



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Análisis comparativo de compuestos tipo terpénicos
en cortezas de 10 especies del género *Bursera*
(Burseraceae), con distribución en el estado de
Morelos, México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

NADIA MAIRA CARAPIA CASTRO

**DIRECTOR DE TESIS: DRA. PATRICIA GUEVARA
FEFER**

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Carapia
Castro
Nadia Maira
5514012797
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
313243710

2. Datos del tutor

Dra.
Patricia
Guevara
Fefer

3. Datos del sinodal 1

Dra.
Susana
Valencia
Avalos

4. Datos del sinodal 2

Dra.
Helia Reyna
Osuna
Fernández

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Fidel
Ocampo
Bautista

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Beatriz

Zúñiga

Ruíz

7. Datos del trabajo

Análisis comparativo de compuestos tipo terpénicos en cortezas de 10 especies del género *Bursera* (Burseraceae), con distribución en el estado de Morelos, México

40 páginas

2022

AGRADECIMIENTO ACADÉMICOS

A mi asesora Dra. Patricia Guevara Fefer, no sólo por haberme orientado durante este proceso, sino también por todos los consejos, las explicaciones, las pláticas, los conocimientos que me otorgó durante mi estancia en el Laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Ciencias. Muchas gracias por todo su tiempo y dedicación, que a pesar de los tiempos difíciles que pasamos durante la pandemia, siempre nos mantuvimos firmes y fuertes.

A los miembros del jurado: Dra. Patricia Guevara Fefer, Dra. Susana Valencia Avalos, Dra. Helia Reyna Osuna Fernández, M. en C. Fidel Ocampo Bautista y M. en C. Beatriz Zúñiga Ruíz; por sus comentarios, correcciones y tiempo dedicado al trabajo.

Al M. en C. Fidel Ocampo Bautista, por su colaboración en la recolecta e identificación taxonómica del material vegetal.

Al Dr. Felix Krengel, Técnico Académico del Laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Ciencias, por explicarme el manejo de varios equipos del laboratorio, así como orientarme en el proceso de la metodología del presente trabajo.

A todos los miembros y exmiembros Laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Ciencias: Dra. Josefina Herrera Santoyo, M. en C. Enrique Llanos Romero, M. en C. Beatriz Zúñiga Ruíz, Aura, Yohualli, Irais, Tenoch (q. e. p. d.), Vane, Natalia, por haberme dado conocimientos, tips, y por compartir bonitas experiencias conmigo.

Por último, a la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dado la oportunidad de ser parte de su comunidad, así como formarme como profesionista dentro de sus instalaciones.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi mamá, papá, Ari y Meli, por apoyarme de todas las formas posibles que hay, por darme soporte mientras elaboraba mi carrera y la tesis, por otorgarme de su amor incondicional, por siempre llenar mis recuerdos de momentos de risa. Sin ustedes no hubiera podido lograr mis metas y ser la persona que soy ahora. ¡¡Los amo mucho!!

A mi novio y mejor amigo, David, gracias por mostrarme lo bonito que es la vida a tu lado, porque haberte conocido ha sido una de mis mejores experiencias. Por haberme escuchado y apapachado en los momentos que me sentía más venerable y triste, pero también en los momentos de alegría. ¡¡Amor te amo mucho mucho!!

A mi gatita Mavis, mi mejor amiga no humana, por estar conmigo tanto en los días de angustia como de calma, por tus ronroneos llenos de amor y cariño.

A mis amig@s de la facultad: Aura, Alma y Adrián por haber hecho mis días en la facultad inolvidables, incluso en los días de estrés siempre hacían sentir todo más tranquilo y divertido. Aura linda muchas gracias por las pláticas que nos llevaban a una mezcla de llantos y risas. Y también a todos los amigos y compañeros que tuve la oportunidad de tomar clases o convivir con ustedes, muchas gracias por los buenos momentos que tuvimos juntos.

A mis amig@s fuera de la facultad: Dary, Mishell, Aldo, Jeannie, Araceli, Sandy y Fernanda, ustedes fueron una parte importante en mi formación como persona, gracias por todas las experiencias compartidas. Les quiero mucho.

ÍNDICE

1	RESUMEN	2
2	INTRODUCCIÓN.....	3
3	ANTECEDENTES	4
3.1	METABOLISMO SECUNDARIO.....	4
3.2	GÉNERO <i>BURSER</i> A	7
3.3	TERPENOS.....	8
3.4	FUNCIONES DE LOS TERPENOS EN LAS PLANTAS.....	8
3.5	TERPENOS REPORTADOS PARA EL GÉNERO <i>BURSER</i> A Y SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA.....	9
4	JUSTIFICACIÓN	16
5	HIPÓTESIS.....	16
6	OBJETIVOS.....	16
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	16
6.2	OBJETIVOS PARTICULARES	16
7	MATERIALES Y MÉTODOS	18
7.1	MATERIAL VEGETAL	19
7.2	SECADO DE MATERIAL Y OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS.....	19
7.3	ANÁLISIS DE LOS EXTRACTOS	20
7.4	ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DE LOS EXTRACTOS.....	20
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
8.1	RENDIMIENTO DE LOS EXTRACTOS.....	22
8.2	ANÁLISIS DE LOS EXTRACTOS: CROMATOGRAFÍA EN CAPA FINA.....	22
9	CONCLUSIONES.....	27
10	REFERENCIAS.....	28

1 RESUMEN

Se realizó un análisis cromatográfico de extractos no polares de cortezas de 10 especies del género *Bursera* con el fin de determinar la presencia de compuestos terpénicos en las cortezas.

Para cada especie se recolectó una muestra de corteza en el estado de Morelos. Estas muestras fueron secadas por completo a temperatura ambiente para posteriormente realizar una molienda fina. A cada una de las muestras se les hizo una extracción en frío con cloruro de metileno. Una vez obtenidos los extractos, se realizó su análisis cromatográfico por medio del equipo Automatic TLC Sampler 4 CAMAG. Se utilizó el sistema de elusión éter de petróleo: acetato de etilo: acetonitrilo (7.5:2.5:0.1) y, como revelador, el reactivo anisaldehído sulfúrico para evidenciar la presencia de terpenos. Los resultados mostraron un total de 22 compuestos distribuidos de forma diferencial en las especies. Estos compuestos corresponden principalmente a triterpenos. Sin embargo, la abundancia relativa y la intensidad de la coloración es diferente en cada una de las especies.

Los compuestos triterpénicos han sido reportados mayormente en otros órganos de la planta en varias especies del género, así como su amplia actividad biológica (insecticida, antibacteriana, antiinflamatoria). Por lo que, las cortezas estudiadas podrían ser un elemento más a considerar en la búsqueda de actividad biológica.

2 INTRODUCCIÓN

Los metabolitos secundarios son un conjunto de compuestos producidos por vías metabólicas divergentes al metabolismo primario, llamado metabolismo secundario; donde se lleva a cabo a partir de productos y/o precursores del metabolismo primario (Ávalos García & Pérez-Urilla Carril, 2009; Ncube *et al.*, 2017).

Los metabolitos secundarios les otorgan a las plantas una serie de ventajas adaptativas, ya que participan en un sinnúmero de interacciones ecológicas (Cannes do Nascimento & Fett-Neto, 2010; Wink, 2010). Denominados también, productos naturales, tienen una distribución restringida en las plantas, y algunos solo se encuentran en determinados taxa (Cannes do Nascimento & Fett-Neto, 2010).

Son los responsables de ciertas actividades en las plantas como: defensa frente a patógenos y herbívoros, atrayentes de polinizadores y dispersores de semillas, responsables de la pigmentación de flores y frutos, y forman parte de la respuesta de las plantas al estrés abiótico, entre otros) (Wink, 2010).

Han sido ampliamente utilizados por el hombre, desde la medicina tradicional hasta la industria farmacéutica, en la obtención de esencias y colorantes, e incluso en la elaboración de herbicidas e insecticidas, antimicrobianos, etc. (Tetali, 2018).

El género *Bursera* se caracteriza principalmente por la producción de terpenos, que son compuestos con una amplia actividad biológica, tales como: citotóxica, antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante, ansiolítica, insecticida, etc. (Gigliarelli *et al.*, 2015; Marcotullio *et al.*, 2018). Esto se ha observado sobre todo en resinas, hojas, ramas y frutos; pero pocos son los estudios que se han hecho en cortezas. Con el fin de contribuir al conocimiento de la composición química de las especies del género, en este trabajo se llevó a cabo un análisis cromatográfico de los extractos no polares de cortezas de diez especies.

3 ANTECEDENTES

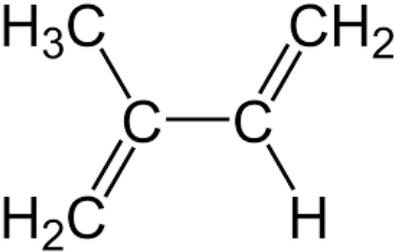
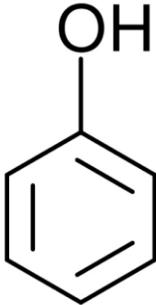
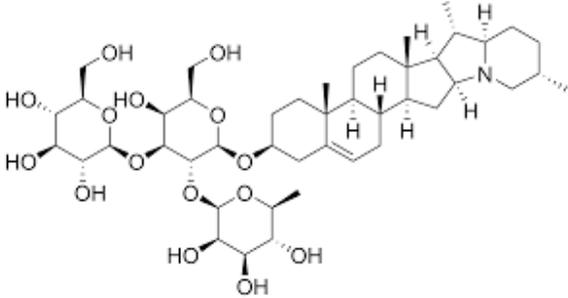
3.1 Metabolismo Secundario

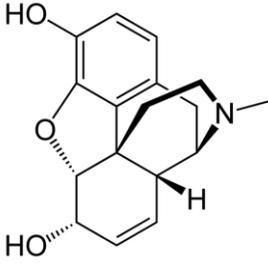
El metabolismo consiste en un conjunto de reacciones químicas que dan lugar a moléculas que ejercen diferentes funciones en los organismos. Estas moléculas son los aminoácidos, los nucleótidos, los azúcares y los lípidos, también llamados metabolitos primarios (Ávalos García & Pérez-Urilla Carril, 2009). En las plantas se dirige una gran cantidad de energía y carbono asimilado para la producción de estas moléculas orgánicas ya mencionadas. Así también, de estos metabolitos surgen los metabolitos secundarios (MS) (Ávalos García & Pérez-Urilla Carril, 2009; Ncube *et al.*, 2017).

Los MS se sintetizan en pequeñas cantidades, y son específicos dependiendo del taxa (Cannes do Nascimento & Fett-Neto, 2010). Durante mucho tiempo fueron considerados compuestos de desecho que sintetizaba la planta, pero debido al alto consumo de energía (ATP y derivados) que se necesitaba para su síntesis, transporte y almacenamiento (Wink, 2010), se empezó a tener un enorme interés en conocer las diferentes funciones biológicas de los MS en las plantas. Algunas de estas funciones son (Cannes do Nascimento & Fett-Neto, 2010; Gershenzon *et al.*, 2012; Ncube *et al.*, 2017; Wink, 2010):

- Defensa contra patógenos (animales, bacterias, hongos y virus).
- Defensa contra herbívoros.
- Defensa indirecta, atracción de parásitos y predadores de herbívoros de la planta.
- Atrayentes de polinizadores y dispersores de semillas.
- Defensa contra el estrés abiótico.
- Competencia contra otras plantas (como alelopatía).
- Interacción con otras especies mutualistas.
- Pigmentos que proporcionan color a flores y frutos.
- Otras funciones fisiológicas de la planta.

En general, los metabolitos secundarios se dividen en cuatro grupos principales (figura 1) (Ávalos García & Pérez-Urilla Carril, 2009; Gershenzon *et al.*, 2012; Verpoorter, 2000; Wink, 2010):

Metabolito secundario	Estructura química
<p>Terpenos: se caracterizan por tener unidades de isopreno (C₅) fusionados. Son de los metabolitos más numerosos en las plantas, donde se pueden encontrar reguladores de crecimiento, pigmentos y aceites esenciales, entre otros.</p>	 <p>Unidad de isopreno</p>
<p>Compuestos fenólicos: se caracterizan por tener un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo fenólico. Son un grupo que puede tener moléculas tanto muy sencillas como muy complejas. Algunos de éstos son los ácidos fenólicos, fenilpropanoides, cumarinas, flavonoides, antocianinas, lignanos y taninos.</p>	 <p>Estructura del fenol</p>
<p>Glucósidos: su molécula presenta un enlace glicosídico que se forma cuando una molécula de azúcar se condensa con otra que contiene un grupo hidroxilo. Los grupos de mayor interés son saponinas, glicósidos cardiotónicos, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos, entre otros.</p>	 <p>Saponina (α-solanina)</p>

<p>Alcaloides: presentan una base nitrogenada. La mayoría son heterocíclicos, aunque algunos son alifáticos.</p>	 <p>Estructura del opio</p>
---	---

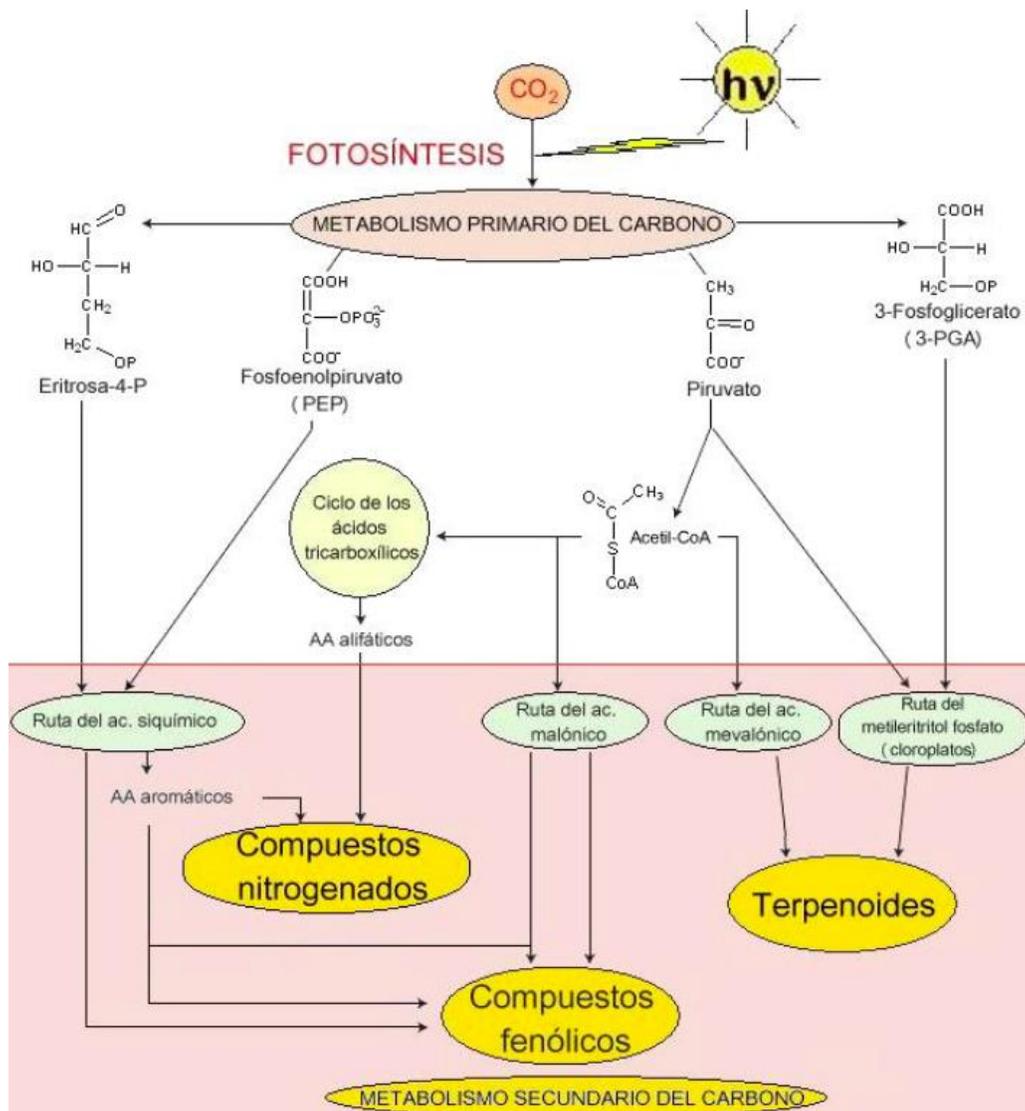


Figura 1. Diferentes rutas del metabolismo secundario en plantas vasculares (Ávalos García & Pérez-Urilla Carril, 2009).

3.2 Género *Bursera*

El género *Bursera* Jacq. ex L. pertenece a la familia Burseraceae, que incluye más de 100 especies. Las burseras, que también se conocen como cuajotes, copales, torotes o palos mulatos, están distribuidas desde el sur de Estados Unidos hasta el noroeste de América del Sur, incluidos los archipiélagos de las Antillas, Revillagigedo y los Galápagos. México presenta alrededor de 100 especies registradas (CONABIO, 2008; Rzedowski *et al.*, 2004), y se distribuyen en bosques tropicales caducifolios o selvas caducifolias, con mayor abundancia en la vertiente del Pacífico (figura 2). Estas plantas son de importancia ecológica en los ecosistemas de selva baja caducifolia o bosques tropicales caducifolios, como elementos dominantes y abundantes (Marcotullio *et al.*, 2018; Rzedowski & Kruse, 1979).



Figura 2. Diversidad de *Bursera* en la República Mexicana, con alrededor de 1500 registros georreferenciados en Global Biodiversity Information Facility (Medina Lemos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2021).

Algunas especies del género sirven de recursos para algunos organismos, como en el caso de los gorgojos, que moldean la resina producida por el copal para la formación de una cámara subterránea, donde se desarrolla la larva del insecto (CONABIO, 2008). Otro caso ya registrado es el de las abejas del género *Apis*, que recolectan la resina

para la elaboración del propóleo. Así mismo, los coatíes (*Nasua narica*) rasguñan la corteza del árbol para la extracción de la resina, y también la aprovechan para frotar su piel y así eliminar una gran variedad de ectoparásitos (CONABIO, 2008).

La resina aromática también tiene importancia cultural en algunas comunidades de Mesoamérica, por ser utilizada en rituales agrícolas. Se le considera además como un alimento divino que ayudaba a la vinculación entre deidades y humanos (Montúfar López, 2016). Por otro lado, de la especie *B. linanoe* se obtiene el aceite esencial lináloe, éste tiene gran importancia económica, como materia prima para la fabricación de algunos perfumes (Espinosa Organista *et al.*, 2008). Además de su uso como inciensos y barniz (Rzedowski & Kruse, 1979).

3.3 Terpenos

Los terpenos, también conocidos como terpenoides o isoterpenoides (Ashour *et al.*, 2010), son compuestos que se caracterizan por estar formados con bloques de isoprenos (C₅), y se clasifican dependiendo de la cantidad de bloques con las que estén compuestos: monoterpenos (C₁₀), sesquiterpenos (C₁₅), diterpenos (C₂₀), sesterterpenos (C₂₅), triterpenos (C₃₀), tetraterpenos (C₄₀), etc. (Ashour *et al.*, 2010). Además, presentan una diversidad de grupos funcionales fusionados al esqueleto del terpeno, como pueden ser alquenos, alcoholes, ésteres, éteres, aldehídos y cetonas (Ormeño y Fernández, 2012).

3.4 Funciones de los terpenos en las plantas

En las plantas, la función de los terpenos es muy variada, ya que pueden tener un papel tanto de metabolitos primarios como de metabolitos secundarios. Es decir, están involucrados en el crecimiento y desarrollo de la planta, así como en el modo en que interactúa con su entorno (Tholl, 2006). Cuando los terpenos se unen a otras moléculas de naturaleza no terpenoide, como las citoquininas, las clorofilas y las quininas (plastoquinonas y ubiquinonas), les facilitan el anclaje o el movimiento en la membrana celular (Ashour *et al.*, 2010). También los carotenoides (tetraterpenos, C₄₀) actúan como antioxidantes naturales en la planta (Tetali, 2008).

Los terpenos le otorgan a la planta una gran diversidad de funciones, como la defensa contra patógenos y herbívoros, la atracción de polinizadores (debido a coloraciones de tejidos y fragancias volátiles) y depredadores de herbívoros, así como protección contra el estrés fotooxidativo. También son mediadores en el proceso de la termorregulación, con actividad antimicrobiana, alelopáticos, etc. (Tetali, 2008; Tholl, 2006). Por ejemplo, las fitoecdisonas tienen una estructura muy parecida a las hormonas de varios insectos, por lo que pueden provocar una alteración en la formación de la larva (Granados-Sánchez *et al.*, 2008).

Los terpenos han mostrado tener una amplia gama de usos para el consumo humano, como en el caso dentro de la industria farmacéutica y de investigación biomédica, ya que pueden presentar actividades antiinflamatorias, antiquemaduras, antibacterianas, antivirales, antiantioxidantes, anticancerígenas, antimalaria, analgésicas, etc (Mahizan *et al.*, 2019; Tetali, 2008; Trapp & Crouteau, 2001). Uno de los terpenos más investigados es el paclitaxel (diterpeno), empleado para el tratamiento de cáncer de mama y de ovario. También la artemisina (sesquiterpeno lactona) se conoce principalmente por su actividad antimalaria, antiviral y anticancerígena (Ashour *et al.*, 2010; López Carreras *et al.*, 2012; Tetali, 2008).

De igual manera, son empleados como fragancias, saborizantes, perfumes, aerosoles, detergentes, desodorantes, telas, fibras, jabones, cremas, productos de papel y posiblemente combustible. Además de todo, estos compuestos pueden ser utilizados como plaguicidas (insecticidas, antimicrobianos, antiparasitarios, antifúngicos) (López Carreras *et al.*, 2012; Tetali, 2008).

Cabe agregar que el género *Bursera* se caracteriza por presentar compuestos de tipo terpénico en todos los órganos de la planta (Gigliarelli *et al.*, 2015; Marcotullio *et al.*, 2018).

3.5 Terpenos reportados para el género *Bursera* y su actividad biológica
Las especies del género *Bursera* se caracterizan por la producción de exudados (resina) en la corteza, que proporcionan una defensa contra algunos herbívoros especializados (Gigliarelli *et al.*, 2015; Marcotullio *et al.*, 2018).

Se ha registrado que las especies del género presentan compuestos como terpenos (sesquiterpenos, triterpenos, monoterpenos), lignanos, compuestos fenólicos y flavonoides (Gigliarelli *et al.*, 2015; Manzano-Santana *et al.*, 2009; Marcotullio *et al.*, 2018; Moreno *et al.*, 2010; Robles *et al.*, 2005). Además, existen reportes acerca de la actividad citotóxica, antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante, ansiolítica, e insecticida de extractos y compuestos aislados y caracterizados en diferentes especies (Junor *et al.*, 2008; Reguera Serrano, 2011; Romero-Estrada *et al.*, 2016; Sánchez-Monroy *et al.*, 2020; Zúñiga *et al.*, 2005). En la tabla 1 se muestra una recopilación de trabajos reportados para distintas especies de *Bursera* y su actividad biológica.

Tabla 1. Trabajos reportados con análisis fitoquímico del género *Bursera*, en los últimos 12 años.

Especie	Parte vegetal trabajada	Extracto trabajado o compuesto aislado	Evaluación biológica	Referencia bibliográfica
<i>B. aptera</i>	Ramas, troncos y corteza	Extractos metanólicos	Actividad antibacteriana, antifúngica y antioxidante	Rodríguez López, 2018
<i>B. arida</i>	Corteza	Extractos metanólicos	Actividad antimicrobiana	Ávila González, 2015
<i>B. biflora</i>	Ramas, fruto y hojas	Extracto metanólico	Actividad antioxidante	Cruz Doniz, 2018
<i>B. copallifera</i>	Tallo, corteza y hojas	Extractos metanólicos, hidroalcohólicos y de diclorometano	Actividad anti-inflamatoria y citotóxicidad	Columba-Palomares y colaboradores, 2015
<i>B. copallifera</i>	Resina	Formiato de 3-epilupeol, acetato de α -amirina, acetato de 3-epilupeol, lupenona, 3-epilupeol, α -amirina e indometacina	Actividad antiinflamatoria y actividad antioxidante	Romero-Estrada y colaboradores, 2016
<i>B. copallifera</i>	Hojas	5-CQA (ácido clorogénico), quercetina-3-rha-X-glc, 5 ácido <i>p</i> -coumaroyl quínico, ácido feruloil quínico, miricetina-3-gal, miricetina-3-glc, quercetin 3-glc-gálico, miricetina-3-rha, Q-3-rutina, Q-3-gal, Q-3-glc, Q-3-xyl, Q-	Citotóxicidad e inhibición de la migración en líneas celulares cancerígenas	Domínguez y colaboradores, 2018

		3-arabp, Q-3-arabf, Q-3-rha		
<i>B. copallifera</i> y <i>B. grandifolia</i>	Hojas y ramas	Extractos hexánicos, acetónicos y metanólicos	Bioinsecticida	Aldana Llanos y colaboradores, 2010
<i>B. cuneata</i>	Corteza	Extractos hexánicos, acetónicos y metanólicos	Actividad antioxidante	Becerra Cigarroa, 2019
<i>B. cuneata</i>	Hojas y estomas	Extractos metanólicos, diclometánicos y hexánicos	Actividad antiinflamatoria	Figueroa-Suárez y colaboradores, 2019
<i>B. fagaroides</i> var. <i>fagaroides</i>	Corteza	β -peltatin-A methylether, 5'-desmetoxi- β -peltatin-A methylether, desmethoxy-yatein, β -peltatin-A methyl ether, desmethoxy-yatein, deoxypodophyllotoxin, acetyl podophyllotoxin, , burseranina	Citotóxicidad	Rojas-Sepúlveda y colaboradores, 2012
<i>B. fagaroides</i>	Corteza, frutos y ramas	α -pineno, β -terpineno, limoneno, β -pineno, 4-careno, camfeno, acetato de bornilo, α -felandreno, tujeno, γ -terpieno, eudesmenol-11, terpinenol-4, cadina-1 (10) 4-dieno, o-cimeno, metil valerato, careno, terpinoleno, mentadieno, α -cariofileno, cariofileno, 2-tujeno, β -felandreno, trimetiltricicoundecano, germacreno, 3-careno, α -selineno, 2-careno, ciclopentabenzeno octahidrometil-3-metileno-4, linalool, β -mirceno, sabineno, eudesmenol-11, 1-indene, 1-etildeoctahidro-7-metil, biclodeceno-1, 2-isopropil-5-metil-9-metileno, germacreno, ciclohexeno, 4-etinil-4-meil-3-1-(1-metiletil)-(3R-trans), 2-(4-ethenil-4-metil-3-prop-1-en-2-cicloexil)propan-2-ol, 2-isopropenil, 8-dimetil octahidronaftaleno, pinocarvone, α -camfolenal, camfor, 1-etileno-7-metiloctahidro-1-indeno, umbellulol, mirtenal, 4-isopropeniltolueno, γ -elemeno, 9-	Actividad antimicrobiana	Nicolás Camargo, 2013

		o-pivaloil-n-acetilcolchinol, metil valerato, germacreno y estireno		
<i>B. fagaroides</i> var. <i>fagaroides</i>	Corteza	Burseranina, 5'-demethoxy- β -peltatin-A-methylether, acetilpodofilotoxina, podofilotoxina.	Actividad antiinflamatoria	Gutiérrez-Gutiérrez y colaboradores, 2017
<i>B. fagaroides</i>	Corteza	Podofilotoxina, β -peltatina-A-metiléter, 5'-desmetoxi- β -peltatina-A- metiléter, desmetoxiyateina, desoxipodofilotoxina, burseranina y acetil podofilotoxina	Efectos biológicos en mitosis, migración celular y microtúbulos del citoesqueleto	Antúñez-Mojica y colaboradores, 2018
<i>B. glabrifolia</i>	Hojas	α -tujeno, α -pineno, sabinena, β -pineno, β -mirceno, p-cimeno, limoneno, 1,8-cineole, ocimeno, α -terpineno, linalool, p-cimeno-8-ol, α -terpineol, verbeneno, nerolidol, elemol, espatulenol, óxido de cariofileno y α -cadinol	Efecto antibacteriano, efecto insecticida, y propiedades anti proliferativas	Villa-Ruano y colaboradores, 2018
<i>B. graveolens</i>	Partes aéreas	(3Z)-hexenol, (2Z)-hexenol, α -pineno, sabinena, β -pineno, mirceno, α -felandreno, limoneno, (Z)- β -ocimeno, (E)- β -ocimeno, γ -terpineno, p-cimeno, óxido de α -pineno, (E)-6-metil-3,5-heptadieno-2-one, trans-p-menta-2,8-dien-1-ol, (Z)-epoxiocimeno, cis-p-menta.2,8-dien-1-ol, (E)-epoxiocimeno, mentona, mentofurano, cis/trans-isopulegona, α -terpineol, neol-dihidrocarveol, trans-dihidrocarveol, trans-carveol, cis-carveol, unidentified (m/z=154, 137,119,109), pulegona, carvona, piperitona, unidentified (m/z=97, 95, 729, limoneno-10-ol, timol, perilla alcohol, piperitenona, isodieno, α -copaeno, β -bourboneno, β -elemeno, β -ylangeno, α -gurjuneno	Citotóxicidad	Monzote y colaboradores, 2012
<i>B. graveolens</i>		Aceites esenciales	Actividad antimicrobiana	Fon-Fay y colaboradores,

			a	2017
<i>B. graveolens</i>	Fruto	Aceites esenciales	Actividad acaricida	Rey-Valeirón y colaboradores, 2017
<i>B. graveolens</i>	Hojas	Aceites esenciales	Actividad insecticida	Fernández-Ruiz y colaboradores, 2018
<i>B. graveolens</i>	Hojas	Limoneno, pulegona, carvona, cariofileno y trans-carveol	Actividad repelente y fumigante	Jaramillo-Colorado y colaboradores, 2019
<i>B. graveolens</i>		Aceites esenciales	Ensayo de toxicidad	Ponce y colaboradores, 2020
<i>B. lunanii</i>	Hojas, corteza y frutos	Nonano, tujeno, α -pineno, canfeno, sabineno, β -pineno, mirceno, α -terpineno, p-cimeno, limoneno, 1,8-cineol, (Z) β -ocimeno, (E) β -ocimeno, γ -terpinoleno, terpinoleno, óxido de α -pineno, fenhol, α -canfolenal, <i>trans</i> -pinocarviol, <i>trans</i> -verbenol, pinocarvone, borneol, terpinen-4-ol, p-cimen-8-ol, myrtenal, α -terpineol, verbenona, <i>trans</i> -carveol, ascaridol, <i>cis</i> -carveol, cuminaldehído, carvona, acetato de isobornilo, <i>cis</i> -pinanediol, α -cubebeno, α -copaeno, β -elemeno, β -cariofileno, hidrato de carvona, α -humuleno, allo-aromadadrina, α -muuroleno, (E,E)- α -farneseno, δ -cadineno, <i>trans</i> -calameneno, (E)-nerolidol, (Z)-3-benzoato de hexanil, óxido de cariofileno, viridiflorol, 1-epi-cubenol, cariofila-4(14) 8(15)-dien-5 α -ol, cariofila-4(14) 8(15)-dien-5 β -ol, α -epi-cadinol, α -epi-muurolol, α -muurolol, α -cadinol, <i>trans</i> -calameneno-10-ol, cadaleno, tetradecanol, 8-hidroxi-isobutirato de isobornilo, longifolol		Junor y colaboradores, 2012
<i>B. microphylla</i>	Resina	Extractos hexánicos	Efectos anti-	Adorasio y

			proliferativos y pro-apoptóticos líneas celulares humanas cancerígenas	colaboradores, 2018
<i>B. microphylla</i>	Resina	Extractos metanólicos	Actividad citotóxica	Messina y colaboradores, 2015
<i>B. microphylla</i>	Hojas y frutos	Kaempferol, catequina, quercetina, ácido quínico, ácido elágico, kaempferol glucósido, quercetin glucósido, ácido gálico, ácido gálico glucósido, rutina, quercetina galoil glucósido	Actividad antioxidante	Vidal-Gutiérrez y colaboradores, 2020
<i>B. morelensis</i>	Parte aérea	β -tuyeno, α -pineno, sabineno, β -pineno, β -mirceno, α -felandreno, <i>o</i> -cimeno, β -felandreno, ocimeno, γ -terpineno, terpinoleno, <i>trans</i> 4,5-epoxi-careno, terpinen-4-ol, α -terpineol, neoisothujyl alcohol, 1,4,4-trimetil-2-hidroxi-6-metanol-biciclo-hexano, camfenol, pinenodiol, 7-oxabicyclo (4.1.0) heptan-2-ol-5isopropenil-2-metilo, 2-isopropil-4-metil-2-hexanal, 2,3.bornanodiol, 1-ol-3-cetona- <i>trans</i> -decahidronaftaleno, isocariofileno, α -cariofileno, β -cubebeno, denderalasin, óxido de cariofileno, β -eudesmol, ciclodecaciclotetradeceno, 14,15-didehidro-1,4,5,8, 4,6,6-trimetil-2-formilmetil-biciclo(3.1.1)hept-3-eno.	Actividad antibacteriana, en la cinética del crecimiento bacteriano y actividad antifúngica	López Hernández, 2011
<i>B. morelensis</i>	Hojas, frutos, ramas y corteza	2-thujene, α -pineno, β -thujene, β -pineno, β -mirceno, α -felandreno, <i>p</i> -cimeno, β - felandreno, eucalipto, cariofileno, α - cariofileno, ((-)-germacreno D), óxido de cariofileno, ácido mirístico, ácido hexadecanoico, <i>trans</i> -ácido oleico, ácido esteárico	Actividad anti-inflamatoria	Carrera-Martínez y colaboradores, 2014
<i>B. morelensis</i>		γ -terpineno, β -pellandreno, α -	Actividad	Rivera Yañez y

		cariofileno, α -pineno, y otros aceites esenciales	anti-candida	colaboradores, 2017
<i>B. morelensis</i>	Ramas	α -felandreno, α -pineno, camfeno, sabineno, β -mirceno, β -felandreno, α -terpineno, <i>p</i> -cimeno, <i>p</i> -mentano, γ -terpieno, terpinoleno, terpinen-4-ol, <i>p</i> -Ment-1(7)-en-2-one, cariofileno, α -caryofileno, germacreno D, cariofileno óxido, β -eudesmol	Actividad cicatrizante	Salas Oropeza, 2020
<i>B. morelensis</i>	Tronco	Aceites esenciales	Actividad anticándida	Rivera Yáñez, 2021
<i>B. schlechtendalii</i>	Ramas	Aceites esenciales	Actividad cicatrizante, antimicrobiana, capacidad abtioxidante y anti-inflamatorio	Canales Alvarez, 2017
<i>B. simaruba</i>	Corteza	Extractos hexánicos y metanólicos	Actividad antioxidante	Bah y colaboradores, 2014
<i>B. slechtendalii</i>	Hojas y resina	Aceites esenciales y compuesto volátiles de resina	Actividad ansiolítica, actividad antioxidante y repelente a mosquitos	Villa-Ruano y colaboradores, 2018
<i>B. velutina</i>	Hojas	2-feniletanol, α -felandreno y β -felandreno		Noge y colaboradores, 2011
<i>B. aptera</i> , <i>B. schlechtendalii</i> , <i>B. fagaroides</i> , <i>B. galeottiana</i> y <i>B. morelensis</i>	Hojas y ramas	Extractos hidroalcohólicos, hexánicos, metanólicos y de acetato de etilo	Actividad antimicrobiana	Cruz Olvera, 2017
<i>B. lancifolia</i> , <i>B. fagaroides</i> , <i>B. grandifolia</i> , <i>B. longipes</i> , <i>B. morelensis</i> , <i>B. copalifera</i> , <i>B. submonoliformis</i> , <i>B. bicolor</i> ,	Cortezas	Extractos de diclorometano y metanólicos	Actividad enzimática de alfa-amilasa y acetilcolinesterasa de <i>Tenebrio molitor</i>	Rodríguez Tovar, 2018

<i>B. bipinnata</i> y <i>B. linanoe</i>				
--	--	--	--	--

4 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta a los terpenos como compuestos mayormente reportados para el género *Bursera*, la amplia actividad biológica descrita para este tipo de compuestos, y el estudio en resinas, hojas y frutos principalmente; en este trabajo se evaluaron cortezas de diez especies, para la búsqueda de compuestos terpénicos, y de su actividad biológica en estudios futuros.

5 HIPÓTESIS

El género *Bursera* se caracteriza por la producción de una variedad de compuestos de tipo terpénico (monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos, etc.), y la presencia de estos compuestos varía entre las diferentes especies. Es debido a esto que los extractos de cloruro de metileno de corteza de las especies mostrarán un perfil cromatográfico que permitirá comparar la presencia de estos compuestos con las 10 especies.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

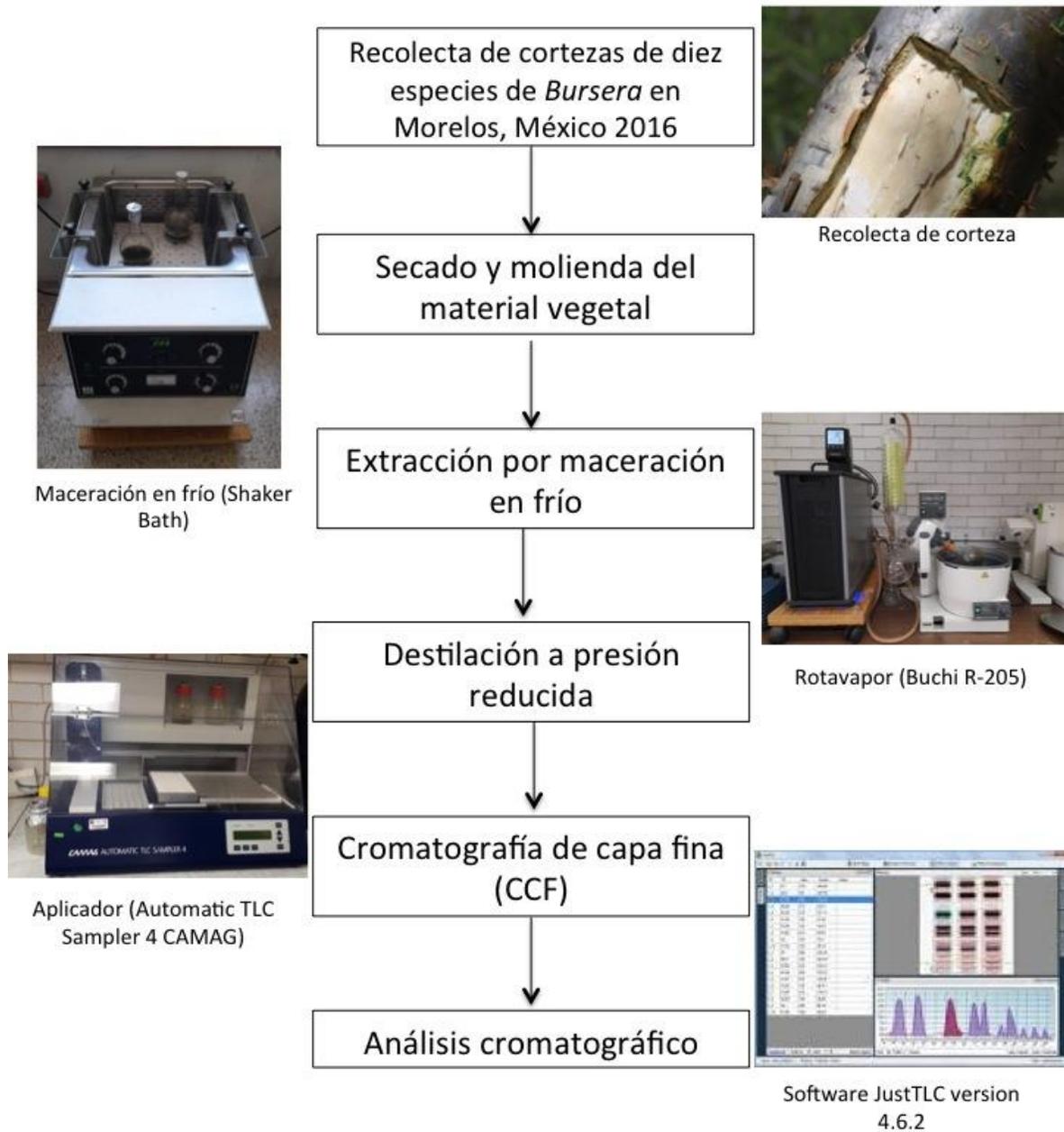
Conocer el perfil cromatográfico de compuestos presentes en extractos de cloruro de metileno de diez especies del género *Bursera*, como parte de la búsqueda de compuestos terpénicos para un estudio biodirigido.

6.2 Objetivos particulares

- Determinar mediante cromatografía de capa fina (CCF) la presencia de compuestos terpénicos en las cortezas de las diez especies del género *Bursera*.

- Analizar los cromatogramas en las diferentes especies, para establecer diferencias de compuestos entre las mismas, así como en su abundancia relativa.

7 MATERIALES Y MÉTODOS



7.1 Material vegetal

El material vegetal fue recolectado en el mes de septiembre del 2016, en el estado de Morelos, México. Se recolectaron cortezas de un individuo para cada una de las 10 especies del género *Bursera*: *B. áptera* Ramírez (HUAP11772), *B. bicolor* (Wild. ex. Schltld.) Engl., *B. bipinnata* (DC.) Bullock (FCME130010), *B. glabrifolia* (H.B.K.) Engl. (HUAP11773), *B. grandifolia* (Schltld.) Engl. (HUAP11769), *B. lancifolia* (Schltld.) Engl. (HUAP11771), *B. linanoe* (La Llave) Rzed., *B. longipes* (Rose) Standl. (HUAP11779), *B. morelensis* Ramírez (HUAP11780) y *B. submoniliformis* Engl. (HUAP11777). Para cada especie se preparó un ejemplar de herbario para su identificación taxonómica realizado por el M. en C. Fidel Ocampo Bautista. Posteriormente se depositaron en el Herbario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM.

7.2 Secado de material y obtención de los extractos

Las cortezas se dejaron secar a temperatura ambiente y se realizó una molienda fina de las mismas. Se pesaron 40 g (para *B. linanoe* se pesó 20 g debido a la baja cantidad de muestra) y se agregaron 200 ml de cloruro de metileno (CH_2Cl_2), para hacer una extracción por maceración en frío y agitación constante durante 10 días. Posteriormente los extractos fueron filtrados, y para cada uno se llevó a cabo una destilación a presión reducida en un rotavapor Buchi R-205. Posteriormente, se redisolviaron en cloruro de metileno, y se almacenaron al vacío durante dos días. Se calculó el rendimiento de los extractos para cada uno. Además, se etiquetaron las especies como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Etiquetado de los extractos de cloruro de metileno de las 10 cortezas de *Bursera*.

Especie	Etiqueta de cada extracto de cloruro de metileno
<i>B. aptera</i>	B1
<i>B. glabrifolia</i>	B2
<i>B. grandifolia</i>	B3
<i>B. lancifolia</i>	B4

<i>B. linanoe</i>	B5
<i>B. longipes</i>	B6
<i>B. morelensis</i>	B7
<i>B. submonoliformis</i>	B8
<i>B. bicolor</i>	B9
<i>B. bipinnata</i>	B10

7.3 Análisis de los extractos

Con los extractos obtenidos se realizó una cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC). Se preparó una concentración de 5 mg de extracto en 1 ml del disolvente apropiado. Se utilizaron 3 muestras estándares que han sido empleados en estudios previos con *B. fagaroides*: acetilpodofilotoxina, 5'-desmetoxi- β -peltatina-A-metileter y burseranina (Antúnez-Mojica *et al.*, 2018; Antúnez-Mojica *et al.*, 2016; Gutiérrez-Gutiérrez *et al.*, 2017; Rojas-Sepúlveda *et al.*, 2012); de igual forma a una concentración 5mg/1ml. A continuación, se colocaron 10 μ l de los extractos de diclorometano y de los estándares con el aplicador (Automatic TLC Sampler 4 CAMAG) en placas de vidrio HPTLC (20 x 10 cm) recubiertas por gel de sílice (0.25 mm). Se buscó el sistema de elución que mostrará la mejor separación de los extractos, encontrando la mejor resolución con hexano: acetato de etilo: acetonitrilo (7.5: 2.5: 0.1), en un cámara horizontal (CAMAG Horizontal Developing Chamber 2).

Posteriormente, los cromatogramas se derivatizaron con un revelador específico para terpenos: aniseldehído sulfúrico (p-anisaldehído, Sigma-Aldrich). Una vez aplicado, se calentó en una parrilla a 100 °C hasta observar cambios en la coloración de las placas. Por último, los cromatogramas fueron fotografiados a luz blanca, y luz de 365 nm y 254 nm.

7.4 Análisis cromatográfico de los extractos

El registro fotográfico fue analizado por JustTLC versión 4.6.2, con el cual fue posible detectar el número total de compuestos para cada extracto (reflejados en los R_f's de cada uno), así como su abundancia relativa.

El factor de retardo (R_f) es un cociente que decreta la zona de la sustancia en la placa cromatografía, es la diferencia de la distancia de la zona de la mancha y el punto de aplicación con la distancia entre el frente del solvente y el punto de aplicación, se obtiene a partir de la siguiente fórmula (figura 3) (Delporte, 2010):

$$R_f = \frac{Z_s}{Z_f - Z_0}$$

R_f : Factor de retardo

Z_s : Distancia entre la zona de la mancha y el punto de aplicación (mm)

Z_f : Distancia entre la zona del frente del solvente y el punto de aplicación (mm)

Z_0 : Distancia entre el nivel de solvente y el punto de aplicación (mm)

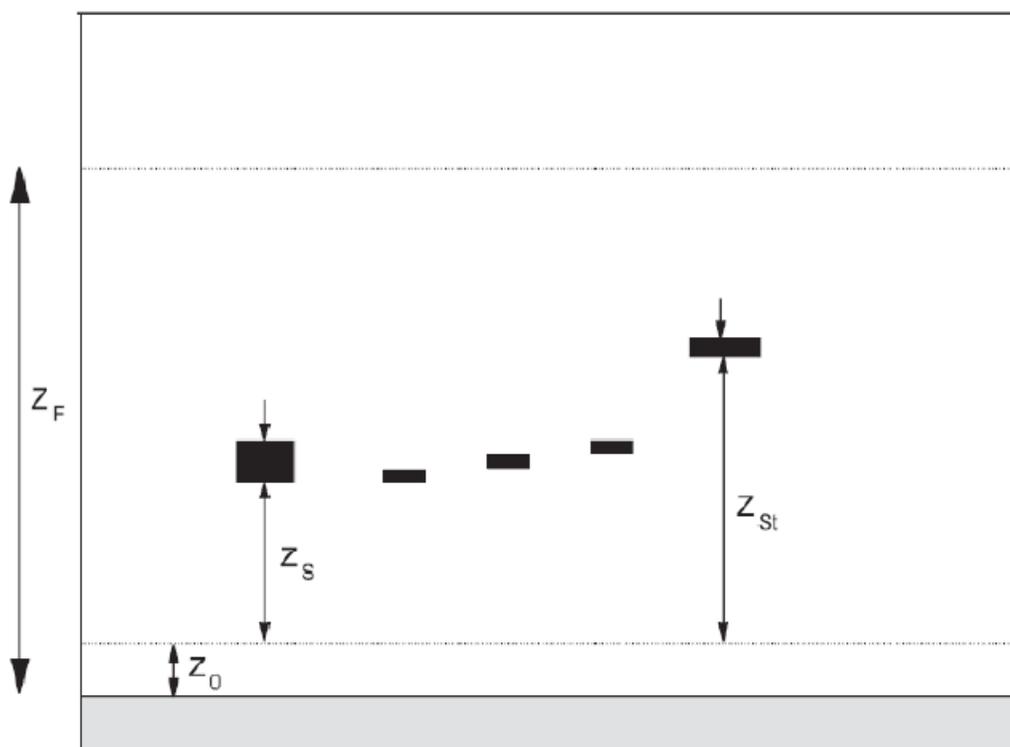


Figura 3. Representación del factor retardado (R_f) en una placa cromatográfica (Delporte, 2010).

Por lo que el valor de R_f se reflejará menor a 1.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Rendimiento de los extractos

El rendimiento de los extractos de cloruro de metileno (tabla 3) revela que *B. aptera* presenta el mayor rendimiento, con 4.775%, mientras que la que tuvo menor rendimiento fue *B. bipinnata*, con 0.0658%. El mayor rendimiento de los extractos nos permite continuar con el análisis químico de los mismos, por ejemplo, para un fraccionamiento cromatográfico. Sin embargo, es importante considerar que el rendimiento de los extractos no implica una mayor actividad, por lo que, es necesaria la obtención de extractos con una mayor cantidad de muestras.

Tabla 3. Rendimiento de los extractos de cloruro de metileno de las 10 cortezas de *Bursera*.

Especie	Peso seco cortezas (g)	Rendimiento (%)
<i>B. aptera</i>	40	4.775
<i>B. glabrifolia</i>	40	3.25
<i>B. grandifolia</i>	40	2.54
<i>B. lancifolia</i>	40	3.3
<i>B. linanoe</i>	20	2.9
<i>B. longipes</i>	40	0.575
<i>B. morelensis</i>	40	2.225
<i>B. submonoliformis</i>	40	2.475
<i>B. bicolor</i>	40	0.1573
<i>B. bipinnata</i>	40	0.0658

8.2 Análisis de los extractos: Cromatografía en Capa Fina

Una vez eluidas y reveladas las placas con anisaldehído sulfúrico (p-anisalaldehído, Sigma-Aldrich), se observó un patrón de coloración azul-violeta y rosado en todos los extractos de las cortezas analizadas (figuras 4 y 5). El color predominante observado (violeta-azulado) corresponde a la presencia de triterpenos (Wagner y Bladt, 1996).

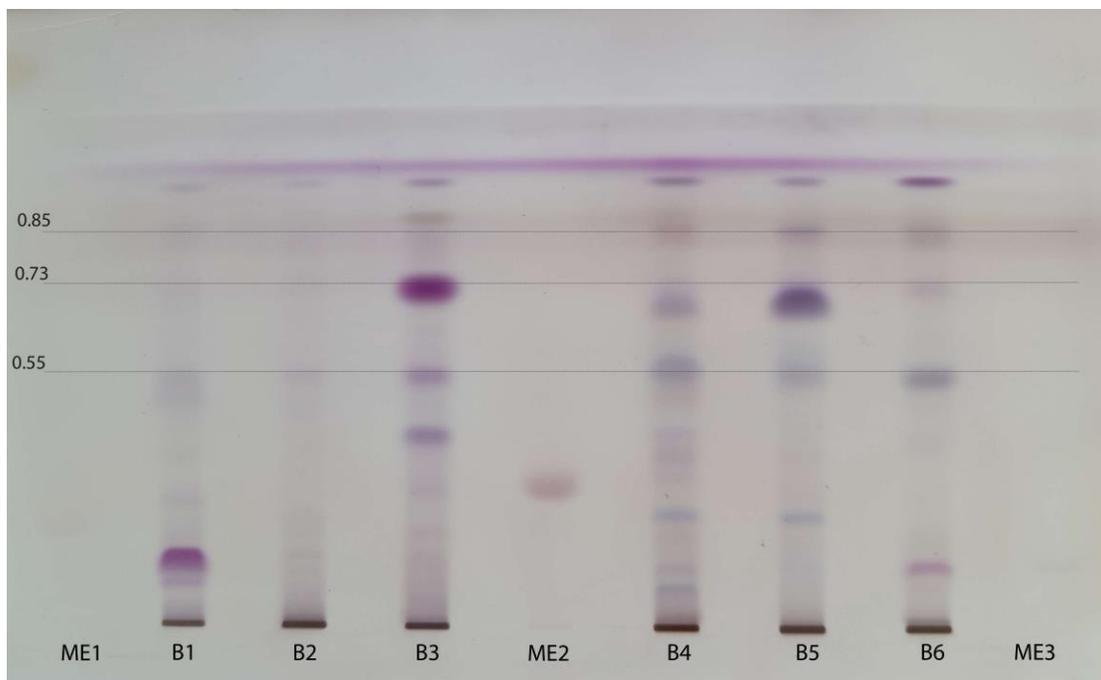


Figura 4. Cromatograma de extractos de cloruro de metileno de corteza de las 10 especies de *Bursera*, revelado con anisaldehído sulfúrico. **B1)** *B. aptera*, **B2)** *B. glabrifolia*, **B3)** *B. grandifolia*, **B4)** *B. lancifolia*, **B5)** *B. linanoe*, **B6)** *B. longipes*, **ME1)** acetilpodofilotoxina, **ME2)** 5'-desmetoxi- β -peltatina-A-metileter y **ME3)** burseranina. Muestra las Rf's que se presentaban en la mayoría de los extractos estudiados: 0.55, 0.73 y 0.85.

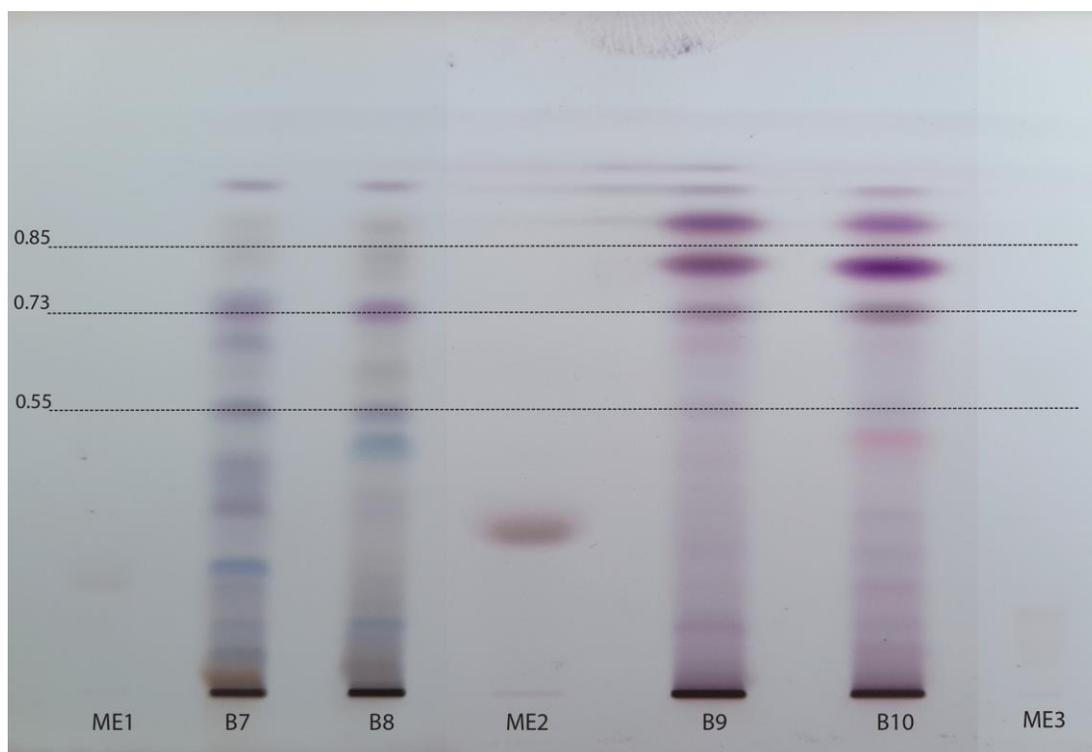


Figura 5. Cromatograma de extractos de cloruro de metileno de corteza de las 10 especies de *Bursera*, revelado con anisaldehído sulfúrico. **B7)** *B. morelensis*, **B8)** *B. submoniliformis*, **B9)** *B. bicolor*, **B10)** *B. bipinnata* **ME1)** acetilpodofilotoxina, **ME2)** 5'-desmetoxi- β -peltatina-A-metileter y **ME3)** burseranina. Muestra las Rf's que se presentaban en la mayoría de los extractos estudiados: 0.55, 0.73 y 0.85.

El análisis por software indicó un total de 22 compuestos (Rf's) (tabla 4), con diferente abundancia relativa entre las 10 muestras de las cortezas analizadas. los extractos de *B. bipinnata*, *B. grandifolia*, *B. lancifolia* y *B. morelensis* tuvieron un mayor número de compuestos, la primera con un total de 7 y las demás con 6. La especie *B. glabrifolia* solo tuvo 2 compuestos detectados.

Los compuestos que se encuentran en los Rf's 0.55, 0.73 y 0.85 son los que se presentaban en la mayoría de los extractos de cloruro de metileno. En función de esto, se propone para estudios futuros, la caracterización de las estructuras químicas de los compuestos detectados.

De los estándares utilizados, en el extracto de *B. grandifolia* se detectó la presencia 5'-desmetoxi- β -peltatina-A-metileter, compuesto previamente reportado para hoja de *B. simaruba* con actividad antiinflamatoria (Noguera *et al.*, 2006), por lo tanto, la corteza de la especie representa un potencial en la búsqueda de actividad biológica.

Tabla 4. Datos registrados mediante JustTLC versión 4.6.2, que determina los **Rf's** y la **abundancia relativa (AR)** de cada una de las cortezas. **B1)** *B. aptera*, **B2)** *B. glabrifolia*, **B3)** *B. grandifolia*, **B4)** *B. lancifolia*, **B5)** *B. linanoe*, **B6)** *B. longipes*, **B7)** *B. morelensis*, **B8)** *B. submoniliformis*, **B9)** *B. bicolor*, **B10)** *B. bipinnata*, **ME1)** acetilpodofilotoxina, **ME2)** 5'-desmetoxi- β -peltatina-A-metileter y **ME3)** burseranina.

	B1		B2		B3		B4		B5		B6		B7		B8		B9		B10		ME1		ME2		ME3	
Rf	Rf	AR	Rf	AR	Rf	AR	Rf	AR	Rf	AR																
0.14							x	9259			x	11605					x	14280								
0.15																									x	14134
1.16	x	16044																								
0.21					x	14245												x	15183							
0.24																				x	15778					
0.25							x	10835	x	15040			x	10230												
0.28	x	12988																								
0.29																			x	11086						
0.32					x	17612																		x	25048	
0.35													x	10974					x	12291						
0.38							x	18321																		
0.42					x	22015																				
0.44													x	11718												
0.48															x	14060										
0.5																			x	14280						
0.53	x	16999																								
0.55			x	12567	x	19684	x	18321	x	13865	x	16036	x	13392	x	11840	x	16800								
0.67													x	10974												
0.62															x	10175										
0.7							x	13199	x	25615																
0.73					x	34965					x	12449	x	18786	x	14060	x	14910	x	18316						
0.82																		x	16800	x	22172					
0.85	x	15280	x	15045			x	14972	x	15745	x	14137			x	10915										
0.88					x	15281																				
0.9																	x	18690	x	19280						

En un estudio previo se analizaron extractos de diclorometano de cortezas en *B. graveolens*, y de igual manera se detectaron triterpenos tetracíclicos como el ácido β -elemónico, el ácido α -elemónico y el ácido 3α -hidroxitirucala-7,24-dien-21-oico (Robles *et al.*, 2005).

Se han descrito monoterpenos y sesquiterpenos en corteza. En extractos de *B. morelensis* se encontró en mayor abundancia β -felandreno (Carrera-Martínez *et al.*, 2014); en extractos de *B. lunanii* se detectaron principalmente α -pineno y α -terpineol (Porter & Yee, 2010); y en *B. hollickii* se detectaron 63 compuestos, mayormente monoterpenos (α -pineno, β -pineno, terpinoleno, α -terpinoleno) y sesquiterpenos (β -cariofileno y α -humuleno) (Junor *et al.*, 2008). Lo anterior sugiere caracterizar el tipo de triterpenos en nuestras especies, así como determinar la presencia de flavonoides, debido a que en otros estudios se analizaron extractos metanólicos y hexánicos de corteza de la especie *B. simaruba*, con presencia de terpenos y flavonoides (Bah *et al.*, 2014).

La presencia de triterpenos se puede observar en otras partes de las plantas descritas en burseras. En resinas es donde más ha mencionado la existencia de estos metabolitos, principalmente lupano, ursano y oleanano (Gigliarelli *et al.*, 2015). En extractos hidroalcohólicos de ramas de *B. graveolens* se revelaron triterpenos esteroides (Manzano Santana *et al.*, 2009). Igualmente, en extractos de diclorometano, metano y hexano de hojas y ramas de *B. cuneata* se presentaron triterpenos como β -sitosterol, α -amirina, ácido morónico y ácido ursólico (Figueroa-Suárez *et al.*, 2019).

Otros estudios con extractos hexánicos y diclorometano-metanol (1:1) de *B. copallifera* reportan efecto citotóxico en líneas celulares de adenocarcinoma de mama (Columba-Palomares *et al.*, 2015), por lo tanto, es importante considerar la obtención y el análisis de extractos hexánicos de las cortezas analizadas en el presente trabajo.

Fernández-Ruiz *et al.* (2018) reportan con aceites esenciales de corteza y hoja de *B. graveolens* un efecto repelente contra el tenebrio *Tribolium castaneum*, de igual manera, la obtención de aceites esenciales de las especies analizadas en presente trabajo cobra suma importancia.

Aunque la mayoría de los estudios son realizados principalmente en órganos como las hojas y las ramas, son importantes los estudios biodirigidos en las cortezas

de las especies del género *Bursera*, para ampliar la descripción de la química y la actividad biológica.

9 CONCLUSIONES

- Todas las cortezas analizadas mostraron presencia de triterpenos con el sistema de elución y revelado usado, con diferentes abundancias relativas entre cada especie.
- Ninguna de las especies mostró presencia de los estándares con el sistema de dilución no polar que se empleó, a excepción de *B. grandifolia*, que presentó el estándar 5'-desmetoxi- β -peltatina-A-metileter, aunque los estándares usados en el trabajo están descritos en corteza de *B. fagaroides* (Antúnez-Mojica *et al.*, 2018; Antúnez-Mojica *et al.*, 2016; Gutiérrez-Gutiérrez *et al.*, 2017; Rojas-Sepúlveda *et al.*, 2012).
- La presencia de triterpenos no es exclusiva de la corteza en el género, sino que además se ha descrito en hojas, ramas y resinas (Figuroa-Suárez *et al.*, 2019; Gliarelli *et al.*, 2015; Manzano Santana *et al.*, 2009).
- Se necesitan estudios posteriores con las mismas cortezas de las especies, que caractericen el tipo de triterpenos encontrados, así como su posible actividad biológica.

10 REFERENCIAS

- Adorasio, S., Fierabracci, A., Gigliarelli, G., Muzcari, I., Cannarile, L., Liberati, A. M., Marcotullio, M. C., Riccardi, C., Curini, M., Robles Zepeda, R. E. & Delfino, D. V. (2018). WITHDRAWN-Administrative Duplicate Publication: The Hexane Fraction of *Bursera microphylla* A. Gray Induces p21-Mediated Anti-Proliferative and Pro-Apoptotic Effects in Human Cancer-Derived Cell Lines. *Integrative Cancer Therapies*, 17(1), 138-147.
- Aldana Llanos, L., Salinas Sánchez, D. O., Valdés Estrada, Ma. E., Gutiérrez Ochoa, M. & Valladares Cisneros, M. G. (2010). Evaluación bioinsecticida de extractos de *Bursera copallifera* (D. C.) Bullock y *Bursera grandifolia* (Schltdl.) Engl. En gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Polibotánica*, (29), 149-158.
- Antúñez-Mojica, M., Rodríguez-Salarichs, J., Redondo-Horcajo, M., León, A., Barasoain, I., Canales, Á., Cañada, F. J., Jiménez-Barbero, J., Alvarez, L. & Díaz, J. F. (2016). Structural and Biochemical Characterization of the interaction of Tubulin with Potent Natural Analogues of Podophyllotoxin. *Journal of Natural Products*, 79(8), 2113-2121.
- Antúñez-Mojica, M., Rojas-Sepúlveda, A. M., Mendieta-Serrano, M. A., Gonzalez-Maya, L., Marquina, S., Salas-Vidal, E. & Alvarez, L. (2018). Lignans from *Bursera fagaroides* affect *in vivo* cell behavior by disturbing the tubulin cytoskeleton in zebrafish embryos. *Molecules*, 24(1), 8.
- Ashour, M., Wink, M., & Gershenzon, J. (2010). Biochemistry of terpenoids: monoterpenes, sesquiterpenes and diterpenes. En M. Wink. (Ed.), *Biochemistry of plant secondary metabolism* (pp. 258-285). Willey-Blackwell.
- Ávalos García, A. & Pérez-Urria Carril, E. (2009). Metabolismo secundario de las plantas. *Reduca (Biología)*. Serie Fisiología Vegetal, 2(3), 119-145.
- Ávila González, J. V. (2015). *Caracterización del efecto del extracto metanólico de la corteza de Bursera arida sobre Leishmania mexicana* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Bah, M., Gutiérrez-Avella, D. M., Mendoza, S., Rodríguez-López, V. & Castañeda-Moreno, R. (2014). Chemical constituents and antioxidant activity of extracts obtained from

- branch bark of *Bursera simaruba*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 13(6), 527-536.
- Becerra Cigarroa, J. M. (2019). *Actividad antioxidante de Bursera cuneata (Schlecht.) (Burseraceae): estudio diferencial entre individuos masculinos y femeninos* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Canales Álvarez, O. (2017). *Estudio preliminar de la actividad cicatrizante del aceite esencial de Bursera schlechtendalii ENGLER* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Cannes do Nascimento, N. & Fett-Neto, A. G. (2010). Plant secondary metabolism and challenges in modifying its operation: an overview. En Arthur Germano Fett-Neto. (Ed.), *Plant secondary metabolism engineering methods and Applications* (pp. 1-13). Humana Press.
- Carrera-Martínez, C. A., Rosas-López. R., Rodríguez-Monroy. M. A., Canales-Martínez, M. M., Román-Guerrero, A. & Jiménez-Alvarado, R. (2014). Chemical composition and in vivo anti-inflammatory activity of *Bursera morelensis* Ramírez essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(5), 758-768.
- Columba-Palomares, M. C., Villareal, M. L., Acevedo Quiroz, M. E., Marquina Bahena, S., Álvarez Berber, L. P. & Rodríguez-López, V. (2015). Anti-inflammatory and cytotoxic activities of *Bursera copallifera*. *Magazine Pharmacognosy*, 11, S322-S328.
- CONABIO. (2008). *Copales, diversidad y cultura*. Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad.
- Cruz Doniz, I. (2018). *Análisis fitoquímico y evaluación de la actividad antioxidante del extracto metanólico de Bursera biflora (Rose) Standl. (Burseraceae)* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Cruz Olvera, G. (2017). *Actividad antimicrobiana y antioxidante de extractos hidroalcohólicos de especies del género Bursera* [Tesis de licenciatura, UNAM].
- Delporte Vergara, C. L. (Cord.) (2010). *Farmacognosia. Trabajos Prácticos*. Departamento de Química Farmacológica y Toxicológica, Facultad de Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.
- Domínguez, F., Maycotte, P., Acosta-Casique, A., Rodríguez-Rodríguez, S., Moreno, D. A., Ferreres, F., Flores-Alonso, J. C., Delgado-López, M. G., Pérez-Santos, M. & Anaya-

- Ruiz, M. (2018). *Bursera copallifera* Extracts Have Cytotoxic and Migration-Inhibitory Effects in Breast Cancer Cell Lines. *Integrative Cancer Therapies*, 17(3), 654-664.
- Espinosa Organista, D., Montaña Arias, G. & Becerril Cruz, F. (2008). ¿Qué son y dónde viven los copales? En Purata, S. (Ed), *Uso y manejo de los copales aromáticos: resinas y aceites. Manuscrito*. Iniciativa Copales y diversidad biológica del Programa Recursos Biológicos Colectivos de la CONABIO.
- Fernández-Ruiz, M., Yepes-Fuentes, L., Tirado-Ballestas, I. & Orozco, M. (2018). Actividad repelente del aceite esencial de *Bursera graveolens* Jacq. ex L., frente *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 (Coleoptera:Tenebrionidae). *Anales de Biología*, 40, 87-93.
- Figuroa-Suárez, M. Z., González Christen, J., Cardoso-Taketa, A. T., Gutiérrez Villafuerte, M. C. & Rodríguez-López, V. (2019). Anti-inflammatory and antihistaminic activity of triterpenoids isolated from *Bursera cuneata* (Schldl.) Engl. *Journal of Ethnopharmacology*, 238, 111786.
- Fon-Fay, F. M., Casariego, A., Falco, A. S. & Pino, J. A. (2017). Actividad antimicrobiana de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm, *Bursera graveolens* (Kunth) Triana y Planch, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. Y *Curcuma longa* (L.) sobre microorganismos contaminantes de alimentos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(3), 27-31.
- Gershenzon, J., Fontana, A., Burow, M., Wittstock, U. & Degenhardt, J. (2012). Mixtures of plant secondary metabolites: metabolic origins and ecological benefits. En G. R. Iason, M. Dicke & S. E. Hartley. (Eds.), *The ecology of plant secondary metabolites: from genes to global processes* (pp. 56-77). Cambridge University Press.
- Gigliarelli, G., Becerra, J. X., Curini, M. & Marcotullio, M. C. (2015). Chemical Composition and Biological Activities of Fragrant Mexican Copal (*Bursera* spp.). *Molecules*, 20, 22383-22394.
- Granados-Sánchez, D., Ruíz-Puga, P. & Barrera-Escorcia, H. (2008). Ecología de la herbivoría. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(1), 51-63.
- Gutiérrez-Guriérrez, F., Puebla-Pérez, A. M., González-Pozos, S., Hernández-Hernández, J. M., Pérez-Rangel, A., Alvares, L. P., Tapia-Pastrana, G. & Castillo-Romero, A. (2017).

- Antigiardial Activity of Podophyllotoxin-Type Lignans from *Bursera fagaroides* var. *fagaroides*. *Molecules*, 22(5), 799-810.
- Jaramillo-Colorado, B. E., Suarez-López, S. & Marrugo-Santander, V. (2019). Volatile chemical composition of essential oil from *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch and their fumigant and repellent activities. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 41, 46822.
- Junor, G. A. O., Porter, R. B. R., Yee, T. H. & Williams, L. A. D. (2008). Chemical Composition and Insecticidal Activity of the Essential Oils from *Bursera hollickii* (Britton) Found in Jamaica. *Journal of Essential Oil Research*, 20(6), 560-565.
- Junor, G. A. O., Porter, R. B. R. & Yee, T. H. (2012). Chemical Composition of Essential Oils from the Aerial Parts of Jamaican *Bursera lunanii* Spreng. *Journal of Essential Oil Research*, 22(6), 602-605.
- López-Carreras, N., Miguel, M. & Aleixandre, A. (2012). Propiedades beneficiosas de los terpenos iridoides sobre la salud. *Nutr. clín. diet. hosp.*, 32(3), 81-91.
- López Hernández, L. R. (2011). *Propiedades medicinales y determinación de los compuestos del aceite esencial de Bursera morelensis Ramírez* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Mahizan, N. A., Yang, S. K., Moo, C. L., Song, A. A. L., Chong, C. M., Chong, C. W., Abushelaibi, A., Lim, E. S. & Lai, K. S. (2019). Terpene derivatives as a potential agent against antimicrobial resistance (AMR) pathogens. *Molecules*, 24(14), 2631.
- Manzano Santano, P., Miranda, M., Gutiérrez, Y., García, G., Orellana, T. & Orellana, A. (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.
- Marcotullio, M. C., Curini, M. & Becerra, J. X. (2018). An Ethnopharmacological, Phytochemical, and Pharmacological Review on Lignans from Mexican *Bursera* spp. *Molecules*, 23(8). 1976.
- Medina Lemos, R. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2021). *El género Bursera en México*. Parte II. Versión 1.9.
- Messina, F., Curini, M., Di Sano, C., Zadra, C., Gigliarelli, G., Rascón-Valenzuela, L. A., Robles Zepeda, L. A., Robles Zepeda, R. E. & Marcotullio, M. C. (2015). Diterpenoids and

- triterpenoids from the resin of *Bursera microphylla* and their cytotoxic activity. *Journal of natural products*, 78(5), 1184-1188.
- Montúfar López, A. (2016). Copal de *Bursera bipinnata*. Una resina mesoamericana de uso ritual. *Trace (México, DF)*, (70), 45-78.
- Monzote, L., Hill, G. M., Cuellar, A., Scull, R. & Setzer, W. N. (2012). Chemical Composition and Anti-proliferative Properties of *Bursera graveolens* Essential Oil. *Natural Product Communications*, 7(11), 1531-1534.
- Moreno, J., Rojas, L. B., Aparicio, R., Marcó, L. M. & Usubillaga, A. (2010). Chemical composition of the essential oil from the bark *Bursera tomentosa*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(6), 491-494.
- Ncube, B., Ashwell, R. N. & Johannes van, S. (2017). Secondary metabolism and the rationale for systems manipulation. En J. Sumita. (Ed.), *Transgenesis and Secondary Metabolism* (pp. 51-53). Springer.
- Nicolás Camargo, R. M. (2013). *Variación en la composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de Bursera fagaroides* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Noge, K., Lawrence Venable, D. & Becerra, J. X. (2011). 2-Phenylethanol in the leaves of *Bursera velutina* Bullock (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*, (97), 9-16.
- Noguera, B., López-Pérez, J. L., San Feliciano, A., Díaz, E., García, M. V. & Israel, A. (2006). Actividad antiinflamatoria de la metil- β -peltatina A aislada de la hoja de la sp. *Bursera simaruba* (L.) sarg. (Burseraceae). *Revista Facultad de Farmacia*, 69(1 y 2), 28-33.
- Ormeño, E. & Fernández, C. (2012). Los terpenos de las plantas. *Investigación y ciencia*, 428(1), 62-69.
- Ponce, H., Iannacone, J., Alvariano, L. & Carhuapoma, M. (2020). Toxicidad de los aceites esenciales de *Bursera graveolens*, *Lepechinia meyenii* y *Myrtus communis* sobre *Chrysoperla asoralis*, *Chrysoperla externa* y *Ceraeochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae). *Revista Campus*, 25(29), 41-55.
- Reguera Serrano, J. J. (2011). *Caracterización de la actividad de extractos vegetales en la alimentación de Spodoptera frugiperda (Smith) como modelo de estudio* [Tesis de Maestría, UNAM].

- Rey-Valeirón, C., Guzmán, L., Saa, L. R., López-Vargas, J. & Valarezo, E. (2017). Acaricidal activity of assential oils of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch and *Schinus molle* L. on unengorged larvae of cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari:Ixodidae). *Journal of Essential Oil Research*, 29(40), 344-350.
- Rivera Yáñez, C. R. (2021). *Evaluación del aceite esencial de Bursera morelensis sobre algunos procesos de patogenicidad de Candida albicans* [Tesis de Doctorado, UNAM].
- Rivera Yáñez, C. R., Terrazas, L. I., Jimenez-Estrada, M., Campos, J. E., Flores-Ortiz, C. M., Hernández, L. B., Cruz-Sanchez, T., Garrido-Fariña, G. I., Rodriguez-Monroy, M. A. & Canales-Martinez, M. M. (2017). Anti-*Candida* activity of *Bursera morelensis* Ramirez essential oil and two compounds, α -pinene and γ -terpinene an in vitro study. *Molecules*, 22(12), 2095.
- Robles, J., Torrenegra, R., Gray, A. I., Piñeros, C., Ortiz, L. & Sierra, M. (2005). Triterpenos aislados de corteza de *Bursera graveolens* (Burseraceae) y su actividad biológica. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 15(4), 283-286.
- Rodríguez López, M. G. (2018). *Tamizaje biodorinado del extracto metanólico de Bursera aptera Ramírez de San Rafael, Coxcatlán, Puebla* [Tesis de Maestría, UNAM].
- Rodríguez Tovar, P. D. (2018). *Efecto In Vitro de extractos orgánicos de corteza de diez especies del género Bursera sobre la actividad enzimática de alfa-milasa y acetilcolinesterasa de Tenebrio molitor* [Tesis de Licenciatura, UNAM].
- Rojas-Sepúlveda, A. M., Mendieta-Serrano, M., Antúnez Mojica, M. Y., Salas-Vidal, E., Marquina, S., Villarreal, M. L., Puebla, A. M., Delgado, J. I. & Alvarez, L. (2012). Cytotoxic podophyllotoxin type-lignans from the steam bark of *Bursera fagaroides* var. *fagaroides*. *Molecules*, 17, 9506-9519.
- Romero-Estrada, A., Maldonado-Magaña, A., González-Christen, J., Marquina Bahena, S., Garduño-Ramírez, M. L., Rodríguez-López, V. & Alvarez, L. (2016). Anti-inflammatory and antioxidative effects of six pentacyclic triterpenes isolated from the Mexican copal resin of *Bursera copallifera*. *BMC Complementary & Alternative Medicine*, 16, 1-10.

- Rzedowski, J., Lemos, R. M. & de Rzedowski, G. C. (2004). Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Botanica Mexicana*, (66), 23-151.
- Rzedowski, J., Lemos, R. M. & de Rzedowski, G. C. (2005). Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botanica Mexicana*, (70), 85-111.
- Rzedowski, J. & Kruse, H. (1979). Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae). *International Association for Plant Taxonomy*, 28(1), 103-116.
- Salas Oropeza, J. (2020). *Caracterización química y actividad cicatrización del aceite esencial de Bursera morelensis Ramírez* [Tesis de Doctorado, UNAM].
- Sánchez-Monroy, Ma. B., León-Rivera, I., Llanos-Romero, R. E., García-Bores, A. M. & Guevara-Fefer, P. (2021). Cytotoxic activity and triterpenes content of nine Mexican species of *Bursera*. *Natural Product Research*, 35(22), 4881-4885.
- Tetali, S. D. (2019). Terpenes and isoprenoids: a wealth of compounds for global use. *Planta*, 249(1), 1-8.
- Tholl, D. (2006). Terpene synthases and the regulation, diversity and biological roles of terpene metabolism. *Current opinion in plant biology*, 9(3), 297-304.
- Trapp, S. C. & Croteau, R. B. (2001). Genomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. *Genetics*, 158(2), 811-832.
- Verpoorte, R. (2000). Secondary Metabolism. En R. Verpoorte y A. W. Alfermann. (Eds.), *Metabolic Engineering of Plant Secondary Metabolism* (pp. 1-5). Kluwer Academic Publishers.
- Vidal-Gutiérrez, M., Robles-Zepeda, R. E., Vilegas, W., Gonzalez-Aguilar, G. A., Torres-Moreno, H. & López-Romero, J. C. (2020). Phenolic composition and antioxidant activity of *Bursera microphylla* A. Gray. *Industrial Crops & Products*, 152, 112412.
- Villa-Ruano, N., Becerra Martínez, E., Cruz-Durán, R., Zarate-Reyes, J. A., Landeta-Cortés, G. & Romero-Arenas, O. (2018). Volatile profiling, insecticidal, antibacterial and antiproliferative properties of the essential oils of *Bursera glabrifolia* leaves. *Chemistry & biodiversity*, 15(11), e1800354.
- Villa-Ruano, N., Pacheco-Hernández, Y., Becerra-Martínez, E., Zarate-Reyes, J. A. & Cruz-Durán, R. (2018). Chemical profile and pharmacological effects of the resin and

essential oil from *Bursera slechtendalii*: A medical “copal tree” of southern Mexico. *Fitoterapia*, 128, 86-92.

Wagner, H. & Bladt, S. (1996). *Plant drug analysis: a thin layer chromatography atlas*. Springer Science & Business Media.

Wink, M. (2010). Introduction biochemistry, physiology and ecological functions of secondary metabolites. En M. Wink. (Ed.), *Biochemistry of plant secondary metabolism* (pp. 1-17). Willey-Blackwell.

Zúñiga, B., Guevara-Fefer, P., Herrera, J., Contreras, J. L., Velasco, L., Pérez, F. J. & Esquivel, B. (2005). Chemical composition and anti-inflammatory activity of the volatile fractions from the bark of eight mexican *Bursera* species. *Planta Med*, 71(9), 825-828.