



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MORELOS**

---

---

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**MANEJO DE LOS COPALES Y CONSECUENCIAS FISIOLÓGICAS  
DE LA SELECCIÓN HUMANA EN POBLACIONES DE *Bursera  
bipinnata* (DC.) Engl., EN EL SURESTE DE MORELOS, MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE  
LA BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN**

**PRESENTA:**

**BIÓL. ITZEL ABAD FITZ**

**DIRECTORA: DRA. BELINDA JOSEFINA MALDONADO ALMANZA  
CODIRECTORA: DRA. KARLA MARÍA AGUILAR DORANTES**



**CUERNAVACA, MORELOS.**

**AGOSTO, 2019**

## AGRADECIMIENTOS

Al comité sinodal por sus valiosas observaciones y comentarios con el propósito de enriquecer y mejorar la presente investigación, de forma crítica y constructiva, por todas las oportunidades brindadas en el fortalecimiento, en el ámbito profesional, personal en aras de salir adelante y por su amistad. A todos Gracias.

Dra. Belinda Josefina Maldonado Almanza

Dra. Karla María Aguilar Dorantes

Dr. José Juan Blancas Vázquez

Dr. Alejandro Casas Fernández

Al comité revisor

Dr. Leonardo Alejandro Beltrán Rodríguez

Dr. Sol Cristians Niizawa

Al Laboratorio de Ecología Química y Agroecología del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), UNAM campus Morelia.

Biól. Yolanda García Rodríguez, por su paciencia, por su enseñanza en laboratorio y por amistad.

Dr. Francisco Espinosa García, por las facilidades brindadas.

Al Biól Feliciano García Lara, por su apoyo en campo y en la identificación de los ejemplares botánicos.

Al Dr. Leopoldo Gómez Caudillo, por todo el apoyo brindado en el asesoramiento de los modelos estadísticos.

Al Dr. Antonio Sierra Huelsz, por su asesoramiento, entusiasmo y disponibilidad.

A todos y cada uno de ustedes por formar parte de este sueño compartido, por su amistad y por su disponibilidad en todo momento.

A Israel Martínez Gómez, por su apoyo y disponibilidad en todas las salidas de campo.

A nuestros amigos y guías de campo, por abrir las puertas de sus hogares y siempre recibirnos con una sonrisa.

A Luis Sánchez Méndez y Estrella Cadenas Rodríguez.

A Margarito Tajonar Pliego y Agustina Coyote Tena (Doña Vero) y a Heriberto Lira Sánchez.

Este trabajo se desarrolló con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de la Red Temática Productos Forestales No Maderables: aportes desde la etnobiología para su aprovechamiento sostenible

(Proyectos 271837, 280901 y 293914), Responsable Técnico Dr. José Blancas.

A las autoridades del ejido de Los Sauces, Tepalcingo, Morelos por permitir que el trabajo de campo se realizara en su comunidad.

A los Señores copaleros que en todo momento tuvieron la disponibilidad, compromiso y entusiasmo, con la investigación.

Virginio Sánchez Méndez, Genaro Pliego Sánchez, Reinaldo Sánchez Peña, Joaquín Martínez Lira, Margarito Tojanar Pliego y Verulo Méndez Castañeda.

A mis compañeros y amigos de campo, de escuela, de aventuras y de sueños académicos, que conforman el grupo de etnochic@s por permitirme formar parte de este grupo de investigación, en el cual he aprendido mucho. José Blancas, Belinda Maldonado, Antonio Sierra, Leonardo Beltrán, Fabiola Mena, Juan Carlos Rodríguez, Darely Acosta, Feliciano García, Araceli Tegoma, Georgina Soto, Oralia Hernández, Idalia Villalpando, Yanin Robles, Luis Sánchez, Ceci Arjona, Anahí Gómez, Estefanía Hidalgo, Dalía García y Georgina Leyva.

A mis otros amig@s etnobiólo@s, Alejandro Casas, Selene Rangel, Ignacio Torres, América Delgado, Gonzalo Álvarez, Mariana Zarazúa y Ana Isabel Moreno, por su hospitalidad durante mi estancia en el IIES Morelia y en la Molina en Perú. Por esas pláticas llenas de reflexiones. Aprendí mucho.

Al grupo del curso de Panorama general de los productos forestales no maderables de México, por todo el apoyo en campo para la colecta de resinas,

Pepe, Bely, Leo, Rogelio, Itzel Jaqueline, Yanin, Bárbara, Estefy, Araceli, Juan Carlos y Gina.

Al posgrado de la maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación CIByC-UAEM y al CONACYT, a los integrantes de la coordinación Contadora Claudia Avilés y Dra. Lorena Orozco Lugo.

## DEDICATORIA

Principalmente a Alí Santiago Arrieta Abad y Marisela Fitz Domínguez, fuente de inspiración de sueños en todo momento, sigo pintando constelaciones, en los cuadros que aún faltan por colgar, a mi familia Abad-Fitz, Ismet, Ishael, Israel, gracias por su paciencia en este nuevo vuelo, por su entusiasmo, por ser parte fundamental en mi vida, por su apoyo y compromiso para que este sueño llegará a buen puerto. ¡De corazón gracias chicos sin su apoyo no lo hubiera logrado! A los nuevos integrantes de la familia, Ishael, Yair, Said, Diego y Jeny. Seguimos teniendo lienzos en blanco y manos entusiastas para colorear caminos con sueños.

## ÍNDICE

Índice de tablas

Índice de figuras y anexo

Código de ética

Citar como

RESUMEN

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 3

Implicaciones del manejo sobre la morfología y fisiología de especies vegetales 3

Selección, técnicas de extracción, prácticas de manejo y transmisión de conocimiento 5

El uso de los copales en Centroamérica y México 7

El uso de los copales en Morelos 8

HIPÓTESIS 9

OBJETIVO GENERAL 9

OBJETIVOS PARTICULARES 9

MÉTODOS 10

Área de estudio 10

Descripción taxonómica de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. 11

Extracción de resina de copal 12

Estudio etnobotánico 13

Sitios de muestreo 15

Parámetros estructurales de los árboles 16

Variables ambientales por tipo de manejo 16

Colectas de ejemplares botánicos 17

Producción de resina de copal por tipo de manejo 17

Identificación de compuestos orgánicos en resina de copal *Bursera bipinnata*, de árboles silvestres y manejados 18

Procesamiento de las muestras en laboratorio 18

Análisis químico por cromatografía de gases acoplado a masas	19
Análisis de los datos de concentración	20
Estimación de variables fisiológicas	21
Índice de plasticidad fisiológica de <i>Bursera bipinnata</i> , en condiciones silvestres y manejadas	22
<b>RESULTADOS</b>	<b>23</b>
Estudio etnobotánico	23
Los copaleros	23
Clasificación y manejo de los copales	23
Criterios económicos para la recolección del copal	33
Aspectos culturales del manejo del copal	34
Variables ambientales	35
Caracterización de los árboles de copal de <i>Bursera bipinnata</i>	36
Productividad de resina de copal entre poblaciones silvestres y manejadas	36
Comparación de la producción anual de resina	36
Caracterización de la resina de <i>Bursera bipinnata</i>	37
Variables fisiológicas	42
Índice de plasticidad fisiológica	43
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>45</b>
Criterios de reconocimiento y clasificación tradicional	45
Criterios de selección	46
Estrategias y prácticas de manejo en <i>Bursera bipinnata</i>	46
Selección por tamaño de los tallos	48
Duración del periodo y formas de picado	49
La extracción del copal y el papel de los miembros de la familia	51
Relación entre el manejo tradicional y la productividad de resina de copal	52
Beneficios del manejo del copal en sistemas agroforestales	53
Presencia de compuestos orgánicos y su posible relación con el manejo	53
Relación entre variables fisiológicas y manejo	55
El papel de la plasticidad fisiológica	56
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>57</b>

PERSPECTIVAS	59
LITERATURA CITADA	61
Anexo 1. Entrevista semi-estructurada	72
Anexo 2. Matriz de datos imputados de árboles silvestres	75
Anexo 3. Matriz de datos imputados de árboles manejados	76
Anexo 4. Datos sin normalizar (izq.), figura de datos normalizados (der.)	77

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Mediciones de la fluorescencia de la clorofila	21
<b>Tabla 2.</b> Descripción de estrategias y prácticas de manejo	24
<b>Tabla 3.</b> Planeación a 5 y 10 años para la plantación de árboles de copal	26
<b>Tabla 4.</b> Criterios para nombrar y clasificar el copal	27
<b>Tabla 5.</b> Criterios de clasificación y descripción de la resina	28
<b>Tabla 6.</b> Estrategias y prácticas de manejo que llevan a cabo	30
<b>Tabla 7.</b> Valor económico de la extracción de resina de acuerdo a su forma	33
<b>Tabla 8.</b> Caracterización de los sitios de muestreo (manejadas y silvestres)	35
<b>Tabla 9.</b> Caracterización de variables estructurales de <i>Bursera bipinnata</i> en condiciones manejadas y silvestres	36
<b>Tabla 10.</b> Producción promedio de resina en árboles silvestres y manejados en dos temporadas de muestreo	37
<b>Tabla 11.</b> Identificación y comparación de la concentración promedio en porcentaje de individuos silvestres y manejados de los compuestos orgánicos identificados en resina de copal de <i>Bursera bipinnata</i>	38
<b>Tabla 12.</b> Peso de cada una de las variables (compuestos orgánicos) en los dos primeros componentes principales	41

## Índice de figuras y anexos

<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio	11
<b>Figura 2.</b> Frutos y hojas de <i>Bursera bipinnata</i>	12
<b>Figura 3.</b> Proceso de picado de copal	13
<b>Figura 4.</b> Taller participativo con copaleros	14
<b>Figura 5.</b> Entrevista a copalero de Los Sauces	14
<b>Figura 6.</b> Localización de los sitios de muestreo	15
<b>Figura 7.</b> Instalación de unidades de monitoreo ambiental	16
<b>Figura 8.</b> Limpieza y empaque del copal	17
<b>Figura 9.</b> Inyección split en el cromatógrafo de gases acoplado a masas	19
<b>Figura 10.</b> Medición de la fluorescencia de la clorofila	21
<b>Figura 11.</b> Arreglo espacial resultado del ACP en árboles silvestres y manejados de copal <i>Bursera bipinnata</i> , considerando la cantidad de compuestos presentes en cada individuo	40
<b>Figura 12.</b> Estimación de las variables fisiológicas en individuos de <i>B. bipinnata</i> manejados y silvestres	43
<b>Anexo 1.</b> Entrevista semi-estructurada aplicada a copaleros	72
<b>Anexo 2.</b> Matriz de datos imputados (árboles silvestres)	75
<b>Anexo 3.</b> Matriz de datos imputados (árboles manejados)	76
<b>Anexo 4.</b> Figura de datos sin normalizar y normalizados	77

## Código de ética

Este trabajo se realizó bajo los principios del Código de Ética de la Sociedad Latinoamericana de Etnobiología (SOLAE), por lo que contó con el permiso de las autoridades del Ejido Los Sauces, del municipio de Tepalcingo, Morelos, México. Toda la información recabada en este documento fue obtenida por medio de entrevistas teniendo el consentimiento previo por parte de los entrevistados, por lo tanto, pertenece al patrimonio biocultural de la comunidad y no podrá ser apropiada por ningún particular.

Citar como: Abad-Fitz, I. 2019. **Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México.** Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

## RESUMEN

Los seres humanos clasifican y seleccionan características deseables en especies de interés alimentario, medicinal, aromatizante, forrajero, maderable, combustible y ritual, y ponen en práctica estrategias de manejo en distintos recursos y a distintas escalas. Estas estrategias surgen principalmente cuando un recurso se ve vulnerado en su disponibilidad, pero existen diversas motivaciones culturales. Ejemplos de manejo sobre especies de uso ritual pueden apreciarse en los copales de la familia Burseraceae, particularmente en la especie *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., del cual se extrae resina para uso medicinal y ritual, con fines culturales y económicos. Esta práctica se ha realizado en el sureste del estado de Morelos desde la época prehispánica. El objetivo de la presente investigación fue analizar los posibles cambios en la fisiología de la planta por efecto del manejo humano. Para ello se analizaron comparativamente la producción y la calidad de la resina en poblaciones bajo distintas formas de manejo.

El trabajo se realizó en la comunidad de Los Sauces, municipio de Tepalcingo, Morelos. Los copaleros de esta comunidad identifican y seleccionan árboles para extracción de resina con base en la producción, el olor y la textura. Con el propósito de evaluar si los árboles de copal están siendo manejados, se realizó un taller participativo con 30 personas dedicadas a esta actividad y también se llevaron a cabo 30 entrevistas semiestructuradas, en donde algunos de los entrevistados coincidieron con los asistentes al taller, poniendo énfasis en documentar los criterios de clasificación y estrategias de manejo. Además, en seis sitios de muestreo de 50 x 20 m, tres de los cuales eran bosques (poblaciones silvestres) sin manejo y tres áreas manejadas, con 10 árboles cada uno, se midieron parámetros estructurales básicos (altura, diámetro a la altura del pecho DAP y cobertura de la copa), así como colecta de ejemplares botánicos y lecturas de fluorescencia en 720 hojas del dosel de los árboles seleccionados. Para documentar la producción de resina y la fluorescencia se seleccionaron seis parcelas de 50 x 20 m. Tres se realizaron en poblaciones silvestres (vegetación natural) y en tres áreas manejadas. Se colectó resina fresca para identificar los compuestos orgánicos presentes. Los resultados muestran que los copaleros tienen un amplio conocimiento sobre sus árboles, los identifican con base en

varias características (producción, olor, textura) de la resina. Propagan, toleran, protegen, promueven y trasplantan los árboles de copal más valorados. Se encontró que los árboles de copal manejados son los más productivos, para ambas temporadas de muestreo 2017 ( $t = 1.89$ ,  $p = 0.033$ ) y 2018 ( $t = 2.55$ ,  $p = 0.007$ ). También se identificaron 20 compuestos orgánicos que le confieren olor y textura particulares a la resina. Un análisis de componentes principales (ACP) de estos atributos y compuestos separa los árboles manejados de los silvestres. Los individuos muestreados (silvestres y manejados) no presentan plasticidad fisiológica. Los copaleros están implementando un plan de manejo basado en sus estrategias y prácticas tradicionales, con el propósito de conservar el recurso y el sistema agroforestal en el que está la especie, manteniendo la variabilidad de las poblaciones y beneficiando con ellos otras especies prioritarias de animales y plantas.

**Palabras clave:** Conocimiento tradicional, productos forestales no maderables, domesticación incipiente, selección humana, copal.

## INTRODUCCIÓN

Las interacciones de los humanos con las plantas, hasta hace algunos años, se concebían como una dicotomía entre recolección y agricultura (Harlan 1975; Childe 1978). Sin embargo, numerosos estudios en diferentes regiones del mundo, incluyendo Mesoamérica han demostrado que esta idea es inexacta. Tan solo en esta última zona cultural se han documentado numerosas formas de manejo en plantas que no son en sentido estricto ni recolección ni agricultura. Estas prácticas que se llevan a cabo en diferentes escalas de interacción, a nivel de ecosistemas, comunidades, poblaciones o individuos (Alcorn 1983; Gómez-Pompa *et al.* 1987; Bye 1993; Hernández-Xolocotzi 1993; Caballero 1994; Colunga-GarcíaMarín *et al.* 1996; Casas *et al.* 1997; Casas *et al.* 2007; Blancas *et al.* 2010).

Aquellas prácticas que buscan adaptar elementos, procesos o sistemas de la naturaleza de acuerdo a un plan humano, son definidas como manejo (Casas *et al.* 2014), e implican un gradiente que va desde las formas incipientes o la manipulación de la vegetación silvestre (*in situ*), hasta formas más intensas como la transformación de los ambientes por parte de los humanos, incluidos los espacios agrícolas (*ex situ*). El manejo *ex situ* contempla la siembra de semillas, el trasplante de partes vegetativas o de individuos completos en zonas humanizadas por ejemplo, huertos familiares, viveros y parcelas agrícolas de uso intensivo (Casas y Caballero 1995).

Entre las principales formas de manejo *in situ* se encuentran la recolección, tolerancia, promoción y protección de individuos en la vegetación silvestre, acahuals y otras zonas perturbadas, en donde algunas de estas formas pueden considerarse un tipo de manejo silvícola (Casas *et al.* 1997; Blancas *et al.* 2010). Una característica de esta forma de manejo es que deliberadamente se dejan en pie individuos que presentan atributos deseables para los humanos (sombra, abono orgánico, cerco vivo, conservación de la humedad del suelo), o porque presentan fenotipos apreciados por sus usos (Bye 1993; Casas *et al.* 1997). De esta forma, las prácticas que se llevan a cabo *in situ* buscan incrementar el

número de individuos o poblaciones con características deseables para los humanos en áreas silvestres o manejadas (Casas *et al.* 1997; Blancas *et al.* 2010). Al realizar este tipo de manejo en un gradiente que contempla la complejidad de las prácticas, puede dar lugar a diferencias morfológicas y/o fisiológicas cuando se comparan individuos o poblaciones de una misma especie que son sometidas a distintas intensidades de manejo (Casas y Caballero 1996; Casas *et al.* 1999; Carrillo-Galván 2017).

Estos cambios en la morfología y en la fisiología, derivados de la intensidad de manejo, han sido relativamente bien estudiados en plantas domesticadas (Harlan 1975; Bye 1993; Casas *et al.* 1997). Sin embargo, la documentación de estos procesos en plantas silvestres y semi-domesticadas es escasa y se han concentrado sobre todo en especies anuales que son usadas como alimento (Casas y Caballero 1996) y solo en unas pocas especies perennes (Casas y Caballero 1996; González-Soberanis y Casas 2004; Ruenes-Morales *et al.* 2010; Aguirre-Duguá 2015).

En cactáceas columnares, el manejo diferenciado a nivel poblacional ha dado lugar a diferencias en algunos parámetros morfo-fisiológicos, por ejemplo, en la sincronía y tasas de germinación, así como con otros parámetros ecológicos o reproductivos como puede ser el número de semillas y el establecimiento. Esto puede indicar que la intensidad de manejo puede ser la responsable de estos cambios, cuando se comparan poblaciones manejadas y silvestres de estos grupos de plantas (Carmona y Casas 2005; Blancas *et al.* 2006, 2009; Rodríguez-Arévalo *et al.* 2006; Guillén *et al.* 2013; Rodríguez-Morales *et al.* 2013). Así como sucede con *Carica papaya* (Paz y Vázquez-Yanes 1998). De ahí, se puede advertir que el manejo humano, guiado por procesos de selección artificial, ha dado lugar a estas diferencias fisiológicas.

Por lo anteriormente planteado, estudiar las consecuencias fisiológicas que el manejo humano ha provocado en especies perennes silvestres, puede aportar información relevante sobre los procesos de domesticación incipiente. Al mismo tiempo, permitirá establecer cómo algunas prácticas de manejo incipiente pueden

dar lugar a cambios fisiológicos en poblaciones sujetas a procesos de selección artificial, sobre todo en especies cuyo uso es distinto al comestible.

## ANTECEDENTES

### *Implicaciones del manejo sobre la morfología y fisiología de especies vegetales*

Diversos estudios han demostrado que el manejo ha dado lugar a diferencias morfológicas, fisiológicas, genéticas y cambios fitoquímicos, especialmente en especies comestibles (Blancas *et al.* 2013; Casas *et al.* 2014), de uso artesanal (Aguirre-Duguá 2015), aromático y medicinal (Carrillo-Galván *et al.* 2017). Es decir, que el manejo en plantas y la diferenciación morfológica en especies perennes consideradas como silvestres (p.ej. *Acrocomia mexicana*, *Annona* spp., *Byrsonima* spp., *Casimiroa edulis*, *Chrysophyllum caimito*, *Cordia dodecandra*, *Leucaena* spp., *Muntingia calabura*, *Parmentiera edulis*, *Spondias* spp., *Pimenta dioica*, *Pithecellobium dulce*, *Psidium* spp., entre otras), constituyen una evidencia del manejo selectivo de la vegetación desde tiempos remotos (Gómez-Pompa 1987).

Algunos estudios evidencian cómo las diferentes prácticas de manejo que las comunidades humanas llevan a cabo en especies silvestres con características deseables buscan primeramente asegurar la disponibilidad espacial y temporal del recurso (Aguilar 1996; Casas y Caballero 1996) y en un segundo momento elevar su calidad (Casas y Caballero 1996; Caballero *et al.* 1998; Blancas *et al.* 2010). Ejemplo de esto ocurre en la región de la montaña de Guerrero, México, donde grupos de mixtecos distinguen tres tipos de guajes (*Leucaena esculenta*) (DC.) Benth., guajes de vasca, guajes amargos y guajes dulces. Las dos primeras variantes se asocian a plantas silvestres mientras que la tercera se reconoce como una variedad manejada. Esta posee vainas y semillas más grandes cuando se le compara con individuos silvestres (Casas y Caballero 1996).

En árboles de Tempesquistle (*Sideroxylon palmeri*) (Rose) T.D. Penn., un recurso alimentario en el Valle de Tehuacán, son propagado en un sistema de manejo, en donde, individuos con frutos de mayor tamaño y menor cantidad de látex son

promovidos y trasplantados a parcelas de cultivo (González-Soberanis y Casas 2004). En el pochote (*Ceiba aesculifolia*), las variantes deseables son toleradas, protegidas y promovidas, tanto en la vegetación silvestre como en parcelas agrícolas (Avendaño *et al.* 2006).

Sin embargo, también existen barreras de distinta naturaleza (ecológicas, reproductivas, ambientales) que impiden o facilitan la fijación de alguna de las características deseadas por los humanos. Un grupo de recursos en el que ha sido estudiado con mayor profundidad esta perspectiva lo constituyen las cactáceas columnares (Casas *et al.* 2016). El denominador común de esas investigaciones ha sido documentar un gradiente de manejo, desde las más incipientes a las mayormente complejas. En esas investigaciones los autores encuentran que existe una diferenciación morfológica, fisiológica e incluso genética, cuando se comparan poblaciones silvestres y manejadas.

Además, los criterios de selección artificial se dirigen a elevar la productividad, aumentar el tamaño y sabor de los frutos, eliminar las defensas y acelerar el tiempo de cosecha, con el propósito de satisfacer las necesidades humanas (Carmona y Casas 2005; Avendaño *et al.* 2006; Rodríguez-Arévalo *et al.* 2006; Blancas *et al.* 2009; Guillen *et al.* 2013; Rodríguez-Morales *et al.* 2013; Aguirre-Duguá 2015).

Desde la perspectiva etnobotánica, con *Spondias purpurea* en la península de Yucatán, se demostró que los atributos de selección son el grosor del exocarpo (cáscara) y la cantidad de mesocarpo (pulpa) del fruto, los árboles manejados con mayor intensidad presentan frutos con gigantismo y cambios en la coloración (Ruenes-Morales *et al.* 2010). En *Jacaratia mexicana* (bonete), por ejemplo, el blanco de selección es el fruto (más dulce y grande), el manejo incipiente ha desarrollado cambios morfológicos (mayor tamaño del fruto) en individuos manejados (Arias *et al.* 2010). En *Carica papaya*, las semillas de los frutos cultivados, son más grandes y pesadas, con mayores tasas de germinación en comparación a las silvestres (Paz y Vázquez-Yanes 1998).

También se han encontrado cambios morfológicos y fisiológicos producto del manejo en especies no comestibles, principalmente medicinales, rituales e

industriales, de las cuales se extraen exudados como látex, resinas y gomas. Un ejemplo de ello es *Achras zapota* L. (chicle), especie en la que se reconocen dos tipos; zapote huesudo (con menor productividad), zapote morado (con mayor productividad) (Pérez-Aguilar 2014).

#### *Selección, técnicas de extracción, prácticas de manejo y transmisión de conocimiento*

Existen investigaciones que versan sobre otros enfoques, que tienen que ver con identificación de variables, periodo de extracción, tamaño y edad ideal de los árboles, prácticas de manejo, procesos, y técnicas de extracción de los productos (como corte, picado, entre otras). En éstos se han documentado diversos criterios de clasificación de las especies como parte de la cosmovisión de las comunidades humanas. En el incienso (*Clusia* sp.) de Bolivia, los incienceros reconocen dos formas de incienso, rojo y blanco, atribuyéndolo a diferentes tipos de pigmentación de las hojas y/o a diferentes sexos en las plantas femeninas y masculinas (Zenteno-Ruíz 2007).

En cuanto al tamaño ideal para el proceso de picado, éste varía entre las especies de las cuales se extraen exudados. Los árboles de *Protium copal*, (Schltdl. & Cham.) Engl., se comienzan a picar a partir de los 13 a 16 cm de diámetro (Coronado 2006). En *Clusia* sp., el proceso comienza a los 15 años, con un diámetro menor a 25 cm (Zenteno-Ruíz 2007); mientras que con *Hevea brasiliensis*, (Kunth) Müll. Arg., la edad productiva es a los siete años (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011). En *Bursera submoniliformis* Engl., el picado comienza entre los 15 a 20 años, cuando los árboles alcanzan una talla de 6 a 7 m de alto (García 2010). Esto se ha documentado para otras especies, por ejemplo *P. copal*, *Clusia* sp. y *Bursera submoniliformis* en donde la selección ocurre por la apariencia vigorosa del árbol, talla, diámetro y edad, así como por mayores rendimientos (Coronado 2006; García 2012; Zenteno-Ruíz 2017).

Con la especie *B. bipinnata* al igual que con otras especies como el chicle (*M. zapota*), el hule (*Castilla elastica*) Sessé ex Cerv., la extracción de resinas y látex se realiza en temporada de lluvias, donde se reportan los mayores rendimientos (Konrad 1987; Vaylón 2012). Actualmente en *C. elastica* el proceso se lleva a cabo

todo el año (Vaylón 2012). Esta información coincide con la registrada en *P. copal*, a excepción de que, en esta especie, no se realiza extracción en la época de fructificación (Coronado 2006).

En estas especies las técnicas extracción varían en cada comunidad, así como de acuerdo con las características morfológicas y fisiológicas de las plantas y los contextos ambientales y culturales de las comunidades que las aprovechan. Por lo anterior, el tiempo de trabajo invertido en estos procesos de extracción no influyen de manera determinante en la producción. Sin embargo, coinciden en que un proceso inadecuado de extracción hace vulnerable a los individuos picados. Por ello, la importancia de mantener las prácticas del conocimiento tradicional sobre el picado (Coronado 2006; García 2012).

Cabe mencionar que existen diferentes prácticas de manejo, las cuales se llevan a cabo por las poblaciones humanas, con el propósito de aumentar la productividad y rendimiento de sus árboles, de acuerdo con el conocimiento de sus recursos. Por ejemplo, en *P. copal*, se limpia el árbol y el tallo durante el año antes del picado (Coronado 2006). Otra práctica que es común en *B. submoniliformis* y *C. elastica* es su tolerancia en los espacios abiertos a la agricultura (García 2012; Vaylón 2012) y también como lindero (García 2012). Indicando que muchas de estas especies son parte de sistemas agroforestales diversificados, que buscan asegurar el sustento y generar ingresos económicos.

También existen investigaciones que tienen que ver con la transmisión del conocimiento de estas prácticas. En la localidad de El Limón de Cuauchichinola, en Tepalcingo Morelos, se lleva a cabo extracción de resina de dos tipos de copal; copal chino *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. y copal ancho *Bursera copallifera* (DC.) Bullock. Esta práctica se transmite de generación en generación, sin embargo, muchos de los conocimientos asociados al manejo se están perdiendo (Gadea 2011).

Por lo anterior, el estudio de los efectos del manejo humano en la fisiología de plantas perennes y de lento crecimiento requiere mayores esfuerzos.

Específicamente, sobre la existencia de procesos selectivos, estrategias y

prácticas de manejo, así como de sus resultados en cuanto a elevar su productividad y calidad.

### *El uso de los copales en Centroamérica y México*

Desde tiempos prehispánicos el copal se ha utilizado en México y en algunos países de Centroamérica (Purata 2008). El copal es una resina aromática que se extrae de diferentes especies de la familia Burseraceae. La resina de *B. bipinnata*, comúnmente llamada copal chino o copalli, vocablos de origen náhuatl, tiene diferentes usos, destacando los ceremoniales, religiosos y medicinales. En los dos primeros se documenta el uso en ofrendas como alimento para los dioses, sahumero para limpiar templos, en funerales, en ceremonias importantes como las festividades de día de muertos y las temporadas de cosecha; como medicina se usa en enfermedades respiratorias, musculares, óseas, bucales y del sistema reproductor femenino (Rzedowski y Guevara-Féfer 1992; Case *et al.* 2003; Cruz *et al.* 2006; Orta 2007).

El copal también tenía otros usos, se utilizaba como pegamento en las artesanías como las máscaras y como pintura (Purata 2008). Diversos estudios han documentado la presencia de resina de copal en tumbas prehispánicas; sin embargo, con el paso del tiempo, y no obstante la dominación de la cultura europea, este recurso se sigue utilizando (Cruz *et al.* 2006; Montañó y Becerril 2008; Purata 2008).

En la actualidad se utiliza en la industria como fijador de pigmentos y barnices (Case *et al.* 2003; Orta 2007; Quiroz y Magaña 2015), en distintas ceremonias como en el inicio de la temporada de lluvias, en cosechas, en ofrendas para los dioses o santos, en arcos y altares de iglesias, en limpiezas y como incienso. También en la medicina tradicional se usa como cataplasma o té. En algunas comunidades se emplea como goma de mascar, sin embargo, muchos de estos usos han ido disminuyendo (Purata 2008; García 2012).

La resina de copal es un producto forestal no maderable con gran valor económico en el mercado nacional y de gran importancia cultural (Rzedowski y Guevara-Féfer

1992; Cruz *et al.* 2006). Desde la época prehispánica se estima que la porción sureste del estado de Morelos y la mixteca poblana, proveen la tercera parte de la producción de copal que se consume en el país. Esto representa un recurso económico importante para las familias que se dedican a esta actividad (Linares y Bye 2008).

### *El uso de los copales en Morelos*

En la región sureste de la entidad, los recolectores de copal (copaleros), distinguen árboles con características morfológicas particulares, las cuales asocian con poca producción de copal y con calidades inferiores de resina. Estas son popularmente nombradas como copal aguado o de monte, que generalmente se encuentran de forma silvestre.

También identifican árboles que producen grandes cantidades de resina y poseen una mayor calidad, los cuales son muy fragantes; éstos son conocidos como copal limón y generalmente son tolerados alrededor de las parcelas de cultivo, como cercos vivos o dispuestos en islas de vegetación (Cruz *et al.* 2006; Mena 2018). Además, es común la colecta de semillas para su propagación, a pesar de que se tienen bajas tasas de germinación y altos índices de semillas vanas e infestación por hongos (Bonfil-Sanders *et al.* 2008). Así mismo, la práctica de la reproducción por estacas, y el trasplante de individuos completos es más común. En la región éstos son propagados en pequeñas plantaciones en los traspatios y después trasplantados en el monte o para delimitar parcelas de cultivos de subsistencia o comerciales (Mena 2018).

El estudio del manejo del copal es relevante ya que permite hacer aportes teóricos acerca de cómo operan los procesos de domesticación incipiente en plantas silvestres perennes. Asimismo, permite visualizar cómo la selección artificial asociada al manejo es un proceso continuo con resultados medibles, independientemente de las variables ambientales. Lo que dará indicios a los científicos acerca de las motivaciones culturales para el manejo, así como patrones de selección y sus efectos sobre poblaciones vegetales.

Por lo anterior, el presente trabajo plantea responder las siguientes preguntas de investigación: ¿Existe un manejo selectivo de árboles silvestres y manejados de *Bursera bipinnata*? ¿Existen criterios de selección artificial y cuáles son éstos en poblaciones de esta especie? ¿Hay diferencias en la producción de resina de copal en poblaciones sujetas a distintas intensidades de manejo? ¿Existen diferencias en la calidad de la resina en árboles sujetos a distintas intensidades de manejo? ¿Existen plasticidad en los distintos árboles de copal?

## HIPÓTESIS

Dada la importancia del copal *Bursera bipinnata* en la región sureste del estado de Morelos como producto forestal no maderable, se espera que existan procesos selectivos en su manejo, lo cual se verá reflejado en la ocurrencia más frecuente de individuos con características deseables, tales como mejor olor, mayor productividad y calidad de resina, en las poblaciones manejadas. Al mismo tiempo, se espera que las distintas poblaciones estén siendo manejadas mediante estrategias y prácticas que van desde las más incipientes a las más complejas (*in situ* y *ex situ*). A su vez, que estas diferencias se presenten independientemente de las condiciones ambientales y que estas poblaciones presenten diferencias no atribuibles a plasticidad fisiológica.

## OBJETIVO GENERAL

Analizar las posibles diferencias en la fisiología que ha generado el manejo humano con respecto a poblaciones silvestres. Especialmente en la producción y en la calidad de la resina de copal (*Bursera bipinnata*), las cuales se espera que sean mayores en poblaciones sometidas a distintas formas de manejo.

## OBJETIVOS PARTICULARES

1.- Documentar los criterios de selección que los copaleros utilizan para identificar los árboles de copal (*B. bipinnata*) más productivos en cantidad de resina.

- 2.- Documentar las estrategias y prácticas de manejo en esta especie.
- 3.- Evaluar y contrastar la producción de resina de copal en una muestra de árboles silvestres y manejados.
- 4.- Identificar los compuestos orgánicos que le dan olor y textura a la resina de copal de *B. bipinnata* en árboles de sitios silvestres y manejados.
- 5.- Identificar si existen diferencias en el índice de plasticidad fisiológica en los árboles de *B. bipinnata* por tipo de manejo.

## MÉTODOS

### *Área de estudio*

La presente investigación se llevó a cabo en la comunidad de Los Sauces municipio de Tepalcingo, Morelos, México (Figura 1). Está situada al suroeste del municipio y limita al norte con los ejidos de Huichila, al sur con El Limón de Cuachichinola, al este con Pitzotlán e Ixtlilco el chico, al oeste con Tepehuaje del mismo municipio y al suroeste con Santa Rita, municipio de Cd. Ayala. Se localiza a los 18° 34' 58" latitud norte y 98° 56' 48" longitud oeste, a una altitud de 1,281 msnm. Los Sauces es una de las 31 localidades que se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH). De acuerdo con el último censo la comunidad cuenta con una población de 298 habitantes, de los cuales 153 son hombres y 145 mujeres (INEGI 2010).

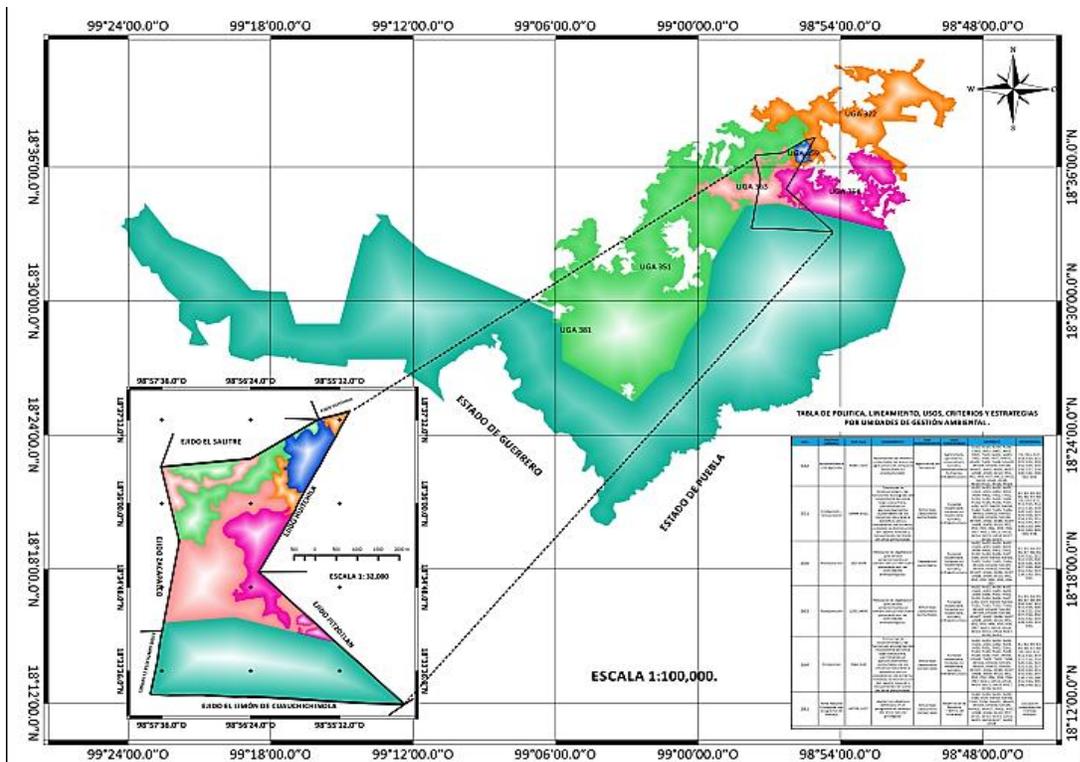


Figura 1. Localización de la comunidad de Los Sauces Tepalcingo, Morelos, y proyección de su ubicación en la REBIOSH. CONAFOR (datos no publicados).

El clima de la región es cálido subhúmedo  $Aw_0''(w)(i)''g$ , es decir el más seco de los subhúmedos, se caracteriza por la presencia de lluvias en verano y canícula. El porcentaje de lluvia invernal es menor a 5, la oscilación de las temperaturas medias mensuales va entre  $7^{\circ}$  y  $14^{\circ}C$ , la temperatura más alta se presenta en el mes de mayo y ésta oscila entre  $26^{\circ}$  y  $27^{\circ}C$ , la marcha de la temperatura es tipo Ganges, es decir que el mes más caliente del año es anterior a junio (García 1981). La vegetación es Selva Baja Caducifolia (Miranda y Hernández X. 1963).

#### *Descripción taxonómica de Bursera bipinnata* (DC.) Engl.

El copal chino (*B. bipinnata*) es un árbol dioico algunas veces polígamo-dioico, que pertenece a la familia Burseraceae, y se distribuye en la porción sureste del estado de Morelos (Hernández-Pérez *et al.* 2011). Los individuos de esta especie miden de 3 m de altura hasta 6 m llegando a alcanzar una talla de 10 m, con un

tallo de hasta 25 cm de diámetro, muy resinoso, de aroma agradable y penetrante, corteza lisa, grisácea-rojiza, no exfoliante, de aspecto brillante (Dorado *et al.* 2012), con numerosas lenticelas (Soria 1985). Presenta hojas bipinnadas, caducas, simulando frondas de algunos helechos, florece de mayo a junio, fructifica de julio a diciembre, posee hojas de junio a noviembre, se encuentra en partes altas de los cerros y en laderas abiertas, formando parte de la selva baja caducifolia (Rzedowski y Guevara-Féfer 1992; Dorado *et al.* 2012). (Figura 2).



Figura 2. Frutos y hojas de *Bursera bipinnata*.

#### *Extracción de resina de copal*

En Los Sauces, la extracción de resina de copal se lleva a cabo durante los meses de agosto a octubre, cada tercer día se visitan los árboles seleccionados para el proceso de picado (Figura 3). Este se lleva a cabo en el tallo, donde se coloca una hoja de maguey para la colecta de la resina, éstas se van cambiando conforme se llenan y al mismo tiempo se van limpiando de hojas o insectos. Finalmente, ya en casa se retira de la hoja y se empaca en cajas de cartón para su venta (Cruz *et al.* 2006; Mena 2018).



Figura 3. Proceso de picado de copal.

### *Estudio etnobotánico*

Se llevó a cabo un taller participativo con la presencia de 30 copaleros de la comunidad, con el fin de documentar los criterios de clasificación y de selección, que permitieran identificar árboles con mejores atributos utilitarios, así como documentar el conocimiento tradicional asociado a las prácticas de manejo de esta especie e información general sobre usos y proceso de extracción, cosecha y venta. Los copaleros asistieron de manera voluntaria por la convocatoria que les hizo el promotor forestal y de acuerdo a su disponibilidad de tiempo.

La dinámica del taller se basó en la metodología del análisis FODA (Ponce 2006). Primeramente, se realizó una exposición sobre los temas y dinámicas que se tratarían en el taller. Enseguida, se hicieron tres grupos de trabajo, los cuales estuvieron moderados por un coordinador y finalmente, todos los asistentes se reunieron en plenaria, donde se dieron a conocer los resultados del trabajo en equipo, logrando conclusiones en conjunto (Figura 4).



Figura 4. Taller participativo con copaleros (Foto: Antonio Sierra Huelsz).

Para indagar en detalle los aspectos sobre manejo del copal, se hicieron entrevistas semi-estructuradas (Martin 2000; Bernard 2006) a 30 copaleros de la comunidad. En éstas se abordaron temáticas tales como el reconocimiento de las variedades de copal, criterios de selección, estrategias y prácticas de manejo, conocimientos asociados al manejo, organización para la producción y aspectos culturales, entre otras (Anexo 1, Figura 5).



Figura 5. Entrevista a copalero de Los Sauces (Foto: José Blancas).

### Sitios de muestreo

Para identificar a los individuos sujetos a distintas formas de manejo, se realizaron recorridos de campo con la participación de los copaleros de la comunidad, ahí se marcaron seis cuadrantes (parcelas) de 50 x 20 m (1,000 m<sup>2</sup>), tres parcelas silvestres y tres manejadas, en donde se seleccionaron y midieron (de acuerdo con los criterios de reconocimiento de los copaleros) diez árboles de copal (*B. bipinnata*).

Se consideraron como parcelas silvestres, aquellos sitios de vegetación natural, que no han sido abiertos a la agricultura y que sus árboles no han sido trabajados para la extracción de resina; y por parcelas manejadas a espacios donde el copal ha sido seleccionado por sus atributos y es propagado de forma intencional en los márgenes o dentro de los cultivos (Figura 6).

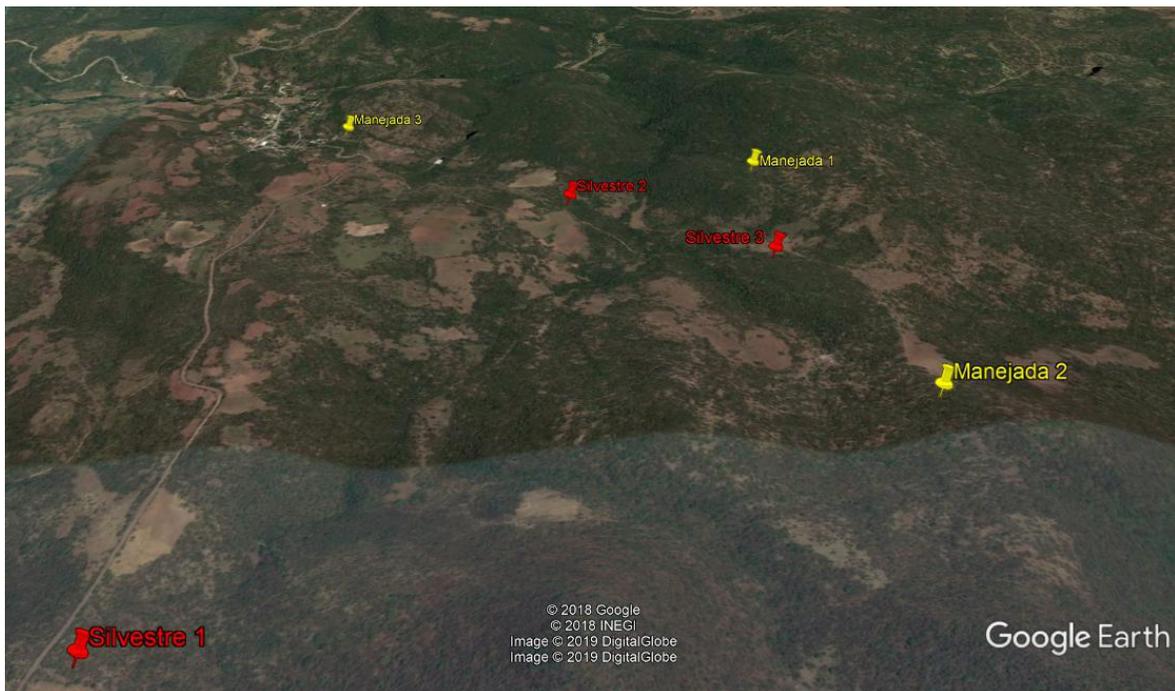


Figura 6. Localización de los sitios de muestreo.

### *Parámetros estructurales de los árboles*

Para conocer si existía correlación entre el tamaño de los árboles y la productividad de resina, se tomaron atributos estructurales de los individuos muestreados tales como: altura (m), cobertura (m<sup>2</sup>), diámetro a la altura del pecho DAP (cm). Los datos fueron comparados mediante una prueba de t de *student* con el programa Excel.

### *Variables ambientales por tipo de manejo*

Con la finalidad de descartar que las variables ambientales de los sitios fueran las responsables de las diferencias en la productividad de resina de los árboles muestreados, se llevó a cabo un registro de temperatura y humedad relativa. Para ello se instalaron cinco microestaciones de monitoreo ambiental (data logger Onset Computer Corporation), en la temporada correspondiente a 2017 y dos microestaciones en la temporada de 2018. Esto último debido a que sólo estaban disponibles dos equipos. Las microestaciones fueron programadas para tener lecturas por semana durante las dos temporadas de colecta de resina. Para la temporada 2017, se instaló un data logger por parcela y para la temporada de 2018 uno por cada condición de manejo (Figura 7).



Figura 7. Instalación de unidades de monitoreo ambiental (Foto: Luis Sánchez).

### *Colectas de ejemplares botánicos*

Para corroborar la identidad taxonómica de la especie en estudio, se colectaron ejemplares botánicos de todos los individuos seleccionados, los cuales fueron herborizados y posteriormente identificados en el Herbario “HUMO” del CIByC-UAEM con el apoyo del Biól. Feliciano García Lara.

### *Producción de resina de copal por tipo de manejo*

En cada una de las seis parcelas, se marcaron para su identificación 10 individuos de copal (60 individuos en total; 30 manejados y 30 silvestres) y se picaron de acuerdo con los tiempos que ya se tienen establecidos, los cuales van de agosto a octubre.

El proceso de extracción de la resina abarcó dos temporadas (2017 y 2018) y fue realizado por los copaleros cada tercer día, durante los tres meses que dura el proceso de picado. Esta actividad concluye una semana antes de que el copal sea vendido en el mercado regional de Tepalcingo, Morelos, para la celebración del día de muertos. La producción de cada árbol se registró con el propósito de obtener una medida de productividad individual en gramos (Figura 8). Además, se agrupó la productividad por tipo de manejo.



Figura 8. Limpieza y empaque del copal (Foto: Luis Sánchez).

Para determinar si existen diferencias significativas en la producción de copal por condición estudiada (manejados y silvestres), se compararon los datos de producción promedio de resina (g), mediante una prueba de t de *student* con el programa Excel.

#### *Identificación de compuestos orgánicos en resina de copal *Bursera bipinnata*, de árboles silvestres y manejados*

Para evaluar si hay diferencias en los compuestos orgánicos presentes en la resina de árboles silvestres (24) y manejados (24), que habían sido picados para extracción, se colectó una pequeña muestra ( $\pm 0.280$  g) de resina fresca de cada árbol en un vial de 4 ml color ámbar. A esta muestra se agregaron 3 ml de hexano de 99% de pureza (Villa-Ruano *et al.* 2018). Las muestras fueron etiquetadas con los datos de la colecta número de árbol y condición para llevarlas a laboratorio.

#### *Procesamiento de las muestras en laboratorio*

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Ecología Química y Agroecología del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), UNAM campus Morelia, durante los meses de noviembre de 2018 y enero de 2019. La cantidad de resina de las muestras colectadas fue muy variable, debido a la dificultad de la cantidad recolectada en campo. De cada una de las muestras se tomó una alícuota de 500  $\mu$ l a la que se le agregaron 500  $\mu$ l de una solución de tetradecano (0.5 mg/ml) en un vial de vidrio. Esta mezcla se agitó vigorosamente en un vortex durante 5 min y se evaporó a 250  $\mu$ l bajo una corriente suave de nitrógeno gaseoso. Posteriormente, se le agregaron 20  $\mu$ l de N,O-bis(trimetilsilil) trifluoroacetamida con trimetilclorosilano (Supelco) en baño María a 30°C durante 10 min (Lucero-Gómez *et al.* 2014).

### *Análisis químico por cromatografía de gases acoplado a masas*

Las muestras se analizaron inyectando 2  $\mu\text{l}$  en el cromatógrafo de gases (Agilent 6890) acoplado a un espectrómetro de masas (Agilent 5793), con una columna HP-5 (30m x 0.25mm. x 0.25  $\mu\text{m}$ ). La inyección se hizo a un split de 20:1 a un flujo de 1 ml/min, con una temperatura en el puerto de inyección de 280 °C (Figura 9).

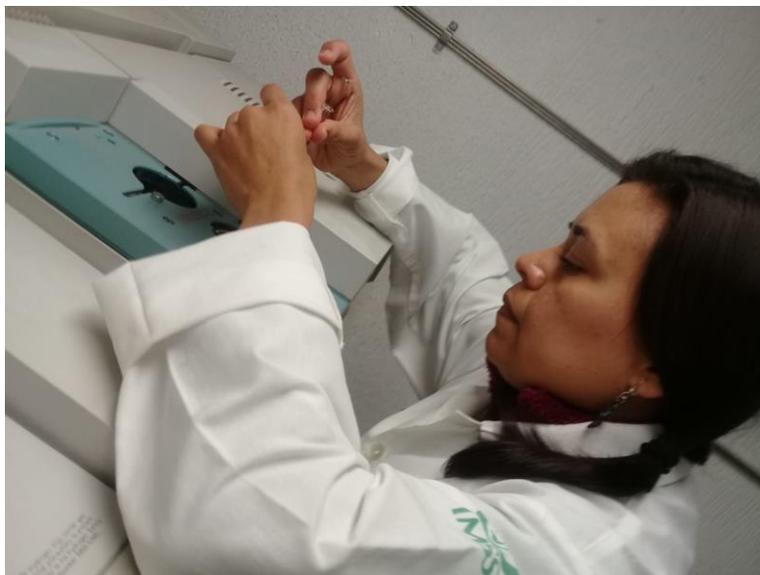


Figura 9. Inyección split en el cromatógrafo de gases acoplado a masas (Foto: Yolanda García).

Siguiendo el programa de temperatura del horno: temperatura inicial del horno 50°C durante 5 minutos, después un aumento de temperatura de 5°C/min hasta llegar a 200°C (Muñoz-Acevedo *et al.* 2013), posteriormente, un aumento de 25°C/min y seguir aumentando de 5°C/min durante 13 min para llegar a una temperatura final de 290°C. Después de la corrida ésta se mantuvo durante 3 minutos para limpiar la columna (Post-Run).

Condiciones del espectrómetro de masas: velocidad de flujo de 1 ml/min, el voltaje de ionización a 70 eV, la temperatura de la interfase de 300°C, el modo SCAN a un rango de masas de 40-500  $m/z$  y con retardo de disolvente de 6.3 min (Muñoz-Acevedo *et al.* 2013).

Los compuestos se identificaron por comparación de espectros de la biblioteca NIST02 usando el software Data Analysis. Se comparó la diferencia entre

espectros experimentales con respecto a la biblioteca y se asignó su identificación, calculando los índices de retención (Case *et al.* 2003; Minh *et al.* 2004; Muñoz-Acevedo 2013; Crowther *et al.* 2014; Villa-Ruano *et al.* 2018). Estos se calcularon inyectando 1  $\mu$ l de dos series de alcanos puros C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub> y C<sub>21</sub>-C<sub>40</sub> (Sigma Aldrich) en el cromatógrafo de gases en las mismas condiciones en las que se analizaron las muestras experimentales. Estos índices Kovats se compararon con los reportados en la literatura (Adams 2007; Carrera-Marínez *et al.* 2014; García-Rodríguez *et al.* 2016; Villa-Ruano *et al.* 2018).

Para calcular la concentración de compuestos orgánicos, se realizó a partir del área del pico, la cual se calcula dividiendo el producto del área del pico por 0.25 ml (ESTD) de tetradecano entre los gramos de muestra de resina colectada. Previo a los cálculos, se eliminaron los picos de impurezas identificadas (artefactos): disolventes, plásticos, compuestos inorgánicos, resultado de la derivatización (Crowther *et al.* 2014). Dado que las muestras de resina disueltas en hexano no tuvieron un peso uniforme, se trabajó con porcentajes.

#### *Análisis de los datos de concentración*

Los compuestos de los árboles no se pudieron cuantificar, debido a que estuvieron por debajo del límite de detección del cromatógrafo, se recurrió a imputar los datos faltantes por el método estocástico (Random Forest). La imputación de los datos se realizó por condición (Anexo 2 y 3). Posteriormente, se realizó, la normalización de los valores de concentración, por el método de Box-Cox (Anexo 4).

Con la finalidad de saber si existe un patrón de concentración de los compuestos identificados entre las poblaciones silvestres y manejadas, se realizó un Análisis de Componentes principales (ACP por sus siglas en inglés), mediante el programa estadístico R Core Team (2013). Posteriormente, se realizó una prueba de t de *student* para saber si existían diferencias entre los compuestos orgánicos con el programa Excel.

### *Estimación de variables fisiológicas*

Durante los meses de agosto a octubre del 2017 se midió la fluorescencia de la clorofila en las hojas del dosel de 60 árboles, 30 por cada condición (silvestres y manejados). Se realizó la medición en tres hojas como réplica, por lo que se tuvieron 180 lecturas por cuatro mediciones, 720 en total para la temporada del 2017. Estas mediciones se llevaron a cabo dos veces al mes (4 por temporada), de 7:00 am a 15:00 pm (Tabla 1), con un fluorómetro portátil de luz actina (Mini-PAM, Walz, Germany), con un intervalo de una hora aproximadamente entre cada uno de los 6 sitios muestreados (Figura 10).

Tabla 1. Mediciones de la fluorescencia de la clorofila.

<b>Parcelas</b>	<b>Hora</b>
Silvestre	7:00 am
Silvestre	8:00 am
Manejada	9:00 am
Manejada	10:30 am
Silvestre	11:30 am
Manejada	12:30 pm



Figura 10. Medición de la fluorescencia de la clorofila (Foto: Luis Sánchez).

A partir de las lecturas de fluorescencia, se elaboró una matriz de datos en el programa Excel en donde se calcularon las siguientes variables fisiológicas, Y(II), ETR tasa de transporte de electrones ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

$$\text{ETR} = E = \Phi\text{PSII} \times 0.5 \times \text{factor ETR.}$$

En dónde;  $\Phi\text{PSII} = F_v/V_m = (F_m - F_0)/F_m$ ; Factor ETR= 0.84.

$$\text{ETR} = ((F_m' - F_s) \times 0.84 \times 0.5 \times \text{PAR} (\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}))$$

NPQ disipación de calor por sus siglas en inglés.

$$\text{NPQ} = (F_m - F_m')/f_m' \text{ y } Y(\text{II})$$

Una vez obtenidos estos datos se obtuvieron promedios por tipo de condición (silvestres y manejadas).

#### *Índice de plasticidad fisiológica de *Bursera bipinnata*, en condiciones silvestres y manejadas*

Para indagar si las diferencias observadas en las variables fisiológicas calculadas anteriormente son debido a la plasticidad fisiológica, se calculó el índice de distancia relativa de plasticidad fisiológica (RDPI por sus siglas en inglés), en los dos sitios (silvestres y manejados), mediante el siguiente algoritmo ( $\text{RDPI} = \text{ABS}(a - b)/(a + b)$ ), siendo a y b los niveles diferentes de un factor ambiental. Este índice estima la plasticidad en un intervalo de 0 a 1, entre más cercano a 0 quiere decir que no hay plasticidad fisiológica, entre más cercano a 1 es mayor el índice de plasticidad (Valladares *et al.* 2004).

## RESULTADOS

### *Estudio etnobotánico*

Producto del taller participativo y de las entrevistas se obtuvieron los siguientes resultados:

#### *Los copaleros*

Con el análisis de la información generada de las entrevistas, se logró profundizar en el tema, se encontró que la edad promedio de los copaleros entrevistados es de 47 años  $\pm$  16, con una experiencia en el trabajo de picado de copal de 22  $\pm$  19 años en promedio. Además de realizar la extracción del copal, dedican durante todo el año de 6  $\pm$  3 horas diarias en promedio al trabajo de campo (agricultura y ganadería). Los cultivos principales son: maíz, frijol, calabaza, jamaica y sorgo. También realizan otras actividades, como cortar leña (53.3%), el 30% restante se emplea en diversos oficios del sector secundario y terciario. El (16.6%) trabajan en actividades como invernaderos de diferentes cultivos (jitomate, pepino, chile) fuera de la comunidad, así como en empacadoras de uva y cebolla en otros estados del norte del país.

#### *Clasificación y manejo de los copales*

Se encontró que los copaleros de la comunidad de Los Sauces reconocen, nombran y clasifican a los árboles de copal en función de diferentes características: la morfología de los árboles, la producción, el olor y la consistencia de la resina.

De acuerdo con las variedades morfológicas, reconocen árboles que llaman comúnmente como chino (*B. bipinnata*), ancho (*B. copallifera*), aunque en ambas se reconocen variantes de limón y cimarrón, este último no lo trabajan para extracción de resina. El más valorado es el copal limón por su olor cítrico, sin embargo, la población de éstos ha disminuido notablemente.

Con respecto a las características físicas de los árboles que seleccionan los copaleros, el tamaño del tallo, olor y cantidad de resina producida (producción),

son las de mayor importancia. Además, recolectan diferentes tipos de resina (copal en penca, lágrima, goma, mirra o cáscara).

Con el propósito de tener más árboles de copal y de esta manera, mantener y construir un paisaje por medio de un sistema agroforestal que se adecúe a sus necesidades, mencionaron algunas prácticas de manejo que se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de estrategias y prácticas de manejo.

<b>Estrategia de manejo</b>	<b>Descripción</b>
Recolección	Colectan resina en sus diferentes formas.
Tolerancia	Mantener en pie árboles con mejores atributos en áreas que son abiertas a la agricultura.
Protección	A los individuos de copal los resguardan del ganado Limpian de temecate (bejucos), bromelias e injertos (muérdago). Limpian de plagas (torito, el cual es una especie de escarabajo).
Siembra de propágulos y	Reproducción por estacas de los árboles más productivos.
semillas	Recolección y reproducción por geminación de semillas.

La práctica de picado del copal es una técnica que se transmite de padres a hijos, de generación en generación. Inicia con la selección de árboles con características deseables, los cuales serán posteriormente picados. Éste proceso se lleva a cabo durante los meses de agosto a octubre, cada tercer día para dar tiempo a que la resina solidifique. Abarca un periodo de 100 días, ya que es una tradición, pero también porque coincide con la temporada de lluvias. El picado consiste en hacer incisiones que inician a 20 cm de altura del suelo, donde se realiza la primera incisión. En estas se coloca una hoja de encino *Quercus* sp. o un pedazo de plástico, cerca de ellas se cuelga una hoja de maguey (*Agave angustifolia* Haw).

para colectar la resina en el tallo y ramas del árbol, de manera ascendente. Se utilizan las mismas herramientas que en el pasado (quichala y mazo), a excepción de la hoja de encino, la cual ha sido sustituida en la mayoría de los casos por porciones de plástico.

El propósito de esta actividad es con fines de autoconsumo y venta. Se encontró que los copaleros usan la resina principalmente para fines ceremoniales, por ejemplo, en ofrendas de día de muertos, como sahumero, en ceremonias agrícolas y religiosas. En la medicina tradicional se emplea para padecimientos del sistema respiratorio (tos, bronquitis) y musculo-esquelético (para aliviar dolores en las articulaciones).

Con el proceso de certificación de las parcelas en Los Sauces, hace aproximadamente 3 años, se limitó el préstamo de éstas para el picado, particularmente a la comunidad de Jolalpan, Puebla, debido a malas prácticas de extracción lo cual hacía vulnerables los árboles. En el 2015, debido a gestiones con CONAFOR, al ejido de Los Sauces les fueron otorgados permisos de remisión forestal para la venta del copal, brindándoles así la oportunidad de venderlo a un mejor precio (comunicación personal Luis Sánchez Méndez).

Económicamente, es un recurso muy importante para el sustento de la familia, ya que a través de la colecta y venta del copal pueden comprar víveres, alimento para los animales, así como muebles que les hagan falta.

A partir del taller, también se identificaron distintas perspectivas a futuro, una de ellas es el repoblamiento de árboles de copal en el monte. Los copaleros propusieron plantar 10 árboles de copal por año por persona, comprometiéndose a cuidarlos para que lleguen a tallas adultas. También, se propuso trasplantar hijuelos de agave, debido a que cada año deben adentrarse más en el monte para poder colectar hojas de maguey. En promedio se extraen 800 pencas de maguey por cada 100 árboles, lo que está menguando el recurso. Con base en la planeación de trasplante y conservación de árboles de copal, se hace un estimado de copales trasplantado a distintas escalas de tiempo (Tabla 3).

Tabla 3. Planeación a 5 y 10 años para la plantación de árboles de copal.

Número de copaleros	Número de árboles sembrados por copalero	Estimación a un año	Estimación a 5 años	Estimación a 10 años
60	10	600 árboles	3,000 árboles	6,000 árboles

Existen diferentes criterios para clasificar y nombrar los árboles de copal de acuerdo con la cosmovisión de los copaleros, algunos corresponden a diferentes especies variedades, preferencias y reconocimiento de atributos deseables (Tabla 4).

Los copaleros reconocen cuatro variedades de copal, copal chino *Bursera bipinnata* (90%), copal ancho *Bursera copallifera* (60%), ticumaca *Bursera bicolor* (6%) y linaloe *Bursera linaloe* (3%). Ellos prefieren dos tipos de copal para la extracción, el más valorado por su producción, olor y textura es el copal chino *Bursera bipinnata* (90%), seguido por el copal ancho *Bursera copallifera* (60%). Dentro de las variedades que reconocen de copal chino *B. bipinnata*, se encuentra el copal chino normal (olor suave), el copal limón (más fragante) y el cimarrón o de monte (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Criterios para nombrar y clasificar el copal.

<b>Especie y nombre común</b>	<b>Motivos de preferencia para picar los árboles</b>	<b>Criterios de reconocimiento</b>	
<i>Bursera bipinnata</i> (DC.) Engl.  <i>Copal chino</i>	Limón (Olor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción</li> <li>• Olor fragante</li> <li>• Blancura (resina)</li> <li>• Textura (sólida de la resina)</li> <li>• Corteza suave para picar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos producción de resina</li> <li>• Más fragante</li> <li>• Coloración de la resina blanca</li> <li>• Corteza más suave (fácil de picar)</li> <li>• Hoja pequeña y brillante</li> <li>• Tallo brillante</li> </ul>
	Cimarrón o Monte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este árbol no se utiliza para extracción de resina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resina con coloración amarilla</li> </ul>
<i>Bursera copallifera</i> (DC.) Bullock  <i>Copal ancho</i>	Limón (Olor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción</li> <li>• Olor fragante</li> <li>• Blancura (resina)</li> <li>• Textura (sólida de la resina)</li> <li>• Corteza suave para picar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor producción de resina</li> <li>• Menos fragante</li> <li>• Coloración de la resina de blanca a amarilla</li> <li>• Corteza más dura (es más difícil para picar)</li> <li>• Hoja grande y ceniza</li> <li>• Tallo de aspecto cenizo</li> </ul>
	Cimarrón o Monte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este árbol no se utiliza para extracción de resina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resina con coloración amarilla</li> </ul>

De manera particular, y de acuerdo con las características de la resina, los campesinos clasifican los copales por su textura, color y olor (Tabla 5). Así mismo, llevan a cabo otra clasificación de acuerdo con el llenado de la penca. Mencionan que hay una resina que asocian al copal limón, la cual, al momento de ir cayendo en la hoja se llena de manera escalonada y otra que llena la penca de forma pareja (no forma escalones).

Tabla 5. Criterios de clasificación y descripción de la resina.

Criterios	Descripción
• Aguada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta resina no solidifica (no se trabaja para picado)</li> <li>• Solidifica al contacto con el aire.</li> </ul>
• Sólida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La solidificación o cristalización se lleva a cabo poco a poco, al tercer día se comienza a ver cristalina.</li> </ul>
• Color	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blanca. Se refiere a copal chino, <i>Bursera bipinnata</i></li> <li>• Amarilla. Se refiere a copal ancho, <i>Bursera copallifera</i></li> <li>• Azul verdosa. Se refiere a copal limón</li> </ul>
• Olor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Olor fragante</li> <li>• Olor a limón</li> <li>• Olor a ticumaca <i>Bursera bicolor</i> (no se trabaja para picado)</li> </ul>

De acuerdo con los lugares donde están manejando el copal, se mencionaron los siguientes sitios, en el monte (53%), en parcelas (53%), en potreros (30%) y en sus casas (17%).

Respecto al manejo del copal dentro de un sistema agroforestal, se documentó que en estos sitios se asocian con cultivos de maíz (39%), frijol (28%), calabaza (18%), jamaica (11%), y pitayo (3%). Éstos son cultivos básicos los cuales forman parte de

la dieta de los pobladores de la comunidad, constituyendo parte del paisaje, la cultura, las tradiciones y las distintas formas de manejo de la tierra. Por medio de diversos sistemas de cultivos, como maíz y frijol (31%), maíz (23%), maíz, frijol, calabaza y jamaica (23%), maíz, frijol y calabaza (15%) y pitayo (8%). El 47% de los copaleros tienen sus copales dentro de este sistema y el 53% restante no siembra nada alrededor de sus árboles de copal.

En el desarrollo de estos cultivos, el 23% de los copaleros fumigan y abonan con productos químicos, los que no incorporan cerca de los copales. Mencionan utilizar abono cañero, urea, glifosfato y sulfato; mientras que el 77% restante no utiliza ningún fertilizante.

Asimismo, han implementado estrategias y prácticas de manejo cuya finalidad principal de hacer estas labores de mantenimiento, son el factor cultural, económico y de conservación, los cuáles juegan un papel importante en la comunidad (Tabla 6).

Tabla 6. Estrategias y prácticas de manejo que se llevan a cabo.

<b>Tipo de manejo</b>	<b>Estrategias de manejo</b>	<b>Prácticas de manejo</b>	<b>Propósitos de la práctica</b>
<i>In situ</i>	Recolección	Recolección de diferentes formas y extracción de resina Copal en penca o planchita Lágrima Goma Cáscara o mirra Goma (producto de una palomilla o gusano)	Para comercialización e ingreso económico
		Recolección de semillas (50%)	Para germinación de semillas de árboles con los mejores atributos utilitarios (producción, olor y textura)
	Tolerancia	Dejan en pie árboles de copal al momento de limpiar o abrir terrenos para las labores agrícolas	Mantener los árboles de copal que producen más resina en sus terrenos
	Trasplante	Trasplantan individuos pequeños (57%)	Reforestar el monte, sus parcelas y potreros

		Trasplante de estacas (30%)	
	Promoción	Los cambian de lugar para que sobrevivan, si los encuentra en el camino Se los llevan a su casa y cuando ya no son vulnerables los incorpora al monte	Para conservar individuos de copal y evitar que se termine el recurso
	Protección	Quitán el temecate (bejucos) 93% Quitán bromelias Quitán los gallitos Quitán la zacatonera	Para un mejor crecimiento del árbol Para que les dé el sol Para una mayor producción de resina Para evitar la caída de hojas a la resina cuando es temporada de picado
		Limpian de las plagas (torito) un escarabajo (77%)	Para evitar que seque el árbol
		Podan las ramas secas (60%)	Para que retoñe y se vea bonito
		Arriman suelo (formando un cajete) principalmente en árboles pequeños (10%)	Para un mayor crecimiento

		Protege del ganado vacuno (26%)	Para evitar que los pisen o se los coman cuando son pequeños
		Podan otros árboles	Para evitar la sombra de los árboles ayudando a su crecimiento
<i>Ex situ</i>	Trasplante de partes vegetativas	Trasplante de estacas de los árboles más productivos	Reforestación del monte Evitar que se termine el recurso Continuar con el vivero de especies características de la vegetación
	Trasplante de individuos completos	Trasplante de individuos completos pequeños	
	Germinación de semillas	Colecta de semillas de los árboles más productivos	

### *Criterios económicos para la recolección del copal*

Con respecto al porcentaje monetario derivado de esta práctica, se determinó que oscila entre un 50 y un 60% del ingreso anual de la familia. Sólo una persona mencionó un ingreso del 90%. Éste les ayuda a solventar diferentes necesidades básicas del sustento familiar. Por ejemplo, adquisición de despensas, alimento para sus animales, muebles, e incluso solventar enfermedades, mientras llega la cosecha de sus cultivos.

Los copaleros colectan diferentes formas de resinas las cuales tienen distintos precios (Tabla 7). Particularmente para la mirra o cáscara, ésta no se colecta porque hace vulnerables los árboles a plagas o enfermedades, las cuales llegan a las incisiones en el tallo, ocasionando una cicatrización lenta e incluso secan o pudren estos individuos. Aunado a ello no se cuenta con remisiones forestales, lo cual influye en el bajo costo.

Tabla 7. Valor económico de la extracción de resina de acuerdo a su forma.

Resina	Forma de copal	Valor monetario en pesos por kg	
		2017	2018
• Copal en penca o planchita	• Resina que se colecta en penca de maguey el cual forma una barra	\$500.00	\$600.00
• Lágrima	• Es la parte final que escurre del árbol	\$300.00	\$400.00
• Goma	• Ésta es originada por una larva o gusano (como le llaman los copaleros) en la corteza del árbol	\$250.00	\$300.00
• Mirra o cáscara	• Esta se encuentra en las incisiones que les hacen a los	\$50.00	\$100.00

---

## árboles para la extracción de resina

---

Para seleccionar un árbol de copal por primera vez los copaleros se fijan principalmente en su apariencia: bonito, vigoroso con vida, que sea grande, de tallo ancho, frondoso, brillante, con olor a limón, de color verde. En el tallo, le buscan la vena y empiezan el picado, así se dan cuenta si va a dar mucho o solo gotas de copal. Además, algunos llevan a cabo estrujamiento de las hojas para percibir el olor. Respecto a la edad de los árboles, el 50% de los copaleros reconocen que los árboles que nunca han sido trabajados están en condiciones para picarse a partir de 8 a 10 años, el 26.6% refieren un rango de edad de 5 a 6 años. Sin embargo, solo pueden darse cuenta con más certeza cuando ellos los plantaron, así llevan el conteo de los años. Otra forma de estimar la edad del árbol es observando el grosor del tallo, altura y número de ramas.

El 39% de los copaleros descansan sus árboles por un año, mientras que el 61% no lo hacen. La principal razón es la disponibilidad del recurso en su terreno. Sin embargo, están conscientes que, si no hay un descanso en la extracción, con el tiempo la producción disminuye. Con relación al tiempo que llevan realizando esta actividad, existe un 20% de los entrevistados que ha trabajado algunos árboles que fueron trabajados por sus padres y un 3% trabajados por sus abuelos.

Se identificó que los copaleros pican alrededor de  $229 \pm 187$  árboles en promedio por año, con un DAP de  $15 \pm 4$  cm de diámetro en promedio, una circunferencia de 30 cm, los cuales producen alrededor de  $8 \pm 5$  pencas de maguey con resina, que corresponde a 110 g (1.1 kg) en promedio por penca. Sin embargo, esto es variable ya que tiene que ver con el número de ramas, con la producción del árbol y la destreza del copalero.

### *Aspectos culturales del manejo del copal*

Dentro de la idiosincrasia de los copaleros, 17% de ellos coincide en la importancia de pedir permiso al copalito, como llaman a sus árboles, para que les

dé más resina. También se encomiendan a Dios para salir bien librados de los peligros del trabajo en campo, como las mordeduras o picaduras de animales peligrosos (serpientes, alacranes y avispas), para evitar caídas de los árboles y para que les dé buena cosecha. Algunos llevan a bendecir sus herramientas “quichala”, mazo y/o machete, y al final de la temporada de picado también agradecen llevando veladoras y flores a la iglesia.

El factor cultural es un fuerte incentivo de conservación de los árboles de copal y consecuentemente también de sus bosques, para mantener y continuar con sus tradiciones y al mismo tiempo, que sus hijos puedan seguir picando árboles de buena producción y calidad de copal.

#### *Variables ambientales*

De acuerdo con la prueba de *t* student se evaluaron los resultados de las variables ambientales (temperatura °C) y (humedad relativa %), para la temporada 2017 y 2018, de los sitios (silvestres y manejados). En donde, no se encontraron diferencias significativas en las variables entre sitios (Tabla 8).

Tabla 8. Caracterización de los sitios de muestreo (silvestres y manejados).

Temporada	Condición	Temperatura			Humedad relativa		
		(°C)			(%)		
		$\bar{X}$	DE	<i>p</i>	$\bar{X}$	DE	<i>p</i>
2017	Silvestres	21	0.68	0.31	74.61	10.95	0.46
	Manejadas	21	0.79		74.34	10.71	
2018	Silvestres	21	0.17	0.06	79.17	5.61	0.25
	Manejadas	21	0.55		75.03	8.39	

### Caracterización de los árboles de copal de *Bursera bipinnata*

A continuación, se muestran los parámetros estructurales de las poblaciones de árboles de copal, observándose que los individuos manejados poseen mayor altura, cobertura y DAP. Los cuales son estadísticamente significativos respecto a los individuos silvestres (Tabla 9). No se encontraron diferencias significativas en el área foliar entre poblaciones manejadas y silvestres ( $p = 0.1$ ).

Tabla 9. Caracterización de variables estructurales de *Bursera bipinnata* en condiciones manejadas y silvestres.

Condición	Altura (m)		Cobertura (m <sup>2</sup> )		DAP (cm)	
	$\bar{X}$ y DE	$p$	$\bar{X}$ y DE	$p$	$\bar{X}$ y DE	$p$
Manejada	4.74 ± 1.48		17.52 ± 11.18		17.45 ± 5.67	
Silvestre	3.89 ± 1.54	<0.00	9.35 ± 4.10	<0.00	11.09 ± 3.48	<0.00

### Productividad de resina de copal entre poblaciones silvestres y manejadas

Se decidió considerar para la comparación de producción de resina sólo aquellos árboles cuyo DAP estuviera en un rango que compartieran tanto los árboles manejados como los silvestres. A partir de estos datos, se eligieron aquellos árboles cuyo DAP estuviera en un intervalo de 10 a 20 cm. Obteniéndose promedios y desviación estándar de 35 individuos seleccionados 17 manejados y 18 silvestres.

### Comparación de la producción anual de resina

En la producción anual de resina de *B. bipinnata* de la temporada 2017 y 2018, de árboles silvestres y manejados, se observa que los individuos manejados para ambas temporadas tienen una mayor producción de resina con respecto a los individuos silvestres. De acuerdo con la prueba de *t* student, se obtuvo que los árboles manejados producen mayor cantidad de resina, en contraste con los

silvestres. Siendo las diferencias estadísticamente significativas para las temporadas 2017 ( $t = 1.89$ ;  $p = 0.033$ ) y 2018 ( $t = 2.55$ ;  $p = 0.007$ ) (Tabla 10).

Tabla 10. Producción promedio de resina en árboles silvestres y manejados en dos temporadas de muestreo.

<b>Producción de resina (g)</b>					
<b>Temporada</b>	<b>Población</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b><math>\bar{X}</math> y DE</b>	<b><math>p</math></b>
2017	Silvestre (18)	0.5	90	$31.26 \pm 25.20$	0.033
	Manejada (17)	10	1.400	$190.17 \pm 329.04$	
2018	Silvestre (18)	15	195	$63.05 \pm 53.25$	0.007
	Manejada (17)	5	720	$175.88 \pm 179.21$	

#### *Caracterización de la resina de *Bursera bipinnata**

En la resina de *Bursera bipinnata*, se identificaron 20 compuestos orgánicos de los cuales 16 proporcionan el aroma y cuatro confieren la textura, las mayores concentraciones son para  $\alpha$ -felandreno (olor),  $\beta$ -amirina y betulina (textura), siendo los árboles silvestres los que tienen mayor porcentaje para  $\alpha$ -felandreno mientras que los individuos manejados los que tienen mayor porcentaje  $\beta$ -amirina y betulina (Tabla 11).

Tabla 11. Identificación y comparación de la concentración promedio en porcentaje de individuos silvestres y manejados de los compuestos orgánicos identificados en resina de copal de *Bursera bipinnata*.

Compuestos orgánicos	Aroma	Textura	Porcentaje de concentración de compuesto respecto a la composición total de resina				
			Manejados		Silvestres		Significancia prueba t
			$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE	<i>p</i>
$\alpha$ -tujeno	X		0.47	0.26	0.60	0.28	0.438
$\alpha$ -pineno	X		0.88	0.55	1.46	0.75	0.154
sabineno	X		0.52	0.28	0.64	0.27	0.293
$\beta$ -pineno	X		0.35	0.14	0.62	0.24	<b>0.019</b>
$\beta$ -mirceno	X		0.46	0.20	3.56	3.90	<b>0.005</b>
$\alpha$ -felandreno	X		20.36	7.96	23.38	10.25	0.231
$\beta$ felandreno	X		2.13	1.23	4.44	2.58	0.113
terpinoleno	X		4.75	2.21	5.05	3.05	0.250
verbenol	X		0.54	0.29	0.81	0.76	0.404
acetato de sabinilo	X		0.34	0.13	0.70	0.28	<b>0.028</b>
cariofileno	X		4.13	3.17	11.91	5.80	<b>0.015</b>
$\alpha$ -humuleno	X		0.76	0.44	1.68	2.51	0.062
calemeno	X		0.46	0.18	0.533	0.29	0.079
$\delta$ -cadineno	X		0.64	0.29	0.39	0.17	<b>0.002</b>
óxido de cariofileno	X		0.39	0.22	1.29	0.66	<b>0.003</b>
$\delta$ -cadinol	X		1.83	1.66	0.56	0.28	<b><math>4.3 \times 10^{-8}</math></b>
$\alpha$ -amirina		X	13.69	14.78	6.50	9.46	0.090
acetato de lupeol		X	3.92	1.85	5.65	4.20	<b>0.025</b>
betulina		X	19.60	14.89	16.60	14.17	0.082
$\beta$ -amirina		X	23.67	11.81	13.53	6.68	<b><math>2.4 \times 10^{-5}</math></b>

\*Las negritas indican diferencias significativas

Se encontraron diferencias significativas para los compuestos orgánicos entre los dos tipos de manejo, los cuales fueron;  $\beta$ -pineno,  $\beta$ -mirceno, acetato de sabinilo, cariofileno,  $\delta$ -cadineno, óxido de cariofileno,  $\delta$ -cadinol (olor), acetato de lupeol y  $\beta$ -amirina (textura). Respecto al ordenamiento de los compuestos tomando en cuenta el porcentaje total de la muestra,  $\beta$ -pineno,  $\beta$ -mirceno, acetato de sabinilo, cariofileno, óxido de cariofileno, acetato de lupeol (olor) tienen mayores concentraciones en las poblaciones silvestres, mientras que  $\beta$ -amirina y acetato de lupeol (textura) con mayores concentraciones en las poblaciones manejadas (Tabla 11).

Al considerar la concentración en porcentajes de los distintos compuestos orgánicos de los árboles de sitios manejados y silvestres de *B. bipinnata*, el Análisis de Componentes Principales (PCA) distingue la formación de dos grupos bien definidos.

La variación explicada por este modelo es del 70.1% en los dos primeros componentes. El primer componente explica el 38.4% de la variación, sin embargo, el agrupamiento de los árboles de copal en este componente, no se da por tipo de manejo. En la Figura 11, los individuos de la derecha contienen mayores porcentajes de los compuestos  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -humuleno, sabineno y  $\alpha$ -tujeno. En contraste, los individuos de la izquierda tienen menores porcentajes de estos mismos compuestos. Sin embargo, parece que esto no guarda relación con el tipo de manejo.

El segundo componente principal explica el 31.7% de la variación y es el que nos separa a los individuos por condición de manejo (manejados y silvestres). De esta forma, los árboles manejados presentan mayores porcentajes de  $\delta$ -cadinol, calemeno,  $\delta$ -cadineno, acetato de sabinilo y  $\alpha$ -pineno (Figura 11; Tabla 12). En contraste, los árboles silvestres, los cuales se encuentran mayormente en la parte posterior de la Figura 11, poseen valores más bajos en estos compuestos.

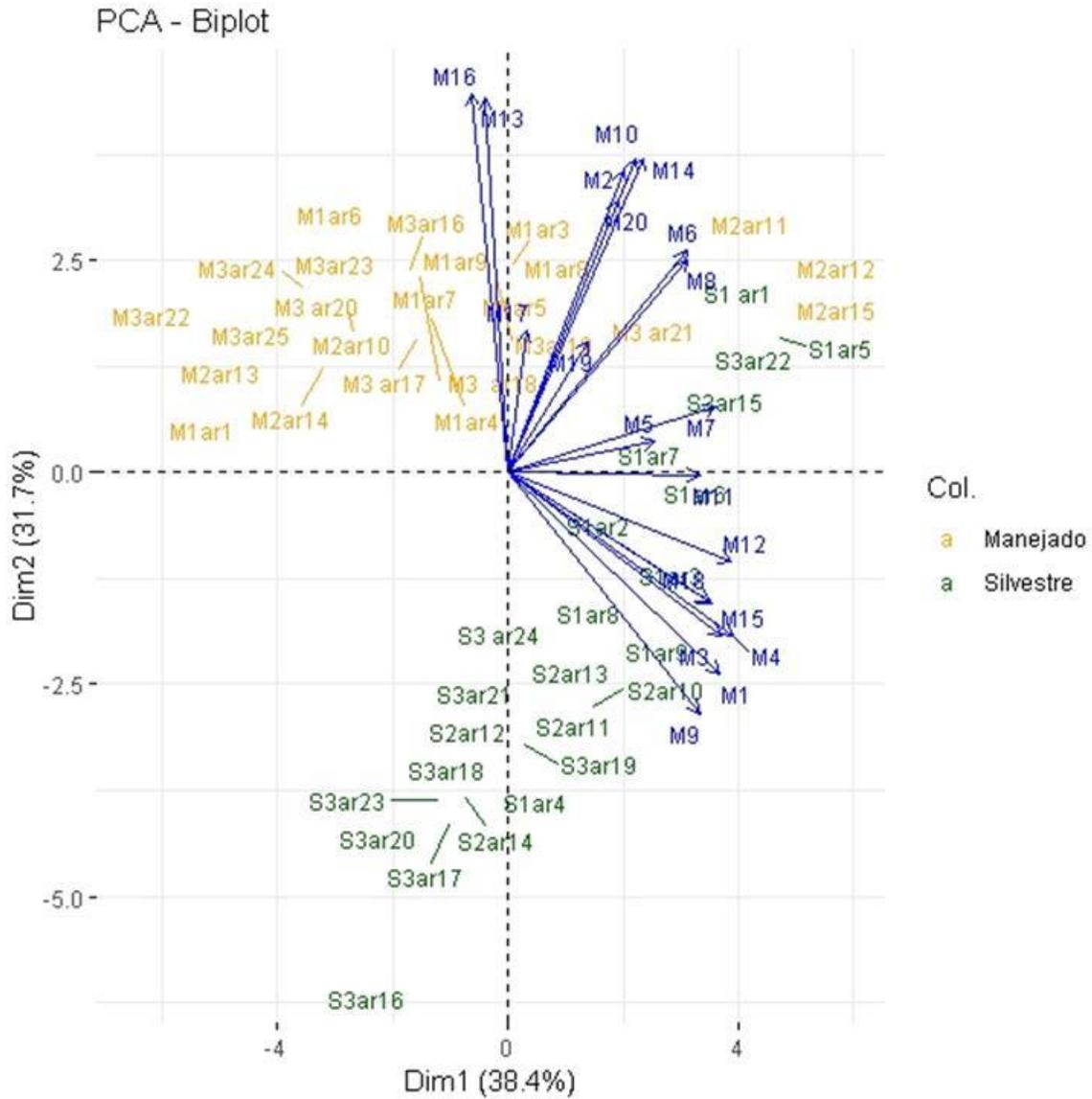


Figura 11. Arreglo espacial resultado del ACP en árboles silvestres y manejados de copal *Bursera bipinnata*, considerando la cantidad de compuestos presentes en cada individuo.

Tabla 12. Peso de cada una de las variables (compuestos orgánicos) en los dos primeros componentes principales.

<b>Compuestos orgánicos</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
$\alpha$ -tujeno	<b>0.79</b>	-0.51
sabineno	<b>0.80</b>	-0.41
$\beta$ -pineno	<b>0.84</b>	-0.41
$\beta$ -mirceno	0.55	0.07
$\alpha$ -felandreno	0.67	0.56
$\beta$ felandreno	<b>0.78</b>	0.16
terpinoleno	0.67	0.54
verbenol	<b>0.71</b>	-0.61
cariofileno	<b>0.71</b>	-0.00
$\alpha$ -humuleno	<b>0.83</b>	-0.22
óxido de cariofileno	<b>0.76</b>	-0.33
acetato de lupeol	<b>0.75</b>	-0.32
$\alpha$ -pineno	0.43	<b>0.76</b>
acetato de sabinilo	0.47	<b>0.79</b>
calemeno	-0.08	<b>0.95</b>
$\delta$ -cadineno	0.50	<b>0.80</b>
$\delta$ -cadinol	-0.13	<b>0.96</b>
$\beta$ -amirina	0.41	<b>0.69</b>
$\alpha$ -amirina	0.06	0.36
betulina	0.30	0.33

### *Variables fisiológicas*

Las variables fisiológicas fueron diferentes para cada condición (manejada y silvestre), por ejemplo, en NPQ (disipación de calor), se obtuvieron valores negativos, en donde los árboles manejados presentaron valores promedio de -0.59 a -0.70, mientras que los árboles silvestres presentaron valores de -0.70 a -0.77. Respecto a ETR tasa de transporte de electrones, los árboles manejados presentaron valores promedio de 30.16 a 93.49 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), con respecto a los árboles silvestres cuyos valores promedio fueron de 4.08 a 13.88 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). En Y(II), para los individuos manejados presentaron valores promedio de 0.59 a 0.70 y para los individuos silvestres valores promedio de 0.70 a 0.74. En Fv/Fm se presentaron valores promedio de 0.29 a 0.40 para los árboles manejados mientras que para los silvestres los valores promedio fueron de 0.22 a 0.29, como se muestra en la Figura 12.

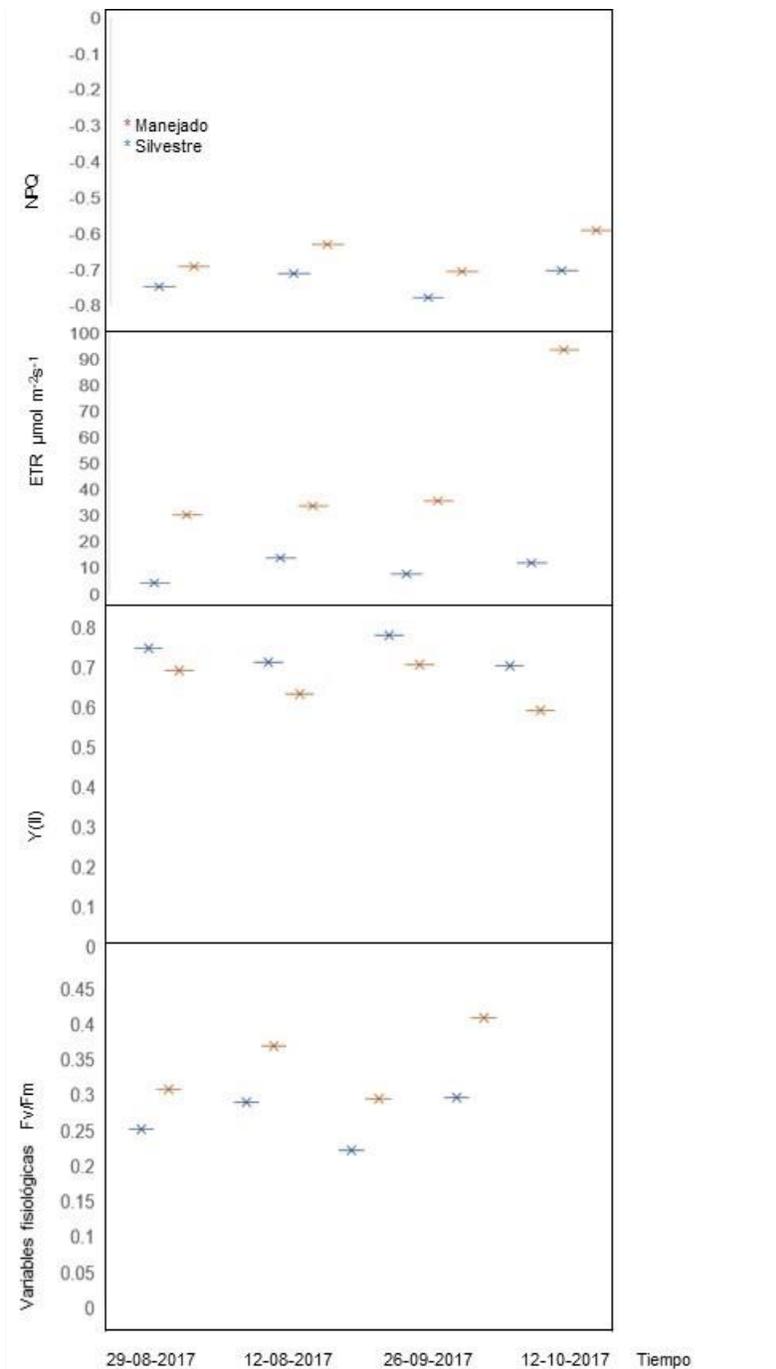


Figura 12.- Estimación de las variables fisiológicas en individuos de *B. bipinnata* manejados y silvestres.

### Índice de plasticidad fisiológica

Los resultados del análisis de plasticidad de las variables fisiológicas muestran que los árboles manejados presentan valores de 0.098 del índice de distancias

relativas (RPDI) para las cuatro variables calculadas. Mientras que para los árboles silvestres tienen los valores más bajos (0.053) del índice de distancias relativas (RPDI) para las cuatro variables calculadas YII (Yield), NPQ, ETR y  $F_v/F_m$ .

## DISCUSIÓN

Los resultados indican que el copal de *B. bipinnata*, ha sido y sigue siendo un recurso vegetal dentro de los productos forestales no maderables, importante cultural y económicamente para los pobladores y copaleros de Los Sauces. La diversidad de usos de esta especie es un indicador de su importancia cultural en la comunidad (Phillips y Gentry 1993). Existen criterios de selección y prácticas de manejo con diversos fines, principalmente con el propósito de aumentar la productividad y calidad de la resina, así como para continuar con las tradiciones de uso del copal, lo cual puede ayudar a mantener y conservar sus bosques.

### *Criterios de reconocimiento y clasificación tradicional*

En la comunidad se reconocen dos tipos de copal; copal chino y copal ancho, para extracción de resina, estas categorías refieren a las especies *B. bipinnata* y *B. copallifera*, respectivamente. En el primero reconocen tres tipos de copal de acuerdo con las características de la resina, copal chino normal (olor suave) copal limón (aroma a limón) y cimarrón o de monte. Estas especificidades, forman parte de un sistema de clasificación, elaborado, preciso, detallado y complejo, que se puede comparar con la taxonomía de Linneo de acuerdo con la identificación con base al uso de sus recursos, como ha sido mencionado por Caballero *et al.* (1998).

Ejemplo de lo anterior son *Clusia* sp., en donde se distinguen dos formas de incienso, rojo y blanco (Zenteno-Ruíz 2007). En *Manilkara zapota* se reconocen dos tipos de variantes, zapote huesudo y zapote morado (Pérez-Aguilar 2014). En guamúchil (*Pithecellobium dulce*), se reconocen distinguen formas dulces y amargas (Casas y Caballero 1995), con *Leucaena esculenta* identifican tres variedades, guajes de vasca, amargos y dulces (Casas y Caballero 1996), así como, en el bonete (*Jacaratia mexicana*) A. DC., epazote (*Chenopodium ambrosioides*) L., y ciruelo (*Spondias purpurea*) (Arias *et al.* 2010; Ruenes-Morales *et al.* 2010; Blanckaert *et al.* 2012). Lo que nos indica un amplio conocimiento de las poblaciones humanas acerca de las variantes de las especies, coincidiendo

con lo que reportan Vallejo *et al.* (2016), de acuerdo a la identificación de características deseables y valoradas, incrementando el número de individuos en los ambientes *in situ* y *ex situ*, donde están siendo manejados.

### *Criterios de selección*

La selección artificial en *B. bipinnata* se lleva a cabo con base en atributos utilitarios (producción, olor y textura), como sucede en otras especies de la familia Burseraceae, como *P. copal* y *B. submoniliformis* (Coronado 2006; García 2012) y en *Castilla elástica* (Vaylón 2012) para extracción de resinas y látex. Con frutos comestibles, por ejemplo, *Spondias purpurea* (Yucatán) se seleccionan los árboles de acuerdo a la forma, tamaño, color y sabor, de los frutos (Ruenes-Morales *et al.* 2010). En (*Polaskia chichipe*) Backeb. y (*Polaskia chende*) A.C. Gibson & K.E. Horak, la selección artificial se basa en color, sabor, grosor de la cáscara, cantidad de espinas y masa comestible (Blancas *et al.* 2006). En (*Escontria chiotilla*) (F.A.C. Weber) Rose, la selección está dirigida a la calidad, tamaño, sabor de la pulpa, y color (Arellano y Casas 2003). En *L. esculenta*, la selección se enfoca en el sabor y tamaño de los frutos (Casas y Caballero 1996).

En especies de uso medicinal como la menta (*Mentha* spp.) y la manzanilla (*Matricaria recutita*) L., los criterios de selección se basan en el olor y sabor, mientras que para el epazote (*Dysphania ambrosioides*) (L.) Mosyakin & Clemants., estos se enfocan en características morfológicas y organolépticas (olor, sabor y color) (Carrillo-Galván *et al* 2017). Esto es una evidencia de que las poblaciones humanas están seleccionando características deseables en especies de interés con diferentes usos, y de forma *in situ*.

### *Estrategias y prácticas de manejo en Bursera bipinnata*

En *B. bipinnata*, al igual que en diversas especies, en distintas comunidades se llevan a cabo diferentes prácticas de manejo incipiente en múltiples niveles de intensidad, con el propósito de tener más cantidad de individuos con

características deseables. Como sucede en las especies *Polaskia chichipe* y *P. chende*, en las cuales se lleva a cabo recolección (*in situ* y *ex situ*), tolerancia y propagación (Blancas *et al.* 2006). Casas *et al.* (1997) y Vallejo *et al.* (2016) mencionan que estas prácticas como recolección, tolerancia, promoción en poblaciones de plantas buscan favorecer atributos utilitarios de los individuos. En *B. bipinnata*, los árboles son tolerados cuando se abren espacios para la agricultura, debido a su valor económico y cultural, como sucede con otras especies alimentarias, que forman parte de sistemas agroforestales. Es un sistema de manejo similar al de milpa, en donde se pueden encontrar especies como mezquite (*Prosopis laevigata*) (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst., guamúchil (*Pithecellobium dulce*) (Roxb.) Benth., guaje (*Leucaena esculenta*) (DC.) Benth., agaves (*Agave* spp.) L., nopales, (*Opuntias* spp.) Mill., pitayas (*Stenocereus* spp.) (A. Berger) Riccob, quintoniles (*Amaranthus hybridus*) L., verdolagas (*Portulaca oleracea*) L., tomates verdes (*Physalis philadelphica*) Lam., alaches (*Anoda cristata*) (L.) Schltld., y chipiles (*Crotalaria pumila*) Ortega. En los ejemplos antes mencionados se toleran en la vegetación natural los individuos con variantes deseables (Casas y Caballero 1995).

En contraste, con la especie *Castilla elastica*, no se llevan a cabo prácticas de manejo en la comunidad de Zozocolco de Guerrero, Veracruz, ya que, de acuerdo con la percepción de las personas, estos árboles germinan solos (Vaylón 2012). Lo anterior refuerza la percepción de que, en cuanto los recursos se ven vulnerados aumentan las prácticas y la intensidad de manejo en las poblaciones. Como ocurre con otras especies de la familia Burseraceae, las plántulas y semillas de *B. bipinnata* también son trasplantadas y germinadas, respectivamente en ambientes *ex situ* o por estacas (reproducción vegetativa), como los casos de ciruelas (*Spondias* spp.), chupandillo (*Cyrtocarpa procera*), nopales (*Opuntia* spp.), pitayas (*Stenocereus* spp.) y colorines (*Erythina* spp.), o también por germinación de semillas como en guaje (*Leucaena* spp.), guayaba (*Psidium* spp.) y aguacate (*Persea* spp.) (Casas y Caballero 1995).

En *B. bipinnata* se llevan a cabo múltiples formas de manejo como la tolerancia, promoción y protección dentro de la comunidad, como ha sido reportado por Casas

*et al.* (1997), Casas (2002) y Hoogesteger *et al.* (2016). En particular, esto se da cuando se dejan en pie las variantes deseables, por lo que, se incrementan los individuos de estas especies respecto a sus competidores silvestres (Casas *et al.* 2007). Este es el caso de especies perennes nativas como el mezquite (*Prosopis laevigata*), guamúchil (*Pithecelobium dulce*), capulín (*Sideroxylon palmeri*), pitayo (*Stenocereus pruinosus*), álamo (*Platanus mexicana*), palo hediondo (*Senna atomaria*) (Hoogesteger *et al.* 2016), guaje (*Leucaena esculenta*), pitaya (*Stenocereus stellatus*) y chiotilla (*Escontria chiotilla*) (Arellano y Casas 2003; Casas *et al.* 2007).

Las distintas prácticas de manejo llevadas a cabo en *B. bipinnata*, sugieren la existencia de un sistema agroforestal, lo que ayuda a mantener no solo especies de interés forestal, sino otras de valor alimentario y/o económico, como sucede con las especies *P. copal* y *H. brasilensis*, las cual se encuentran asociadas a otras especies de valor alimentario y económico (Coronado 2006; Izquierdo-Bautista *et al.* 2011). Estos paisajes antropogénicos tienen un alto índice de diversidad biológica, con cambios morfológicos en las especies, como consecuencia de procesos prolongados de selección y manipulación llevadas a cabo de manera consciente o inconsciente por los humanos en los ambientes *in situ* a lo largo de muchas generaciones (Casas *et al.* 1997; Moreno-Calles *et al.* 2016).

#### *Selección por tamaño de los tallos*

Respecto al tamaño de los tallos seleccionados para la extracción de resina, los copaleros de Los Sauces pican árboles con un DAP de  $15 \pm 4$  cm, con una circunferencia de 30 cm, refiriendo que los árboles jóvenes no se pican, lo cual coincide con el rango de grosor que se reporta en las investigaciones de Purata (2008), donde se menciona un diámetro aproximado de 10 cm y una circunferencia de 30 cm para especies del género *Bursera*. Por ejemplo, en *P. copal* se menciona un diámetro de 13 a 45 cm (Coronado 2006). Los copaleros también identifican a los árboles que dan más resina de acuerdo con su apariencia

vigorosa y tamaño del tallo, lo que coincide con lo reportado para otras especies como, *P. copal*, *Clusia* sp., *B. submoniliformis* y *H. brasiliensis* (Coronado 2006; Zenteno-Ruíz 2007; García 2010; Izquierdo-Bautista *et al.* 2011)

#### *Duración del periodo y formas de picado*

En cuanto al tiempo de picado, en *B. bipinnata* se realiza durante tres meses en el año (agosto-octubre), en este periodo se va cada tercer día a realizar la actividad. Sin embargo, datos reportados para otras especies como el caucho *H. brasiliensis*, la práctica de extracción se realiza diariamente lo que disminuye la vida productiva del árbol (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011). En *P. copal*, su extracción disminuye en el periodo de floración de enero a marzo y en fructificación de marzo a mayo (Coronado 2006).

Datos acerca de la frecuencia de extracción varían en cada especie, algunas investigaciones documentan que la productividad disminuye con la frecuencia del picado (Vaylón 2012). Mientras que para *H. brasiliensis*, el picado diario del árbol estimula (aumenta) la producción (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011). Las observaciones de este estudio coinciden con las de Purata (2008) y Gadea (2011) para *Bursera* spp., quienes mencionan que si se pican con mayor frecuencia producen mayor cantidad de resina; no obstante, se inhiben otras actividades como el crecimiento, producción de flores y frutos (Purata 2008). Sin embargo, el picado constante tiene consecuencias en la vida productiva de los individuos, disminuyéndola a la mitad (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011).

Existe una diversidad de prácticas de picado en especies de las cuales se extraen exudados, de acuerdo con las características morfológicas de los árboles. En *B. bipinnata*, esta práctica se lleva a cabo a una altura de 20 cm del suelo (donde se puede colgar la penca de maguey), lo que coincide con las investigaciones de Cruz *et al.* (2006), García (2010), Gadea (2011) y Mena (2018) para la misma especie. En *P. copal*, los árboles son picados desde la raíz (Coronado 2006). Específicamente este proceso está bien definido por los copaleros de Los Sauces, que realizan esta práctica en una sola dirección de manera ascendente y sobre el

mismo lado. Mientras que con la especie *B. submoniliformis*, se ha documentado que se llevan a cabo prácticas de picado alrededor del tallo lo cual mata a los árboles (García 2012). Al igual que con *P. copal* y *H. brasiliensis*, un proceso de picado mal empleado hace vulnerable a los individuos (Coronado 2006; Izquierdo-Bautista 2011). Por esta razón, los ejidatarios en Los Sauces no prestan sus árboles de copal para evitar malas prácticas.

Como se mencionó anteriormente, la práctica de extracción en *B. bipinnata* se lleva a cabo solamente en temporada de lluvias (10 semanas) aproximadamente, debido a la marcada estacionalidad de la selva baja caducifolia, lo que condiciona la temporada de picado, ya que los árboles entran en latencia y no pueden aprovecharse, lo anterior tiene similitud y algunas diferencias con otras especies. En el hule (*C. elástica*), el periodo de extracción no solo se realiza en temporada de lluvias, se realiza en cualquier temporada (Vaylón 2012). Con el caucho *H. brasiliensis* en Tabasco la práctica de picado se realiza durante 29 semanas, menos en la temporada de secas, por la (defoliación y refoliación) y en lluvias abundantes (por la pérdida de la producción de exudados) y para evitar enfermedades por hongos (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011), ya que, en la selva mediana perennifolia, donde se distribuyen estas especies, la época de secas es menor a tres meses (Rzedowski 2006). Esto contrasta con *B. bipinnata*, donde la extracción de exudados, se circunscribe a la época de lluvias que tienen una duración de tres a cuatro meses en la selva baja caducifolia.

Con respecto al periodo de descanso de los árboles que son picados año con año para la especie *B. bipinnata*, su producción disminuye. Sin embargo, también los periodos de descanso en los árboles se han ido modificando. En contraste, los árboles que se descansan una temporada incrementan su productividad. Un ejemplo es *Clusia* sp., en donde el periodo de descanso de los árboles es de solo tres meses, cuando antes se hacía de seis meses a un año, lo cual hace vulnerable a esta especie por la falta de un plan de extracción (Zenteno-Ruiz 2007). En *P. copal*, por ejemplo, no se reporta periodo de descanso (Coronado 2006). Purata (2008) menciona que un árbol trabajado de manera moderada puede recuperarse garantizando la disponibilidad del recurso en un periodo de

tiempo más prolongado. Linares y Bye (2008) hacen énfasis en que, con periodos largos de descanso en el picado en *Bursera*, de entre dos y tres años, se evita que el árbol se debilite o muera.

El periodo de descanso, en la comunidad de los Sauces, tiene que ver con la disminución del recurso en la comunidad, debido a la deforestación por la demanda de la tierra (agricultura), lo cual está incidiendo en los periodos de descanso. Sin embargo, esto se ha convertido en un incentivo para llevar acciones de reforestación en la comunidad.

En este sentido, el periodo de extracción de resina de *B. bipinnata*, en la comunidad de Los Sauces ha abarcado un periodo de tiempo hasta de 100 años, lo cual tiene que ver con la longevidad de esta especie. Los copaleros mencionan que existen árboles que fueron trabajados por sus padres (20%) y algunos por sus abuelos (3%). Lo que tiene que ver con la eficiencia de la práctica de picado, misma que no perjudica el árbol. Como sucede con la especie *P. copal*, en donde el periodo de extracción de los individuos llega a ser de 100 años (Coronado 2006). Mientras que en la especie *H. brasiliensis* se reportan periodos de extracción de látex que varían de 25 a 30 años dependiendo de los cuidados que los pobladores les realicen a estos árboles (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011).

#### *La extracción del copal y el papel de los miembros de la familia*

Respecto a la participación de la familia en el proceso de extracción de exudados, este se lleva a cabo por diferentes integrantes de acuerdo con la facilidad y acceso al recurso, así como a la morfología de la especie, y al proceso de picado. En *B. bipinnata*, en esta región del estado, se lleva a cabo por hombres, como parte de una actividad primaria en la temporada de picado. En *P. copal*, la extracción de resina la llevan a cabo las mujeres y los niños (Coronado 2006). En *B. submoniliformis* la realizan todos los miembros de la familia, (padres, madres y niños) dependiendo de la disponibilidad de tiempo (García 2012). Mientras que con *H. brasiliensis* esta práctica la realizan hombres (85%) y mujeres (15%) (Izquierdo-Bautista *et al.* 2011).

## *Relación entre el manejo tradicional y la productividad de resina de copal*

Nussinovitch (2010) señala que muchas especies que son aprovechadas por sus exudados o resinas, a menudo no producen cantidades aprovechables, a pesar de estar saludables y crecer en entornos favorables (clima y suelo). Se ha propuesto que, bajo condiciones de estrés, esta productividad puede incrementarse, en particular debido a daños en la corteza. Por lo que la cantidad de resina producida también puede relacionarse con la frecuencia e intensidad de la cosecha (Gliskman 1969). Esto coincide con lo reportado por Ballal *et al* (2005), en donde se observa que árboles de *Acacia senegal* producen mayores cantidades de resina cuando se someten a mayores intensidades de cosecha.

En la presente investigación los árboles manejados de *B. bipinnata*, produjeron mayor cantidad de resina en contraste con los árboles que no han sido manejados. Sin embargo, hay pocas investigaciones con las que puedan ser comparables estos resultados. Algunas de estas son investigaciones con especies comestibles, con ciclos de vida anuales, en donde las poblaciones manejadas, presentan diferencias con respecto a las silvestres.

Este es el caso de la ciruela (*Spondias purpurea*) donde las poblaciones manejadas presentan gigantismo en los frutos, así como cambios en la coloración (Ruenes-Morales *et al.* 2010). En *Crescentia cujete* L., los individuos manejados presentan tallas menores que facilitan la cosecha y frutos más grandes y redondos (Aguirre-Duguá *et al.* 2012, 2013). En *Escontria chiotilla* los frutos de las poblaciones manejadas son más grandes, con mayor pulpa, que en individuos no manejados (Arellano y Casas 2001). Lo que sugiere que la selección artificial de las variantes deseables está contribuyendo en los cambios morfológicos, fisiológicos e incluso genéticos como en *Crescentia cujete* en sus poblaciones manejadas (Aguirre-Duguá *et al.* 2012).

La presente investigación constituye una evidencia de que el manejo, puede conducir a diferencias en algunos parámetros fisiológicos, como la cantidad de resina producida, en especies con propósitos rituales y de ciclos de vida largos (perenne).

### *Beneficios del manejo del copal en sistemas agroforestales*

El manejo agroforestal que realizan los pobladores sobre las dos especies de copal que se distribuyen en la zona de estudio (*B. bipinnata* y *B. copalifera*), resulta en diversos beneficios, más allá del económico. Algunos de los más destacados tienen que ver con permitir la fijación de nitrógeno, fósforo y potasio en los cultivos aledaños, principalmente maíz, sorgo, calabaza y pitaya. Esta es una estrategia que permite restablecer la fertilidad del suelo.

Además, el contar con árboles asociados a los cultivos ayuda a reducir la pérdida de suelos por la acción de los vientos y las lluvias. También, permite reducir los tiempos de regeneración de suelos degradados y, en general, las personas realizan estas prácticas porque asocian la presencia de árboles como forma de atraer la lluvia y con reducir las tasas de evapotranspiración.

Muchos de estos beneficios han sido reportados principalmente para diversas especies, principalmente frutales (Vallejo *et al.* 2016). Sin embargo, la presente investigación aporta nuevos datos y registros de manejo agroforestal de especies resiníferas. Algunos casos similares se reportan en Sudán con *Acacia senegal* (Ballal 2005) y *Acacia albida* (Poschen 1986; Weil y Mughogho 1993), en donde estas especies se aprovechan por su resina. Al mismo tiempo que constituyen importantes servicios de provisión, aportan diversos servicios ecosistémicos en entornos degradados y fuertemente presionados por la acción de las prácticas agrícolas y ganaderas.

### *Presencia de compuestos orgánicos y su posible relación con el manejo*

Los compuestos orgánicos de los cuales están constituidas las resinas, son una combinación distinta en las diferentes especies utilizadas (Nussinovitch 2010; Moreno *et al.* 2010). Estos no solo varían en presencia sino también en concentración, y en el tipo de estructuras en que se encuentren, por ejemplo, si están presentes en las hojas, cortezas o tallos (Muñoz-Acevedo *et al.* 2013; Moreno *et al.* 2010). Además, estas concentraciones pueden modificarse debido al

tiempo transcurrido desde la extracción, así como, si se trata de resinas frescas o cristalizadas (Villa-Ruano *et al.* 2018), así como por el origen del exudado (Nussinovitch 2010).

En *B. bipinnata*, se identificaron 20 compuestos orgánicos que le confieren olor y textura (Tabla 11). Algunos de estos coinciden con lo reportado para otras especies del género *Bursera*, por ejemplo, en *B. slechetendalii* se identificaron 25 compuestos químicos compartiendo el  $\alpha$ -tujeno,  $\alpha$ -pineno, sabineno,  $\beta$ -pineno,  $\beta$ -mirceno, óxido de cariofileno (Villa-Ruano 2018). En *B. morelensis* se identificaron 17 compuestos orgánicos coincidiendo tujeno,  $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -tujeno,  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -mirceno,  $\beta$ -felandreno, cariofileno y óxido de cariofileno (Carrera-Martínez *et al.* 2014). En *B. tomentosa* se identificaron 28 compuestos en la corteza, coincidiendo en  $\delta$ -cadineno y  $\delta$ -cadinol (Moreno *et al.* 2010). En el aceite esencial *B. tonkinensis*, se identificaron 15 compuestos orgánicos, coincidiendo en  $\alpha$ -felandreno,  $\beta$ -felandreno y  $\alpha$ -pineno (Minh *et al.* 2004).

El compuesto orgánico mayoritario (olor) en porcentaje respecto a la composición total de la muestra fue;  $\alpha$ -felandreno  $20.36 \pm 7.96$  para la resina de los sitios manejados y  $23.38 \pm 10.25$  para los sitios silvestres (que le confiere un aroma ligeramente cítrico). Esto, coincide con lo reportado para *Bursera morelensis*, *Bursera tonkinensis* y *B. slechetendalii* (Minh *et al.* 2004; Carrera-Martínez *et al.* 2014; Villa-Ruano *et al.* 2018).

A su vez, el segundo compuesto orgánico en porcentaje para *B. bipinnata* que le confiere aroma es terpinoleno  $4.75 \pm 2.21$  para los sitios manejados. Además, se encontró cariofileno  $11.91 \pm 5.80$  para los sitios silvestres, lo que coincide en los compuestos mayoritarios con *B. morelensis* (Carrera-Martínez *et al.* 2014).

No obstante, en el contexto de la relación entre el manejo y la composición de los compuestos químicos, se puede ver que la importancia de estos dos últimos compuestos no necesariamente se corresponde con la diferenciación entre silvestres y manejados. De manera que, al parecer las altas concentraciones en porcentaje de estos compuestos no guarda relación con la forma de manejo y que por lo tanto se trata de una característica inherente a la especie en cuestión.

Sin embargo, de acuerdo con la Tabla 12, los compuestos que sí nos permiten ordenar los árboles de copal de acuerdo al tipo de manejo (Figura 11) son cinco que les confieren olor ( $\alpha$ -pineno, acetato de sabinilo, calemeno,  $\delta$ -cadineno,  $\delta$ -cadinol) y uno que le da textura ( $\alpha$ -amirina). Esto sugiere que los árboles manejados poseen mayor concentración en porcentaje de estos cinco compuestos (olor) cuando se les compara con los árboles silvestres. Lo que puede significar que el manejo está modificando la concentración de los compuestos orgánicos que confieren el aroma al copal, esto puede ser resultado de la selección de características deseables de este recurso, lo que coincide con Carrillo-Galván *et al.* (2017) y Bautista *et al.* (2012), quienes mencionan que la selección artificial de los humanos puede estar generando cambios en el perfil químico de los metabolitos secundarios.

La presente investigación refuerza el planteamiento hecho en plantas aromáticas, en donde se menciona que existen diferencias en la composición química en individuos manejados respecto a los silvestres, con base a los atributos utilitarios (Carrillo-Galván *et al.* 2017), lo cual puede aumentar los fenotipos de interés, e incluso puede llegar a eliminar fenotipos no deseables (Casas *et al.* 2007).

Esto ha sido reportado en especies de plantas aromáticas de uso medicinal, donde se mencionan diferencias en las concentraciones de los aceites esenciales del epazote blanco de individuos cultivados con respecto a los silvestres. Se cree que estas concentraciones han sido modificadas por manejo humano, con el propósito de ser palatable y menos tóxico (Carrillo-Galván 2017). Lo que sugiere que el manejo ha modificado la concentración de los compuestos químicos en los individuos manejados con respecto a los silvestres.

#### *Relación entre variables fisiológicas y manejo*

Con respecto a las variables fisiológicas, para NPQ (disipación de calor por sus siglas en inglés) los valores promedios reportados en esta investigación fueron (manejados = -0.59; silvestres = -0.77), siendo los árboles silvestres los que tienen los mayores porcentajes, con respecto a los manejados, lo que sugiere que

individuos manejados y silvestres no presentan daños en el fotosistema, a pesar de la alta luminosidad de las parcelas manejadas.

Con respecto a ETR (transporte de electrones), en los individuos manejados (en parcelas abiertas a la agricultura) presentan los menores valores (manejados = 4.08; silvestres = 13.88). Sin embargo, estos resultados contradicen lo que se reporta en la literatura, donde se establece que a mayor luminosidad mayor es la tasa de transporte de electrones (Luis *et al.* 2008). Se puede argumentar que las variantes de los horarios de las lecturas en las parcelas pueden ser causantes de estos resultados.

En Y(II) (energía absorbida por la clorofila), los valores promedios más bajos fueron presentados por los individuos manejados en contraste con los silvestres. Fv/Fm (fluorescencia de la clorofila) obtuvo valores promedio menores a lo reportado en Cabrera (2002) los cuales van de 0.80 a 0.83. Lo que sugiere que los árboles de copal no presentan daños en el fotosistema, tanto en individuos silvestres como manejados.

### *El papel de la plasticidad fisiológica*

Los árboles de copal seleccionados (manejados y silvestres), no presentaron plasticidad fisiológica. Lo que nos indica que las estrategias y prácticas de manejo humanas llevadas a cabo en estos árboles son las responsables de la mayor producción de resina en árboles de condición manejada y no debidas a variantes ambientales, por lo que puede argumentarse que es consecuencia de que no hubo diferencias en (temperatura y humedad relativa) entre sitios, como se menciona en Cadena-Zizumbo *et al.* (2018).

La plasticidad puede generar variación morfológica y fisiológica en plantas (Gianoli 2004; Palacio-López y Rodríguez-López 2008). Sin embargo, existen pocos estudios en condiciones no controladas o de campo, como fue el caso de la presente investigación. La mayor cantidad de trabajos se han realizado bajo condiciones controladas, en invernadero y con plántulas principalmente, en donde

se puede identificar más rápido la plasticidad, sobre todo en área foliar. Empero, en esta investigación no hubo diferencias significativas en el área foliar.

Por lo anterior, se sugiere que la mayor concentración de compuestos orgánicos en *B. bipinnata* son  $\alpha$ -felandreno (olor cítrico) y  $\beta$ -amirina (textura) para las dos poblaciones, mientras que los compuestos que hacen diferentes estas resinas de acuerdo al tipo de manejo son;  $\alpha$ -pineno, acetato de sabinilo, calemeno,  $\delta$ -cadineno,  $\delta$ -cadinol (olor) y  $\beta$ -amirina (textura), los cuales, pueden ser cambios a nivel fisiológico, generados por los procesos de selección artificial de manejo humano y no debidos a cambios ambientales o derivados de plasticidad fisiológica de la especie, mismos que pueden conducir a procesos de domesticación incipiente *in situ*, conservando de esta forma la diversidad biológica y cultural de la comunidad.

## CONCLUSIONES

La presente investigación dio lugar a nuevas directrices, las cuales se pueden llevar a cabo como parte de futuras líneas de investigación, mismas que en conjunto ayudarán a describir el sistema agroforestal en el cual se cree está inmersa la especie, así como revalorizar el conocimiento tradicional de las comunidades humanas de acuerdo con el uso de los recursos de manera sostenible.

Este puede servir de ejemplo en otras poblaciones a diferentes escalas con diferentes recursos, con el propósito de evitar la pérdida de diversidad biológica, cultural y del conocimiento tradicional, que guarda prácticas de manejo adecuadas al uso de los recursos. Esto implicaría el incremento en el número de individuos de copal, así como de otras especies con las que se encuentra inmerso.

Respecto a la medición del área foliar de las pinnas de los árboles de copal, sería necesario replantear el método de colecta, lo recomendable para saber si hay diferencias, sería tomar colectas de los tres niveles del dosel del árbol, (en la base, en la parte media y en la mayor altura de la copa) para ambos sitios (silvestres y manejados).

Los copaleros de la comunidad de Los Sauces reconocen distintas variedades de copal, como el copal chino (*Bursera bipinnata*) y el copal ancho (*Bursera copallifera*).

Ellos seleccionan árboles con características deseables, enfocados principalmente a la conservación y al aumento de individuos de *B. bipinnata*, como una mayor producción y mejor calidad de la resina (olor y textura).

Con base en los resultados del taller participativo, entrevistas semi-estructuradas y observación participante se observa una tendencia de aumento de las prácticas de manejo con respecto al pasado.

Los árboles manejados producen más resina que los silvestres, existiendo una correlación positiva entre el tamaño de los árboles y la cantidad de esta.

Los árboles bajo manejo artificial tienen mayores concentraciones en sus compuestos mayoritarios como  $\alpha$ -felandreno (olor) y  $\alpha$ -amirina (textura) en comparación con los árboles silvestres.

Los compuestos que hacen diferente la resina entre tipos de manejo, son principalmente para el olor,  $\alpha$ -pineno, acetato de sabinilo, calemeno,  $\delta$ -cadinol,  $\delta$ -cadineno, mientras que para la textura es  $\beta$ -amirina. Lo que sugiere que los copaleros están seleccionando los árboles por el aroma.

Los copaleros tienen una técnica de picado sobre *B. bipinnata* que evita que los árboles mueran. Además, al no colectar la mirra permite que los árboles tengan una mejor cicatrización y no se vean invadidos por plagas.

La colecta de resina de copal en campo para identificación de compuestos orgánicos por medio de la técnica de cromatografía de gases acoplada a masas, se debe llevar a cabo directamente del árbol, colectándose una pequeña muestra lo más fresco posible, depositar en una bolsa de plástico sellar y transportar con hielo seco en una hielera, previa identificación de la muestra.

Las variables fisiológicas NPQ, ETR Y(II) y Fv/Fm, no presentaron cambios en el aparato fotosintético de acuerdo a los resultados. Lo cual podría deberse a la falta de aleatorización en el horario de las lecturas en las distintas parcelas (manejas y silvestres).

La presente investigación intenta documentar información sobre los procesos de domesticación incipiente y prácticas de manejo en especies perennes de uso ritual y/o medicinal.

Con estas estrategias y técnicas de manejo implementadas, están contribuyendo y llevando a cabo un plan de manejo de conservación del copal y como consecuencia de otras especies nativas de animales y plantas a nivel paisaje, lo que sugiere puede constituir un sistema agroforestal, sobre todo porque con el tiempo las estrategias de manejo tradicional se están viendo vulneradas por los cambios constantes en la globalización.

## PERSPECTIVAS

Realizar un estudio sobre la biología reproductiva de la especie, sus polinizadores, el estudio de la composición estructural del suelo, evaluar la cantidad de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, hacer una descripción de la cantidad de nutrientes, para el mejor establecimiento de la especie.

Evaluar la cantidad de flores y frutos durante el periodo de picado de los árboles de *B. bipinnata*, que producen los árboles en condiciones manejadas y silvestres, para saber cómo se están reasignando los recursos y si esto influye en el bajo número de individuos de la especie.

Realizar un estudio de la composición química de los compuestos que le confieren olor y textura a la resina de *B. bipinnata*, en donde se incluyan árboles de copal limón en dos condiciones distintas de proceso, con resina fresca y con resina cristalizada, con el propósito de saber si existen diferencias en los compuestos orgánicos.

Realizar un estudio de espectrofotometría para la coloración de las resinas en condiciones distintas de manejo, con el propósito de saber si existen diferencias respecto a la coloración de las resinas debidas a prácticas de manejo.

Evaluar el porcentaje de plántulas de copal que llegan a una talla en donde ya no son vulneradas por el ganado, con el propósito de documentar la talla promedio de éstas, para que los potreros puedan ser abiertos al pastoreo.

Considerar la importancia de la germinación de las semillas de esta especie, evaluando la tasa de germinación en distintos sustratos. Al mismo tiempo, evaluar la tasa de viabilidad de las semillas de los árboles mayormente valorados. Así como, documentar el índice de sobrevivencia de la reforestación llevada a cabo por medio de reproducción por estacas en la comunidad. Impulsar acciones de reforestación y cuidado del copal limón, ya que como se mencionó en el taller de copaleros, esta variedad ha disminuido notablemente.

Respecto a la toma de lecturas de fluorescencia, se sugiere, reducir el número de sitios de muestreo. Este sería un aporte importante ya que no existen estudios que evalúen estas variables fisiológicas en condiciones naturales, ya que, la mayoría de las investigaciones en este sentido son bajo condiciones controladas en invernadero.

Llevar a cabo una evaluación sobre las especies asociadas a la especie *B. bipinnata*, dentro de este sistema agroforestal.

Generar un manual o folleto de las prácticas de manejo identificadas en este estudio y crear un plan de manejo para la comunidad de los Sauces.

Estudios genéticos futuros podrían estimar si las diferencias encontradas en la producción de resina de los individuos manejados, han sido lo suficientemente intensas como para fijar estas características.

## LITERATURA CITADA

- Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Allured Publishing Corporation, Carol Stream.
- Aguilar, J. G. (1996). Manejo de recursos naturales de la selva baja caducifolia, en particular *Brahea dulcis*, en la región de Chilapa, Guerrero. Grupo de Estudios Ambientales AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. C105. México.
- Aguirre-Duguá, X. (2015). Filogeografía y procesos de domesticación de *Crescentia alata* y *Crescentia cujete* (Bignoniaceae) en México. Tesis de doctorado. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Aguirre-Duguá, X., Eguiarte, L.E., González-Rodríguez, A y A. Casas (2012). Round and large: morphological and genetic consequences of artificial selection on the gourd tree *Crescentia cujete* by the Maya of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Annals of Botany*. 109 (7): 1297-1306.
- Aguirre-Duguá, X., Pérez-Negrón, E. y A. Casas (2013). Phenotypic differentiation between wild and domesticated varieties of *Crescentia cujete* L. and culturally relevant uses of their fruits as bowls in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9:76.
- Alcorn, J. (1983). El te'lom huasteco: presente, pasado y futuro de un sistema de silvicultura indígena. *Biótica*. 8 (3): 315-331.
- Arias, D., Peñaloza-Ramírez, J., Dorado, O., Cuevas-Reyes, P., Leyva, E., Albarrán-Lara A. L. y G. Rangel-Altamirano. (2010). Phylogeographic patterns and possible incipient domestication of *Jacaratia mexicana* A. DC. (Caricaceae) in Mexico. *Springer Science. Genetic Resources and Crop Evolution*. 57: 1227-1238.
- Arellano, E. y A. Casas. (2003). Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50: 439-453.
- Avendaño, A., Casas, A., Dávila, P. y R. Lira. (2006). Use forms, management and commercialization of "pochote" *Ceiba aesculifolia* (H. B. K.) Britten & Baker f.

- subsp. *parvifolia* (Rose) P.E. Gibbs Semir (Bombacaceae) in Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environments*. 67: 15-35.
- Ballal, M. E., El Siddig, E. A., Efadl M. A., and O. Luukkanen. 2005a. Gum arabic yield in differently managed Acacia senegal stands in western Sudan. *Agroforestry Syst.* 63:237-45.
- Bautista, L. A., Parra R. F. y F. J. Espinosa-García. (2012). Efectos de la domesticación de plantas en la diversidad fitoquímica. En: Rojas, C. y E. A. Malo. (eds.). Temas selectos de ecología química de insectos. El colegio de la Frontera Sur. México.
- Bernard, R. (2006). Métodos de investigación en antropología. Abordajes cualitativos y cuantitativos. Segunda edición. Altamira Press.
- Blancas, J., Parra, F., Lucio, J. D., Ruíz-Durán, E. M., Pérez-Negrón, E., Ortero-Arnaiz, A., Pérez-Nasser, N y A. Casas. (2006). Manejo tradicional y conservación de la Biodiversidad de *Polaskia* spp. (Cactaceae) en México. *Zonas Áridas*. 10: 20-40.
- Blancas, J., Casas, A., Lira, R., y J. Caballero. (2009). Traditional Management and Morphological Patterns of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central México. *Economic Botany*. 63 (4): 375-387.
- Blancas, J., Casas, A., Rangel-Landa, S., Moreno-Calles, A., Torres, I., Pérez-Negrón, E., Solís, L., Delgado-Lemus, A., Parra, F., Arellanes, Y., Caballero, J., Cortes, L., Lira R. y P. Dávila. (2010). Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*. 64: 287–302.
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero J. y E. Vega. (2013). Ecological and sociocultural factors influencing plant management in Nahuatl communities of the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 9 (39): 2-22.
- Blanckaert, I., Paredes-Flores, M., Espinosa-García, F. J., Piñero, D. y R. Lira. (2012). Ethnobotanical, morphological, phytochemical and molecular evidence for the incipient domestication of Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.: Chenopodiaceae) in a semi-arid region of Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 59: 557-573.

- Bonfil-Sanders, C. Cajero-Lázaro, I. y R. Y. Evans. (2008). Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia*. 42 (7): 827-834. Recuperado en 29 de mayo de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952008000700009&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000700009&lng=es&tlng=pt).
- Bye, R. A. (1993). The Role of Humans in the Diversification of Plants in Mexico. En: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., y Fa, J. (eds.), *Biological Diversity of Mexico. Origins and Distribution*. Oxford University Press, NY.
- Caballero, J. (1994). Use and Management of Sabal palms among the Maya of Yucatan. Tesis Doctoral. University of California.
- Caballero, A., Casas, A., Cortes, L. y C., Mapes. (1998). Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos indígenas en México. *Estudios Atacameños*. 16: 181-192.
- Cabrera, H. M. (2002). Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas con clima mediterráneo y ambiente de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75: 625-637.
- Cadena-Zamudio, D. A., Ruiz-Guerra, B. Guevara-Hernández, R. E., García-Franco, J. y J. Núñez-Farfán. (2018). Estudios de plasticidad fenotípica y herbivoría. Una revisión. *Agroprductividad*. 16 (3): 133-140.
- Case, R. J., Tucker. A. O., Maciarelo, J. M y K. A. Wheeer. (2003). Chemistry and ethnobotany of commercial incense copals, copal blanco, copal oro, and copal negro, of north america. *Economic Botany*. 57 (2): 189-202.
- Carmona, A. y A., Casas. (2005). Management, phenotypic patterns and domestication of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Enviroments*. 60: 115-132.
- Carrera-Martínez, C. A., Rosas-López R., Rodríguez-Monroy M. A., Canales-Martínez M. M., Román-Guerrero, A. y R., Jiménez-Alvarado. (2014). Chemical Composition and In vivo Anti-inflammatory Activity of *Bursera morelensis* Ramírez Essential Oil, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 17: 758-768. DOI:10.1080/0972060X.2014.895149

- Carrillo-Galván, G., Bye, R. A. y L. E. Eguiarte. (2017). Domesticación de plantas medicinales aromáticas. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y F. Parra. (Coordinadores). Domesticación en el continente americano. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Nacional Agraria la Molina del Perú.
- Casas, A. y J. Caballero. (1995). Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias*. (40): 36-44.
- Casas, A. y J. Caballero. (1996). Traditional Management and Morphological Variation in *Leucaena esculenta* (Fabaceae: Mimosoideae) in the Mixtec Region of Guerrero, Mexico. *Economic Botany*. 50 (2): 167-181.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes C. y S. Zárate. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 61: 31-47.
- Casas, A. (2002). Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas. CONABIO. Biodiversitas. 40: 18-23.
- Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. (2007). In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*. 100: 1101–1115.
- Casas, A., Blancas, J., Pérez-Negrón, E., Torres, I., Vallejo, M., Rangel, S., Moreno-Calles, A. I., Farfán B. (2014). Manejo sustentable de recursos naturales: naturaleza y cultura. En: Sustentabilidad e interculturalidad paradigmas entre la relación cultura y naturaleza. 1er Congreso Sustentabilidad e Interculturalidad: paradigmas entre la relación cultura y naturaleza. Universidad Intercultural Indígena de Michoacán (UIIM). Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Casas, A., Parra, F., Blancas, J., Rangel-Landa, S., Vallejo, M., Figueredo, C. J. y A. I., Moreno-Calles. (2016). Origen de la domesticación y la agricultura: cómo y por qué. En: Casas A., J. Torres-Guevara y F. Parra (Editores). Domesticación en el continente americano. Volumen I. Manejo de

biodiversidad y evolución dirigida por las culturas del Nuevo Mundo. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú.

- Childe, G. (1978). Los orígenes de la civilización. Fondo de Cultura Económica. México.
- Colunga-GarcíaMarín, P., Estrada-Loera, E. y F. May-Pat. (1996). Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of Agave in Yucatán, Mexico. *American Journal of Botany*. 83 (8): 1069-1082.
- Coronado Vargas, J. A. (2006). Estudio etnobotánico del árbol de Pom [*Protium copal*, (Schelcht. et Cham.) Engler] en el municipio de Cahabón, Alta Verapaz. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Instituto de Investigaciones Agronómicas.
- Crowther, A., Veall, M. A., Boivin, N., Horton, M., Kotarba-Morley, A., Fuller, D. Q., Fenn, T., Haji, O. y C. D. Matheson. (2014). Use of Zanzibar copal (*Hymenaea verrucosa* Gaertn.) as incense at Unguja Ukuu, Tanzania in the 7-8th century CE: chemical insights into trade and Indian Ocean interactions. *Journal of Archaeological Science*. 53 374-390.
- Cruz, L. A., Salazar, M. L y O. M. Campos. (2006). Antecedentes y actualidad del aprovechamiento de copal en la Sierra de Huautla, Morelos. *Revista de Geografía Agrícola*. (37): 97-116.
- Dorado, O., Flores-Castorena, A. Jesús-Almonte J. M., Arías, D. M. y D. Martínez-Alvarado. (2012). Árboles de Cuernavaca Nativos y Exóticos Guía para su Identificación. Trópico seco ediciones Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Gadea, Noguerrón. R. (2011). Aprovechamiento de los recursos naturales en la comunidad rural de El Limón de Cuauchichinola, municipio de Tepalciongo, Morelos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UAEM.
- García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

- García, Martínez. L. (2012). Aspectos socio-ecológicos para el manejo sustentable del copal en el ejido de Acateyualco, Guerrero. Tesis de Licenciatura. Centro de Investigación en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Rodríguez, Y. M., Torres-Gurrola, G., Meléndez-González, C. y F. J. Espinosa-García. (2016). Phenotypic variations in the foliar chemical profile of *Persea americana* Mill. cv. Hass. *Chemistry & biodiversity*. 13: 1767-1775.
- Gianoli, E. (2004). Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. Mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas. Editor. Cabrera. H. M. Universidad de Concepción. Chile.
- Glicksman, M. 1969. Gum technology in the food industry. New York: Academic Press.
- Gómez-Pompa, A. (1987). On Maya Silviculture. *Mexican Studies*. 3(1):1-17.
- González-Soberanis, C. y A. Casas. (2004). Traditional management and domestication of tempesquistle, *Sideroxylon palmeri* (Sapotaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environments*. 59 (2): 245-258.
- Guillén, S. Casas, A. Terrazas, T. Vega, E. y A. Martínez-Palacios. (2013). Differential survival and growth of wild and cultivated seed ligs of columnar cacti: Consequences of domestication. *American Journal of Botany*. 100 (12): 2364-2379.
- Harlan, J. (1975). Crops and Man. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Madison. Wisconsin.
- Hernández-Pérez, E., González-Espinosa, M., Trejo, I. y C. Bonfil. (2011). Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos, México y su relación con el clima. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82: 964-976.
- Hernández-Xolocotzi, E. (1993). Aspectos de la domesticación de plantas en México: una apreciación personal. En: Ramamoorthy, T.P., Bye R., Lot, A. y J. Fa (comps.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hoogesteger, V. D., Casas, A. Moreno-Cales, A. I. (2016). *Tajos de la Sierra Gorda guanajuatense: sistemas agroforestales de importancia ecológica,*

- económica y cultural. En: Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M. y M. Vallejo, R. (comps.). Etnoagroforestería en México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Izquierdo-Bautista, H., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Velázquez-Martínez, A. y V Córdova-Ávalos. (2011). Problemática en los procesos de producción de las plantaciones de hule *Hevea brasiliensis* Muell Arg. en Tabasco, México. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 14 (2): 513-524.
- Konrad, H. W. (1987). Capitalismo y trabajo en los bosques de las tierras bajas tropicales mexicanas: El caso de la industria del Chicle. *H. Mex.* XXXVI: 3: 465-505.
- Linares, E. y R. Bye. (2008). El copal en México. COANBIO. *Biodiversitas*. 78: 8-11.
- Lucero-Gómez, P., Mathe, C., Vieillescazes, C., Bucio, L., Belio, I. y R., Vega. (2014). Analysis of Mexican reference standards for *Bursera* spp. resins by Gas Chromatography-Mass Spectrometry and application to archaeological objects. *Journal of Archaeological Science*. 41: 679-690.
- Luis, V. C., Vilagrosa, C. A., Llorca C. M., Hernández L. E. y R. Vallejo, C. (2008). Plasticidad morfológica y fisiológica en plantones de alcornoque, lentisco y pino canario inducidos por tratamientos de fertilización y sombreo. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 20: 213-218.
- Manzano, P., Miranda, M., Gutiérrez, Y., García, G., Orellana, T. y A. Orellana. (2009). Efecto antiinflamatorio y composición química del aceite de ramas de *Bursera graveolens* Triana & Planch. (palo santo) de Ecuador. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 14 (3): 45-53.
- Martin, G. (2000). Etnobotánica. Manual de métodos. Manuales de conservación de la serie "Pueblos y plantas". WWF-UK-UNESCO-Royal Botanic Gardens, Kew.
- Mena Jiménez, F. (2018). Estrategias ecológicas y culturales para garantizar la disponibilidad de productos forestales no maderables: árboles medicinales en la Selva Baja del Sur de Morelos. Tesis de Maestría, Centro de Investigación

- en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México.
- Minh, H. T., Huy, T. T., Lesueur, D., Bighelli, A. y J. Casanova. (2004). Volatile components of *Bursera tonkinensis* Guill, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 7: (3) 228-231. DOI: 10.180/0972-060X.2004.10643397
- Miranda, F., y E. Hernández X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Montaño, A. G. y C. F. Becerril. (2008). ¿Qué son y dónde viven los copales? En: *Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites*. Purata. V. S. E. (Coor.). Colección Manejo Campesino de los Recursos Naturales. México.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M. y M. Vallejo R. (2016). Etnoagroforestería en México, los proyectos y la idea del libro. En: Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M. y M. Vallejo, R. (comps.). *Etnoagroforestería en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno, J., Rojas, L. B., Aparicio, R., Marcó, L. y A. Usubillaga. (2010). Chemical composition of the essential oil from the bark *Bursera tomentosa* (Jacq) T & Planch. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 9 (6): 491-494.
- Muñoz-Acevedo, A., Serrano-Uribe, A., Parra-Navas, X. J., Olivares-Escobar, L. A. y M. E. Niño-Porras. (2013). Análisis multivariable y variabilidad química de los metabolitos volátiles presentes en las partes aéreas y la resina de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. de Soledad (Atlántico, Colombia). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*. 12: 322-337.
- Nussinovitch, A. (2010). *Plant gum exudates of the world. Sources, Distribution, properties, and applications*.
- Orta Amaro, M. N. (2007). *Copal: microestructura, composición y algunas propiedades relevantes*. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México. D. F.

- Palacio-López, K. N. Rodríguez-López. (2008). Plasticidad Fenotípica en *Lippia alba* (Verbenaceae) en respuesta a la disponibilidad hídrica en dos ambientes lumínicos. *Acta biológica Colombiana*. 12 (1): 187-198.
- Paz, L. y Vázquez-Yanes. (1998). Comparative seed ecophysiology of wild and cultivated *Carica papaya* trees from a tropical rain forest region in Mexico. *Tree Physiology* 18: 277-280
- Phillips, O. L. y A. H. Gentry. (1993). The useful plants of Tambopata, Peru I. Statistical hypothesis tests with a new quantitative technique. *Economic Botany* 47: 33-43.
- Pérez-Aguilar, R. A. (2014). El chicle en Quintana Roo: sus caminos y sus voces. *Cuicuilco*. (60): 195-222.
- Ponce, T, H. (2006). La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales en Contribuciones a la Economía. Texto completo en <http://www.eumed.net/ce/>
- Poschen, P. 1986. A evaluation of *Acacia albida*-based agroforestry practices to the Hararghe highlands of Eastern Ethiopia. *Agrofor Systems*. 4: 29-143.
- Purata, V. S. E. (2008). Algunos usos del copal. En: Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites. Purata. V. S. E. (Coor.). Colección Manejo Campesino de los Recursos Naturales. México.
- Quiroz, C. J. A y A. M. A. Magaña. (2015). Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera y Bosques*. 3 (21): 171-183.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rodríguez-Arévalo, I. Casas, A. Lira, R y J. Campos. (2006). Uso, manejo y procesos de domesticación de *Pachycereus hollianus* (F.A.C. Weber) Buxb. (cactaceae), en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Interciencia*. 9 (31): 677-685.
- Rodríguez-Morales, S. Guillén, S. y A., Casas. (2013). Consecuencias de la domesticación de *Stenocereus stellatus* en el tamaño de las semillas y la

- germinación en un gradiente de estrés Hídrico. *Botanical Sciences*. 91 (4): 485-492.
- Ruenes-Morales, M. R. Casas., A., Jiménez-Osornio, J. J. y J. Caballero. (2010). Etnobotánica de *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) en la península de Yucatán *Interciencia*. 35 (4): 247-254.
- Rzedowski, J. y F., Guevara-Féfer. (1992). Burseraceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. *Acta botánica mexicana*. 1-46.
- Rzedowski, J. (2006). 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Soria, R. G. (1985). Flora de Morelos descripción de especies vegetales de la selva baja caducifolia del Cañón de Lobos, Municipio de Yautepec. Serie Ciencias Naturales de la Salud. Programa Florístico-Ecológico coordinación de investigación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Vaylón Chávez L. I. (2012). Uso y distribución de *Castilla elástica* (hule) en Zozocolco de Guerrero Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valladares F. Vilagrosa A. Peñuelas J. Ogaya R. J. J. Camarero L. Corcuera. Sisó S y E. Gil-Pelegrín. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía.
- Vallejo, M., Casas, A., Moreno-Calles, A. I. y Blancas, J. (2016). Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: una perspectiva regional. En: Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M. y M. Vallejo, R. (comps.). Etnoagroforestería en México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villa-Ruano, N., Pacheco-Hernández, Y., Becerra-Martínez, E., Zárate-Reyes J. A. y R. Cruz-Durán. (2018). Chemical profile and pharmacological effects of the resin and essential oil from *Bursera schlechtendalii*: A medicinal “copal tree” of southern Mexico. *Fitoterapia*. 128: 86-92.
- Weil, R. R y Mughogho S. K. 1993. Nutrient cycling by *Acacia albida* (syn. *Faidherbia albida*) in Agroforestry systems. *American Society of Agronomy*.
- Zenteno-Ruiz, (2007). Referencias botánicas, ecológicas y económicas del aprovechamiento del incienso (*Clusia* vel. sp. nov., Clusiaceae) en bosques

montanos del Parque Nacional Madidi, Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 42 (2): 148-156.

Anexo 1.

Entrevista semi-estructurada

Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl. en el sureste de Morelos, México

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Años trabajando  
copal \_\_\_\_\_

- 1.- ¿A qué se dedica usted? ¿Cuánto tiempo le dedica?
- 2.- ¿Realiza otras actividades?
- 3.- ¿Cuántas clases o variedades de copal hay o reconoce?
- 4.- ¿Cuáles les gustan para picar?
- 5.- ¿Cuántas clases o variedades diferentes de copal chino conoce?
- 6.- ¿Cuál es la clase o variedad de copal chino que produce más resina?
- 7.- ¿En dónde crecen estas variedades?
- 8.- ¿Los pica por igual?
- 9.- ¿Qué labores realiza a estos árboles para que produzcan más resina?

Limpian ¿Por qué?
Podan ¿Por qué?
Arrima suelo ¿Por qué?
Quita el "temecate" ¿Por qué?
Lo limpia de plagas "Torito" ¿Por qué?
Otros (especificar) ¿Por qué?

¿Desde cuándo?

10.- ¿Qué labores realiza para tener más árboles de copal?

Los protege (árboles chicos) con piedras de las vacas ¿Por qué?

Los trasplanta, es decir, los mueven de sitio ¿a dónde? ¿Por qué?

Colectan semillas ¿Por qué?

Reproduce por estacas, ¿Por qué?

Otros (especificar) ¿Por qué?

¿Desde cuándo?

11.- Le interesa tener más árboles de copal ¿Por qué? (económicamente)

12.- ¿En que se fija para seleccionar un árbol para picar?

13.- ¿A los cuantos años considera que un árbol está listo para comenzar a picarlo?

14.- ¿Cómo puede darse cuenta de la edad de un árbol?

15.- ¿Dónde les gusta crecer a estos árboles de copal?

16.- ¿Dónde dan más resina?

17.- ¿Cuándo es la temporada de picar?, ¿cada cuánto va a picar y por qué?

18.- ¿Sabe distinguir árboles hembras y árboles machos? Si \_\_\_\_\_, No\_\_\_\_\_  
¿Cómo?

19.- A su consideración ¿Quiénes dan más resina las hembras o los machos?

20.- ¿Cuántas clases de resina hay? \_\_\_\_\_ ¿Cómo lo puede reconocer? (Solo del chino)

21.- ¿En dónde tiene sus árboles de copal?, ¿A todos los pica?

**A)** Monte

**B)** Parcela

**C) Casa**

**D) O en todas**

22.- ¿Cuántos árboles pica?

23.- ¿Todo el tiempo pica los mismos árboles?

24.- ¿Sabe cómo llegaron aquí esos árboles?

25.- ¿Por qué los pican en esa temporada y no en secas o en otra temporada?

26.- ¿Cuándo son más productivos los copales?

27.- ¿Sabe la talla o edad optima en que dan más resina?

28.- ¿Cuántas pencas ha llegado a obtener del árbol de copal que más produce?

29.- ¿Cultivan otras plantas alrededor de los copales, utiliza algunos fertilizantes para estos cultivos, ¿cuáles?

30.- ¿Sabe si hay alguna plaga que ataque el árbol de copal que le afecte en la cantidad o calidad de la resina?

31.- ¿Hace algo para eliminar la plaga? ¿Qué hace?

32.- ¿Considera que la cantidad de lluvias, terreno, terreno pedregoso que este en plano, sequía la luna, influye en la producción de resina? ¿Por qué?

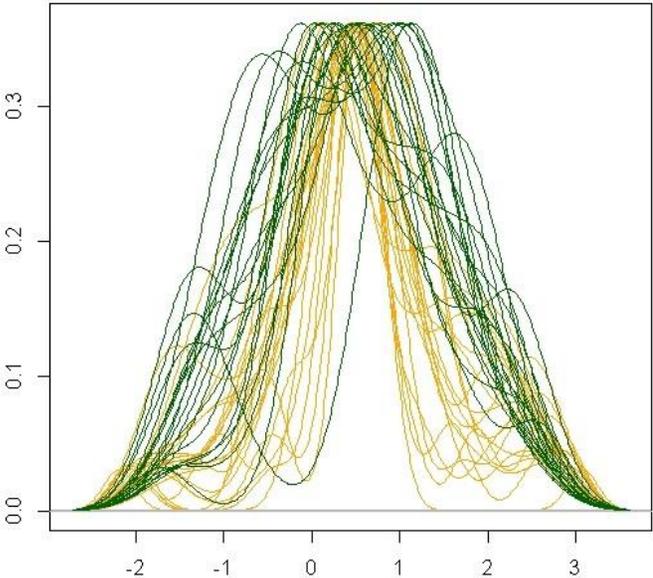
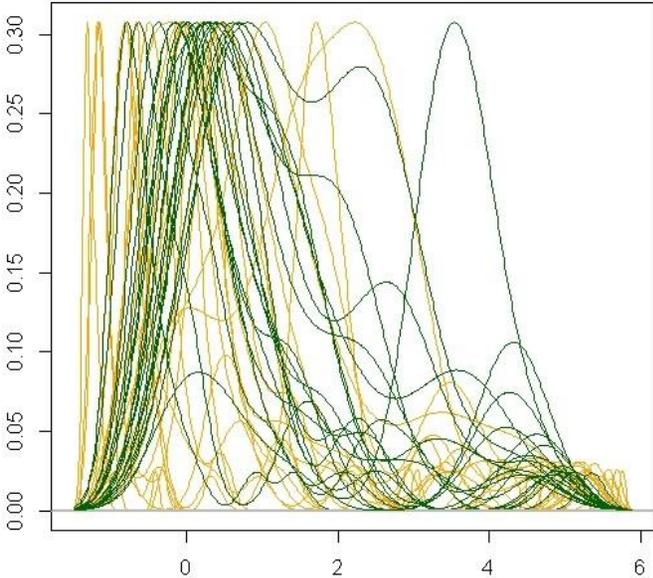
Anexo 2. Matriz de datos imputados de árboles silvestres.

	Árboles silvestres																							
Compuestos orgánicos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\alpha$ -tujeno	0.11	0.10	0.04	0.02	0.24	0.14	0.11	0.03	0.06	0.05	0.07	0.03	0.04	0.03	0.16	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13	0.01	0.06
$\alpha$ -pineno	0.38	0.20	0.12	0.08	0.70	0.19	0.24	0.11	0.08	0.16	0.03	0.06	0.12	0.04	0.47	0.03	0.03	0.08	0.09	0.08	0.10	0.41	0.04	0.18
sabineno	0.15	0.11	0.04	0.03	0.17	0.10	0.13	0.04	0.06	0.06	0.05	0.03	0.04	0.03	0.18	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.16	0.02	0.06
$\beta$ -pineno	0.17	0.08	0.07	0.02	0.21	0.09	0.11	0.06	0.03	0.10	0.06	0.03	0.08	0.03	0.15	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.07	0.01	0.06
$\beta$ -mirceno	3.54	0.33	1.09	0.03	0.25	1.33	0.52	0.04	1.61	0.81	0.28	0.03	1.25	0.02	0.11	0.38	0.13	0.02	0.06	0.01	0.04	0.19	0.02	0.04
$\alpha$ -felandreno	4.33	2.03	2.18	1.40	8.44	2.89	4.06	1.70	0.54	3.75	1.32	1.37	1.36	1.19	8.05	0.27	0.69	0.93	1.65	0.99	2.10	9.32	1.01	1.00
$\beta$ felandreno	1.92	0.46	0.41	0.31	2.10	0.59	1.13	0.48	0.53	1.05	0.03	0.05	0.32	0.21	0.63	0.10	0.10	0.34	0.34	0.14	0.34	0.50	0.05	0.18
terpinoleno	1.86	0.88	0.46	0.33	1.99	0.79	0.92	0.39	0.52	0.02	0.72	0.28	0.62	0.13	1.92	0.12	0.13	0.02	0.22	0.01	0.21	1.86	0.20	0.52
verbenol	0.10	0.13	0.05	0.03	0.18	0.13	0.12	0.07	0.09	0.03	0.30	0.06	0.02	0.04	0.15	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.06	0.13	0.05	0.05
acetato de sabinilo	0.23	0.05	0.06	0.03	0.25	0.08	0.12	0.06	0.07	0.08	0.06	0.04	0.05	0.04	0.09	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.14	0.03	0.04
cariofileno	2.61	0.54	1.47	0.83	8.29	1.22	1.75	1.27	1.73	1.36	1.15	0.52	0.38	0.43	2.70	0.26	0.41	0.78	0.83	0.37	0.61	4.10	0.38	0.42
$\alpha$ -humuleno	0.13	0.28	0.09	0.02	0.67	0.28	0.13	0.10	0.20	0.08	0.21	0.06	0.03	0.06	0.24	0.07	0.02	0.06	0.06	0.03	0.04	0.12	0.08	0.75
calemeno	0.13	0.08	0.03	0.01	0.10	0.07	0.09	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.10	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10	0.02	0.09
$\delta$ -cadineno	0.10	0.06	0.03	0.02	0.12	0.05	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.07	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.18	0.02	0.03
óxido de cariofileno	0.28	0.11	0.09	0.08	0.75	0.15	0.23	0.19	0.16	0.06	0.16	0.04	0.10	0.05	0.23	0.03	0.04	0.07	0.09	0.04	0.03	0.43	0.02	0.13
$\delta$ -cadinol	0.16	0.09	0.03	0.03	0.28	0.07	0.12	0.04	0.05	0.01	0.05	0.02	0.03	0.02	0.13	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.11	0.02	0.06
$\alpha$ -amirina	5.06	0.50	0.05	0.51	0.26	0.16	0.79	0.14	0.06	0.05	0.41	0.17	0.16	0.10	0.15	1.92	0.10	0.35	0.33	0.02	0.28	0.94	1.52	0.19
acetato de lupeol	0.20	0.04	0.53	0.40	0.07	0.64	0.07	0.45	0.50	0.61	0.36	0.53	0.50	0.45	0.21	0.40	0.45	0.41	0.39	0.45	0.41	0.14	0.40	0.36
betulina	7.10	0.54	7.83	0.14	0.11	7.51	0.74	2.11	8.38	0.07	1.68	2.32	2.66	0.72	2.17	1.25	0.14	0.69	0.33	0.02	1.19	0.82	0.77	0.14
$\beta$ -amirina	2.38	1.52	4.30	0.45	2.05	2.65	2.03	1.91	2.71	2.30	0.39	0.86	1.63	0.75	2.32	0.09	0.67	0.10	0.53	0.68	0.61	2.04	0.33	1.40

Anexo 3. Matriz de datos imputados de árboles manejados.

Compuestos orgánicos	Árboles manejados																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\alpha$ -tujeno	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.18	0.17	0.04	0.03	0.34	0.04	0.10	0.04	0.06	0.03	0.11	0.02	0.03	0.04	0.05
$\alpha$ -pineno	0.01	0.10	0.07	0.07	0.10	0.09	0.11	0.14	0.05	0.32	0.36	0.05	0.04	0.28	0.10	0.25	0.14	0.17	0.07	0.20	0.05	0.09	0.13	0.05
sabineno	0.04	0.04	0.07	0.08	0.06	0.05	0.05	0.07	0.05	0.08	0.08	0.04	0.04	0.08	0.05	0.10	0.07	0.10	0.05	0.08	0.02	0.05	0.05	0.05
$\beta$ -pineno	0.03	0.06	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.06	0.06	0.02	0.03	0.06	0.05	0.02	0.07	0.07	0.03	0.06	0.01	0.03	0.05	0.03
$\beta$ -mirceno	0.04	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.06	0.10	0.05	0.10	0.24	0.03	0.04	0.14	0.06	0.02	0.05	0.03	0.05	0.11	0.01	0.06	0.06	0.04
$\alpha$ -felandreno	0.69	2.46	2.49	1.93	2.53	2.05	2.52	3.36	2.48	5.61	10.98	1.35	1.37	14.54	2.82	1.55	2.53	2.56	2.11	5.08	0.36	2.30	2.96	0.83
$\beta$ felandreno	0.02	0.18	0.10	0.25	0.18	0.23	0.51	0.48	0.06	1.53	0.64	0.09	0.15	1.36	0.22	0.11	0.35	0.20	0.17	0.76	0.23	0.20	0.20	0.11
terpinoleno	0.12	0.51	0.53	1.30	0.60	0.44	0.72	0.83	0.46	1.90	2.28	0.29	0.20	2.76	0.61	0.87	0.62	0.87	0.49	1.05	0.19	0.39	0.03	0.18
verbenol	0.05	0.07	0.07	0.09	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.13	0.17	0.04	0.05	0.32	0.04	0.10	0.03	0.03	0.05	0.14	0.02	0.05	0.03	0.05
acetato de sabinilo	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.14	0.09	0.03	0.03	0.10	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.08	0.01	0.03	0.03	0.03
cariofileno	0.23	0.30	0.83	0.47	0.46	0.34	0.44	0.37	0.17	1.00	0.63	0.07	0.54	3.60	0.63	0.14	0.55	0.03	0.26	1.66	0.54	0.23	0.13	0.37
$\alpha$ -humuleno	0.06	0.08	0.10	0.13	0.03	0.07	0.08	0.12	0.07	0.25	0.17	0.04	0.06	0.19	0.07	0.19	0.06	0.08	0.06	0.16	0.05	0.07	0.07	0.06
calemeno	0.03	0.07	0.06	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07	0.05	0.19	0.14	0.03	0.03	0.15	0.06	0.01	0.06	0.07	0.08	0.14	0.01	0.05	0.06	0.02
$\delta$ -cadineno	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.23	0.15	0.05	0.06	0.15	0.07	0.09	0.06	0.06	0.06	0.13	0.02	0.06	0.06	0.06
óxido de cariofileno	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.16	0.11	0.04	0.03	0.12	0.04	0.01	0.04	0.04	0.03	0.12	0.05	0.03	0.04	0.02
$\delta$ -cadinol	0.21	0.17	0.14	0.14	0.16	0.17	0.16	0.14	0.18	0.11	0.11	0.21	0.20	0.11	0.16	0.06	0.17	0.15	0.18	0.11	0.31	0.18	0.18	0.21
$\alpha$ -amirina	1.03	1.11	0.06	0.49	0.61	0.18	0.83	0.87	0.45	0.50	47.25	1.83	0.88	1.10	0.45	0.20	3.40	6.41	1.05	6.09	1.66	0.47	0.23	0.92
acetato de lupeol	0.22	0.60	0.62	0.65	0.34	0.33	0.44	0.66	0.28	1.53	1.53	0.15	0.23	2.21	0.31	0.79	0.49	0.52	0.30	1.33	0.25	0.28	0.10	0.25
betulina	1.01	5.69	4.79	4.31	4.31	1.41	4.70	0.14	2.84	19.71	14.81	0.08	0.57	2.47	2.02	0.16	0.49	8.74	0.31	0.04	0.03	4.62	1.57	2.79
$\beta$ -amirina	0.12	7.54	3.58	4.61	3.65	3.41	4.66	5.04	2.29	5.44	5.41	0.09	0.24	5.11	3.55	3.15	3.53	3.91	3.23	5.08	0.91	3.14	2.86	1.43

Anexo 4. Datos sin normalizar (izq.), figura de datos normalizados (der.).





*“1919-2019: en memoria del General Emiliano Zapata Salazar”*

Cuernavaca, México a 6 de agosto del 2019

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México”** de la alumna **Itzel Abad Fitz**, con número de matrícula **10009406**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente  
*Por una humanidad culta  
Una universidad de excelencia*



**Dra. Belinda Josefina Maldonado Almanza**



*"1919-2019: en memoria del General Emiliano Zapata Salazar"*

Cuernavaca, Morelos, 08 agosto de 2019

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **"Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México"** de la alumna **Itzel Abad Fitz**, con número de matrícula **10009406**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente

Atentamente  
***Por una humanidad culta***  
*Una universidad de excelencia*



**Dra. Karla María Aguilar Dorantes**



“1919-2019: en memoria del General Emiliano Zapata Salazar”

Cuernavaca, México a 6 de agosto del 2019

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada “**Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México**” de la alumna **Itzel Abad Fitz**, con número de matrícula **10009406**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente  
*Por una humanidad culta  
Una universidad de excelencia*



**Dr. José Juan Blancas Vázquez**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD · UNAM

Morelia, Michoacán, 14 de agosto, 2019

**Comisión de Seguimiento Académico**

**Maestría en Biología Integrativa de la**

**Biodiversidad y la Conservación**

Presente

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México”** de la alumna **Itzel Abad Fitz**, con número de matrícula **10009406**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente

Dr. Alejandro Casas Fernández

Investigador Titular “C” de Tiempo Completo

CAMPUS MORELIA

Apartado Postal 27-3 (Santa Ma. De Guido), 58090, Morelia, Michoacán  
Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta 58190, Morelia,  
Michoacán, México. Tel: (443)3222704 y (55)56232704, Fax: (443)3222719 y (55)56232719  
[www.oikos.unam.mx](http://www.oikos.unam.mx)



CAMPUS MONTECILLO  
Postgrado Ciencias Forestales

Texcoco, Edo. de México, a 06 de agosto del 2019

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
P R E S E N T E**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México”** de la alumna **Itzel Abad Fitz**, con número de matrícula **10009406**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente

**Dr. Leonardo Alejandro Beltrán Rodríguez**  
Nombre, firma y grado del investigador

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 5 de agosto de 2019

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“Manejo de los copales y consecuencias fisiológicas de la selección humana en poblaciones de *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., en el sureste de Morelos, México”** de la alumna **Itzel Abad Fitz**, con número de matrícula **10009406**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente



**Dr. Sol Cristians Niizawa**  
Investigador Asociado C, TC  
Jardín Botánico, Instituto de Biología  
Universidad Nacional Autónoma de México

Formato de autorización para depósito de tesis en el  
Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la UAEM (RIAA-UAEM)

Folio:

<b>Datos Generales</b>		<b>Autor/Autores:</b>
Nombre completo (Nombre(s) y apellidos)	Itzel Abad Fitz	
Programa Educativo de Posgrado del que egresa	Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación	
Unidad Académica	Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC)	
Domicilio (calle, número, colonia, municipio, estado y código postal)	Av. Universidad núm. 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, código postal	
Correo electrónico	iti_abadfitz@hotmail.com	
Teléfono domicilio (incluirla)		
Teléfono celular (incluirla)	777 134 28 84	
Nombre completo del Representante Legal (De ser el caso, acompañar con el original y copia de la carta poder)		
<b>Datos del trabajo recepcional:</b>		
Título y subtítulo	MANEJO DE LOS COPALES Y CONSECUENCIAS FISIOLÓGICAS DE LA SELECCIÓN HUMANA EN POBLACIONES DE <i>Bursera bipinnata</i> (DC.) Engl., EN EL SURESTE DE MORELOS, MÉXICO	
Nombre del Director(a) de tesis	Dra. Belinda Josefina Maldonado Almanza	Seleccione una opción: <input checked="" type="radio"/> Tesis <input type="radio"/> Tesina <input type="radio"/> Memoria de trabajo <input type="radio"/> Trabajo de desarrollo profesional por etapas <input type="radio"/> Otro: _____
Nombre del Codirector(a) de tesis (si aplica)	Dra. Karla María Aguilar Dorantes	
<b>Datos del depósito en el RIAA-UAEM:</b>		
<input checked="" type="radio"/> Depósito inmediato, con acceso abierto inmediato <input type="radio"/> Depósito inmediato, con acceso abierto después del periodo de embargo <sup>1</sup> Fecha de finalización del periodo de embargo (DD/MM/AAAA): ____/____/____  <input type="radio"/> Depósito inmediato, con embargo <sup>1</sup> por tiempo indefinido.		Motivo del embargo: <input type="checkbox"/> La tesis deriva en el registro de una patente <input type="checkbox"/> La tesis deriva en la publicación de un libro <input type="checkbox"/> La tesis deriva en la publicación de un artículo de investigación en revista arbitrada <input type="checkbox"/> Otro: _____
<b>Registro INDAUTOR (Opcional):</b>		
No. de registro INDAUTOR: _____ Fecha registro (DD/MM/AAAA) : ____/____/____		

<sup>1</sup>embargo: Significa que el acceso al texto completo de una tesis está restringido para todos por un periodo fijo o indefinido después de que se deposita una tesis en el RIAA-UAEM. Los periodos de embargo pueden abarcar de 6 meses a 5 años. El motivo y la duración del embargo lo determina el(los) autor(es) de la tesis y su director(a).

Formato de autorización para depósito de tesis en el  
Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la UAEM (RIAA-UAEM)

Por este medio, se hace constar que es mi/nuestra libre voluntad en mi/nuestro doble carácter de egresado(s) de la UAEM y autor(es) del trabajo recepcional previamente especificado, lo siguiente:

I.- Hacer entrega a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en adelante UAEM, la copia digital del referido trabajo recepcional que obtuvo los votos aprobatorios, en formato PDF con un tamaño de 2.25 MB, mismo que se deposita en el Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la UAEM con fecha (DD/MM/AAAA): 21 / 08 / 19.

II.- Con fundamento en los artículos 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor y 11 y 15 fracción II de la Ley Orgánica de la UAEM y 5,7,8, 9 y 13 de los Lineamientos Generales para la Política de Acceso Abierto de la institución, autorizar a la UAEM para comunicar y exhibir públicamente, en forma total o parcial, en medios digitales, la tesis, tesina, memoria de trabajo y/o trabajo de desarrollo profesional por etapas, por un periodo de 5 (cinco) años, contados a partir de la fecha de la presente autorización. Dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar quien/quienes esto suscribe(n) aviso expreso por escrito a la UAEM de su terminación; en caso de solicitar la terminación, ésta tendrá efectividad al mes siguiente de la notificación realizada a la UAEM. Lo anterior, en el entendido de que el referido organismo público autónomo se compromete en todo momento a respetar y atribuir la autoría en la exhibición pública en medios digitales del trabajo recepcional objeto de este trámite.

III.- Quien(es) esto suscribe(n) manifiesta(n) que el contenido académico, literario, la edición y, en general, cualquier parte de la tesis, tesina, memoria de trabajo y/o trabajo de desarrollo profesional por etapas, son de mi/nuestra autoría y lo que no lo es, se encuentra correctamente referenciado, por lo que se deslinda de toda responsabilidad a la UAEM, en caso de que el contenido del trabajo recepcional (tesis, tesina, memoria de trabajo, trabajo de desarrollo profesional por etapas) o la autorización concedida, afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o, en general, cualquier derecho de propiedad intelectual de tercero(s). Asumiré/asumiremos cabal e incondicionalmente las consecuencias de cualquier acción legal que pueda derivarse del caso.

IV.- En caso de haber elegido la opción de embargo por periodo fijo o indefinido, me/nos comprometo/comprometemos a dar aviso a la UAEM de terminación anticipada del mismo, si fuera el caso.

V.- Acepto/Aceptamos que las notificaciones relacionadas al presente trámite se me/nos hagan llegar exclusivamente al correo electrónico que aparece anotado en el presente.

Nombre y firma del(os) Autor(es) o del Representante Legal		Fecha y sello de recepción de la Dirección de Desarrollo de Bibliotecas
<p><u>Itzel Abad Fitz</u> </p>		
Vo. Bo. del Director(a) de tesis	Nombre y firma del Codirector(a) de tesis (si aplica)	
<p> <u>Belinda J. Maldonado A.</u></p>	<p> <u>Karla María Aguilar Dorantes</u></p>	