M. Tigabu and J. R. Healey. 2016. Resilience of tropical dry forests a meta-analysis of changes in species diversity and composition during secondary succession. *Oikos*. 125(10): 1386-1397. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.03229>

Dzib-Castillo, B., C. Chanatásig-Vaca y N. A. González-Valdivia. 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85(1): 167-178. DOI: 10.7550/rmb.38706

García-Aguilar, J. Á., J. J. Luna-Cedeño, G. Rodríguez-Ortiz, y J. C. Leyva-López. 2021. Acumulación de biomasa en estacas de cuatro especies de *Bursera* en Oaxaca. *CIENCIA ergo-sum*. 28(2): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.30878/ces.v28n2a9>.

García-Cuevas, X., J. Hernández-Ramos, A. Hernández-Ramos, G. Quiñonez-Barraza, J. C. Tamarit-Urías y G. G. García-Espinoza. 2017. Predicción del diámetro normal, altura y volumen a partir del diámetro del tocón en especies tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 8(43): 90-116.

González-M, R., H. García, P. Isaacs, H. Cuadros, R. López- Camacho, N. Rodríguez, K. Pérez, F. Mijares, A. Castaño-Naranjo, R. Jurado, Á. Idárraga-Piedrahíta, A. Rojas, H. Vergara and C. Pizano. 2018. Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letters*. 13(4): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaad74>

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. *Agroproductividad*. 9(3): 66-72.

Guzmán-Santiago, J. C., O. A. Aguirre-Calderón and B. Vargas-Larreta. 2020. Técnicas de estimación del volumen forestal con especial énfasis en los trópicos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 26(2): DOI: 292-306. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.07.061>

Fernández-Ruiz, M., L. Yepes-Fuentes, I. Tirado-Ballestas y M. Orozco. 2018. Actividad repelente del aceite esencial de *Bursera graveolens* Jacq. ex L., frente *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 (*Coleoptera: Tenebrionidae*). *Anales de Biología* 40(10): 87-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.40.10>

Hellström, L., L. Carlsson, D. S. Falster, M. Westoby, and A. Brännström. 2018. Branch thinning and the large-scale, self-similar structure of trees. *The American Naturalist*. 192(1): 37-47. DOI: 10.1086/697429

Hernández-Ramos, J., J. C. Tamarit-Urias, A. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas y E. Buendía-Rodríguez. 2021. Modelos para estimar el volumen comercial de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y de *Metopium brownei* (Jacq.) Urb. en Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12(68): 5-29. DOI: 10.29298/rmcf.v12i68.814.

Hernández-Stefanoni, J. L., K. D. Johnson, B. D. Cook, J. M. Dupuy, R. Birdsey, A. Peduzzi and F. Tun-Dzul. 2015. Estimating species richness and biomass of tropical dry forests using LIDAR during leaf-on and leaf-off canopy conditions. *Applied Vegetation Science*. 18(4): 724-732. Doi: 10.1111/avsc.12190

Huerta-García, R. E., N. L. Ramírez-Serrato, F. D. Yépez-Rincón, and D. F. Lozano-García¹. 2019. Precision of remote sensors to estimate aerial biomass parameters: portable LIDAR and optical sensors. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 24(2): 219-235. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.09.059>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación Escala 1: 250 000. Serie VI (Conjunto nacional). URL: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250s6gw.xml?httpcache=yes&xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc.html.xsl&indent=no> (2 de diciembre de 2021).

Interián-Ku, V. M., J. I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, M. A. Borja-de-la-Rosa, and H. Vaquera-Huerta. 2009. Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 11(85): 17-29.

Joalland, S., C. Screpanti, A. Gaume and A. Walter. 2016. Belowground biomass accumulation assessed by digital image based leaf area detection. *Plant and Soil*. 398(1): 257-266. DOI 10.1007/s11104-015-2660-9

José-Hernández, Y. G. Rodríguez-Ortiz, J. R. Enríquez-del Valle, G. V. Campos-Angeles, V. A. Velasco-Velasco y J. Ruiz-Luna. 2020. Modelos alométricos de biomasa aérea para *Leucaena esculenta* en un sistema agroforestal. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 7(1); 30-41.

Lebrija-Trejos, E., J. A. Meave, L. Poorter, E. A. Pérez-García and F. Bongers. 2010. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 12(1): 267–275.

León-Peláez, J. D., W. Caicedo-Ruiz and J. Castellanos-Barliza. 2021. Reactivation of nutrient cycling in an urban tropical dry forest after abandonment of agricultural activities. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 23(3): 357-365. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.11.068>

Marcano de Mohali, E., A. Padilla-Baretic y L. Rojas-Fermín. 2013. Aceite esencial extraído por hidrodestilación del tejido xilemático de ramas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. *Revista Forestal Latinoamericana*, 28(1): 27-36.

Victoria-Meakem, A. J. Tepley, E. B. Gonzalez-Akre, V. Herrmann, H. C. Muller-Landau, S. J. Wright, S. P. Hubbell, R. Condit and K. J. Anderson-Teixeira. 2017. Role of tree size in moist tropical forest carbon cycling and water deficit responses. *New Phytologist Now*. 219(3): 947-958. Doi: 10.1111/nph.14633

Montúfar-López, A. 2016. Copal de *Bursera bipinnata*. Una resina mesoamericana de uso ritual. *Trace*. 1(70): 45-78.

Navarro-Martínez, J., A. Borja-de la Rosa, M. Á. Musalem-Santiago, H. Ramírez-Maldonado, y D. Granados-Sánchez. 2002. Ecuaciones y tablas de volúmenes comerciales con y sin corteza para *Peltogyne mexicana* Martínez, una especie amenazada del Estado de Guerrero, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 8(2): 133-139.

Ngangyo-Heya, M., R. Foroughbakhch-Pournavab, A. Carrillo-Parra, L. R. Salas-Cruz, M. A. Alvarado-Vazquez y V. Bustamante-García. 2017. Producción de biomasa foliar y patrón de caída de hojarasca de cinco especies maderables en plantaciones forestales de tierras semiáridas del noreste de México. *Ciencias Botánicas*. 95(2): 295-305. DOI: 10.17129/botsci.770

Peters, R., A. Olagoke, and U. Berger. 2018. A new mechanistic theory of self-thinning: Adaptive behaviour of plants explains the shape and slope of self-thinning trajectories. *Ecological Modelling*. 390:1–9. doi:10.1016/j.ecolmodel.2018.10.005

Peyhardi, J., Y. Caraglio, E. Costes, P. Lauri, C. Trottier and Y. Guédon. 2017. Integrative models for joint analysis of shoot growth and branching patterns. *New Phytologist*. 216(4): 1291-1304. DOI: 10.1111/nph.14742

Puglielli, G., M. Fiore-Crescente, A. R. Frattaroli and L. Gratani. 2015. Leaf mass per area (LMA) as a possible predictor of adaptive strategies in two species of *Sesleria* (Poaceae): analysis of morphological, anatomical and physiological leaf traits. *Annales Botanici Fennici*. 52(1/2): 135-143.

Quinn, E.M., and S. C. Thomas. 2015. Age-related Crown Thinning in Tropical Forest Trees. *Biotropica*, 47(3): 320–329. doi:10.1111/btp.12218

Quinto-Mosquera, H., F. Moreno-Hurtado, H. Y. Caicedo-Moreno y M. T. Y. Perez-Luis. 2016. Biomasa de Raíces Finas y Fertilidad del Suelo en Bosques Pluviales Tropicales del Pacífico Colombiano. *Colombia Forestal*. 19(1): 53-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a04>

Quiñonez-Barraza, G., Z. D. de los Santos-Posadas, H. M., Santiago-García, W. Tamarit-Urías, J. C., and J.A. Nájera-Luna. 2019. Compatible taper, volume, green weight, biomass and carbon concentration system for *Quercus sideroxyla* Bonpl. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1): 49-69. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.050>.

Rentería, L. Y., y V. J. Jaramillo. 2011. Rainfall drives leaf traits and leaf nutrient resorption in a tropical dry forest. *Oecologia*. 165(1): 201-211. DOI 10.1007/s00442-010-1704-3

SAS Institute Inc. 2014. Programming with Base SAS® 9.4, Second Edition. SAS Institute. Cary, NC. USA. 900 p.

Urquiza-Haas, T., P. M. Dolman, and C. A. Peres. 2007. Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. *Forest Ecology and Management*. 247(1-3): 80–90. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.04.015

Vargas-Silva, G. 2017. Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. 25(3): 510-523. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000300510>.

Vargas-Silva, G. 2019. Biomecánica de los árboles: crecimiento, anatomía y morfología. *Madera y Bosques*. 25(3): e2531712. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531712>

Ventre-Lespiaucq, A. B., A. G. Escribano-Rocafort, J. A. Delgado, M. D. Jiménez, R. Rubio de Casas, C. Granado-Yela, and L. Balager. 2016. Field patterns of temporal variations in the light environment within the crowns of a Mediterranean evergreen tree (*Olea europaea*). *Trees*. 30(3): 995–1009. DOI: 10.1007/s00468-015-1328-7

Ventre-Lespiauq, A. B., J. A. Delgado, N. H. Ospina-Calderón, J. T. Otero, A. Escudero, M. A. Sánchez, L. Balaguer and N. S. Flanagan. 2017. A tropical epiphytic orchid uses a low-light interception strategy in a spatially heterogeneous light environment. *Biotropica*. 49(3): 318–327. DOI: 10.1111/btp.12425

Ventre-Lespiauq, A., Flanagan, N. S., Ospina-Calderón, N. H., Delgado, J. A., & Escudero, A. 2018. Midday Depression vs. Midday Peak in Diurnal Light Interception: Contrasting Patterns at Crown and Leaf Scales in a Tropical Evergreen Tree. *Frontiers in Plant Science*. 9(3): 1-10. DOI: 10.3389/fpls.2018.00727

Xu X., D. Medvigy, J. S. Powers, J. M. Becknell, K. Guan. 2016. Diversity in plant hydraulic traits explains seasonal and inter-annual variations of vegetation dynamics in seasonally dry tropical forests. *New Phytol*. 212(1): 80-95. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14009>

Zepeda-Gómez, C., C. Burrola-Aguilar, L. White-Olascoaga y C. Rodríguez-Soto. 2017. Especies leñosas útiles de la selva baja caducifolia en la Sierra de Nanchititla, México. *Madera y Bosques*. 23(3): 101-119. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331426>.

CAPÍTULO IV

ACEITES ESENCIALES DE FRUTOS DE *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. EN EL SUR DE OAXACA

[ESSENTIAL OILS OF *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. FRUITS AT SOUTHERN OAXACA]

Emanuel Hernández-Cortés¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz^{2§}, Luicita Lagunez-Rivera³, José Raymundo Enríquez-del Valle², Gisela Virginia Campos-Angeles²

¹ Estudiante e ²investigador, Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. CP 71233. ³ Laboratorio de Extracción y Análisis de Productos Naturales Vegetales, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71230, México. §Autor para correspondencia: (gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx).

Artículo por enviar al Journal Industrial Crops and Products. Con fecha probable 01/08/2022.

4.1 RESUMEN

El rendimiento de los aceites esenciales contenidos en frutos tiene relación con la biomasa aérea, de acuerdo a la calidad del sitio. El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento de aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata*, colectados en sitios con diferentes condiciones, en Juchatengo, Oaxaca, sometidos a tres metodologías. En laboratorio se extrajeron los aceites esenciales de los frutos mediante los métodos de hidrodestilación convencional (HD) e hidrodestilación asistida por microondas (MO) con potencias (855 y 1555 W); se registraron los datos de rendimiento y se aplicó el factor de conversión a los datos de biomasa de frutos a nivel árbol y superficie. Se realizó análisis de varianza y pruebas de medias (Duncan, 0.05, Tukey, 0.05) para los componentes por árbol y por superficie, también se realizó análisis clúster de unidades muestrales (UM). Los tres métodos de extracción mostraron valores altamente significativos ($p \leq 0.01$) en el rendimiento de aceites contenido en la biomasa de frutos, donde las UM con densidades altas, más de 750 árboles ha^{-1} , con exposición sur (este, oeste) y utilizando el método de hidrodestilación convencional presentaron los mejores rendimientos de aceites esenciales (1064.9 ± 23.4 , 1045.6 ± 186.1 g ha^{-1}). El análisis clúster mostró que el menor rendimiento de aceites esenciales en frutos asocia UM con bajas densidades arbóreas y exposición al sureste y mayor altitud. Estos resultados son la base para continuar el estudio con otras especies de copal y determinar su rendimiento de aceites esenciales en función a la calidad del sitio.

Palabras clave. Calidad del sitio, cinética de extracción, clúster, dendrograma, hidrodestilación convencional, hidrodestilación asistida por microondas.

4.2 ABSTRACT

The yield of the essential oils contained in the fruits it has a relationship to the above ground biomass, depending on the quality of the site. The objective of this research was to evaluate the yield of essential oils in *Bursera bipinnata* fruits, collect in sites with different conditions, in Juchatengo, Oaxaca, subjected to three methodologies. In the laboratory they extracted by the essential oils of the fruits were through the conventional hydrodistillation (HD) and microwave-assisted hydrodistillation (MO) methods with two powers (855 and 1555 W); Yield data were recorded and the conversion factor was applied to fruit biomass data at tree and surface level. Analysis was done of show them variance and mean tests (Duncan, 0.05, Tukey, 0.05) for the per tree and surface components, a cluster analysis of sampling units' sample also performed (MU). The three extraction methods showed highly significant values ($p \leq 0.01$) in the yield of oils contained in the fruit biomass, where the MU, with high densities, more than 750 trees ha⁻¹, with southern exposure (east, west) and using the conventional hydrodistillation method, they presented the best yields of essential oils (1064.9±23.4, 1045.6±186.1 g ha⁻¹). The cluster analysis showed that the lower yield of essential oils in fruits associates MU with low arboreal densities and exposure to the southeast and higher altitude. These results are the basis to continue the study with other species of copal and determine its yield of essential oils depending on the quality of the site.

Index words: Site quality, extraction kinetics, cluster, dendrogram, conventional hydrodistillation, microwave-assisted hydrodistillation.

4.3 INTRODUCCIÓN

La demanda de los aceites esenciales ha incrementado debido a su utilidad en las industrias de perfumería, cosméticos, farmacéutica. Se tiene documentado que diversos aceites esenciales muestran actividad biológica, antitumoral, antiviral, anticonvulsionante, antioxidante y como analgésico y antiinflamatorio, empezando a sustituir el uso de drogas sintéticas (Fon-Fay *et al.*, 2019; Chamali *et al.*, 2022). Los aceites esenciales de *Bursera* tienen efecto biológico como acaricida, insecticida, fungicida y antimicrobiana (Li *et al.*, 2015; Fernández-Ruiz *et al.*, 2018) ya que en sus frutos se encuentran monoterpenos, como limoneno, α -felandreno, p-cimeno, mirceno y canfeno (Rey-Valeirón *et al.*, 2017).

Bursera bipinnata (DC.) Engl. es un árbol caducifolio, que se encuentra en selva baja caducifolia (Zepeda-Gómez *et al.*, 2017), cuando los árboles de esta especie son sometidos a estrés debido a las condiciones ambientales, edáficas, los árboles aumentan la síntesis de metabolitos secundarios (Zamora-Crescencio *et al.*, 2018), que son percibidos mediante su aroma, sabor y colores que son agradables y atractivos (Montúfar-López, 2016). De acuerdo con Marcano-de Mohali *et al.* (2013) describen que la resina fresca y aceites esenciales son usados para curar enfermedades de la piel como herpes, abscesos y picaduras de insectos, también son utilizadas en tés hojas, corteza y resina que se usan para curar gripa, infecciones urinarias, estomacales, purgante y diurético, bajo un

enfoque sustentable sin causar efectos secundarios(Herrera *et al.*, 2017; Verdecia *et al.*, 2021; Zúñiga-Sánchez *et al.*, 2017).

El estudio de los aceites esenciales se está incrementando, por su actividad biológica, algunos se utilizan en medicina, mientras que otros funcionan como controlador biológico en diferentes cultivos. Entonces, interesa asegurar el abastecimiento de estas sustancias, para lo que se requiere estandarizar métodos de extracción, que ayuden a optimizar el rendimiento evaluando la relación de la muestra vegetal/solvente y la difusión de calor, haciendo eficientes los procesos, reduciendo los tiempos de extracción, y que estos sean amigables con el medio ambiente. Para la extracción de aceites esenciales los procesos de destilación probados son hidrodestilación convencional (HD) e hidrodestilación asistida por microondas (MO) (de-Souza-Junior *et al.*, 2020).

La HD es un método tradicional, que usa agua como solvente, por lo que tiene una ventaja de no dejar residuos tóxicos. Durante la hidrodestilación el extracto (muestra vegetal y, solvente), se encuentra en un recipiente que es sometido a calentamiento, y el calor se transfiere por difusión controlando el gradiente de destilación; aunque también presenta desventajas como los tiempos largos de extracción (León-Méndez *et al.*, 2015; Cáceres-Ferreira *et al.*, 2019; Megawati. *et al.*, 2019). El método MO es de uso más reciente ofreciendo mejores resultados con la reducción de los tiempos de extracción y aumentando los rendimientos de aceites esenciales, ya que la emisión de calor se da por la amplitud de ondas de acuerdo a la potencia del equipo, el cual rompe la pared celular, dejando disponibles los compuestos volátiles distribuidos en los órganos de la célula, específicamente las vacuolas. De acuerdo con León Méndez *et al.* (2015), realizo

la comparación de ambos métodos en *Citrus sinensis* L., demostrando las diferencias entre los tiempos de extracción y control de temperatura, HD tuvo un rendimiento de 0.42% en 180 minutos y MO tuvo un rendimiento de 0.51% un tiempo de 60 minutos (do-Nascimento-Silveira-Dorneles *et al.*, 2019; Megawati. *et al.*, 2019; Mohamad *et al.*, 2019).

El uso de ambos métodos de extracción permite comparar el rendimiento de aceites esenciales, validando los resultados de acuerdo a las condiciones de los sitios de colecta del material vegetal, la densidad arbórea y su exposición. Esto permitirá conocer el método de extracción adecuado de acuerdo a las condiciones de los sitios, integrando información novedosa, particularmente de los aspectos ecológicos y de perturbación, debido a que en Oaxaca se realiza el aprovechamiento de *Bursera bipinnata*. Actualmente San Pedro Juchatengo se realiza el aprovechamiento de la selva baja caducifolia para la extracción en resina en 1,585 ha comunales, estas áreas presentan un alto potencial, pero no se cuenta con registros sobre la extracción de aceites esenciales de sus frutos. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento de aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata*, colectados en diversos sitios en utilizando tres metodologías de extracción sobre las condiciones de sitios de muestreo en Juchatengo, Oaxaca. Bajo la hipótesis que, usando los tres métodos de extracción de aceites esenciales, los sitios con exposición sur (este y oeste) y densidades arbóreas > 750 árboles ha^{-1} generan rendimientos diferenciales mayores a 200% que cualquier otra condición.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Antecedentes del área de estudio

En el mes de mayo de 2021 se establecieron de manera selectiva 12 sitios muestrales mezclando cuatro exposiciones (sureste, suroeste, noreste y este) y dos densidades arbóreas (alta > 750 árboles ha⁻¹ y baja < 525 árboles ha⁻¹); la biomasa de frutos se determinó mediante muestreo destructivo de 70 ramas con diámetros basales (DBR) de 0.05 a 3.5 cm, separando hojas, frutos y ramas, tomando el peso fresco y seco (después de secado). Se generó con árboles adultos de diámetro al pie mayor a 7.5 cm, el modelo de regresión para estimar la biomasa de frutos (BF) en función del área basal de rama (DBR) (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Características de unidades de muestreo de acuerdo al factor de rendimiento en extracción de aceites esenciales.

Sitio	Densidad (Árboles ha ⁻¹)	Exposición	Altitud (m)	Biomasa de frutos (g)	Método de extracción de aceites esenciales (g)		
					HD (1.7%)	MO1 (1.4%)	MO2 (1.5%)
1	750	A_SO	1060	65918.4	1099.5	949.5	749.6
2	800	A_SO	1060	61168.5	1020.2	881.1	695.6
3	1225	A_SO	1057	64448.4	1075.0	928.4	732.9
4	800	A_SE	1050	46820.0	780.9	674.4	532.4
5	1000	A_SE	1049	84206.1	1404.5	1213.0	957.6
6	900	A_SE	1058	57034.9	951.3	821.6	648.6
7	525	B_NE	1083	34334.7	572.7	494.6	390.5
8	175	B_NE	1100	9975.9	166.4	143.7	113.4
9	325	B_NE	1114	17539.8	292.6	252.7	199.5
10	375	B_E	1038	33555.5	559.7	483.4	381.6
11	500	B_E	1027	43730.9	729.4	629.9	497.3

12	325	B_E	1017	20073.8	334.8	289.2	228.3
----	-----	-----	------	---------	-------	-------	-------

A_SO= densidad alta suroeste, A_SE= sureste, B_NE= densidad baja noreste, B_E= este; HD= hidrodestilación convencional, MO= hidrodestilación asistida por microondas; HD (1.7%)= rendimiento de aceite esencial, MO1(1.4%)= rendimiento de aceite esencial, MO2(1.5%)= rendimiento de aceite esencial (Hernández-Cortés *et al.*, 2022).

El presente estudio de extracción y cuantificación de aceites esenciales, se realizó en el Laboratorio de Extracción y Análisis de Productos Naturales Vegetal en el CIIDIR Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional, Los frutos se colectaron durante el mes de septiembre del 2021, en el paraje la curva de San Pedro Juchatengo, Oaxaca, ubicado a los 16° 15' 22" N y 97° 04' y 98° 09' O y a 1166 m, guardados por separado de acuerdo al árbol en bolsas de papel correctamente identificadas para ser llevados al laboratorio en donde fueron deshidratados en una estufa de convección marca Memmert®, modelo 100-800 a 72 °C durante 48 h, posteriormente se calculó el tamaño de la muestra de manera homogénea, el peso seco se determinó en una báscula digital marca, VELAB, modelo ES-5000H, con capacidad de 5000 g y precisión de 0.1 mg, posteriormente las muestras se guardaron nuevamente en bolsas de papel e identificados correctamente.

4.4.2 Extracción de aceites esenciales

La extracción de aceites esenciales se realizó durante la primavera de 2022 utilizando el método de HD y MO con dos potencias (855 y 1555 W). Se pesaron cuatro muestras de frutos, dos de 263.8 y dos de 131.9 g, y entonces se colocaron en un matraz esférico en donde se agregó 791.4 y 395.7 mL de

disolvente, respectivamente. A las muestras se les dio un tratamiento previo de rehidratación con agua purificada durante 15 minutos. El equipo que se utilizó para el calentamiento fue una manta de calentamiento Prendo 301-7, dos hornos de microondas (SAMSUNG, MW1235WB, longitud de onda 2450MHz, 1555 W y SAMSUNG, MW630WA, longitud de onda 2450 MHz, 855 W). En los métodos HD y MO se utilizaron dos matraces esféricos, SEV de 2000 mL, PYREX DE 2000 mL y un matraz pera SEV de 1000 mL, refrigerante de 30 y de 64 cm, un recirculador Prendo 371-7, de 1270 W, y una bomba para enfriadores LITTLE GIANT PUMP CO. CK-5 de 0.6 A.

Para la extracción se utilizó una relación 1:3 (material vegetal/disolvente), en la HD, se aplicó calor durante 471 minutos, a una potencia de 50%, Los datos de la cinética de extracción se registraron cada 30 minutos (volumen, mL), con ayuda de una regla de aluminio convencional (Mohammad-Taghi *et al.*, 2016). En la extracción por MO se aplicaron tiempos de calor de 2 minutos (ON) y 2 minutos de descanso (OFF), para el microondas SAMSUN de 1555 W, el tiempo de extracción fue de 200 minutos, mientras que para el microondas SAMSUNG de 855 W, el tiempo de extracción fue de 122 minutos. La temperatura de los refrigerantes osciló entre 5 y 7 °C. Los datos de cinética de la extracción (volumen, mL), se tomaron cada 15 minutos (Mohammad-Taghi *et al.*, 2016).

El aceite se extrajo con una micropipeta y se transfirió a un vial con tapa de 8 mL color ámbar previamente pesado, posteriormente se obtuvo el peso del aceite esencial. El rendimiento (%) se determinó mediante la fórmula $R(\%) = \frac{PA}{PM} \times 100\%$,

donde PA= peso de aceite esencial (g), PM= peso de la muestra (g) (Mohammad-Taghi *et al.*, 2016).

4.4.3 Manejo y análisis estadístico

En una hoja de cálculo de Excel®, a los modelos de regresión de biomasa de frutos (g) (Hernández-Cortés *et al.*, 2022), se aplicaron los factores de rendimiento de aceites esenciales por los tres métodos de extracción a la biomasa de frutos (rendimiento en g/árbol y g/por unidad de superficie), con el factor de conversión $R = \frac{BF \times PA}{PM}$, donde R= rendimiento (g), BF= biomasa de frutos (g), PA= peso del aceite (g), PM= peso de la muestra (g) (Cuadro 4.1).

Los datos se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$); las variables que no cumplieron los supuestos se transformaron a $\log_{10}\sqrt{x}$ y \log_{10} . Los 12 sitios de muestreo (mezcla de dos densidades arbóreas y exposiciones) se diferenciaron mediante el modelo general lineal (PROC GLM), pruebas de medias (Duncan, 0.05) por árbol y (Tukey, 0.05) por superficie; se realizó análisis clúster para clasificar jerárquicamente las unidades muestrales (UM). Los procedimientos estadísticos se realizaron mediante el programa SAS (SAS Institute Inc., 2014).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Rendimiento de aceites esenciales en sitios (UM)

En la extracción de aceites esenciales de frutos deshidratados de *B. bipinnata* se obtuvo un rendimiento para HD de 1.7 %, MO1 asistida con una potencia de 1555 W 1.4 % y MO2 asistida de 800 W 1.5 %. Estos rendimientos mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) a nivel árbol y significativas ($p \leq 0.05$) a nivel superficie de acuerdo al método de extracción y las condiciones de los sitios (UM). La mayor heterogeneidad en el análisis por árbol (CV= 53.1%) la mostró MO2 y la más homogénea para HD (CV=34.5%); por otro lado, a nivel de superficie los coeficientes de variación se estabilizaron a menos de 6.5%, indicativo de la homogeneidad en los datos de rendimiento de aceites esenciales contenido en la biomasa de frutos de *B. bipinnata* por el método de HD (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Resumen de análisis de varianza en métodos de extracción de aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata* en diferentes sitios de exposición y densidad arbórea.

Variable	GL error	Sitio	Error	CV (%)	\sqrt{MSE}
Nivel árbol	Rendimiento (g árbol ha ⁻¹)				
HD ^{††}	671	0.5 ^{**}	0.03	34.5	0.2
MO1 [†]	671	14.3 ^{**}	0.81	45.2	0.9
MO2 [†]	671	14.3 ^{**}	0.81	53.1	1.6

Nivel superficie	Rendimiento (g ha ⁻¹)				
HD [†]	8	0.05*	0.00739	6.12	0.0860
MO1 ^{††}	8	0.05*	0.00738	6.26	0.0859
MO2 ^{††}	8	0.05*	0.00737	6.50	0.0859

HD= hidrodestilación convencional, MO= hidrodestilación asistida por microondas; Datos transformados a [†]LOG10, ^{††}LOG10 \sqrt{x} . GL = grados de libertad, CV = coeficiente de variación, MSE = cuadrado medio del error, **=altamente significativo ($p \leq 0.01$), *=significativo ($p \leq 0.05$).

Los mejores rendimientos se presentaron en áreas con densidades arbóreas altas mayores a 750 árboles ha⁻¹; a nivel superficie, la exposición sur (este y oeste) mostró rendimiento diferencial de 200% para los tres métodos con relación al resto de las exposiciones y densidades bajas de las UM, esto de acuerdo a la cinética de extracción los frutos de *B. bipinnata*. Los rendimientos óptimos se alcanzaron para, HD = 91 % a los 416 min, MO1 = 90 % a los 152 min y MO2 = 95 % a los 98 min, estos rendimientos están determinados por la densidad arbórea y exposición del sitio (Cuadro 4.3).

Debido que las exposiciones al sur (este, oeste) están influenciadas por las variaciones de los vientos (vientos de brisa marina), provenientes del Istmo de Tehuantepec, en dirección sur o suroeste, registrando vientos con mayor intensidad durante las horas de la tarde, en los meses de marzo, abril y mayo, este factor externo influye en la supervivencia de la planta con el despliegue de sus hojas, aumenta la recepción de luz optimizando el flujo de savia; esto podría

explicar los mayores rendimientos de aceite en la biomasa de frutos por árbol en los tres métodos de extracción (Jean François *et al.*, 2018; Morreale *et al.*, 2021). Estos vientos ayudan a regular las temperaturas en las UM que van de los 16° a los 26°C, acompañadas de la precipitación (1,000 a 1,500 mm anuales) registrada en San Pedro Juchatengo (INEGI, 2017); influyendo en cada etapa de crecimiento y reproducción, observando que en las UM con menor índice de perturbación, existe mayor regeneración (de plántulas y juveniles), siendo más eficiente la dispersión de semillas (Ruiz-Benito *et al.*, 2017). Esto permite tener áreas con mayor vegetación, dicha precipitación combinada con la temperatura en un factor determinante en la mineralización de los nutrientes en el suelo, dejándolos disponibles a las plantas, lo que se ve reflejado en mejores promedios de biomasa en frutos a nivel superficie, así como en el rendimiento de aceites esenciales, lo cual puede variar de acuerdo a la geografía y genética de los árboles (Franziska *et al.*, 2021).

Cuadro 4.3. Rendimiento de aceites esenciales (g/árbol) (g ha^{-1}) en frutos de *Bursera bipinnata* colectados en sitios de muestreo de acuerdo al método de extracción.

Variable	B_NE	A_SO	B_E	A_SE
Nivel árbol	Rendimiento (g árbol ha^{-1})			
HD §	12.90±1.34 ^b	11.21±0.74 ^b	10.15±0.89 ^b	20.91±1.85 ^a
MO1 §	11.14±1.16 ^b	9.68±0.64 ^b	8.77±0.77 ^b	18.06±1.60 ^a
MO2 §	8.29±0.86 ^b	7.21±0.47 ^b	6.52±0.57 ^b	13.44±1.19 ^a
Nivel superficie	Rendimiento (g ha^{-1})			
HD §§	343.9±120.1 ^b	1064.9±23.4 ^a	541.3±114.3 ^b	1045.6±186.1 ^a

MO1 §§	297±103.7 ^b	919.7±20.2 ^a	467.5±98.67 ^b	903±160.7 ^a
MO2 §§	234.5±81.9 ^b	726±16.0 ^a	369.1±77.91 ^b	712.9±126.9 ^a

HD=hidrodestilación convencional, MO= hidrodestilación asistida por microondas; Letras diferentes en filas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05) §; (Tukey, 0.05) §§; Media se acompaña ± desviación estándar. A, B = densidad alta (>750 árboles ha⁻¹) y B= baja (<525 árboles ha⁻¹); exposición NE = noreste, SO= suroeste, E = este, SE = sureste.

4.5.2 Métodos de extracción de aceites esenciales

Los rendimientos obtenidos a través de los métodos evaluados mostraron que para HD y MO1, con una muestra de 263.8 g con 791.4 mL de solvente, fue de 1.7 %, alcanzando el 91 % de su rendimiento a los 386 min y de 1.4 %, con el 92 % a los 158 min; para MO2 con una muestra de 131.9 g y 395.7 mL de disolvente, generó un rendimiento de 1.5 %, alcanzando el 90 % de su rendimiento a los 96 min.

Los resultados muestran que MO fue más eficiente presentando menores tiempos de acuerdo a la cinética de extracción, haciéndola amigable con el ambiente, de acuerdo a la comparación de potencias, MO2 es el que mejor evaluación tuvo ya que su rendimiento superó al MO1, ahorrando un 64 % de tiempo (Megawati *et al.*, 2019).

Cabe mencionar que existen muy pocos trabajos sobre extracción y rendimiento de aceites esenciales, y los pocos que existentes se centran en otras especies, por lo que este estudio es uno de los primeros en evaluar el rendimiento de aceites esenciales de frutos en *B. bipinnata* de acuerdo a las condiciones de sitio (densidad arbórea y exposición), obteniendo rendimientos de 1.7 % (HD), 1.4 %

(MO1) y 1.5 % (MO2). Estos rendimientos son mayores de acuerdo a lo reportado por Cruz-Cruz *et al.* (2017) que obtuvo un rendimiento de 0.62% con una muestra de 500 g en frutos de *B. bipinnata*. De la misma manera Cáceres-Ferreira *et al.* (2019), Canales-Martinez *et al.* (2017) y Jaramillo-Colorado *et al.* (2019) reportan rendimientos menores al 3%, para *B. graveolens* (Kunth) Triana & Planch, *B. glabra* Jack, *B. inversa* Daly, *B. morelensis* Ram y *B. simaruba* (L.) Sarg, a partir de diferentes órganos como hojas, frutos y corteza, con los procesos de HD y MO.

El dendrograma para clasificar las UM con base en el método HD para extraer aceites esenciales separa dos grupos a una distancia de 1523.4; en el primer grupo (A) asocia por lo general UM de alta densidad arbórea y en el segundo grupo (B) homogeniza UM de baja densidad arbórea y de exposiciones SE y SO. Es importante notar que el grupo B se divide a una distancia euclidiana de 997.62 en dos subgrupos, el D y E agrupados por UM con densidad arbórea baja y exposición NE (Figura 4.1)

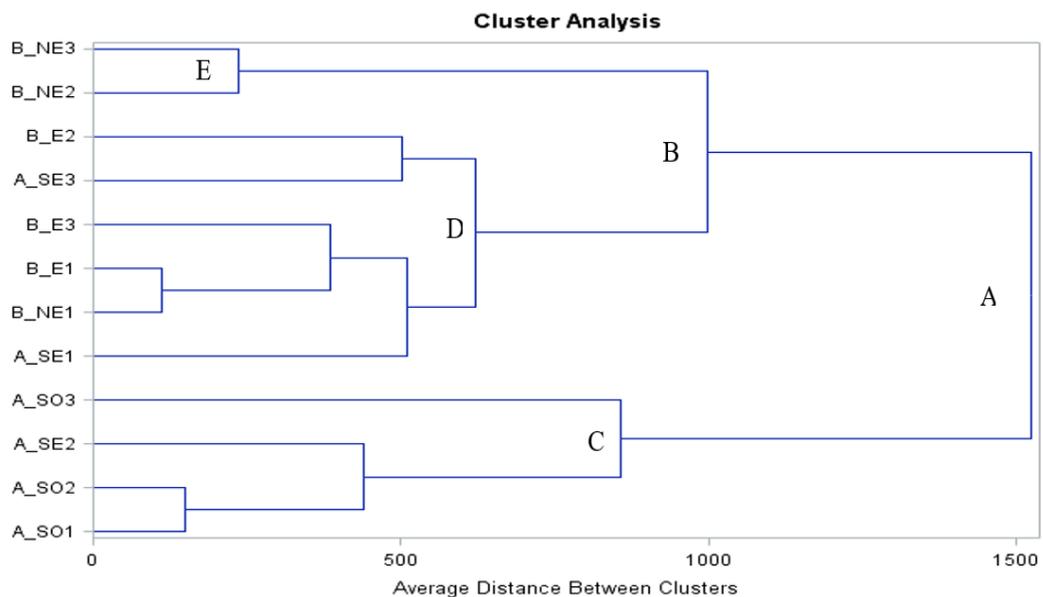


Figura 4.1. Análisis clúster de unidad muestrales (UM), por el método hidrodestilación convencional (HD). B= baja densidad (<525 árboles ha^{-1}), A= alta densidad (≥ 750 árboles ha^{-1}), exposición SO=suroeste, E=este, SE=sureste, NE=noreste. Las letras muestran grupos formados. B, C variables rodal-anualidad, cobertura de sotobosque; D, E variables densidad arbórea ha^{-1} , altitud y exposición.

Para el dendrograma que clasifica las UM con base al método MO presenta un patrón similar al método HD, a una distancia de 1452.3; en el grupo asocia por lo general UM de alta densidad arbórea y en el grupo homogeniza UM de baja densidad arbórea y de exposiciones SE y SO. El subgrupo E, a una distancia 228.68 muestra que la UM de mayor homogeneidad en el contenido de aceites esenciales en densidad arbórea baja y exposición noreste (Figura 4.2).

Se comprobó que formación de grupos está relacionada con el rendimiento de aceites esenciales obtenido por los métodos HD y MO, con densidades arbóreas y la exposiciones de las UM, quedando definida las agrupaciones jerárquicas con densidades arbóreas altas (≤ 750 árboles ha^{-1}) y exposiciones al sureste y suroeste formando el clúster C, el siguiente nivel de agrupación se dio con densidades arbóreas bajas (≥ 525 árboles ha^{-1}) y exposiciones al noreste y este, formando los clúster D y E, diferenciado a los demás grupos por compartir densidades arbóreas bajas y exposición al noreste.

El resultado obtenido de acuerdo a la clasificación jerárquica, la calidad de sitio influye de manera importante en los desarrollos de biomasa aérea y por consecuencia en los rendimientos de los aceites esenciales de los frutos. De

acuerdo con Franziska *et al.* (2021) la temperatura y humedad exposición de los sitios y el grado de la pendiente son factores abióticos que influye en el crecimiento, desarrollo y fenología de *B. bipinnata*, ya que esta se encuentra sometida a un estrés hídrico contante, por esta razón las buseras han adquirido la capacidad de modificar la corteza de su raíz, penetrando en los espacios de las rocas hasta llegar a los depósitos de humedad, y de soporte para desarrollar su cobertura vegetal (Rivera-Ríos *et al.*, 2021)

Las áreas con mayor diversidad de especies, correspondieron a las situadas con exposición al sur y altas densidades arbóreas (≤ 750 árboles ha^{-1}), esto influye en la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo y que complementa con la disponibilidad de N y P en el suelo, ya que, el primero es fundamental en la formación de hojas, aumentando la capacidad de recepción de luz, para el proceso fisiológico de fotosíntesis, secuestrando carbono e incrementando su biomasa aérea, almacenando metabolitos secundarios en zonas prioritarias para el proceso de floración y fructificación de *B. bipinnata* (Sharma k., 2020). En las UM con altas densidades se observó un mayor índice de supervivencia en conglomerados de árboles pequeños y codominantes. De acuerdo con Yuan *et al.* (2019) la supervivencia se relaciona con la disponibilidad de P en los suelos, el cual se almacena en la raíz, siendo transportado a través del xilema y floema para ser utilizado en la reducción de ADP a ATP y de NADP a NADPH durante la fotosíntesis (Ruiz-Benito *et al.*, 2017; Poorter *et al.*, 2017; Franziska *et al.*, 2021;)

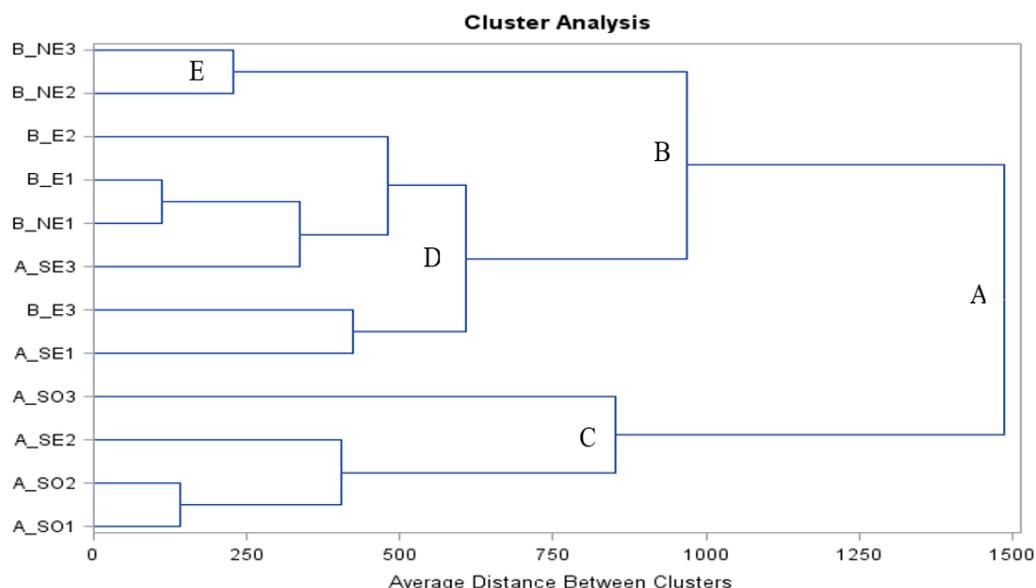


Figura 4.2. Análisis clúster: clasificación jerárquica unidad experimental (UE), por el método hidrodestilación asistida por microondas (MO). B= baja densidad (<525 árboles ha⁻¹), A= alta densidad (≥750 árboles ha⁻¹), exposición SO=suroeste, E=este, SE=sureste, NE= noreste. Las letras muestran grupos formados. B, C variables rodal-anualidad, cobertura de sotobosque y rodal anualidad; D, E variables densidad arbórea ha⁻¹, altitud y exposición.

4.6 CONCLUSIONES

El rendimiento de aceites esenciales extraídos de los frutos de *Bursera bipinnata* tiene relación con la densidad arbórea y la exposición del sitio, generando rendimientos diferenciales de 200% en densidades altas mayores a 750 árboles ha⁻¹ con exposiciones sur (este, oeste) con los métodos HD y MO, que tienen en promedio 1055.3 g ha⁻¹). De la misma manera se observó en la clasificación clúster, que la densidad arbórea y exposición es determinante para la agrupación jerárquica, formando dos grupos principales, el primero el clúster B, de UM con exposición al noreste y este y una densidad arbórea baja (<525 árboles ha⁻¹), el clúster C, agrupa las UM con exposiciones sureste y suroeste con una densidad

arbórea alta (≥ 750 árboles ha^{-1}). Con los resultados obtenidos en el presente estudio se sientan las bases para realizar la extracción de aceites esenciales de *B. bipinnata*, bajo un manejo sustentable, de acuerdo a la dinámica que existe entre el crecimiento en la biomasa aérea y la calidad del sitio, aprovechando áreas con densidades arbóreas mayores a 750 árboles ha^{-1} y una exposición al sur, para beneficio de las familias de San Pedro Juchatengo, generando un recurso económico secundario que fortalezca la economía familiar, además de combatir los efectos del cambio climático.

4.7 LITERATURA CITADA

- Cáceres-Ferreira, W., R. Carrillo, M. Rojas, L. Rosquete-Porcar, and Carmelo. 2019. Chemical composition of essential oils from *B. simaruba* (L.) Sarg. fruits and the resins from three *Bursera* species: *B. simaruba* (L.) Sarg, *B. glabra* Jack and *B. inversa* Daly. *Avances En Química*. 14(1): 25–29. <https://www.redalyc.org/journal/933/93361139002/>
- Canales-Martínez, M., C. R. Rivera-Yañez, J. Salas-Oropeza, H. R. López, M. Jiménez-Estrada, R. Rosas-López, D.A Duran, C. Flores, L. B. Hernández, and M. Rodríguez-Monroy. 2017. Antimicrobial activity of *Bursera moreletii* ramírez essential oil. *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 14(3): 74–82. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i3.8>
- Chamali, S., J. Bouajila, H. Ben-Daoud, S. Camy, E. Saadaoui, J. S. Condoret, and M. Romdhane. 2022. Variation in chemical composition and biological properties of two *Tunisian Eucalyptus* essential oils under three eco-friendly extraction techniques. *Journal of Essential Oil Research*. 34(1): 36–53. <https://doi.org/10.1080/10412905.2021.2008029>
- Cruz-Cruz, M., M. V. Antonio-Gómez, G. Rodríguez-Ortiz, I. G. Vásquez-Barranco, L. Lagunes-Rivera, y E. Hernández-Santiago. 2017. Resina y aceites esenciales de tres especies de copal del sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 4(1): 12–23. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/2-RMAE_2017-03-Copal.pdf

- de –Souza-Junior, E. T., L. Martins. -Siqueira, R. Nolibos. -Almeida, A. Machado. -Lucas, C. García. -Finkler. -da -Silva, E. Cassel, and R. M. Figueiró. -Vargas. 2020. Comparison of different extraction techniques of zingiber officinale essential oil. Brazilian Archives of Biology and Technology. 63: e20190213. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020190213>
- do-Nascimento-Silveira-Dorneles, L., A. L. Duarte-Goneli, C. A. Lima-Cardoso, C. Bezerra-da Silva, M. Rosemari-Hauth, G. Cardoso-Oba, and V. Schoeninger. 2019. Effect of air temperature and velocity on drying kinetics and essential oil composition of *Piper umbellatum* L. leaves. Industrial Crops and Products. 142(7): 111846. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111846>
- Fernández-Ruiz, M., L. Yepes-Fuentes, I. Tirado-Ballestas, and M. Orozco. 2018. Actividad Repelente del aceite esencial de *Bursera* sp., Sarg, 1890, frente *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 (*Coleoptera: Tenebrionidae*). Anales de Biología. 40(10): 87–93. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.40.10>
- Fon-Fay, F. M., J. A. Pino, I. Hernández, I. Rodeiro, and M. D. Fernández. 2019. Chemical composition and antioxidant activity of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana et Planch essential oil from Manabí, Ecuador. Journal of Essential Oil Research. 31(3): 211–216. <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1564381>
- Franziska, S., K. Auerswald, C. Grun-Wenzel, S. I. Higgins, and C. Romermann. 2021. Abiotic site conditions affect photosynthesis rates by changing leaf functional traits. Basic and Applied Ecology. 57: 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.09.003>
- Herrera, R. S., D. M. Verdecia, J. L. Ramírez, M. García, and A. M. Cruz. 2017. Secondary metabolites of *Leucaena leucocephala*. Their relationship with some climate elements, different expressions of digestibility and primary metabolites. Journal of Agricultural Science. 51(1): 107–116. <https://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/690>
- Hernández-Cortés, E. 2022. Aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata* en San Pedro Juchatengo, Oaxaca. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. 92 p
- Jaramillo-Colorado, B. E., S. Suarez-López, and V. Marrugo-santander. 2019. Volatile chemical composition of essential oil from *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch and their fumigant and repellent activities. Acta Scientiarum. Biological Sciences. 41: e46822. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v41i1.46822>
- Jean François, L., L. Nelson, K. Hosung, P. Ntoh-Song, T. Zehnbaauer, and S. Jung. 2018. How wind drives the correlation between leaf shape and mechanical properties. Scientific Reports. 8(1): 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-018->

- León Méndez, G., M. del R. Osorio Fortich, and S. R. Useche Martínez. 2015. Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. *Revista Cubana de Farmacia*. 49(4): 742–750. https://www.researchgate.net/publication/317515356_Comparacion_de_dos_metodos_de_extraccion_del_aceite_esencial_de_C_itrus_sinensis_L
- Li, H., C. Chen, and X. Cao. 2015. Essential oils-oriented chiral esters as potential pesticides: Asymmetric syntheses, characterization and bio-evaluation. *Industrial Crops and Products*. 76: 432–436. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.027>
- Marcano-deMohali, E., A. Padilla-Baretic, and L. Rojas-Fermín. 2013. Aceite esencial extraído por hidrodestilación del tejido xilemático de ramas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. *Revista Forestal Latinoamericana*. 28(1): 27–36. <http://localhost:8080/xmlui/handle/654321/1347>
- Megawati., D. Selvia-Fardhyanti, W. Budi-Sediawan, and A. Hisyam. 2019. Kinetics of mace (*Myristicae arillus*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation : Effect of microwave power. *Industrial Crops and Products*. 131(9): 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.067>
- Mohammad-Taghi, G., and M. Moayyedi. 2016. Comparison of microwave-assisted hydrodistillation and solvent-less microwave extraction of essential oil from dry and fresh *Citruslimon* (Eureka variety) peel. *Journal of Essential Oil Research*. 28(4): 272–282. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1145606>
- Montúfar-López, A. 2016. Copal de *Bursera bipinnata*. Una resina mesoamericana de uso ritual. *TRACE*. 70(0): 45–77. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22134/trace.70.2016.39>
- Morreale, L. L., J. R. Thompson, X. Tang, A. B. Reinmann, and L. R. Hutyrá. 2021. Elevated growth and biomass along temperate forest edges. *Nature Communications*. 12(1): 7181. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27373-7>
- Poorter, L., T. Masha, E. J. van der Sande, E. J. M. M. Arets, J. Brian, Enquist, B. Finegan, J. C. Licona, M. Martínez-Ramos, L. Mazzei, J. A. Meave, R. Muñoz, C. J. Nyctch, A. A. de Oliveira, E. A. Pérez-García, J. Prado-Junior, J. Rodríguez-Velazques, A. R. Ruschel, B. Salgado-Negret, I. Schiavini, N. G. Swenson, E. A. Tenorio, J. Thompson, M. Toledo, M. Uriarte, P. van der Hout, J. K. Zimmerman, and M. Peña-Claros. 2017. Biodiversity and climate determine the functioning of Neotropical forests. *Global Ecology and Biogeography*. 26(12): 1423–1434. <https://doi.org/10.1111/geb.12668>
- Rey-Valeirón, C., L. Guzmán, L. R. Saa, J. López-Vargas, and E. Valarezo. 2017. Acaricidal activity of essential oils of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana &

Planch and *Schinus molle* L. on unengorged larvae of cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus (Acari: Ixodidae)*. *Journal of Essential Oil Research*. 29(4): 344–350. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1278405>

Rivera Ríos, Á., L. López Mata, and J. A. Cruz Rodríguez. 2021. Rocks are safe sites for establishment of *Bursera* seedlings in a seasonally dry tropical forest of Mexico. *Journal of Arid Environments*. 186: 104395. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104395>

Ruiz-Benito, P., S. Ratcliffe, M. A. Zavala, J. Martínez-Vilalta, A. Vilà-Cabrera, F. Lloret, J. Madrigal-González, C. Wirth, S. Greenwood, G. Kändler, A. Lehtonen, J. Kattge, J. Dahlgren, and A. S. Jump. 2017. Climate- and successional-related changes in functional composition of European forests are strongly driven by tree mortality. *Global Change Biology*. 23(10): 4162–4176. <https://doi.org/10.1111/gcb.13728>

Sharma, S., S. Walia, S. Rathore, P. Kumar, and R. Kumar. 2020. Combined effect of elevated CO₂ and temperature on growth, biomass and secondary metabolite of *Hypericum perforatum* L. in a western Himalayan region. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 16: 100239. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100239>

Verdecia, D. M., C. R. Herrera-Herrera, E. Torres, A. R. Sánchez, L. G. Hernández Montiel, J. L. Herrera, R. Ramírez, F. J. Bodas, J. Giráldez, J. Guillaume, H. Uvidia, and S. López. 2021. Primary and secondary metabolites of six species of trees, shrubs and herbaceous legumes. *Journal of Agricultural Science*, 5(1), 77–93. <http://hdl.handle.net/10261/268296>

Yuan, Z., A. Ali, T. Jucker, P. Ruiz-Benito, S. Wang, L. Jiang, X. Wang, F. Lin, J. Ye, Z. Hao, and M. Loreau. 2019. Multiple abiotic and biotic pathways shape biomass demographic processes in temperate forests. *Ecology*. 100(5): e02650. <https://doi.org/10.1002/ecy.2650>

Zamora-Crescencio, P., V. Rico-Gray, L. N. G. Ramírez-Medina, R. C. Barrientos-Medina, A. H. Plasencia Vázquez, P. Villegas, M del R. Domínguez-Carrasco y C. Gutiérrez-Báez. 2018. Composición y estructura de la vegetación secundaria en Bethania, Campeche, México. *Polibotánica*. (45): 57–74. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.5>

Zepeda Gómez, C., C. Burrola-Aguilar, L. White-Olascoaga, and C. Rodríguez Soto. 2017. Especies leñosas útiles de la selva baja caducifolia en la sierra de nanchititla, México. *Madera Bosques*. 23(3): 101–119. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331426>

Zúñiga-Sánchez, E., E. Martínez-Barajas, E. Zavaleta-Mejía, and A. Gamboa-de-Buen. 2017. El floema y la ruta simplástica durante la formación de órganos

de demanda. Revista Fitotecnia Mexicana. 40(3): 249–259.
<https://www.redalyc.org/journal/610/61050549001/html/#:~:text=EL FLOEMA Y LA RUTA SIMPLÁSTICA DURANTE LA FORMACIÓN DE ÓRGANOS DE DEMANDA&text=Sociedad Mexicana de Fitogenética%2C A.C.,diversas sustancias a larga distancia.>

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES GENERALES

Estudiar la relación que existe en la calidad del sitio con los factores abióticos, demográficos y de perturbación en ecosistemas de selva baja caducifolia, son importantes para conocer cómo influyen el crecimiento de la biomasa aérea; esto contribuye a la estimación en el rendimiento de aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata* y ayuda a estandarizar una metodología de extracción, optimizando el establecimiento de áreas con potencial para su aprovechamiento sustentable, asegurando la conservación de las poblaciones. De acuerdo a los estudios descritos en este documento, las exposiciones al sur (este, oeste) con densidades arbóreas altas (≥ 750 árboles ha^{-1}), son condiciones que optimizan la capacidad disponer y almacenar nutrientes, para el crecimiento de árboles vigorosos y sanos, con mayor volumen maderable y biomasa aérea (hojas, frutos y ramas), teniendo efectos positivos en el rendimiento de aceites esenciales en frutos por los tres métodos evaluados. Se espera que un futuro estas áreas estudiadas, se pueda realizar el aprovechamiento para la extracción de aceites esenciales, con las mismas condiciones ambientales y de regeneración, para la

toma de decisiones bajo un aprovechamiento sustentable, siendo un ingreso que fortalezca la economía de las familias en San Pedro Juchatengo, Oaxaca, México.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Continuar con el estudio de aceites esenciales en frutos, de las demás especies de *Bursera* sp., bajo un enfoque fenológico del fruto.

Incluir los métodos de extracción subcrítica, al vacío y por ultrasonido.

Comparar el rendimiento de los aceites esenciales de acuerdo a los niveles de disturbios en la selva baja caducifolia de San Pedro Juchatengo.

Realizar la identificación de compuestos químicos a través de cromatografía de gases.

CAPÍTULO VI

LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J. D. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 6(36): :725-736.
- Alemán-Sancheschúlz, G., E. Solano y J. López-Portillo. 2019. La arquitectura hidráulica de las plantas vasculares terrestres, una revisión. *Madera y Bosques* 25(3): e2531828. <https://doi.org/10.21829/myb.9019.2531828>
- Almazán-Núñez, R. C., M. del C. Arizmendi, L. E. Eguiarte, and P. Corcuera. 2012. Changes in composition, diversity and structure of woody plants in successional stages of tropical dry forest in southwest Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(4): 1096-1109. DOI: 10.7550/rmb.30403
- Almeraya-del Valle E. V. y E. Sánchez-Quintanar. 2015. Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación del carbono. *Ciencia*. 66(4): 74-79.
- Antúnez, P. C. Wehenkel, C. Byobona-Kukunda, and J. C. Hernández-Díaz. 2021. Climatic Variables Differentially Influence Neotropical Plant Species of Conservation Concern, *Journal of Sustainable Forestry* 40(8): 1-16. DOI: 10.1080/10549811.2021.1944878
- Avella-M. A., N. García-G, F. Fajardo-Gutiérrez y A. González-Melo. 2019. Patrones de sucesión secundaria en un bosque seco tropical interandino de Colombia: implicaciones para la restauración ecológica. *Caldasia*. 41(1): 12-27. DOI: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.65859>
- Bah, M., D. M. Gutiérrez-Avella, S. Mendoza, V. Rodríguez-López, and R. Castañeda-Moreno. 2014. Chemical constituents and antioxidant activity of extracts obtained from branch bark of *Bursera simaruba*. *Boletín Latinoame-*

ricano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. 13(6): 527-536.
<https://www.redalyc.org/pdf/856/85632545003.pdf>

Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck, and M. Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils. A review. *Food and Chemical Toxicology* 46: 446-475.

Bermúdez-Vásquez, M. J., F. Granados-Chinchilla, y A. Molina. 2019. Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Psidium guajava* y *Cymbopogon citratus*. *Agronomía Mesoamericana* 30(1): <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43757673010>

Bhaskar, R., S. Porder, P. Balvanera, and E. J. Edwards. 2016. Ecological and evolutionary variation in community nitrogen use traits during tropical dry forest secondary succession. *Ecology*. 97(5): 1194-1206. DOI: 10.1890/15-1162.1/supinfo

Black-Solis, J., R. I. Ventura-Aguilar, L. L. Barrera-Necha y S. Bautista-Baños. 2017. Caracterización química, variabilidad composicional y modelamiento matemático del efecto de aceites esenciales en *Alternaria alternata*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35(2): 204–226. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1612-5>

Bonfil-Sanders C., P. Mendoza-Hernández y J. Ulloa-Nieto. 2007. Enraizamiento y formación de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia*. 41(1): 103-109.

Boom-Cárcamo, E., K. Rodríguez-Escobar, L. M. Buelvas-Gutiérrez. 2018. Estrategias de desarrollo empresarial a partir de la extracción de aceites esenciales. *Revista Espacios* 39(47): 17-30.

Bravo-Bolaños, O., A. Sánchez-González, J. A. de Nova-Vázquez y N. P. Pavón-Hernández. 2016. Composición y estructura arbórea y arbustiva de la vegetación de la zona costera Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Botanical Sciences* 94 (3): 603-623. DOI: 10.17129/botsci.461

Cáceres-Ferreira, W., R. Carrillo, M. Rojas, L. Rosquete-Porcar, and Carmelo. 2019. Chemical composition of essential oils from *B. simaruba* (L.) Sarg. fruits and the resins from three *Bursera* species: *B. simaruba* (L.) Sarg, *B. glabra* Jack and *B. inversa* Daly. *Avances en Química* 14(1): 25–29. <https://www.redalyc.org/journal/933/93361139002/>

Canales-Martínez, M., C. R. Rivera-Yañez, J. Salas-Oropeza, H. R. López, M. Jiménez-Estrada, R. Rosas-López, D. A. Duran, C. Flores, L. B. Hernández, and M. A. Rodríguez-Monroy. 2017. Antimicrobial activity of *Bursera morelensis* Ramírez essential oil. *Tradit Complement Altern Med*. 14(3): 74-82. doi:10.21010/ajtcam.v14i3.8

- Carretero, M. E., J. L. López-Pérez, M. J. Abad, P. Bermejo, S. Tillet, A. Israel, and B. Noguera-P. 2008. Preliminary study of the anti-inflammatory activity of hexane extract and fractions from *Bursera simaruba* (Linneo) Sarg. (Burseraceae) leaves. *Journal of Ethnopharmacology*. 116:11-15.
- Carrión-Paladines, V., A. Fries, B. Gómez-Muñoz and R. Garcia-Ruiz. 2016. Agrochemical characterization of vermicomposts produced from residues of Palo Santo (*Bursera graveolens*) essential oil extraction. *Waste Management* 58: 135-143.
- Castellanos-Castro, C. y C. Bonfil-Sanders. 2010. Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. Ex L. *Revista de Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2): 93-108.
- Cayuela, L. y I. Granzow-de la Cerda. 2012. Biodiversidad y conservación de bosques neotropicales. *Ecosistemas*. 21(1): 1-5.
- Cerpa-Chávez, M. G. 2007. Hidrodestilación de aceites esenciales: modelado y caracterización. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid. 304 p.
- Cervantes, A., S. Fuentes, J. Gutiérrez, S. Magallón and T. Borsch. 2016. Successive arrivals since the Miocene shaped the diversity of the Caribbean *Acalyphoideae* (Euphorbiaceae). *Revista de Biogeografía* 43(9): 1773–1785. doi:10.1111/jbi.12790
- Chamali, S., J. Bouajila, H. Ben-Daoud, S. Camy, E. Saadaoui, J. S. Condoret, and M. Romdhane. 2022. Variation in chemical composition and biological properties of two Tunisian *Eucalyptus* essential oils under three eco-friendly extraction techniques. *Journal of Essential Oil Research*. 34(1): 36–53. <https://doi.org/10.1080/10412905.2021.2008029>
- Conn, A., U. V. Pedmale, J. Chory, C. F. Stevens, and S. Navlakha. 2017. A statistical description of plant shoot architecture. *Current Biology*. 27(14): 2078-2088. doi: 10.1016/j.cub.2017.06.009
- Corral-Rivas, J. J., B. Vargas, C. Wehenkel, O. A. Aguirre-Calderon, J. G. Álvarez-González, y A. Rojo-Alboreca. 2009. Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos en Bosques del Estado de Durango. Editorial UJED. Durango, Dgo., México. 81 p.
- Cruz-Cruz, M., M. V. Antonio-Gómez, G. Rodríguez-Ortiz, I. G. Vásquez-Barranco, L. Lagunes-Rivera, y E. Hernández-Santiago. 2017. Resina y aceites esenciales de tres especies de copal del sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 4(1): 12–23.

https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/2-RMAE_2017-03-Copal.pdf

- Curiel-Rodríguez, A., J. R. Espinoza-Espinoza, J. P. Cruz-Hernández, y G. Almaguer-Vargas. 2007. Modelos de regresión para estimar área de la hoja y biomasa de órganos en árboles jóvenes de manzano. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 13(2): 171-177
- de-Souza-Junior, E. T., L. Martins-Siqueira, R. Nolibos-Almeida, A. Machado-Lucas, C. García-Finkler-da-Silva, E. Cassel, and R. M. Figueiró-Vargas. 2020. Comparison of different extraction techniques of *Zingiber officinale* essential oil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 63: e20190213. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020190213>
- Derroire, G., P. Balvanera, C. Castellanos-Castro, G. Decocq, D. K. Kennard, E. Lebrija-Trejos, J. A. Leiva, P. C. Odén, J. S. Powers, V. Rico-Gray, M. Tigabu and J. R. Healey. 2016. Resilience of tropical dry forests a meta-analysis of changes in species diversity and composition during secondary succession. *Oikos*. 125(10): 1386-1397. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.03229>
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J. D. Etchevers-Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.
- do-Nascimento-Silveira-Dorneles, L., A. L. Duarte-Goneli, C. A. Lima-Cardoso, C. Bezerra-da-Silva, M. Rosemari-Hauth, G. Cardoso-Oba, and V. Schoeninger. 2019. Effect of air temperature and velocity on drying kinetics and essential oil composition of *Piper umbellatum* L. leaves. *Industrial Crops and Products* 142(7): 111846. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111846>
- Dzib-Castillo, B., C. Chanatásig-Vaca y N. A. González-Valdivia. 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): 167-178
- Espinosa, C.I.; L. de la Cruz y A. L. Escudero. 2012. Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Ecosistemas*. 21(1-2): 167-179.
- Estrada-Jiménez, P.M., J. L. Ramírez, y D. M. Verdecia. 2019. Aplicación de la minería de datos en la estimación de componentes fotoquímicos. *ROCA Revista Científico- Educaciones de la provincia de Granma*. 15(2): 177-186.

- Estrada-Pérez, G. 2014. Repelencia y composición química de aceites esenciales de plantas etnorepelentes a mosquitos en comunidades de Oaxaca, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México. 83 p.
- Fernández-Ruiz, M., L. Yepes-Fuentes, I. Tirado-Ballestas, and M. Orozco. 2018. Actividad Repelente del aceite esencial de *Bursera* sp., Sarg, 1890, frente *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 (Coleoptera: Tenebrionidae). *Anales de Biología*. 40(10): 87–93. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.40.10>
- Fernández-Sánchez, F., J. E. Marín-Morán, Z. Teixeira-Pinto, M. M. de Carvalho-Queiroz, y J. C. Escalona-Arranz. 2013. Evaluación de las condiciones de extracción por hidrodestilación-cohobación del aceite esencial del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* (droga seca). *Revista Cubana de Química* 25(1): 100-108.
- Fon-Fay, F. M., J. A. Pino, I. Hernández, I. Rodeiro, and M. D. Fernández. 2019. Chemical composition and antioxidant activity of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana et Planch essential oil from Manabí, Ecuador. *Journal of Essential Oil Research* 31(3): 211-216, DOI: 10.1080/10412905.2018.1564381
- Fonseca, W. G., A. G. Federico y R. B. José-María. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47.
- Franziska, S., K. Auerswald, C. Grun-Wenzel, S. I. Higgins, and C. Romermann. 2021. Abiotic site conditions affect photosynthesis rates by changing leaf functional traits. *Basic and Applied Ecology*. 57: 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.09.003>
- Gámez, N., T. Escalante, D. Espinosa, L.E. Eguiarte, and J. J. Morrone. 2014. Temporal dynamics of areas of endemism under climate change: a case study of Mexican *Bursera* (Burseraceae). *Journal of Biogeography*. 41 (5): 871–881. doi:10.1111/jbi.12249
- García-Aguilar, J. Á., J. J. Luna-Cedeño, G. Rodríguez-Ortiz, y J. C. Leyva-López. 2021. Acumulación de biomasa en estacas de cuatro especies de *Bursera* en Oaxaca. *CIENCIA ergo-sum*. 28(2): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.30878/ces.v28n2a9>.
- García-Cuevas, X., J. Hernández-Ramos, A. Hernández-Ramos, G. Quiñonez-Barraza, J. C. Tamarit-Urías y G. G. García-Espinoza. 2017. Predicción del diámetro normal, altura y volumen a partir del diámetro del tocón en especies tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 8(43): 90-116.

- Gigliarelli, G., J. X. Becerra, M. Curini and M. C. Marcotullio. 2015. Chemical composition and biological activities of fragrant Mexican copal (*Bursera* spp.). *Moléculas*. 20(12): 22383-22394.
- Goethe, J. W. 1790. *La métamorphose des plantes* (H. Bideau Trans.) (4a ed.). Paris: Triades. Recuperado de <http://www.editions-triades.com/livres/nature-et-sciences/la-metamorphose-des-plantes-art1754.html>
- González-García, M., A. Hevia, J. Majada y M. Barrio-Anta. 2020. Estimación de la biomasa aérea a nivel de árbol y rodal para plantaciones de rotación corta de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden en el noroeste de España. *Biomass and Bioenergy* 54: 147-157.
- González-Melo, R., H. García, P. Isaacs, H. Cuadros, R. López-Camacho, N. Rodríguez, K. Pérez, F. Mijares, A. Castaño-Naranjo, R. Jurado, Á. Idárraga-Piedrahíta, A. Rojas, H. Vergara and C. Pizano. 2018. Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letters*. 13(4): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaad74>
- González-Sierra, L., M. Díaz-Solares, I. Castro-Cabrera, L. Fonte-Carballo, Y. Lugo-Morales y N. Altunaga-Pérez. 2019. Caracterización fitoquímica y actividad antioxidante total de diferentes extractos de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Pastos y Forrajes*, 42(3): 243-248.
- Gostel, M. R., P. B. Phillipson and A. Weeks. 2016. Phylogenetic Reconstruction of the Myrrh Genus, *Commiphora* (Burseraceae), Reveals Multiple Radiations in Madagascar and Clarifies Infrageneric Relationships. *Systematic Botany*. 41(1): 67–81. DOI 10.1600/036364416X690598
- Granados-Chinchilla, F. 2017. A review on phytochemicals (including essential oils and extracts) inclusion in feed and their effects on food producing animals. *Dairy and Veterinary Sciences*. 3(4):555-620. doi:10.19080/JDVS.2017.03.555620
- Granados-Chinchilla, F., E. Villegas, A. Molina, and C. Arias. 2016. Composition, chemical fingerprinting and antimicrobial assessment of Costa Rican cultivated guavas (*Psidium iedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. and *Psidium guajava* L.) essential oils from leaves and fruits. *Natural Products Chemistry and Research* 4(6): 1000236. doi:10.4172/2329-6836.1000236
- Gutiérrez-Santiago, J., J. Jasso-Mata, S.A. Queenborough, M. Soto-Hernández y J. Rzedowski. 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-Santiago, J. C., O. A. Aguirre-Calderón, and B. Vargas-Larreta. 2020. Forest volume estimation techniques with special emphasis on the tropics Técnicas de estimación del volumen forestal con especial énfasis en los trópicos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 26(2): 291-306. DOI: 292-306. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.07.061>

Hellström, L., L. Carlsson, D. S. Falster, M. Westoby, and A. Brännström. 2018. Branch thinning and the large-scale, self-similar structure of trees. *The American Naturalist*. 192 (1): 37-47. doi: 10.1086/697429

Hernández-Alvarado, J. A. Zaragoza-Bastida, G. López-Rodríguez, A. Peláez-Acero, A. Olmedo-Juárez y N. Rivero-Pérez. 2018. Actividad antibacteriana y sobre nematodos gastrointestinales de metabolitos secundarios vegetales: enfoque en Medicina Veterinaria. *Abanico veterinario*. 8(1): 14-27. <https://doi.org/10.21929/abavet2018.81.1>

Hernández-Cortés, E. 2022. Aceites esenciales en frutos de *Bursera bipinnata* en San Pedro Juchatengo, Oaxaca. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. 92 p.

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

Hernández-Ramos, J., J. C. Tamarit-Urias, A. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas y E. Buendía-Rodríguez. 2021. Modelos para estimar el volumen comercial de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y de *Metopium brownei* (Jacq.) Urb. en Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12(68): 5-29. DOI: 10.29298/rmcf.v12i68.814.

Hernández-Stefanoni, J. L., K. D. Johnson, B. D. Cook, J. M. Dupuy, R. Birdsey, A. Peduzzi, and F. Tun-Dzul. 2015. Estimating species richness and biomass of tropical dry forests using LIDAR during leaf-on and leaf-off canopy conditions. *Applied Vegetation Science*. 18(4): 724-732. Doi: 10.1111/avsc.12190

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* 4(6): 1119-1128.

- Herrera, R., D. M. Verdecia, J. L. Ramírez, M. García, and A. M. Cruz. 2017.. Their relationship with some climate elements, different expressions of digestibility and primary metabolites. Cuban Journal of Agricultural Science. 51(1): 107–116. <https://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/690>
- Holopainen, J.K., V. Virjamo, R. P. Ghimire, J. D. Blande, R. Julkunen-Titto, and M. Kivimäenpää. 2018. Climate change effects on secondary compounds of forest trees in the Northern Hemisphere. *Frontiers in Plant Science*. 9(1445): 30333846. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01445>
- Huerta-García, R. E., N. L. Ramírez-Serrato, F. D. Yépez-Rincón, and D. F. Lozano-García. 2019. Precision of remote sensors to estimate aerial biomass parameters: portable LIDAR and optical sensors. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 24(2): 219-235. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.09.059>
- Hurtado, P., y A. L. Villa. 2016. Estudio de mercado de aceite esencial de naranja en Colombia en el período 2009-2014. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 10(2): 301-310.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación Escala 1: 250 000. Serie VI (Conjunto nacional). URL: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250s6gw.xml?_htptcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (2 de diciembre de 2021).
- Interián-Ku, V. M., J. I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, M. A. Borja-de-la-Rosa, and H. Vaquera-Huerta. 2009. Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 11(85): 17-29.
- Jaramillo-Colorado, B. E., S. Suarez-López, and V. Marrugo-Santander. 2019. Volatile chemical composition of essential oil from *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch and their fumigant and repellent activities. *Acta Scientiarum Biological Sciences*. 41(1): e46822. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v41i1.46822>
- Jean-François, L., N. Logan, K. Hosung, C. Pierre-Ntoh, Z. Tim, and J. Sunghwan. 2018. How wind drives the correlation between leaf shape and mechanical properties. *Scientific Reports*. 8(1): 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34588-0>

- Joalland, S., C. Screpanti, A. Gaume, and A. Walter. 2016. Belowground biomass accumulation assessed by digital image based leaf area detection. *Plant and Soil*. 398(1): 257-266. DOI 10.1007/s11104-015-2660-9
- José-Hernández, Y. G. Rodríguez-Ortiz, J. R. Enríquez-del Valle, G. V. Campos-Angeles, V. A. Velasco-Velasco y J. Ruiz-Luna. 2020. Modelos alométricos de biomasa aérea para *Leucaena esculenta* en un sistema agroforestal. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 7(1): 30-41.
- Labrada-Hechavarría, Y., J. M. Cordoví-Velázquez, J. L. Ledea-Rodríguez, M. Rapado-Paneque y U. M. Rosabal-Cordoví. 2018. Caracterización física y química de aceite esencial de *Azadirachta indica* A Juss expuesto a radiación gamma. *Revista Cubana de Química* 30(3): 470–482.
- Lebrija-Trejos, E., J. A. Meave, L. Poorter, E. A. Pérez-García and F. Bongers. 2010. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12(1): 267–275.
- León-Méndez, G., M. del R. Osorio-Fortich y S. R. Useche-Martínez. 2015. Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. *Revista Cubana de Farmacia* 49(4): 742–750. https://www.researchgate.net/publication/317515356_Comparacion_de_dos_metodos_de_extraccion_del_aceite_esencial_de_Citrus_sinensis_L
- León-Peláez, J. D., W. Caicedo-Ruiz, and J. Castellanos-Barliza. 2021. Reactivation of nutrient cycling in an urban tropical dry forest after abandonment of agricultural activities. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 23(3): 357-365. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.11.068>
- Leyva, M. A., J. R. Martínez y E. E. Stashenko. 2007. Composición química del aceite esencial de hojas y tallos de *Bursera graveolens* (Burseraceae) de Colombia. *Scientia et Technica*. 13(33): 201-202.
- Li, H., C. Chen, and X. Cao. 2015. Essential oils-oriented chiral esters as potential pesticides: *Asymmetric syntheses*, characterization and bio-evaluation. *Industrial Crops and Products* 76: 432–436. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.027>
- Maldini, M., P. Montoro, S. Piacente, and C. Pizza. 2009. Phenolic compounds from *Bursera simaruba* Sarg. Bark: Phytochemical investigation and quantitative analysis by tandem mass spectrometry. *Phytochemistry* 70(5):641-649. DOI: 10.1016/j.phytochem.2009.02.009

- Marcano-de Mohali, E., A. Padilla-Baretic y L. Rojas-Fermín. 2013. Aceite esencial extraído por hidrodestilación del tejido xilemático de ramas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Revista Forestal Latinoamericana 28(1): 27-36.
- Marcano-de-Mohali, E., A. Padilla-Baretic y L. Rojas-Fermín. 2013. Aceite esencial extraído por hidrodestilación del tejido xilemático de ramas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Revista Forestal Latinoamericana 28(53-54): 27–36. <http://localhost:8080/xmlui/handle/654321/1347>
- Martín-Gordo D. A. 2018. Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 9(1): 81-104. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Victoria-Meakem, A. J. Tepley, E. B. Gonzalez-Akre, V. Herrmann, H. C. Muller-Landau, S. J. Wright, S. P. Hubbell, R. Condit, and K. J. Anderson-Teixeira. 2017. Role of tree size in moist tropical forest carbon cycling and water deficit responses. New Phytologist Now. 219(3): 947-958. Doi: 10.1111/nph.14633
- Megawati, D. Selvia-Fardhyanti, W. Budi-Sediawan, and A. Hisyam. 2019. Kinetics of mace (*Myristicae arillus*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power. Industrial Crops and Products 131: 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.067>
- Megawati., D. Selvia-Fardhyanti, W. Budi-Sediawan, and A. Hisyam. 2019. Kinetics of mace (*Myristicae arillus*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power. Industrial Crops and Products. 131(9): 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.067>
- Meira-Arruda, D., D. Oliveira-Brandão, F. Vieira-Costa, G. Soares-Tolentino, R. Duque-Brasil, D. S. Ângelo and Y. R. Ferreira-Nunes. 2011. Structural Aspects and Floristic Similarity Among Tropical Dry Forest Fragments with Different Management Histories. Revista Árvore 35(1):131-142.
- Mohammad-Taghi G., and M. Moayyedi. 2016. Comparison of microwave-assisted hydrodistillation and solvent-less microwave extraction of essential oil from dry and fresh *Citruslimon* (Eureka variety) peel. Journal of Essential Oil Research 28(4): 272-282. <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2016.1145606>
- Montúfar-López, A. 2016. Copal de *Bursera bipinnata*. Una resina mesoamericana de uso ritual. TRACE. 70(0): 45–77. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22134/trace.70.2016.39>
- Morreale, L. L., J. R. Thompson, X. Tang, A. B. Reinmann, and L. R. Hutyra. 2021. Elevated growth and biomass along temperate forest edges. Nature

Communications. 12(7181): 7181. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27373-7>

- Muñoz-Acevedo, A., A. Serrano-uribe, X. J. Parra-Navas, I. A. Olivaresescobar and M. E. Niño-Porras. 2013. Análisis multivariable y variabilidad química de los metabolitos volátiles presentes en las partes aéreas la resina de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. de Soledad (Atlántico, Colombia). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 12(3): 322-337. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85626383008>
- Murugesan, K., G., Ravi-Kumar, S.H. Jain, S. Mohan, and S G. Nair. 2011. Wood exudates overview on aromatic gums and resins. Journal Indian Academic Wood Science 8(2):72-75
- Navarro-Martínez, J., A. Borja-de la Rosa, M. Á. Musalem-Santiago, H. Ramírez-Maldonado, y D. Granados-Sánchez. 2002. Ecuaciones y tablas de volúmenes comerciales con y sin corteza para *Peltogyne mexicana* Martínez, una especie amenazada del Estado de Guerrero, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8(2): 133-139.
- Ngangyo-Heya, M., R. Foroughbakhch-Pournavab, A. Carrillo-Parra, L. R. Salas-Cruz, M. A. Alvarado-Vázquez y V. Bustamante-García. 2017. Producción de biomasa foliar y patrón de caída de hojarasca de cinco especies maderables en plantaciones forestales de tierras semiáridas del noreste de México. Ciencias Botánicas. 95(2): 295-305. DOI: 10.17129/botsci.770
- Noge, M. K. y J. Becerra. 2009. Germacrene D, A Common Sesquiterpene in the Genus *Bursera* (Burseraceae). Molecules. 14(12): 5289-5297; doi:10.3390/molecules14125289
- Paumier, M., D. M. Verdecia, J. L. Ramírez, R.S. Herrera, I. Leonard, A. Santana y Y. Méndez. 2018. El contenido de metabolitos primarios de *Gliricidia sepium* en una zona del Valle del Cauto, Cuba. Revista Electrónica de Veterinaria. 19(4): 1-8.
- Pérez-García, E. A., J. A. Meave, J. L. Villaseñor, J. A. Gallardo-Cruz, and E. E. Lebrija-Trejos. 2010. Vegetation Heterogeneity and Life-Strategy Diversity in the Flora of the Heterogeneous Landscape of Nizanda, Oaxaca, Mexico. Folia Geobot. 45(1):143–161. DOI 10.1007/s12224-010-9064-7
- Peterhansel, C. and S. Offermann. 2012, Re-engineering of carbon fixation in plants-challenges for plant biotechnology to improve yields in a high-CO₂ world. Current Opinion in Biotechnology. 23(2): 204-208. DOI: 10.1016/j.copbio.2011.12.013

- Peters, R., A. Olagoke, and U. Berger. 2018. A new mechanistic theory of self-thinning: Adaptive behaviour of plants explains the shape and slope of self-thinning trajectories. *Ecological Modelling*. 390: 1–9. doi:10.1016/j.ecolmodel.2018.10.005
- Peyhardi, J., Y. Caraglio, E. Costes, P. Lauri, C. Trottier, and Y. Guédon. 2017. Integrative models for joint analysis of shoot growth and branching patterns. *New Phytologist*. 216(4): 1291-1304. doi: 10.1111/nph.14742
- Pinard, D., A. C. Fierro, K. Marchal, A. A. Myburg, and E. Mizrachi. 2019. Organellar carbon metabolism is coordinated with distinct developmental phases of secondary xylem. *New Phytologist*. 222: 1832-1845 DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15739>.
- Poelchau, MF y Hamrick, J.L. 2011. Filogeografía comparada de tres especies comunes de árboles neotropicales. *Journal of Biogeography* 40(4): 618–631. doi: 10.1111 / j.1365-2699.2011.02599.x
- Poorter, L., T. Masha, E. J.van-der Sande, E. J. M. M. Arets, J. Brian, Enquist, B. Finegan, J. C. Licona, M. Martínez-Ramos, L. Mazzei, J. A. Meave, R. Muñoz, C. J. Nytch, A. A. de-Oliveira, E. A. Pérez-García, J. Prado-Junior, J. Rodríguez-Velazques, A. R. Ruschel, B. Salgado-Negret, I. Schiavini, N. G. Swenson, E. A. Tenorio, J. Thompson, M. Toledo, M. Uriarte, P. van-der-Hout, J. K. Zimmerman, and M. Peña-Claros. 2017. Biodiversity and climate determine the functioning of Neotropical forests. *Global Ecology and Biogeography*. 26(12): 1423–1434. <https://doi.org/10.1111/geb.12668>
- Puglielli, G., M. Fiore-Crescente, A. R. Frattaroli, and L. Gratani. 2015. Leaf mass per area (LMA) as a possible predictor of adaptive strategies in two species of *Sesleria* (Poaceae): analysis of morphological, anatomical and physiological leaf traits. *Annales Botanici Fennici*. 52(1/2): 135-143. <https://doi.org/10.5735/085.052.0201>
- Quinn, E.M., and S. C. Thomas. 2015. Age-related Crown Thinning in Tropical Forest Trees. *Biotropica*. 47(3): 320–329. doi:10.1111/btp.12218
- Quinto-Mosquera, H., F. Moreno-Hurtado, H. Y. Caicedo-Moreno y M. T. Y. Pérez-Luis. 2016. Biomasa de raíces finas y fertilidad del suelo en bosques pluviales tropicales del pacífico colombiano. *Colombia Forestal*. 19 (1): 53-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a04>
- Quiñonez-Barraza, G., Z. D. de los Santos-Posadas, H. M., Santiago-García, W. Tamarit-Urías, J. C, and J.A. Nájera-Luna. 2019. Compatible taper, volume, green weight, biomass and carbon concentration system for *Quercus*

sideroxylo Bonpl. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 25(1): 49-69. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.050>.

Quiroz-Carranza, J. A., y M. A. Magaña-Alejandro. 2015. Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. Madera y Bosques 21(3): 171-183. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61743002013>

Ramos-Ordoñez, M. F., M. del C. Arizmendi, M. Martínez, and J. Márquez-Guzmán. 2013. The pseudaril of *Bursera* and *Commiphora*, a foretold homology?. Revista Mexicana de Biodiversidad 84(2): 509-520. <https://doi.org/10.7550/rmb.32114>

Rentería, L. Y., y V. J. Jaramillo. 2011. Rainfall drives leaf traits and leaf nutrient resorption in a tropical dry forest. Oecologia. 165(1): 201-211. DOI 10.1007/s00442-010-1704-3

Rey-Valeirón, C., L. Guzmán, L. Rodrigo-Saa, J. López-Vargas, and E. Valarezo. 2017. Acaricidal activity of essential oils of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch and *Schinus molle* L. on unengorged larvae of cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari:Ixodidae). Journal of Essential Oil Research. 29(4): 344-350. <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1278405>

Rivas-Arancibia, S. P., E. Bello-Cervantes, H. Carrillo-Ruiz, A. R. Andrés-Hernández, D. M. Figueroa-Castro y S. Guzmán-Jiménez. 2015. Variaciones de la comunidad de visitantes florales de *Bursera copallifera* (*Burseraceae*) a lo largo de un gradiente de perturbación antropogénica. Revista Mexicana de Biodiversidad 86(1): 178-187. <https://doi.org/10.7550/rmb.44620>

Rivera-Ríos, Á., L. López-Mata, and J. A. Cruz-Rodríguez. 2021. Rocks are safe sites for establishment of *Bursera* seedlings in a seasonally dry tropical forest of Mexico. Journal of Arid Environments. 186: 104395. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104395>

Rodríguez, A. M., L. Alcaraz-Meléndez y S. M. Real-Cosío. 2012. Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas. SAGARPA-CONACYT. México. 47 p.

Rubio-Ortega, A., M. del C. Travieso-Novelles, Y. Riverón-Alemán, A. Martínez-Vasallo, J. Peña-Rodríguez, I. Espinosa-Castaño y O. Pino-Pérez. 2018. Actividad antibacteriana de aceites esenciales de plantas cultivadas en Cuba sobre cepas de *Salmonella enterica*. Revista de Salud Animal. 40(3): 1-10.

- Ruffino, A. M. C., M. R. M. Hilal, J. A. González y F. E. Prado. 2008. Evolución de metabolitos primarios y pigmentos fotosintéticos durante la ontogenia de cotiledones de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sometidos a estrés salino. *Lilloa*. 45 (1–2): 108–118.
- Ruiz-Benito, P., S. Ratcliffe, M. A. Zavala, J. Martínez-Vilalta, A. Vilà-Cabrera, F. Lloret, J. Madrigal-González, C. Wirth, S. Greenwood, G. Kändler, A. Lehtonen, J. Kattge, J. Dahlgren, and A. S. Jump. 2017. Climate- and successional related changes in functional composition of European forests are strongly driven by tree mortality. *Global Change Biology*. 23(10): 4162–4176. <https://doi.org/10.1111/gcb.13728>
- Rzedowski, J. and H. Kruse-Source. 1979. Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae). *TAXÓN*. 28(1): 103-116. <https://doi.org/10.2307/1219565>.
- 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57406602>
- Rzedowski, J., R. Medina-Lemus 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* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana* 70: 85-111.
- Santos, D., H. Ferreira, L. Borges, J. Paula, L. Tresvenzol, P. Santos, P. Ferri, and T. Fiuza. 2016. Chemical composition of essential oils of leaves, flowers and fruits of *Hortia oreadica*. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 26(1): 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.08.008>
- Santos-De Oliveira, B. M., A. Fitzgerald-Blank, D. A. Aparecida-De Castro-Nizio, P. C. De Lima-Nogueira, M. De F. Arrigoni-Blank, L. Bacci, C. Ramos-Melo, L. F. De Andrade-Nascimento and T. Santos-Sampaio. 2020. Chemical analysis of the essential oils of *Varronia curassavica* accessions in two seasons. *Journal of Essential Oil Research* 32(6): 494-511, DOI: 10.1080/10412905.2020.1789001
- SAS Institute Inc. 2014. Programming with Base SAS® 9.4, Second Edition. SAS Institute. Cary, NC. USA. 900 p.
- Sharma, S., S. Walia, S. Rathore, P. Kumar, and R. Kumar. 2020. Combined effect of elevated CO₂ and temperature on growth, biomass and secondary metabolite of *Hypericum perforatum* L. in a western Himalayan region. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 16: 100239. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100239>

- Tadeo-Noble, A. E., J. I. Valdez-Hernández, L. Beltrán-Rodríguez y E. García-Moya. 2019. Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y diversidad arbórea en selvas tropicales de Quintana Roo, México. *Bosque* 40(2): 129-140. DOI: 10.4067/S0717-92002019000100129
- Tangarife-Castaño, V., J. Correa-Royero, B. Zapata-Londoño, C. Durán, E. Stanshenko, and A. C. Mesa-Arango. 2011. Anti-*Candida albicans* activity, cytotoxicity and interaction with antifungal drugs of essential oils and extracts from aromatic and medicinal plants. *Infectio*. 15(3): 160-167.
- Urquiza-Haas, T., P. M. Dolman, and C. A. Peres. 2007. Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. *Forest Ecology and Management*. 247(1-3): 80–90. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.04.015
- Vargas-Silva, G. 2017. Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. 25 (3): 510-523.
- Vargas-Silva, G. 2019. Biomecánica de los árboles: crecimiento, anatomía y morfología. *Madera y Bosques*. 25 (3): e2531712. doi: 10.21829/myb.2019.2531712
- Ventre-Lespiauq, A. B., A. G. Escribano-Rocafort, J. A. Delgado, M. D. Jiménez, R. Rubio de Casas, C. Granado-Yela, and L. Balager. 2016. Field patterns of temporal variations in the light environment within the crowns of a Mediterranean evergreen tree (*Olea europaea*). *Trees*. 30(3): 995–1009. doi: 10.1007/s00468-015-1328-7
- Ventre-Lespiauq, A. B., J. A. Delgado, N. H. Ospina-Calderón, J. T. Otero, A. Escudero, M. A. Sánchez, L. Balaguer, and N. S. Flanagan. 2017. A tropical epiphytic orchid uses a low-light interception strategy in a spatially heterogeneous light environment. *Biotropica*. 49 (3): 318–327. doi: 10.1111/btp.12425
- Ventre-Lespiauq, A. B., N. S. Flanagan, N. H. Ospina-Calderón, J. A. Delgado, and A. Escudero. 2018. Midday Depression vs. Midday Peak in Diurnal Light Interception: Contrasting Patterns at Crown and Leaf Scales in a Tropical Evergreen Tree. *Frontiers in Plant Science*. 9 (3): 1-10. doi:10.3389/fpls.2018.00727
- Verdecia, D. M. R., del C. Herrera-Herrera, E. Torres, A. R. Sánchez, L.G. Hernández-Montiel, R. S. Herrera, J. L. Ramírez, R. Bodas, F. J. Giráldez, J. Guillaume, H. Uvidia, and S. López. 2021. Primary and secondary

metabolites of six species of trees, shrubs and herbaceous legumes. Cuban Journal of Agricultural Science. 5(1): 1-17.
<http://hdl.handle.net/10261/268296>

- Wencomo, H. B., y R. Ortiz. 2012. Comportamiento de la disponibilidad de biomasa y la composición química en 23 accesiones de *Leucaena* spp. Pastos y Forrajes. 35(1): 43-56. Recuperado en 20 de diciembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000100004&lng=es&tlng=pt.
- Williams-Cáceres, F., M. Rengifo-Carrillo, L. Rojas, and C. Rosquete-Porcar. 2019. Chemical composition of essential oils from *B. simaruba* (L.) Sarg. fruits and the resins from three *Bursera* species: *B. simaruba* (L.) Sarg, *B. glabra* Jack and *B. inversa* Daly. Avances en Química 14(1):25-29.
- Xu X., D. Medvigy, J. S. Powers, J. M. Becknell, and K. Guan. 2016. Diversity in plant hydraulic traits explains seasonal and inter-annual variations of vegetation dynamics in seasonally dry tropical forests. New Phytol. 212(1): 80-95. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14009>
- Yuan, Z., A. Ali, T. Jucker, P. Ruiz-Benito, S. Wang, L. Jiang, X. Wang, F. Lin, J. Ye, Z. Hao, and M. Loreau. 2019. Multiple abiotic and biotic pathways shape biomass demographic processes in temperate forests. Ecology. 100(5): e02650. <https://doi.org/10.1002/ecy.2650>
- Zamora-Crescencio, P., V. Rico-Gray, L. N. G. Ramírez-Medina, R.C. Barrientos-Medina, A. H. Plasencia-Vázquez, P. Villegas, M. del R. Domínguez-Carrasco y C. Gutiérrez-Báez. 2018. Composición y estructura de la vegetación secundaria en Bethania, Campeche, México. Polibotánica. 1(45): 57-74. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.5>
- Zepeda-Gómez, C., C. Burrola-Aguilar, L. White-Olascoaga y C. Rodríguez-Soto. 2017. Especies leñosas útiles de la selva baja caducifolia en la Sierra de Nanchititla, México. Madera y Bosques. 23(3): 101-119. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331426>
- Zúñiga-Sánchez, E., E. Martínez-Barajas, E. Zavaleta-Mejía, and A. Gamboa-de-Buen. 2017. El floema y la ruta simplástica durante la formación de órganos de demanda. Revista Fitotecnia Mexicana. 40(3): 249–259. <https://www.redalyc.org/journal/610/61050549001/html/#:~:text=EL FLOEMA Y LA RUTA SIMPLÁSTICA DURANTE LA FORMACIÓN DE ÓRGANOS DE DEMANDA&text=Sociedad Mexicana de Fitogenética%2CA.C.,diversas sustancias a larga distancia>.