



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA**



**"ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS METABOLITOS  
MAYORITARIOS OBTENIDOS DE LOS EXTRACTOS  
HEXÁNICOS DE *BURSERA ATTENUATA* Y *BURSERA  
ROSEANA* DOS *BURSERACEAE* PERTENECIENTES AL  
COMPLEJO SIMARUBA".**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUÍMICA FARMACOBIOLOGA**

Presenta:

Ninfa Maldonado Maldonado

Director

D.C. Juan Diego Hernández Hernández

**Morelia, Michoacán.**

**MARZO 2020**

**EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA DE PRODUCTOS NATURALES DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICO BIOLÓGICAS, DE LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL D.C. JUAN DIEGO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ Y DE LA DRA. LUISA URANIA ROMÁN MARÍN†.**

**EL TEMA DE ESTA TESIS FORMA PARTE DEL PROYECTO ESTUDIO DE LOS EXTRACTOS NO POLARES Y POLARES DE RAMAS, HOJAS, FRUTILLAS Y RESINA DE *BURSERACEAE* 2017-2019**

**APOYADO POR LA COORDINACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA U. M. S. N. H.**

Parte de este trabajo se presentó en los siguientes eventos académicos:

1.-“Metabolitos secundarios obtenidos de tallos de bursera kerberi y bursera suntui” Ninfa Maldonado Maldonado, Juan D. Hernández Hernández, Ángel A. del Río-Chávez, Presentado en el 5° Verano Nicolaita en Abril 2016, en Morelia Michoacán, México.

2.-“Purificación de derivados verticilenos” Ninfa Maldonado Maldonado, Ángel A. del Río-Chávez, Juan D. Hernández Hernández, Hugo A. García-Gutiérrez, Carlos M. Cerda-García-Rojas. Presentado en la 13° Reunión Internacional de Investigación en Productos Naturales celebrada del 17 a 20 de Mayo de 2017, Morelia, Michoacán, México.

3.-“Reactividad de los dobles enlaces del verticila-3, 7,12-trien-20-ol” Ángel A. del Río-Chávez, Juan D. Hernández Hernández, Ninfa Maldonado Maldonado, Hugo A. García-Gutiérrez, Luisa U. Román-Marín, Carlos M. Cerda-García-Rojas, Pedro Joseph-Nathan. Presentado en la 14ª Reunión Internacional de Investigación de Productos Naturales celebrada del 23 a 26 de mayo de 2018, Cuernavaca, Morelos, México. *Rev. Latinoamer. Quim.* 2018, 46 (Suplemento Especial), p. 145.

4.-“Comparación de metabolitos secundarios de *Bursera attenuata* de dos localidades diferentes” Ninfa Maldonado Maldonado, Ángel A. del Río-Chávez, Juan D. Hernández Hernández. Presentado en el 6° Verano Nicolaita celebrada en agosto 2017 en Morelia Michoacán, México.

5.-“Caracterización de los metabolitos del extracto hexanico de tallos de *Bursera Attenuata*” Ninfa Maldonado Maldonado, Ángel A. del Río-Chávez, Juan D. Hernández Hernández. Presentado de manera oral en el 12° congreso de ciencia Tecnología e Innovación en Morelia Michoacán en Octubre 2017.

6.- “Caracterización de metabolitos secundarios obtenidos del extracto Hexanico de tallos de *Bursera Attenuata*” Ninfa Maldonado Maldonado, Juan D. Hernández Hernández. Presentado en modalidad oral en el 7° Verano Nicolaita en Morelia Michoacán en abril 2018.

7.-“Distribución de triterpenos de esqueleto oleanano en doce especies de Burseraceae” Ninfa Maldonado Maldonado, María Guadalupe Álcantar Orozco, Juan D. Hernández Hernández, Carlos M. Cerda-García-Rojas, Pedro Joseph-Nathan. Presentado en la 15° Reunión en Productos Naturales en San Luis Potosí, en Mayo 2019.

8.-“Tratamiento ácido del 3:4- 7:8-Diepoxi-12-epi-verticilol, proveniente del metabolito mayoritario obtenido del extracto hexanico de *Bursera Kerberi*”. Ninfa Maldonado Maldonado, Juan D. Hernández Hernández, Carlos M. Cerda-García-Rojas, Pedro Joseph-Nathan. Presentado en el 14° Congreso Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación en Morelia Michoacán (Octubre 2019).

# ÍNDICE

<b>RESUMEN, ABSTRACT, JUSTIFICACIÓN OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS PARTICULARES</b>	-----	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	-----	<b>6</b>
<b>PARTE TEÓRICA</b>	-----	<b>39</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	-----	<b>51</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	-----	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	-----	<b>66</b>

**TÍTULO:** "Estudio comparativo de los metabolitos mayoritarios obtenidos de los extractos hexánicos de *Bursera attenuata* y *Bursera roseana* dos *Burseraceae* pertenecientes al complejo simaruba"

**PALABRAS CLAVE:** *Bursera attenuata*; *Bursera roseana*; complejo simaruba; metabolito ; comparación.

**RESUMEN :** En el presente trabajo se describe la obtención de los metabolitos mayoritarios obtenidos de los extractos hexánicos de dos especies de *Burseraceae* pertenecientes a la sección *Bursera*; y al complejo simaruba, correspondientes de la *Bursera attenuata* y a la *Bursera roseana* y la comparación de los resultados con los obtenidos previamente de otras especies. Obteniendo de cada uno de sus metabolitos su espectro de RMN H<sup>+</sup> para su respectiva caracterización de los compuestos aislados en el caso de la *Bursera attenuata* se obtuvieron en las primeras fracciones se aislo un compuesto alicíclico que se caracterizó como el mirceno el cual en esta *Bursera* es el aceite esencial, se obtuvieron esqueletos de lignanlactonas (-)-yateína y (-)-deoxipodofilotoxina, en fracciones de mayor polaridad a partir de la F-26 se obtuvo una mezcla de metabolitos mayoritariamente triterpénicos y en pequeña cantidad un metabolito diterpénico verticilénico, que sólo se lograron separar mediante cromatografías sucesivas en el que el 3-*epi*-lupeol se obtuvo como componente mayoritario y el (+)-12-*epi*-verticilol, y del resto de las fracciones eluidas, sólo se obtuvieron mezclas de diversa proporción correspondientes al 3-*epi*-lupeol; 3-*epi*-lupeol;  $\alpha$ -amirina,  $\beta$ -amirina; el (+)-12-*epi*-verticilol, diterpeno aislado por vez primera vez de una *Bursera* que no se encuentra incluida en los "cuajotes rojos" y que pertenece a otro grupo de *Burseras* llamado complejo simaruba. Del estudio preliminar de los metabolitos obtenidos de la *Bursera roseana* (Rose) Riley la cual pertenece también al complejo simaruba, fueron aislados los metabolitos del extracto hexánico de los tallos se los cuales se caracterizaron obteniéndose una mezcla de los verticiloles epiméricos en C-12 correspondientes al (+)-verticilol y al (+)-12-*epi*-verticilol aislados con anterioridad de los "cuajotes rojos" *Bursera suntui*; el (+)-verticilol y dos verticilenos funcionalizados adicionalmente en C-20 y de la *Bursera kerberi* Engl., verticilenos hidrocarbonados y el (+)-12-*epi*-verticilol.

**ABSTRACT :**

This paper describes the obtaining of the major metabolites obtained from the hexane extracts of two *Burseraceae* species belonging to the *Bursera* section; and to the simaruba complex, corresponding to *Bursera attenuata* and *Bursera roseana* and the comparison of the results with those obtained previously from other species. Obtaining from each of its metabolites its H<sup>+</sup> NMR spectrum for its respective characterization of the isolated compounds in the case of the *attenuata* *Bursera* were obtained in the first fractions an alicyclic compound that was characterized as the myrcene was isolated which in this *Bursera* is the essential oil, skeletons of lignanlactones (-) - yatein and (-) - deoxypodophyllotoxin were obtained, in fractions of greater polarity from F-26 a mixture of mostly triterpenic metabolites was obtained and in small quantity a diterpenic verticlenic metabolite, that they were only able to separate by means of successive chromatographs in which 3-*epi*-lupeol was obtained as the majority component and (+) -

12-epi-verticilol, and from the rest of the eluted fractions, only mixtures of different corresponding proportions were obtained to 3-epi-lupeol; 3-epi-lupeol;  $\alpha$ -amirin,  $\beta$ -amirin; the (+) - 12-epi-verticilol, diterpene isolated for the first time from a *Bursera* that is not included in the "red cuajotes" and that belongs to another group of *Burseras* called simaruba complex. From the preliminary study of the metabolites obtained from the *Bursera roseana* (Rose) Riley which also belongs to the simaruba complex, the metabolites of the hexane extract from the stems were isolated, which were characterized by obtaining a mixture of the corresponding C-12 epimeric verticylols al (+) - verticilol and al (+) - 12-epi-verticilol previously isolated from the "red cuajotes" *Bursera suntui*; the (+) - verticilol and two verticilenes additionally functionalized in C-20 and *Bursera kerberi* Engl., hydrocarbon verticilenes and the (+) - 12-epi-verticilol.

**JUSTIFICACIÓN :** Los Diterpenos bicíclicos, aislados de fuentes naturales diversas como líquenes, musgos (hepáticas)<sup>1</sup>, pináceas<sup>2</sup>, Taxáceas<sup>3</sup> y Burseraceas<sup>4</sup>, y en particular de tallos y resina de *Bursera kerberi* ; de tallos de la *B. suntui* y *B. multifolia*<sup>4</sup>, reportados como verticilenos hidrocarbonados ; (+)-verticilol , su epímero (+)-12-epi-verticilol y verticilenos funcionalizados en C-20 obtenidos enantioméricamente puros, marcan un antecedente para la continuación de otras especies afines ó no.

**OBJETIVOS GENERALES:**

- 1.- Aislar, purificar e identificar los metabolitos provenientes de dos especies de Burseraceae.
- 2.- Comparar la composición de los metabolitos mayoritarios con los obtenidos de otras especies.

**OBJETIVOS PARTICULARES:**

- 1.- Aplicar los métodos de aislamiento, purificación e identificación a las 2 especies de Burseraceae.
- 2.- Identificar y comparar los metabolitos mayoritarios aislados con los de otras especies.
- 3.- Relacionar la afinidad o cercanía entre las especies estudiadas de acuerdo a los metabolitos aislados mayoritariamente.

## INTRODUCCIÓN

El significado que se tiene de una **Clasificación** en Biología es el de ordenar los seres vivos de acuerdo con sus características y semejanzas, en clases definidas que por último van a constituir un sistema.

Existen diversos fines, motivos, razones etc., para llevar a cabo una clasificación, por lo que se puede agrupar a las plantas que son de interés desde el punto de vista económico, además de variadas importancias, como puede ser Agronómica, Forestal, Industrial, etc. Así por ejemplo se encuentran referidas en la literatura clasificaciones basadas en algunos de estos motivos, en las que son consideradas las plantas, tanto cultivadas como silvestres que algunos autores las llaman espontáneas, las cuales las consideran de acuerdo a la utilidad o finalidad que se les dé; por ejemplo se enlistan algunas de las clasificaciones con base a lo anteriormente mencionado:

### **1-Plantas textiles de fibra.**

La Clasificación de las Fibras Naturales dada su importancia económica y comercial a nivel mundial involucra a especies vegetales distribuidas en diferentes familias entre las que se encuentran: Amarillidaceae, Bromeliaceae, Gramineae, Liliaceae, Musaceae, Urticaceae, Palmaceae, Malvaceae, Linaceae, Bombacaceae, Leguminosae, Moraceae y Tiliaceae<sup>1-4</sup>.

La Familia Malvaceae, según el APG II incluye Tiliaceae, Sterculiaceae y Bombacaceae, manteniéndose cada una de ellas a nivel de subfamilia y es considerada casi cosmopolita, distribuida en regiones templadas y cálidas de todo el mundo.

En cuanto a la Diversidad, las Malvaceae es una familia que abarca más de 100 géneros y quizá alrededor de 2000 especies a nivel mundial.

En México es bastante diversa, con 382 Taxa (372 especies y diez taxa infra específicos) distribuidos en 55 géneros. El endemismo a nivel genérico es bajo (12), pero a nivel específico, se tiene que cerca de la mitad (184 especies lo son). En los Estados de Puebla y Oaxaca, particularmente en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se encuentran 23

géneros y 55 especies, de las cuales *Abutilon strminicarpum*; *Hibiscus longifilus*; *Phymosia crenulata*; *Sida pueblensis* y *Sidastrum tehuacatum* son especies endémicas<sup>5-10</sup>.

La distribución de la familia es principalmente americana y es probable que sea de origen sudamericano, se encuentra representada en el viejo mundo con un centro de diversificación en Australia; la familia Tiliaceae es de importancia en los ecosistemas tropicales, sobre todo en las fases de regeneración de éstos, el género con mayor número de especies es *Grewia* (150), presente en África, Asia y Australia. En los trópicos de América el género más diverso es *Triumfetta*, en la Tabla I se indican Malvaceae consideradas exóticas en las que se muestra su nombre linneano, su distribución y el nombre popular con el que son conocidas.

Especies exóticas	Distribución	Nombre vulgar
<i>Adansonia digitata</i>	África	baobab
<i>Brachychiton populneum</i>	Australia	brachichito
<i>Cola nítida</i>	África tropical	árbol de la cola
<i>Corchorus olitorius</i>	Asia tropical	Yute
<i>Gossypium hirsutum</i>	Perú	Algodonero
<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	China y Japón	rosa china
<i>Malvaviscus arboreus</i>	Perú	malvavisco
<i>Pachira insignis</i>	Centroamérica	castaño, castañón
<i>Pachira macrocarpa</i>	Centroamérica	
<i>Theobroma cacao</i>	México	Cacao
<i>Tilia europea</i>	Europa	Tilo
<i>Tilia viridis</i> subsp. Moltkey	Europa	Tilo

**TABLA I**

De la gran variedad de fibras vegetales utilizadas para diversos propósitos la que crece y se explota en todas partes del mundo es el algodón ó *Gossypium hirsutum* (algodonero, una Malvaceae), que se ha cultivado desde épocas remotas usando sus fibras, como en la India.



En antiguas tumbas hindúes se hallaron telas de algodón cuya edad calculada es de unos 3000 años A.C. Algunas especies son del Perú, las cuales eran usadas mucho antes del descubrimiento de América. Actualmente las especies cultivadas son cuatro, quienes presentan fibras de hilaza en las semillas. Una vez sembradas las semillas, las plantas crecen y se desarrollan, las cuales

deben protegerse contra insectos, enfermedades y la maleza. En México se cultiva especialmente en los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila en una Región conocida como Comarca Lagunera; también en Sonora y Baja California<sup>11</sup>.

La planta de algodón es un arbusto leñoso perenne de temporada cálida, que se cosecha anualmente, estas plantas poseen en los tejidos de sus hojas, tallo y también semillas, fibras esclerenquimáticas, que pueden extraerse por métodos mecánicos, como la semilla de algodón cosechada se lleva a una despepitadora, en la que el despepitado, en su sentido más estricto, es el proceso de separar las fibras de algodón de las semillas, este proceso se revolucionó en 1794 con el invento de la despepitadora de algodón de Eli Whitney. Para convertir el algodón cosechado en un producto comercializable (fibra y semilla), en las que las despepitadoras, tienen que secar y limpiar la semilla de algodón (removiendo partes de la planta y basura); así al separar la fibra de la semilla. Otro producto del proceso del despepitado son “las motas”, las cuales son pequeñas semillas inmaduras con fibra, que se remueven en diferentes etapas del proceso de despepitado. El despepitado origina dos productos económicamente valiosos; la fibra de algodón y la semilla de algodón. Después del despepitado, las fibras se comprimen en pacas. En esta etapa, la fibra es conocida como “algodón crudo”. La fibra se puede remover de las motas por medio de las máquinas desmotadoras que extraen los pelos seminales que recubren las semillas y recolectan los copos de algodón abiertos, dejando los copos vacíos y sin abrir en la planta, esto se lleva a cabo con ejes giratorios que arrancan la fibra del copo, esta fibra, llamada mota del



despepitado se usa también en productos no tejidos. Las semillas de algodón que se remueven durante el despepitado se envían a las plantas productoras de aceite de algodón. Las fibras cortas “linters” que se remueven en el despepitado permanecen en las semillas. En la planta productora de aceite, los linters se remueven de las semillas por medio de unas máquinas desborradoras. Si las semillas se transfieren en la máquina desborradora una sola vez, los linters producidos se conocen como “mill-run linters.” La mayoría de las plantas procesan las semillas dos veces produciendo linters del primer corte y linters del segundo corte.

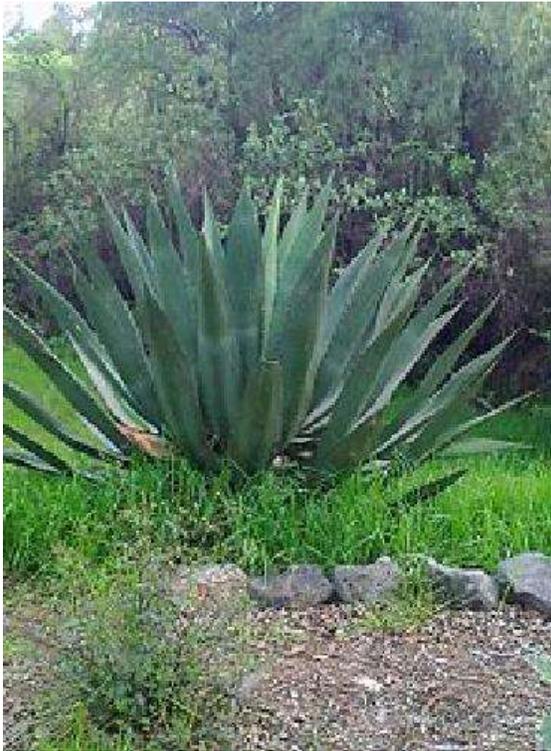
Los linters del primer corte consisten de fibras más largas y resistentes y se usan en muchos productos no tejidos. Los linters del segundo corte consisten en fibras más cortas que son usadas para producir papel “bond” de alto grado y son una fuente de celulosa para la industria química.



**Yute** (*Corchorus olitorius* y *Corchorus capsularis*), es una Tiliaceae.

*Corchorus* es el único género de la familia que comprende especies con hábito herbáceo o sufrutescente, con aproximadamente 40 especies de distribución pantropical. En México se conocen seis especies, las cuales son propias de vegetación secundaria como arvense y

ruderales, aunque se les ha reportado también en bosque tropical caducifolio y de galería.



El origen del vocablo genérico *Corchorus* proviene del griego korkhoros, un antiguo nombre dado a algunas plantas herbáceas alucinógenas. Este género incluye especies de importancia económica, como *Corchorus capsularis* L. y *Corchorus olitorus* L., las cuales son la principal fuente de fibra («el yute»), de uso comercial en Asia y África. En Estados Unidos, Islas Vírgenes y Centroamérica (Guatemala y Panamá) las hojas y tallos jóvenes de *Corchorus aestuans* L. son consumidos como alimento y usados en la medicina tradicional; en Ghana e India se ha utilizado para combatir enfermedades como gonorrea, neumonía, infecciones estomacales y de vías urinarias;

*Corchorus siliquosus* L. en Haití, se ha usado como antiinflamatorio, emoliente, expectorante y sedante<sup>12-18</sup>.



En México, *Corchorus siliquosus* es utilizado en padecimientos del hígado, riñón, oído, enfermedades venéreas y como antiinflamatorio, además de ser usado para la elaboración de té.

En particular, *Corchorus capsularis* es una especie con gran importancia económica en India. Esta especie junto con *Corchorus olitorus*, son ampliamente cultivadas para la obtención de «jute», que es considerado a nivel mundial como la segunda fibra natural más importante

después del algodón. La distribución natural de estas especies es a lo largo de las regiones tropicales de Australia, China e India. De acuerdo con Edmonds, *Corchorus capsularis* es originalmente nativa del sureste de China y ampliamente distribuida en Asia a través de su cultivo, donde se le encuentra escapada en estado silvestre.

Ejemplares de los herbarios FCME, MEXU y ENCB, para la elaboración del tratamiento de la familia Tiliaceae, de la «Flora de Guerrero», se detectó una colecta del género *Corchorus*, que no coincidía morfológicamente con las seis reportadas para México. Esta especie se distingue de las otras especies por importantes diferencias como flores con disco estaminal evidente, ovario locular, fruto capsular globoso y rugoso, ligeramente costado. La revisión de especímenes del herbario de Berlín (B) y bibliografía especializada permitió asignar el nombre de *Corchorus capsularis* al espécimen, como una especie que se registra por primera vez para la Flora de México.



La presencia de *Corchorus capsularis* en la costa occidental de México puede deberse a la influencia humana. Los viajes navieros de China («Nao de China») y Filipinas («Galeón de Manila») hacia Acapulco, así como las ferias comerciales que se desarrollaban en este mismo puerto en el siglo XVIII han sido documentados desde la antigüedad, pudiendo ser estas las vías para su llegada a América. Sin embargo, su distribución esporádica y tan restringida

sugieren una introducción mucho más reciente al continente, probablemente por el intercambio de granos, vegetales y ganado por vía marítima desde Asia.



El espécimen de *Corchorus capsularis* colectado por N. Diego & R. Oviedo 6659 en Guerrero está depositado en el herbario FCME. Se han hecho esfuerzos para localizar otros individuos de esta especie, sin resultados positivos, durante varios años consecutivos se intentó recolectar nuevamente esta especie en la laguneta



«El Carrizal» y sitios aledaños sin éxito alguno, probablemente la especie ya no existe en el sitio de recolecta por lo que se requiere realizar colectas para tratar de localizarla en otros Estados. Con las fibras del yute se elaboran arpilleras, muy importante para hacer bolsas.

La sustitución de los plásticos por las fibras de los magueyes aliviaría la contaminación ambiental de esos materiales usados en el comercio alimentario y también daría empleo a campesinos mexicanos de las zonas más pobres del país.

El ixtle y el henequén son fibras duras y largas obtenidas de los magueyes. México fue el pionero para la industrialización de esas fibras, pero, a mediados del siglo XX perdimos esas industrias por la competencia de Tanzania y Brasil y por la entrada masiva y barata de los plásticos. Dichos plásticos son ahora una plaga mundial. Sólo en México consumimos, cada año, 250 mil toneladas de ellos para envolver y transportar alimentos, los cuales se acumulan en los basureros, ríos, playas, parques y mares y causan serios problemas para la salud.





El **ixtle** (del náhuatl ichtli 'ixtle') es una fibra vegetal conocida por su resistencia, que ha sido usada en México desde tiempos antiguos, siendo parte fundamental de la economía y de la cultura mexicana a lo largo de los años.

Proviene principalmente del agave lechuguilla, planta conocida por ser la más aprovechada de los tiempos antiguos, sus fibras se utilizaban como fibras textiles y sus espinas como agujas.

En México, la explotación de las fibras dura de plantas silvestres como: lechuguilla, palma, raíz de zacatón entre otras, proporciona una actividad a gran parte del sector rural de los estados del norte, como son: Nuevo

León, San Luis Potosí, Coahuila, Tamaulipas y Zacatecas.

Hay varias clases de ixtle: el de lechuguilla, el jaumave, el de maguey y el de palma. El primero es de fibra larga y blanca; el segundo es de fibra aún más larga y más blanca; el de maguey es también blanco y de fibra larga y el de palma, es fibra dura, corta y amarillenta, en algunos lugares se le llama pita.

**Lino** (*Linum usitatissimum*), el lino o linaza es una especie presente únicamente como cultivo, pero es



uno de los cultivos más antiguos que se conocen pues su registro en Oriente Medio data de, al menos, el 7000 a. C. Se cree que la especie proviene de *Linum bienne*, conocido como lino silvestre o lino bravo. Botánicamente, es una planta del orden Malpighiales, de la familia Linaceae y del género *Linum*.



De una de las variantes de *Linum usitatissimum* se aprovechan sus semillas y su aceite y se usa como forraje. Sin embargo, la planta también ha tenido usos industriales, ya que el aceite se utiliza como agente de secado para pinturas y otros productos mientras que con su fibra se elabora un tejido, por lo que se habla de un cultivo de importancia económica muy grande. Es posible que la planta se haya

originado en la región mediterránea europea, aunque se cree que se domesticó en la región del creciente fértil. Durante los siguientes siglos se convirtió en un bien muy valioso, y el tejido de lino en una tela de amplio uso, históricamente la tela de lino fue usada para envolver las momias egipcias y la planta se llevó a América para usarse como fuente de fibra y papel.

### **Sisal** (*Agave sisalana*).

El *Agave sisalana*, también conocido como henequén verde y ya'ax ki en maya, se declaró durante las últimas décadas inexistente y no nativo de la península de Yucatán, a pesar de haber sido originalmente una especie endémica de la región, desde donde se exportó hacia el resto del mundo.

El *Agave sisalana* es uno de los cultivos ancestrales de agave de la cultura maya yucateca, asimismo, es una de las especies parentales de



otros híbridos generados en África y Asia que, en conjunto, han sido la fuente de hasta un 85% de la producción mundial de fibras duras de agave, comparado con el 10% proveniente del henequén blanco (*Agave fourcroydes*) ó henequén yucateco. La presencia de *Agave sisalana* en Yucatán se constituye como un recuento historiográfico de la especie, así como una aproximación botánica y etnobotánica sobre los usos y significados que se le otorgan en la región en la actualidad es muy empleado justamente para elaborar hilo sisal. El *Agave sisalana*<sup>19</sup> es una planta útil de la que se deriva la mayor producción de fibras duras en el mundo. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), la producción mundial de la fibra obtenida del *Agave sisalana*<sup>19</sup> está estimada en alrededor de 300 mil toneladas, con un valor de 75 millones de dólares al ser una fibra larga, flexible y de excelente calidad, se usa comúnmente para papeles especiales, que son, al mismo tiempo, finos y muy resistentes. Bolsas para té, papel para cigarros, papel carbón, filtros para café, billetes, chequeras y periódicos son algunos productos elaborados con este tipo de papeles.

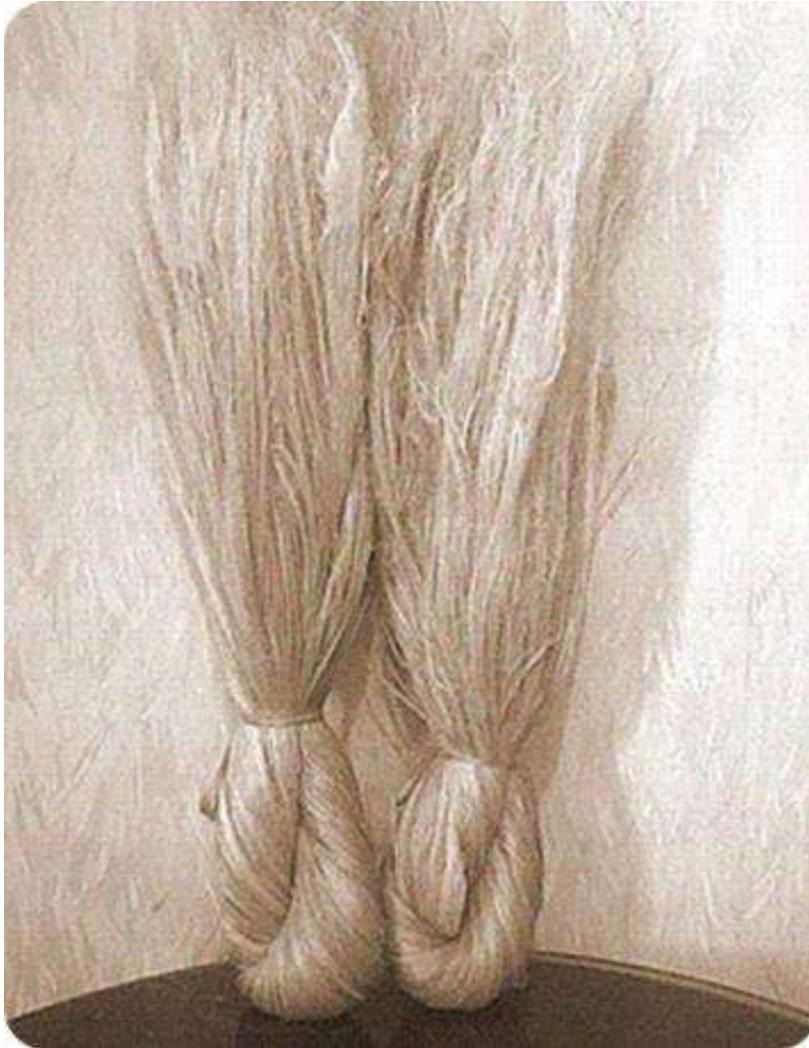


**Ramio ó ramié** (*Bohemeria nivea*)<sup>20-21</sup>, es una planta originaria de la zona subtropical de China, especie dicotiledónea perteneciente a la familia Urticaceae, herbácea de 1,5 a 2,0 m de altura.

En el trópico de Centroamérica y Sudamérica se ha adaptado de manera excelente, en zonas con altitudes entre 200 y 1 800 msnm y con temperaturas de 17,5 a 28,0 °C. Se ha planteado que el nombre técnico del ramié surgió en Santo Domingo en 1757, cuando el austríaco Nicolás Joseph Jaquin publicó su famosa obra *Enumerativo Plantarum, Quas en Insulis*



*Carubaeis Detextis*, en la cual lo denominó *Boehmeria nivea* en honor al salesiano Boehmer autor del primer libro europeo sobre la industrialización de esta planta. Singh (1996) describió el ramié como una planta de textura herbácea, perenne y rizomatosa, con tallos que varían entre 1 y 2 m de altura, en dependencia de las condiciones de crecimiento.



Sus hojas blanquecinas y vellosas son grandes, acorazonadas y aterciopeladas; de 7 a 15 cm de ancho y de 7 a 15 cm de largo. Sus diminutas flores amarillentas se disponen en panojas en las axilas de las hojas; sus frutos son de forma ovalada, pequeños y muy numerosos; y en un gramo puede haber hasta 7 000 semillas, pues estas son muy pequeñas.

Según lo señalado por Singh (1996), el género *Boehmeria* Jacq. posee más de 100 especies, la mayoría tropicales y subtropicales, en las cuales se incluyen plantas herbáceas y arbustivas, las más importantes son las siguientes: *Boehmeria malabarica*, *Boehmeria sidaefolia*, *Boehmeria nivea*, *Boehmeria macrophylla*, *Boehmeria platyphylla*, *Boehmeria platyphylla* Don var. *tomentosa*, *Boehmeria platyphylla* Don var. *longissima* Hook. f., *Boehmeria platyphylla* Don var. *cinerasens* Wedd., *Boehmeria platyphylla* Don var. *zey-lenica* Wedd., *Boehmeria platyphylla* Don var. *rugossima* Wedd.,



*Boehmeria platyphylla* Don var. *rotundifolia* Wedd., *Boehmeria hamiltoni* Wedd., *Boehmeria polystachya* Wedd., *Boehmeria rugulosa* Wedd, *Boehmeria kurzi* Hook. f., *Boehmeria scabrella* Gaud. y *Boehmeria utilis*.

Esta última es muy similar a *Boehmeria nivea*, excepto porque la superficie inferior de sus hojas es gris y ella se encuentra mayormente en China, Filipinas y Malasia. El ramié pertenece a: reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Urticales, familia Urticaceae, género *Boehmeria*, especie *Boehmeria nivea*. El ramio o ramié (*Boehmeria nivea* L. Gaud.), nativa del Asia Oriental, produce la fibra textil más antigua que se cultiva en China y Japón, los egipcios ya la importaban desde Oriente, en el período predinástico (5000 a 3000 a. C.)<sup>22-27</sup>.

El elevado contenido proteínico de sus hojas determinó que investigadores de países tropicales y subtropicales (Guatemala, Brasil, sur de Estados Unidos) estudiaran su aptitud forrajera y la considerasen una planta de alto potencial alimenticio, debido a la producción y la calidad de su forraje. En distintas experiencias con bovinos, ovinos, porcinos, equinos y aves, esta especie mostró que es factible de ser utilizada como recurso nutricional en forma de forraje verde y/o harina. *Boehmeria nivea* (ramié,

del malayo rami), especie de la familia Urticaceae, tiene tallos herbáceos que crecen hasta 3 m de altura y hojas lanuginosas por el envés, de las cuales se obtiene una fibra textil más resistente que el lino y que se emplea sola o mezclada en la fabricación de telas y con ciertos usos: para mangas de riego, tejidos incombustibles, billetes de banco, camisas de lámparas de gas y paracaídas. Esta planta es nativa de Asia Oriental y ha sido cultivada ancestralmente en China y en Japón. Los egipcios la importaban desde Oriente en el periodo predinástico 5 000 a 3 000 a. C. Al respecto, varios autores han reportado promedios de proteína entre 24 y 28%; así como valores de calcio y magnesio de 5,8 y 0,78%, respectivamente, los cuales superan los máximos hallados en cualquier otra planta forrajera.

Es importante destacar que cuando aumenta la edad de corte se incrementa el contenido de fibra; por tanto, los mejores valores de proteína y otros nutrientes se encuentran en el ramié que se corta a los 30 días, si se compara con el cortado a los 45 y 60 días.

## 2.- Plantas forestales.





Sirven para madera, combustible, extracción de taninos, corcho, protección de cuencas hidrográficas, reparo de animales, ornamentación, etc. Pueden ser especies aprovechables al estado espontáneo, como los *Nothofagus* spp., *Aspidosperma* spp., *Schinopsis* spp., *Podocarpus* spp., *Araucaria* spp, etc., o bien cultivadas, como los *Salix* spp., *Populus* spp., *Abies* spp., *Pseudotsuga* sp., *Pinus* spp, etc.

El *Aspidosperma Polyneuron* Mueller Arg.,<sup>28-32</sup> conocido como Palo Rosa o Peroba es un árbol típico del Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA), crece hasta 40 m siendo un árbol emergente y su copa domina a los árboles más cercanos, es una especie en peligro de extinción por lo que en la Reserva Morombí se protege; produce una excelente madera estructural, el corazón de la madera es de un hermoso color rosado naranja y la savia opaca gris-blanco. Según los colectores de los árboles aparecen siempre verdes, tanto la corteza como las hojas de *Aspidosperma Polyneuron* Mueller Arg. In Martius, se usan en decocción para el reumatismo articular y antiespasmódico. Sirve como desinfectante en las heridas de los animales. Aplicado en forma de cataplasma para los tumores. Usos: esta especie, denominada con el nombre vulgar de “carreto” es utilizada en construcciones interiores y exteriores, se puede emplear para pisos y escaleras, armazones de barcos y crucetas (utilizando la madera seca). usos especiales, donde se requiere una alta resistencia a la tenacidad como artículos deportivos donde el peso no es un factor limitante. Usos especiales que requieren una alta resistencia al ácido, arcos para violines

### 3.- Plantas caucheras.



Del árbol *Hevea brasiliensis* se extrae por incisiones de sus troncos un látex que es la base de la industria del caucho natural, el hule es el cuarto producto natural que se consume a nivel mundial después del aire, agua y petróleo, por lo que la demanda global es enorme y la importancia que este cultivo está cobrando en el mundo.

Otras especies como el *Taraxacum* y el guayule, *Pathernium argentatum*.<sup>33-38</sup>

presentan características potencialmente caucheras, así la planta del guayule muestra ventajas, ya que crece en zonas semiáridas y se adapta a un rango de lluvias que va de los 50 a los 400 milímetros anuales, además el guayule produce una resina de naturaleza

terpénica, es un pesticida natural, lo que lo hace resistente a muchas plagas y enfermedades, además estudios estiman que el cultivo de un acre (4,047m<sup>2</sup>) de guayule se puede extraer una tonelada de látex.



El hule natural tiene una infinidad de aplicaciones, y el guayule por ser un producto natural con características especiales, pues el látex que se obtiene de este tiene una propiedades como no tener residuos y no provocar alergia, por ser el único látex natural hipoalergénico, rasgos necesarios para poder emplearse para producir material medicinal como guantes, jeringas, gomas, etc., para los hospitales y juguetes para niños.





El hule del guayule es el producto estrella para este tipo de aplicaciones, además combinado con polímeros sintéticos se pueden obtener nuevos materiales mediante nanotecnología para la industria automotriz, ya que pueden aplicarse diversas propiedades como mejor adhesión de los neumáticos, elasticidad, resistencia a la temperatura, deterioro y durabilidad del plástico, etc.

En México, el Departamento de Plásticos para la Agricultura, del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) investiga sobre esta planta.

La empresa GUAYSS reactiva el proyecto del cultivo de guayule para la extracción de hule natural en el municipio de El Salvador, en Zacatecas y en una parte de Coahuila, ya que este Estado tiene todos los elementos para el aprovechamiento de la planta de guayule, hábitat, el conocimiento, mercado de las industrias, como la automotriz, al ser clientes potenciales de la industria del guayule, por la importancia que este cultivo está cobrando en el mundo.

#### **4.- Plantas oleíferas.**

De sus semillas o de sus frutos se extraen aceites, que pueden ser comestibles o de uso en pinturería, lubricación, etc. Son ésteres de la glicerina con los ácidos oléico, esteárico y palmítico. Así tenemos las siguientes fuentes:

Aceite de lino (semillas), *Linum usitatissimum* (industrial),

Aceite de tung (semillas), *Aleurites fordii* (industrial),  
 Aceite de ricino (semillas), *Ricinus communis* (industrial y medicinal)  
 Aceite de soja (semillas), *Glycine max* (comestible)  
 Aceite de algodón (semillas), *Gossypium hirsutum* (industrial)  
 Aceite de maíz (semillas), *Zea mays* (comestible)  
 Aceite de girasol (semillas), *Helianthus annuus* (comestible)  
 Aceite de nabo (semillas), *Brassica campestris* (comestible)  
 Aceite de oliva (frutos), *Olea europea* (Comestible) <sup>39-40</sup>  
 Aceite de maní (semillas), *Arachis hypogea* (comestible)  
 Aceite de chalmougra (semillas de Flacourtiáceas, para combatir la lepra)

## 5.- Plantas sacaríferas.



Suministran azúcar comestible, siendo la principal fuente la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y la remolacha (*Beta vulgaris*). En Canadá se extrae azúcar del maple (*Acer saccharum*) <sup>41-46</sup>, árbol de follaje caedizo, muy común, espontáneo (silvestre) en aquel país y este de los Estados Unidos. Uno de los maple está representado por medio de una hoja en la bandera de Canadá. Los arces son casi en su totalidad originarios del Asia oriental, especialmente de China (más de 80 especies),

Japón (más de veinte especies) y el este del Himalaya. Existen 9 especies nativas de América del Norte y algunas de Europa como la subespecie *Acer heldreichii* subsp. *trautvetteri* (Arce griego). La mayoría son de hoja caduca pero en Turquía y el Cáucaso crecen algunas variedades

perennifolias y semiperennifolias. Existe en ocasiones confusión con el nombre de los arces. Aunque no es una de las familias más extensas, sí que existen muchos híbridos obtenidos como planta ornamental y en ocasiones una misma variedad puede tener hasta 10 nombres diferentes.

Sin duda lo más valorado de los arces es su colorido otoñal, son llamativos todo el año; sin hojas, componen formas con coloridos tallos, su follaje primaveral es brillante cambia de color con la maduración de las hojas en verano. Los arces son muy resistentes, su follaje es vulnerable a las heladas, al viento y al sol, cualquiera de estas condiciones climáticas hace que las hojas se quemen, se sequen o se marchiten. La savia proveniente del arce, es un líquido claro y de sabor muy suave, que luego de ser evaporado, concentra el azúcar, creándose el sabor y el color dorado típico del sirope (miel). La temporada de producción sólo dura entre 2 y 8 semanas, entre los meses de febrero y abril según el clima. Fueron los indígenas de Norte América que descubrieron el sirope de arce y lo usaban tanto como alimento y medicina. El sirope o jarabe de arce, también conocido como maple syrup en inglés y sirop de érable en francés, es un endulzante completamente natural que es producido y consumido principalmente en Canadá, a tal punto que la hoja del arce forma parte de la bandera nacional. La provincia de Quebec produce el 85% del sirope de arce en el mundo. El verdadero jarabe de arce proviene de Canadá y del norte de los Estados Unidos, especialmente de Nueva Inglaterra y del estado de Nueva York. La mayoría de los arces pueden ser usados para extraerles la savia y fabricar el jarabe, pero el arce de azúcar (*Acer saccharum*) y el arce negro (*Acer nigrum*) son los más adecuados. Debido a su importancia económica, el arce es un emblema de Canadá, y su hoja está representada en la bandera canadiense.

Las granjas de producción de jarabe de arce se denominan cabaña o choza de azúcar. La savia se hierve en una «choza de azúcar» o «cabaña de azúcar», la cual tiene una abertura en la parte superior para expulsar el aire húmedo. La provincia de Quebec, territorialmente es la más grande de Canadá, es el mayor productor de jarabe de arce en todo el mundo; en 2001 llegó a producir 15,600.000 litros, unas cuatro veces más que lo que produjo todo Estados Unidos ese año.

## 6.- Pseudocereales.

Semillas de plantas no Gramíneas utilizadas como alimenticias en el viejo y nuevo mundo, como el trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*), la quinoa (*Quenopodium quinoa*), ataco (*Amaranthus caudatus*)<sup>47-48</sup>, y otros.

El trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*)<sup>49</sup> y la quinoa (*Quenopodium quinoa*), cuya palabra quínoa o quinua, viene del quechua kinua o kinuwa, y es una especie de cereal perteneciente a la subfamilia de



las amarantáceas.

Se cultiva, en la región de los Andes, principalmente en Bolivia y Perú, también se produce en Ecuador, Colombia, Argentina, Chile y Estados Unidos. En este sentido, los incas fueron pioneros, ya que la cultivaron hace más de 3000 años y tres milenios después, el concepto no ha cambiado, la quínoa se mantiene como un alimento proteico y con una equilibrada proporción de aminoácidos, mayor que los otros cereales, y sus beneficios se extendieron a otros campos, por ejemplo, en el presente, la cosmética reconoce a la quínoa por las bondades que le aporta a la piel.

## 7.- Cereales.

Son los granos o frutos de las gramíneas, tales como el trigo, maíz, arroz, cebada, centeno, avena, mijo, muy utilizados en la alimentación.



El trigo, merced a la presencia del gluten (proteína elástica), permite la panificación, proceso de fermentación del almidón transformado en monosacárido, cuyo producto gaseoso o anhídrido carbónico, no pueden eliminarse, por impedírsele el gluten. De esta manera la masa se levanta, debido a la fermentación alcohólica producida por levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*).

## 8.- Plantas hortícolas.



Se les cultiva en huertas familiares o cultivos intensivos, las hay que producen hojas comestibles, raíces, semillas y frutos, como, habas, lentejas, garbanzos, remolacha, zanahoria, papa, coles, repollo, coliflores, brócolis, espárragos, apio, perejil, lechuga, espinaca, acelga, berenjena, batata, mandioca, alcauciles, achicoria, arvejas pepino, zapallo, sandía, porotos, soja, tomate, ajíes, pimientos, escarola, etc. Raíces de la mandioca, se usan en la cocina latino americana, se come hervida como acompañamiento de las comidas, las variedades dulces se consumen ampliamente hervidas, o fritas como sustituto de las papas. Para su preparación en alimentos, la mandioca se somete

a varios procesos de escaldado, ebullición, y/o fermentación. En México en el estado de Tabasco, se prepara el puchero, el cual contiene carne y verduras, mismas que se dejan hervir, hasta que la mandioca o yuca se ablanda, de lo cual resulta un caldo muy apreciado y en el estado de Yucatán, se prepara un postre que consiste en hervir durante casi un día entero la mandioca o yuca en miel de abeja ó azúcar. En la cocina del Paraguay y en la del nordeste argentino, la fécula o almidón de mandioca se mezcla con queso y leche para hacer bollitos horneados llamados chipá, el tentempié más habitual de la región

## 9.- Frutales.



De las diversas regiones frutícolas en México se obtienen: Manzana, pera, ciruela, higo, membrillo, guinda, cereza, durazno, mango, uva, zapote, frambuesa, guayaba, limón, mandarina, garambullo, tuna, naranja, tejocote, zapote blanco, toronja, lima, fresa, chabacano, sandía, plátano, caña, níspero, tamarindo, granada china, piña, jaka, arándano, chicozapote, melón, nanche, mamey, granada, chirimoya, papaya, maracuyá, guanábana, carambolo, pérsimo, zarzamora, de las cuales muchas de ellas presentan diferentes variedades<sup>50-53</sup> etc.

## 9.- Plantas medicinales.



Ya sea sus hojas, semillas, frutos, raíces, etc., pueden contener principios activos, que se usan en terapéutica humana y animal. La gran mayoría son cultivadas, otras silvestres y son de uso popular, como “medicina tradicional”.



Entre las más comunes se encuentra la manzanilla (*Matricaria chamomilla*), el tejo (*Taxus brevifolium*, *Taxus baccata*), árboles coníferos de la familia Taxaceae, crecen preferentemente en terrenos calizos, en zonas montañosas, con ambientes frescos y húmedos; La quina ó Quino (Kina, quinina roja o cascarilla o *Cinchona pubescens*) es un árbol de la familia de las rubiáceas, originario de Colombia, Ecuador Venezuela, Perú y Bolivia;

de su corteza se obtiene la quinina, alcaloide con propiedades medicinales reconocidas, se encuentra en peligro de extinción<sup>54-62</sup>.

#### **10.- Plantas productoras de frutos secos.**





Avellano (*Corylus avellana*), árbol entre 3 y 8 m de alto, aunque puede llegar a los 15 m con copa muy extendida de forma irregular, generalmente ramificado desde la base. De corteza marrón y su madera es dura, flexible y muy resistente. El fruto es la avellana, que se produce en grupos de 1 a 5, cada una contenida en un pequeño y hojoso involucro que encierra alrededor de las 3/4

partes de la nuez, tarda de 7 a 8 meses en madurar; el involucro se abre liberando la avellana.



El Pino Piñonero es conocido bajo el nombre científico de *Pinus pinea*, procede del latín *pineae* que significa piña o piñón, debido a que son las únicas especies capaces de producir piñones (semillas) comestibles, muy apreciados en mundo antiguo y el actual viene también del celta Pin, que significa montaña o piedra, por la facilidad que posee este de crecer en terrenos difíciles. Este pino es un imponente árbol de hojas perennes, capaces de soportar diferentes cambios climáticos y a su vez poseen la capacidad de florecer y dar frutos varias veces al año. Su altura abarca entre 12 a 20 m. Su tronco es delgado mide un metro de diámetro; posee una corteza anaranjada oscura, roja, marrón o marrón con manchas grises. Se encuentran también el Almendro (*Prunus amygdalus*)<sup>63-66</sup>, castaña (*Castanea sativa*), nogal (*Juglans regia*), pecán (*Carya illinoensis*) etc.

## 11.- Plantas para preparar bebidas.

Té (*Camelia sinensis*), De esta especie se elabora el té (verde, negro, blanco, Pu-erh o rojo, amarillo, oblongo), que se procesa para obtener diferentes grados de oxidación.



Las hojas contienen alrededor de un 4% de cafeína. Las características y diferente composición química de las hojas recolectadas, según la edad, producen diferentes tipos de té. Las hojas más viejas son de color verde oscuro. Las tiernas, de color verde pálido y con una corta pubescencia blanca en el envés son las preferidas. La variedad más utilizada es la assam (a veces llamada *Camelia sinensis*<sup>67-69</sup> assamica o *Camelia assamica*) y la planta de China (llamada *Camelia sinensis*), así como varios cruces de estas dos. El cacao (*Teobroma cacao*), mate (*Ilex paraguarienses*), vid (*Vitis vinifera* y *Vitis labrus++cana*) vino de la costa; cebada, malta (*Hordeum distichum*), Café (*Coffea arabica*), etc.

## 12.- Plantas aromáticas y de especias

Curcuma (*Curcuma longa*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*), clavo de olor (*Eugenia caryophyllata*), azafrán (*Crocus sativus*), pimienta (*Piper nigrum*), vainilla (*Vainilla planifolia*), nuez moscada (*Myristica fragans*), melisa (*Melissa officinalis*), albahaca (*Ocimum basilicum*), menta (*Mentha piperita*), laurel (*Laurus nobilis*), tomillo (*Thymus vulgaris*), orégano (*Origanum vulgare*), mejorana (*Origanum majorana*).

## 13.- Plantas productoras de gomas y resinas.



Muchos árboles producen exudados, lechosos ó resinosos, estas resinas naturales son secreciones orgánicas producidas por las plantas, las cuales son utilizadas por ellas como una protección contra enfermedades e infestaciones de insectos<sup>71-75</sup>; cuando la corteza de un árbol es herida por un ataque de escarabajos de madera, ó depredadores.



Goma arábica (*Acacia senegal*), goma tragacanto, (*Astragalus gummifer*), ámbar (resina fósil de *Pinus succinifera*, extinguido), El ámbar europeo se forma a partir de la resina del *Pinus succinifera* en tanto que el árbol americano proviene de la planta leguminosa *Hymenaea courbaril*, conocida en

Chiapas (México) como guapinol, el cual es apreciado no solo por su magnífica madera sino por sus grandes y duros frutos de fuerte aroma que a unos atrae y a otros repele.



El ámbar, árabe o succino (del latín *succinum*) es una piedra preciosa hecha de resina vegetal fosilizada que proviene principalmente de restos de coníferas y algunas angiospermas, etimológicamente su nombre proviene del árabe (ámbar, significa lo que flota en el mar, ya que flota sobre el agua del mar, aunque de origen se refería al ámbar gris, su color es marrón claro normalmente.



Es un resto fósil, es una sustancia orgánica, su composición varía dependiendo del árbol del que provenga, aunque todos tienen terpenoides comunes en resinas endurecidas

Los colores del ámbar son variados, los hay amarillo (el más común), naranja (coñac), rojo (cherry), blanco, café (cajeta), verde azulado y «negro» o musgo (tonos oscuros de otros colores), que son menos frecuentes que el amarillo, de estos colores se

desprende una amplia gama de tonalidades, como el ámbar rojo de Chiapas el cual es uno de los más hermosos.

El primer lugar que se tiene registrado como fuente original del ámbar es la región del Mar Báltico, La pieza de ámbar más antigua trabajada por el hombre data de hace 30,000 años y se encontró en Hannover, Alemania. En Europa se encuentra ámbar en España, Francia, Lituania, Polonia, Letonia y Rusia y en América Latina se encuentra en México, República

Dominicana, Nicaragua y Colombia. En la Antigüedad se pensaba que el ámbar poseía propiedades místicas o mágicas, siendo utilizado por muchas culturas como un talismán o remedio medicinal.

En Chiapas, México, el ámbar aún se usa para proteger a los niños contra el «mal de ojo». Los griegos se percataron de sus propiedades eléctricas producidas al rozar ámbar con otros objetos. De ahí la etimología de la palabra electricidad que viene del griego (élektron) que quiere decir ámbar. Hay otros exudados como la trementina (*Pinus sp.*), el bálsamo de Canadá (*Abies balsamea*), el bálsamo de Tolú (*Myroxilum balsamum*), el benjuí (*Styrax sp.*), el incienso (*Boswellia cartieri*), etc.

También hay árboles que han sido partícipes directos en el desarrollo cultural y económico de las comunidades mexicanas, como son los árboles llamados copales y los papelillos, los cuales producen resinas muy apreciadas para la obtención de barnices, adhesivos, perfumes o inciensos. Estas plantas crecen a lo largo de la República Mexicana y se encuentran en sitios con particular concentración de taxa endémicos, como la cuenca del Río Balsas ó las Sierras Madre Occidental y Oriental, y en Estados desde Nayarit, Colima, Jalisco, Zacatecas, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco hasta Yucatán, en los que el acomodo taxonómico de los representantes del género *Bursera*<sup>76-80</sup>, dista mucho de ser satisfactorio y uno de los grupos de especies que más dificultades han ofrecido para su apropiada delimitación y ubicación es el que se centra alrededor de la *Bursera simaruba*.

#### **14.- Plantas productoras de aceites esenciales.**

Rosa neroli (*Citrus aurantium*), citronella (*Cymbopogon narduus*), lavanda (*Lavandula spp.*), violeta (*Viola sp.*), Jasmín (*Jasminum sp.*), clavel (*Dianthus sp.*), jacinto (*Hyacinthus sp.*), palo rosa (*Aniba panurensis* y *A. rosaedora*), patchuli (*Pogostemum sp.*), etc. .

Árboles que pertenecen al género *Bursera*, no defoliantes y los defoliantes como los “Cuajiotos rojos ó amarillos”<sup>81</sup> los cuales son los nombres vernáculos dados a éstos árboles por el color característico de su corteza y frutillas exudan un látex ó resina y muchos de ellos son muy aceitosos y muy aromáticos debido al abundante aceite que exudan<sup>82-83</sup>.

La concentración de plantas que pertenecen a este género se ubica en áreas de altitud media y baja de la vertiente Pacífica de México; en la cuenca del río Balsas. El Estado de Michoacán junto con Estados circunvecinos como el de Oaxaca ocupan el 2º y 3er. lugares en cuanto a

las variedades de especies de *Bursera*, ya que el Estado de Guerrero es el territorio más rico en diversidad; de las 37 especies registradas hasta el 2005 que cercen en el Estado de Michoacán, cerca de la mitad pertenece a la sección *Bursera*.

En Trabajos previos<sup>84-86</sup> hemos descrito el análisis de los componentes de tallos y resina de un 65% de las especies de *Burseraceae* que crecen en la República Mexicana, y cuyas características principales de las colectas fueron el muestreo en el que se consideró, el período (secas, lluvias) de cada colecta y la parte de la planta colectada (tallos, hojas resina, frutillas) principalmente, de estos estudios se reportó que la mayoría de las especies estudiadas, fue significativo, el predominio de componentes terpenoides (monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y triterpenos)<sup>87-97</sup>.

Al continuar con los estudios del género *Bursera* ahora describimos los correspondientes a la ***Bursera roseana*** Rzed., Calderón & Medina,





Acta Bot. Mex. 81: 45. 2007 (nombre basado en *Terebinthus acuminata* Rose). El nombre común registrado en la zona de estudio, es el de cebolleta, el cual es un árbol hasta de 12 m de altura, aparentemente dioico, poco aromático y resinoso; con tronco hasta de 25 cm de diámetro, corteza roja, anaranjada o pardo-rojiza, ramillas tiernas a menudo densamente vilosas al inicio, pero perdiendo rápidamente todos o casi todos los pelos, otras veces glabras desde el principio; hojas originándose sobre ramillas de crecimiento nuevo, imparipinnadas, hasta de 45 cm de largo y 22 cm de ancho, pecíolo hasta de 12 cm de largo, raquis sin alas, base cuneada a truncada, margen entero, nervaduras secundarias 5 a 12 pares, arqueadas, brillantes y glabros o casi glabros desde la juventud en el haz; flores masculinas pentámeras o a veces tetrámeras, segmentos del cáliz triangulares, de poco menos de 1 mm de largo, pétalos elíptico-oblongos, de 2 a 2.5 mm de largo, (Rzedowski et al., 2007).

Muchas especies de Burseras, los pobladores de distintas regiones usan los troncos para estacarlos como cercas vivas.

La *Bursera attenuata* se encuentra entre los llamados "cuajotes rojos" el cual constituye a un grupo que pertenece a la

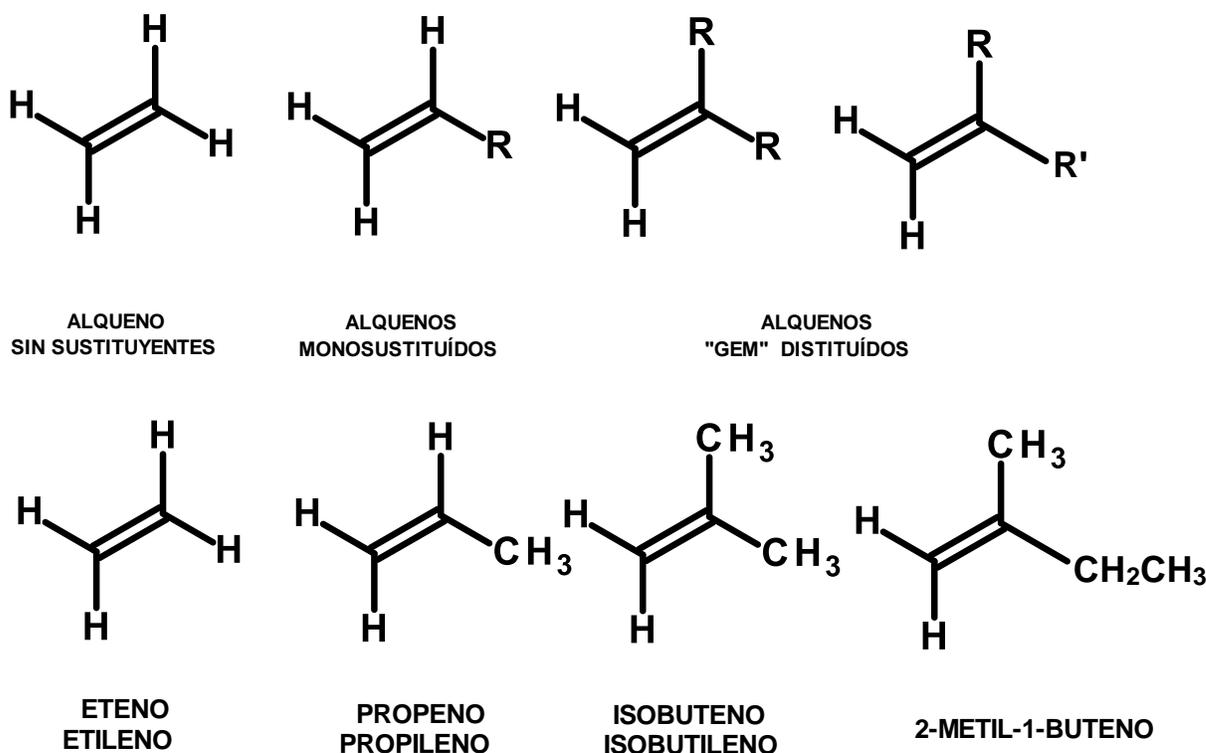
sección *Bursera* debido a que su corteza es exfoliante con exfoliaciones de color rojizo-anaranjado que se presentan por lo general en laminillas<sup>98</sup>.

Estas especies se localizan principalmente a orillas de barrancas y cañadas de la selva baja caducifolia, a una Altitud entre 1600-1900 msnm. Florecen desde mayo ó junio, dependiendo del inicio del período de lluvias, se encuentran por lo general desprovistas de follaje de noviembre a mayo. Su distribución se encuentra en los Estados de Aguascalientes, Colima, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Zacatecas.

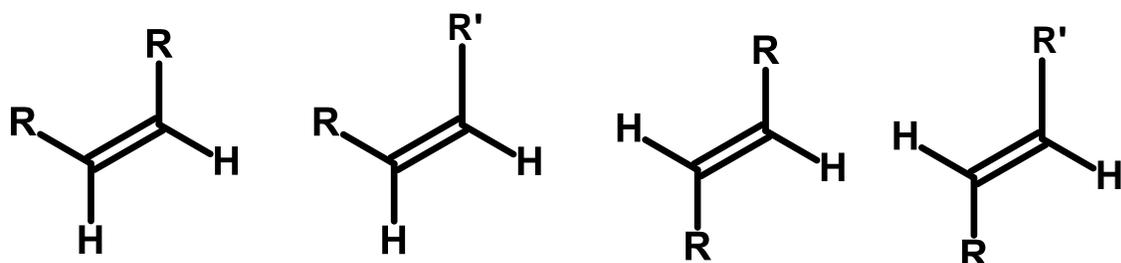
El trabajo desarrollado en la presente tesis es una continuación a los estudios que hemos venido realizando relativo a este género y comprende el estudio comparativo del aislamiento y caracterización de los componentes mayoritarios de los extractos hexánicos de los tallos de la *Bursera attenuata*<sup>98</sup> y de la *Bursera roseana* con otras especies que pertenecen al mismo grupo de los llamados cuajotes rojos como la *Bursera kerberi*,<sup>99</sup> y la *Bursera multijuga*.

## PARTE TEORICA

La estructura de los alquenos, basada en la sustitución paulatina de cada uno de los hidrógenos que componen la molécula del alqueno, comenzando con el que no tiene sustituyentes como el eteno ó etileno y la sustitución sucesiva da lugar a que se clasifiquen como eteno y alquenos monosustituídos; alquenos gem-disustituídos con sustituyentes iguales ó sustituyentes diferentes (Esquema I) y los alquenos vec-disustituídos, (isomerismo geométrico *cis*; *trans* ó *Z*; *E* ) también con sustituyentes iguales ó sustituyentes diferentes, como es mostrado en el Esquema II.

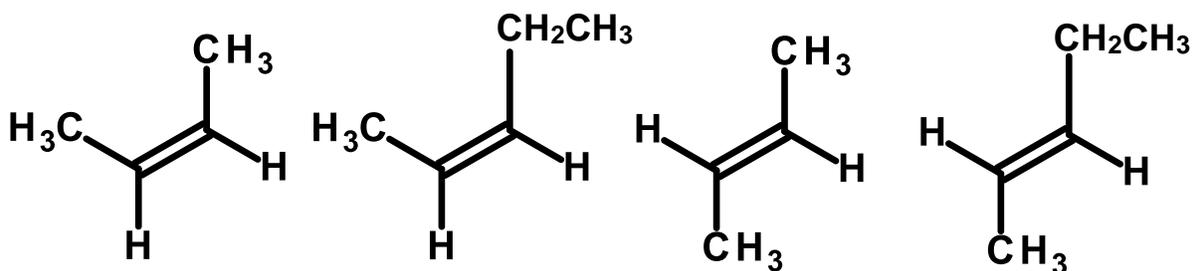


**ESQUEMA I.-** Clasificación de Alquenos basada en su grado de sustitución eteno; monosustituídos y "gem"-disustituídos.



ALQUENOS  
"VEC" DISTITUÍDOS  
*cis* ó *Z*

ALQUENOS  
"VEC" DISTITUÍDOS  
*trans* ó *E*



*cis*-2-BUTENO  
*Z*-2-BUTENO

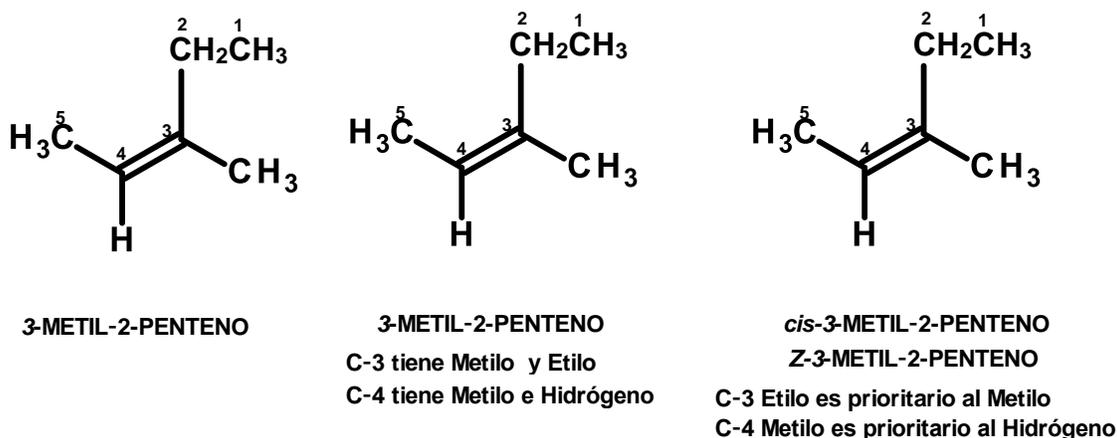
*cis*-2-PENTENO  
*Z*-2-PENTENO

*trans*-2-BUTENO  
*E*-2-BUTENO

*trans*-2-PENTENO  
*E*-2-PENTENO

## ESQUEMA II.- Clasificación de Alquenos basada en su grado de sustitución isómeros geométricos "vec"-disustituídos (*cis* ; *trans* ó *Z* , *E*).

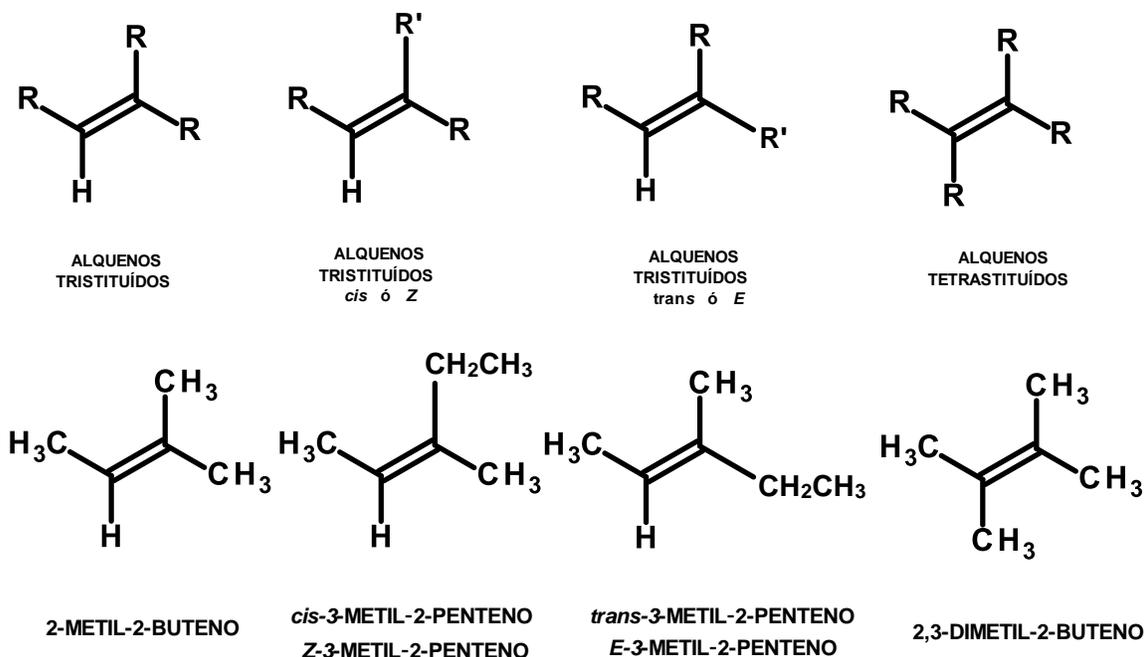
La estructura de los alquenos trisustituídos, producida por la sustitución paulatina de cada uno de los hidrógenos de la molécula del



## ESQUEMA III.- Isomerismo geométrico (*cis* ó *Z*; *trans* ó *E*) en Alquenos trisustituídos

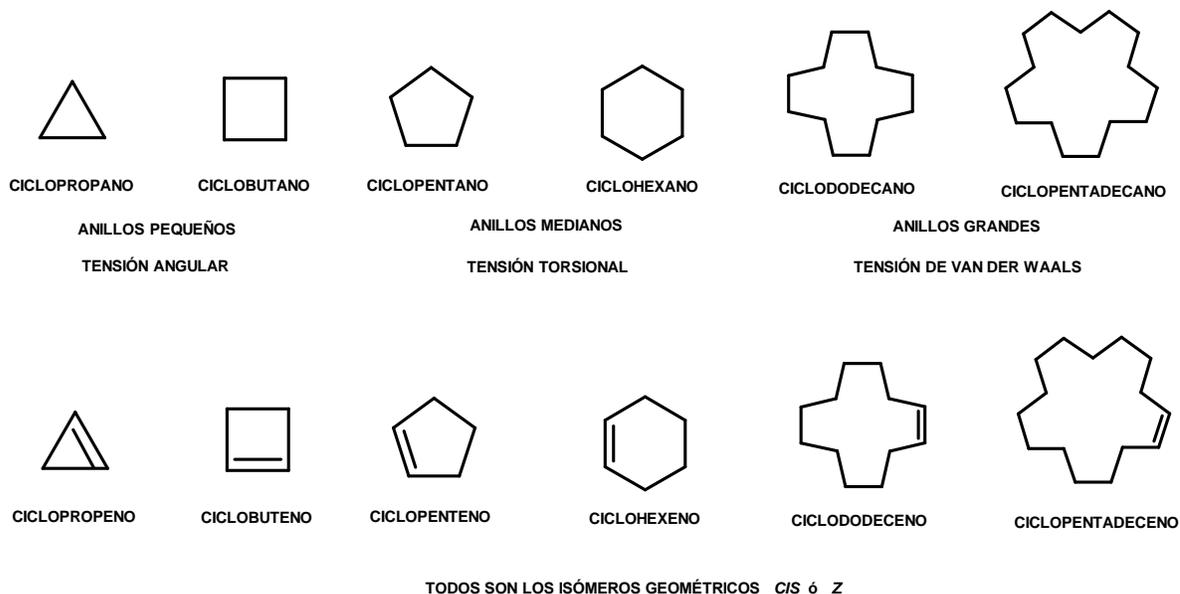
alqueno, a partir del que no tiene sustituyentes; el eteno ó etileno, considerando sustituyentes iguales ó sustituyentes diferentes, en este último en el que puede presentarse el isomerismo geométrico *cis* o *Z*; *trans* ó *E* ); como es mostrado en el Esquema III, en el que el *cis*-3-metil-2-penteno ó *Z*-3-metil-2-penteno, la colocación relativa de los grupos metilos no es el indicativo de la asignación del isomerismo geométrico, sino que se tiene que considerar que para que este isomerismo exista cada uno de los sustituyentes de los carbonos  $sp^2$  que tiene el doble enlace, (sin giro libre), éstos sean grupos diferentes; entonces en el 3-metil-2-penteno, los sustituyentes unidos al carbono C-3 éstos son sustituyentes diferentes, los cuales son el Grupo Etilo y el Grupo Metilo respectivamente<sup>100-101</sup>.

Para la asignación del isomerismo geométrico hay que considerar una prioridad entre los sustituyentes unidos al mismo carbono (geminales) tomando en cuenta las reglas de la secuencia de las prioridades para la asignación de los enantiómeros en torno a un centro estereogénico; de tal suerte que para C-3 el Grupo Etilo es prioritario respecto al Grupo Metilo y para C-4 El Grupo Metilo es prioritario con respecto al Hidrógeno, dando como resultado que lo orientación entre los Grupos prioritarios es la que va a definir de qué isómero geométrico se trata, como se muestra en el ESQUEMA III.



**ESQUEMA IV.- Alquenos trisustituídos y tetrasustituídos e isomerismo geométrico en trisustituídos (*cis* ; *trans* ó *Z* , *E*).**

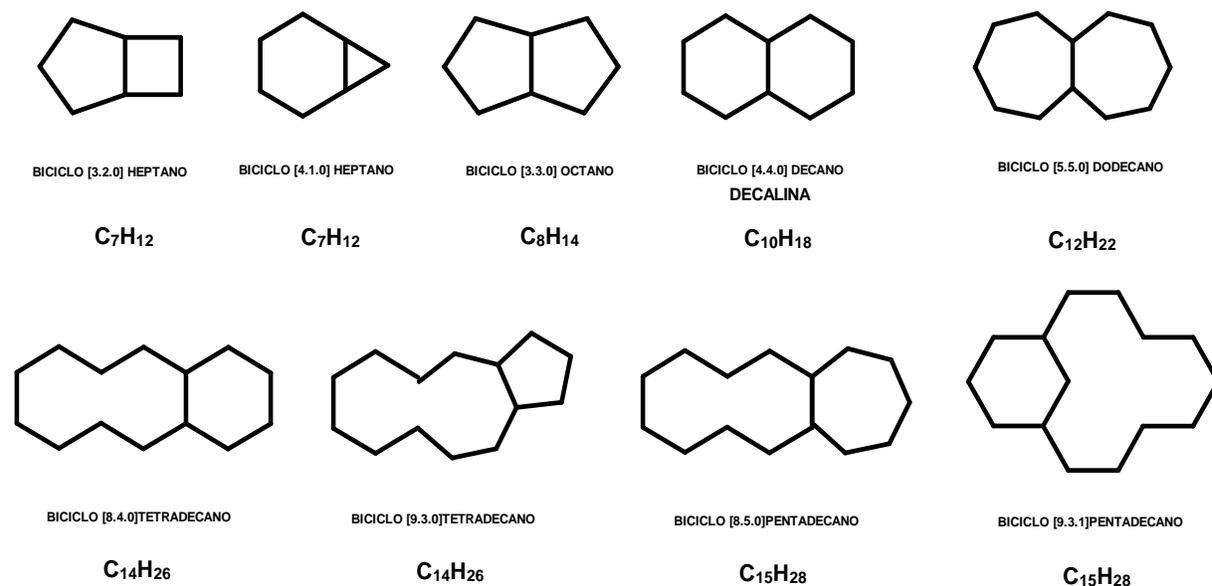
, asimismo en el Esquema V, se muestran las estructuras para los cicloalcanos monocíclicos y los cicloalquenos<sup>102</sup>, que presentan el isomerismo geométrico *cis* ó *Z*.



**ESQUEMA V.- Hidrocarburos Monocíclicos saturados Cicloalcanos e insaturados Cicloalquenos y el isomerismo geométrico en cicloalquenos disustituídos *cis* ó *Z*.**

Los hidrocarburos monocíclicos saturados se clasifican dimensionalmente en anillos pequeños; anillos medianos y anillos grandes las propiedades que ostentan en base a su dimensión, para los anillos pequeños es se clasifican así por poseer tensión angular, la cual se manifiesta debido a la desviación del valor del ángulo normal del enlace que tiene un átomo de carbono en estado híbrido  $sp^3$  que es de  $109.5^\circ$  y en un ciclo pequeño como el ciclopropano éste desvía el ángulo hasta  $60^\circ$  lo que ocasiona un acumulamiento de energía debido a esta desviación; lo mismo ocurre para el ciclobutano en el que el ángulo normal del enlace se desvía hasta  $90^\circ$  ocasionando un acumulamiento de energía, el cual es menor que para el ciclopropano. Para el caso de los anillos medianos no hay desviación del ángulo normal del enlace de  $109.5^\circ$  pero dada la movilidad que presentan estos ciclos, en los que surgen distintos acomodos de los átomos en el espacio llamadas conformaciones, las

cuales originan la tensión torsional que es una energía que aparece debido a las posiciones relativas de los átomos por eclipsamientos ó alternancias de los enlaces involucrados en el ciclo.

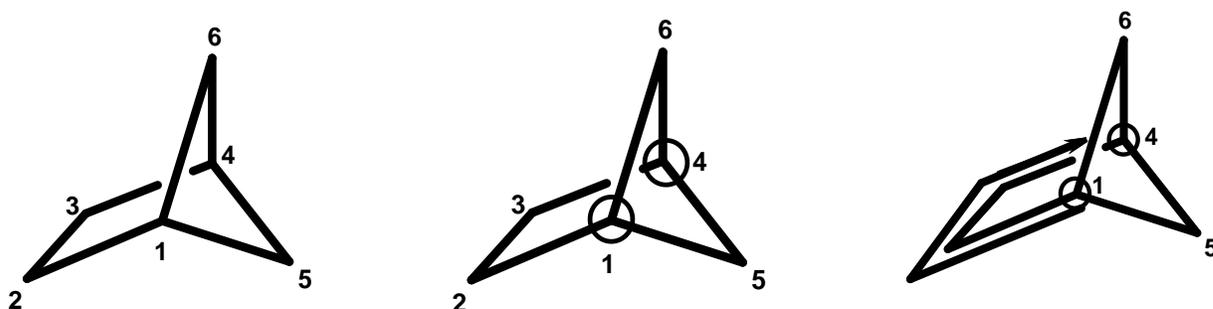


#### ESQUEMA VI.- Ejemplos de Sistemas Bicíclicos y sus Fórmulas Moleculares

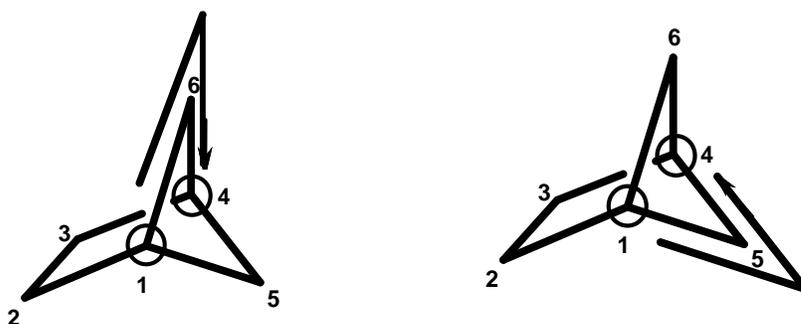
En el Esquema VI se representan algunos ejemplos de los compuestos que poseen dos ciclos y dadas sus características estructurales, la clasificación de estos compuestos bicíclicos comprende principalmente a los llamados propiamente biciclos y a los compuestos bicíclicos spiro, ejemplos de los primeros, son aquellos que tienen dos átomos de carbono comunes a los dos anillos, los cuales se denominan átomos de carbono cabeza de puente<sup>103</sup>.

La movilidad de las moléculas disminuye mediante la presencia de un doble enlace, ya que este doble enlace no presenta giro libre como lo hace un enlace sencillo, además la movilidad disminuye al ciclarse una molécula y continua disminuyendo al incrementarse el número de ciclos, por ejemplo los compuestos bicíclicos presentan menos movilidad que los compuestos monocíclicos ya que la presencia de un segundo ciclo la restringe.

Esto puede apreciarse representando a los sistemas bicíclicos mediante sus estructuras donde manifiestan las llamadas conformaciones ancladas como se muestra en el ESQUEMA VII. Por otro lado establecer la nomenclatura de estas estructuras con el denominado sistema de von Baeyer, la cual toma en consideración la numeración de los dos anillos partiendo de uno de los átomos cabeza de puente indicados éstos con un pequeño círculo e iniciando con C-1 y continuando la numeración hacia el carbono que pertenece al anillo de mayor tamaño (hacia C-4)



BICICLO EN LOS QUE 1 Y 4 SON  
LOS ÁTOMOS DE CARBONO  
CABEZA DE PUENTE



**ESQUEMA VII.-** Nomenclatura von Baeyer de estructuras bicíclicas.

, luego se consideran las tres rutas posibles que conectan a los dos átomos de carbono cabeza de puente C1 y C-4, que en este caso son tres; posteriormente se tiene que considerar la cantidad de átomos de carbono que contiene cada ruta, como por ejemplo la ruta hacia el ciclo más grande contiene tres átomos de carbono; luego se continúa en orden decreciente

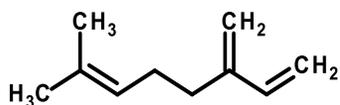
de contenido (C-1; C-5; C-4) contiene un átomo de carbono y la ruta (C-1; C-6; C-4) que también contiene un átomo de carbono. Para nombrar al compuesto bicíclico, se comienza con la palabra BICICLO, luego se abre un paréntesis rectangular ( [ ) y posteriormente se considera la cantidad de carbonos encontrados en las tres rutas considerándolos de mayor a menor y estos números se separan por puntos, así se tiene Biciclo-[2.1.1; luego se cierra el paréntesis rectangular ( ] ) y se da el nombre del hidrocarburo saturado considerando la cantidad total de átomos de carbono que contiene el compuesto bicíclico, que en este caso es de seis átomos de carbono totales, por lo que le corresponde al hexano; quedando así el nombre completo del ejemplo como Biciclo[2.1.1]hexano. representado en el (Esquema VII).

Existen otros sistemas bicíclicos de varias combinaciones posibles, en cuanto al tamaño de los dos anillos, pero que no se representan en conformaciones ancladas (Esquema VI) sólo se hace notar el nombre correspondiente del biciclo así como también su fórmula molecular.

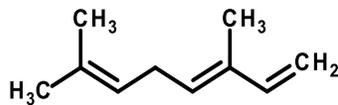
La «Regla del Isopreno» propuesta por Ruzicka, fue el ejemplo más notable, en la que todos los terpenoides<sup>104</sup> son construídos por «unidades de Isopreno», de tal modo que se clasifican en función del número de estas **MIRCENO** conjugado llamado también 2-metil-1,3-butadieno, cuya estructura posee cuatro átomos de carbono en estado de hibridación  $sp^2$  correspondientes a dos metilenos terminales iniciando C-1 y terminando en C-4; un carbono metínico C-3 y un carbono cuaternario C-2, además tiene como ramificación correspondiente a un grupo metilo cuyo átomo de carbono se encuentra en estado de hibridación  $sp^3$  en la posición 2.

Esta clasificación considera mínimamente dos unidades  $C_5H_8$  llamándose monoterpenos, los cuales pueden ser no cíclicos ó alicíclicos, cuya estructura es únicamente hidrocarbonada, como el mirceno; ocimeno; cosmeno o también pueden poseer grupos funcionales como un oxhidrilo como los isómeros geométricos geraniol y nerol, los cuales son alcoholes primarios, en tanto que el linalool es un alcohol terciario, todos ellos sus estructuras se encuentran representadas en el ESQUEMA VIII.

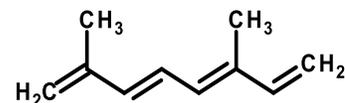
Debido a que los monoterpenos alicíclicos son poco polares y de bajo peso molecular son aceites ligeros y volátiles y los que tienen funciones polares como es el caso de los alcoholes éstos pueden oleosos y de puntos de ebullición más altos, éstas características junto con su aroma que es distintivo de todos ellos, es lo que los hace que se distingan como aceites esenciales y es el modo de explotarlos comercialmente.



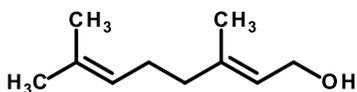
MIRCENO



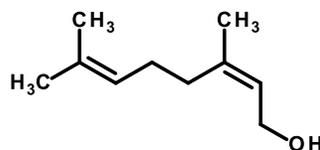
OCIMENO



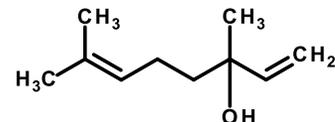
COSMENO



GERANIOL

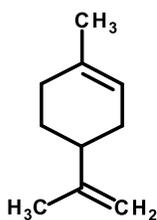


NEROL

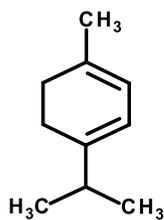


LINALOOL

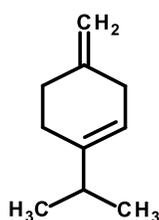
**ESQUEMA VIII.-** Monoterpenos alicíclicos hidrocarbonados y alcoholes.



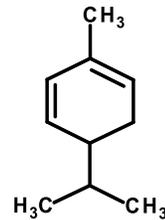
LIMONENO



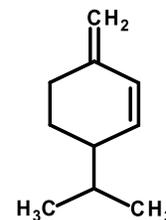
$\alpha$ -TERPINENO



$\beta$ -TERPINENO



$\alpha$ -FELANDRENO



$\beta$ -FELANDRENO

**ESQUEMA IX.-** Monoterpenos monocíclicos hidrocarbonados.

Los monoterpenos monocíclicos hidrocarbonados<sup>105-107</sup> como el limoneno;  $\alpha$ -terpineno;  $\beta$ -terpineno;  $\alpha$ -felandreno y  $\beta$ -felandreno sus respectivas estructuras se muestran en el ESQUEMA IX y son aceites ligeros volátiles.

Las estructuras de tres unidades isoprénicas corresponden a los sesquiterpenos, las de 4 unidades isoprénicas corresponden a los diterpenos y dentro de esta clasificación se encuentran aquellas que contienen uno ó más anillos, por lo que existen principalmente esqueletos diterpénicos monocíclicos, bicíclicos, tricíclicos y tetracíclicos.

Los diterpenos monocíclicos de anillos de catorce miembros, los reportaron en 1962, los investigadores Dauben, Thiessen y Resnick<sup>108</sup> por un lado y Kobayashi y Akiyoshi<sup>109-110</sup> por el otro, ellos fueron los primeros en establecer las estructuras de un nuevo grupo de diterpenos conocidos como cembranos, obtenidos de oleoresinas de pino y a su vez Rowland y Roberts<sup>111</sup>, obtuvieron estructuras cembrenoides diasteroméricas del tabaco.

El *Pinus cambrae*, llamado comúnmente pino cembro, es un árbol de porte erguido y piramidal, muy longevo, de lento crecimiento, corteza grisácea y su área de extensión abarca los Alpes y Cárpatos.



Los diterpenoides taxanos forman una clase única de productos naturales que contienen el esqueleto de taxano inusual o esqueletos estrechamente relacionados y que se encuentran en varios miembros del género *Taxus* (Taxaceae) y géneros cercanamente relacionados.

El interés inicial en los componentes de las especies de *Taxus* fue provocado por la toxicidad conocida del *Taxus baccata*, o el tejo inglés, ya que las muertes humanas debido a la ingestión de esta planta se registraron ya en el siglo I a. C. con Julio César, describiendo sus guerras contra las tribus galas, en las que escribe: “Catuvolcus, que era el rey de la mitad de los Eburones y habiéndose unido a Ambiorix en una conspiración, ahora era viejo y débil, incapaz de soportar las dificultades

de una guerra o la huída. Maldijo solemnemente a Ambiorix por instigar la conspiración, envenenándose luego con tejo, un árbol que es muy común en la Galia y en Alemania”. En un principio Ambiorix era un jefe aliado a la



causa romana, por lo que gozaba de cierta confianza por parte de César y sus legados.

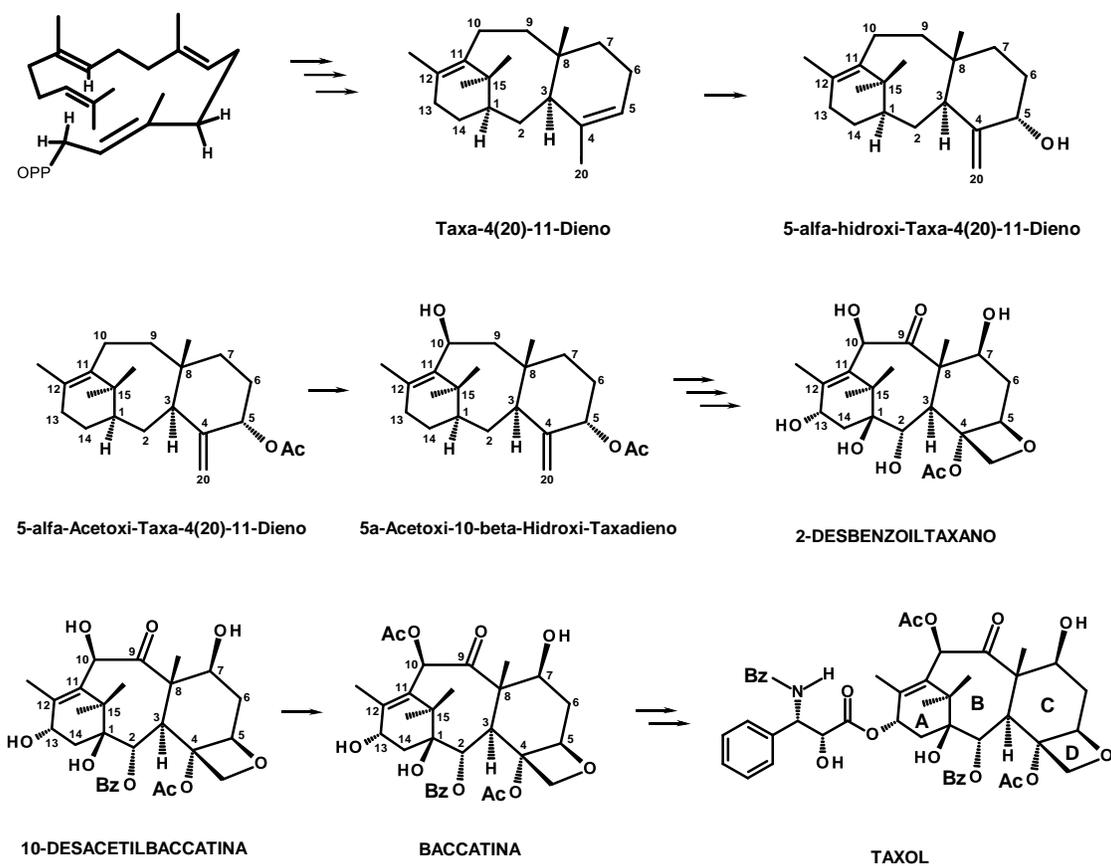
Los constituyentes químicos de las plantas del *Taxus*, los cuales una cantidad de especies pertenecientes al género han sido de gran interés en parte debido al descubrimiento del agente antitumoral Taxol, compuesto anticancerígeno que fue aislado originalmente a finales de 1960 de la corteza del tejo occidental, *Taxus brevifolia*, y su estructura fue publicada en 1971 en un documento que ha sido citado más de 1000 veces desde su publicación.



El Taxol cobró interés su aislamiento en base a su citotoxicidad y actividad antileucémica, pero no fue desarrollado como un fármaco durante varios años debido a la escasez del recurso natural y al muy bajo rendimiento ó contenido de éste (el rendimiento inicial derivado de la corteza de tejo fue de 0.02%) y a su falta de solubilidad en agua.







### ESQUEMA X.- Trayectoria Biosintética abreviada del Taxol

En el ESQUEMA X se encuentra representado la trayectoria biosintética abreviada del Taxol, en el que se describe en las primeras etapas la formación del sistema diterpénico del taxano<sup>105-107</sup> con la obtención del taxa-4(20)-11-dieno.

Otros diterpenos con esqueleto del Biciclo [9.3.1]pentadecano son las fomactinas las cuales se encuentran estrechamente relacionadas a los diterpenos verticilénicos obtenidos de varias especies de *Bursera*.

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS



La *Bursera attenuata* (Rose) Riley es un componente del complejo *Bursera simaruba*, aún no muy bien esclarecido, sobre todo frente a *Terebinthus acuminata*, por lo que aún no está bien definida su área, es una planta que crece en la Sierra Madre Occidental, en comarcas de la planicie costera del Pacífico; su distribución geográfica se encuentra en los Estados de Durango, Nayarit y Sinaloa.



borde es liso ó finamente aserrado, el ápice agudamente acuminado, cuando la hoja está tierna es de color rojizo oscuro.

Una descripción escueta disponible viene datada desde 1909.

La *Bursera attenuata* (Rose) Riley es un árbol que crece aproximadamente entre 8-12 m de altura, su corteza es verde lisa con defoliaciones en laminillas desde el color crema hasta el anaranjado, las hojas son glabras, el raquis sin alas, el



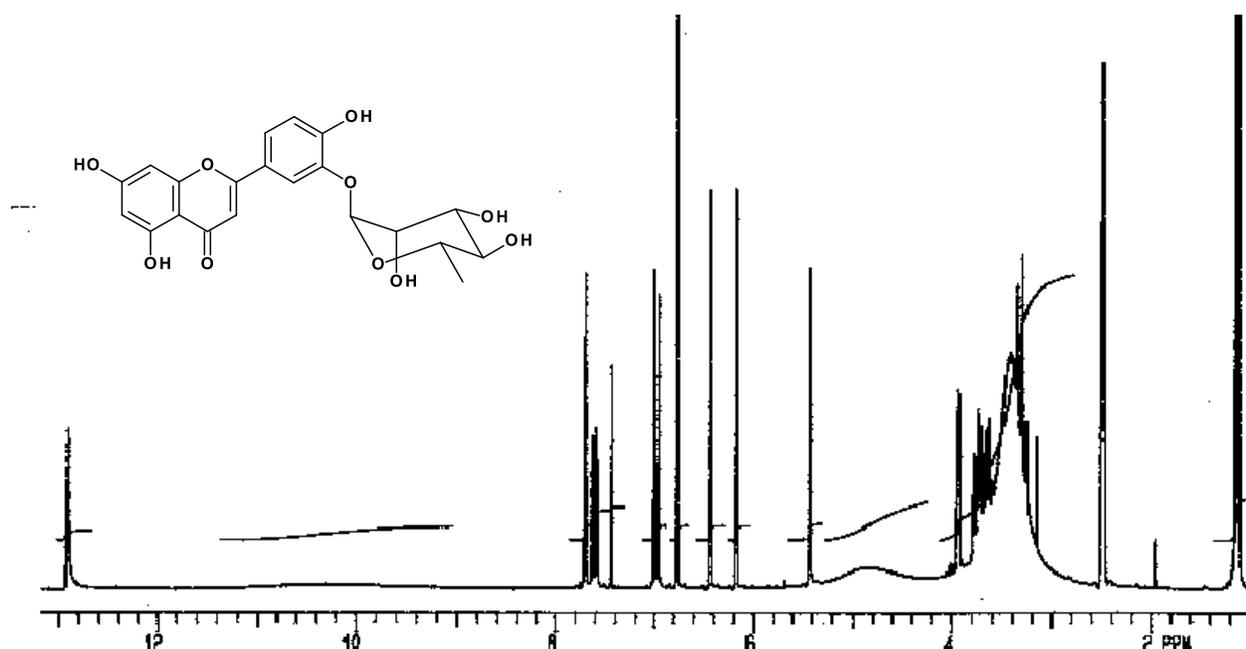
La muestra para su clasificación botánica fue colectada entre los Estrados de Jalisco y Nayarit en el tramo carretero entre los poblados de Ahuacatlán y San Leonel de la Carretera 15D Guadalajara-Tepic y de Coordenadas entre los 21° 08' 36" Latitud Norte y los 104° 28' 52" Longitud Oeste y una altitud de 1355 msnm. en el Estado de Nayarit.



Previamente de las hojas de *Bursera attenuata* (Rose) Riley reportamos los flavonoides: 3'-O-rhamnósido de luteolina y vitexina caracterizados en base a la espectroscopía de RMP y RM<sup>13</sup>C de los

metabolitos aislados así como también de sus respectivos derivados peracetilado y permetilado preparados para evidenciar la cantidad de oxhidrilos que están presentes en el glicósido, tanto en el azúcar como en la aglicona flavonoide además de la comparación de sus respectivos datos espectroscópicos con los descritos en la literatura <sup>116-121</sup>.

Para el caso del 3'-O-rhamnósido de luteolina el espectro de RMP a 200 MHz es mostrado en la Figura 1.

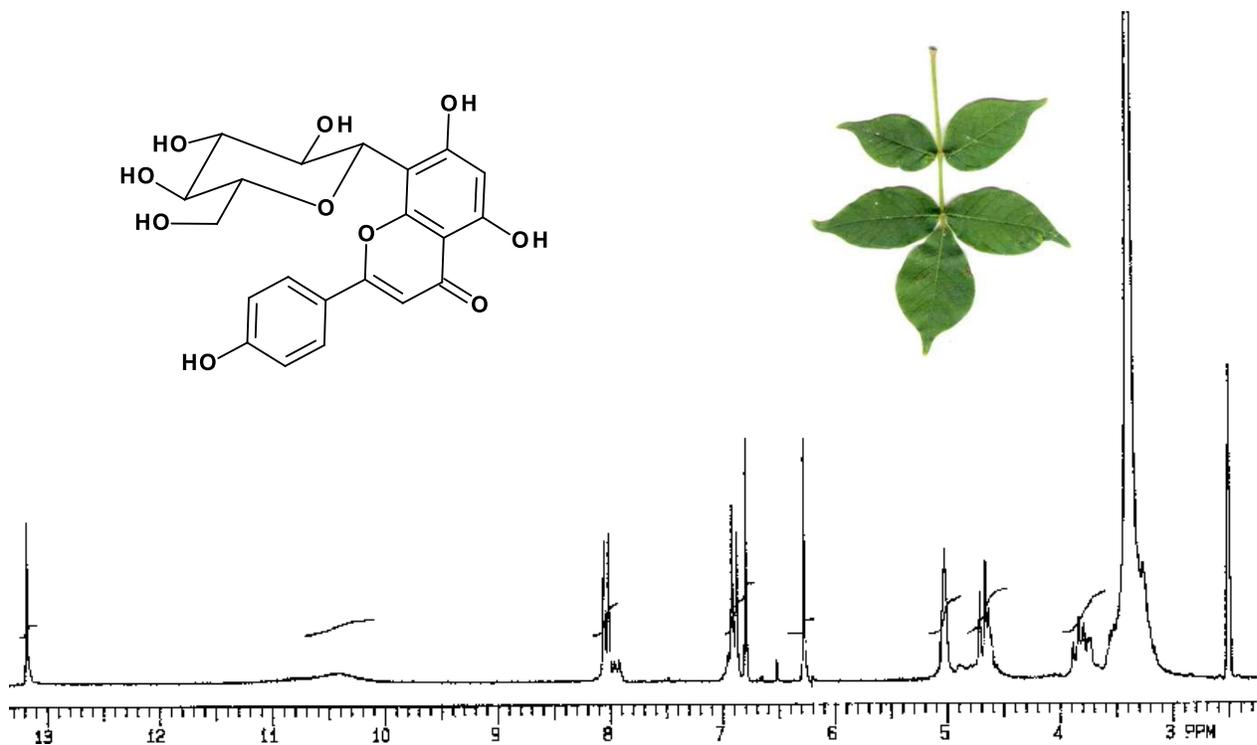


**FIGURA 1.-** Espectro de RMP a 200 MHz de 3'-O-rhamnósido de luteolina.

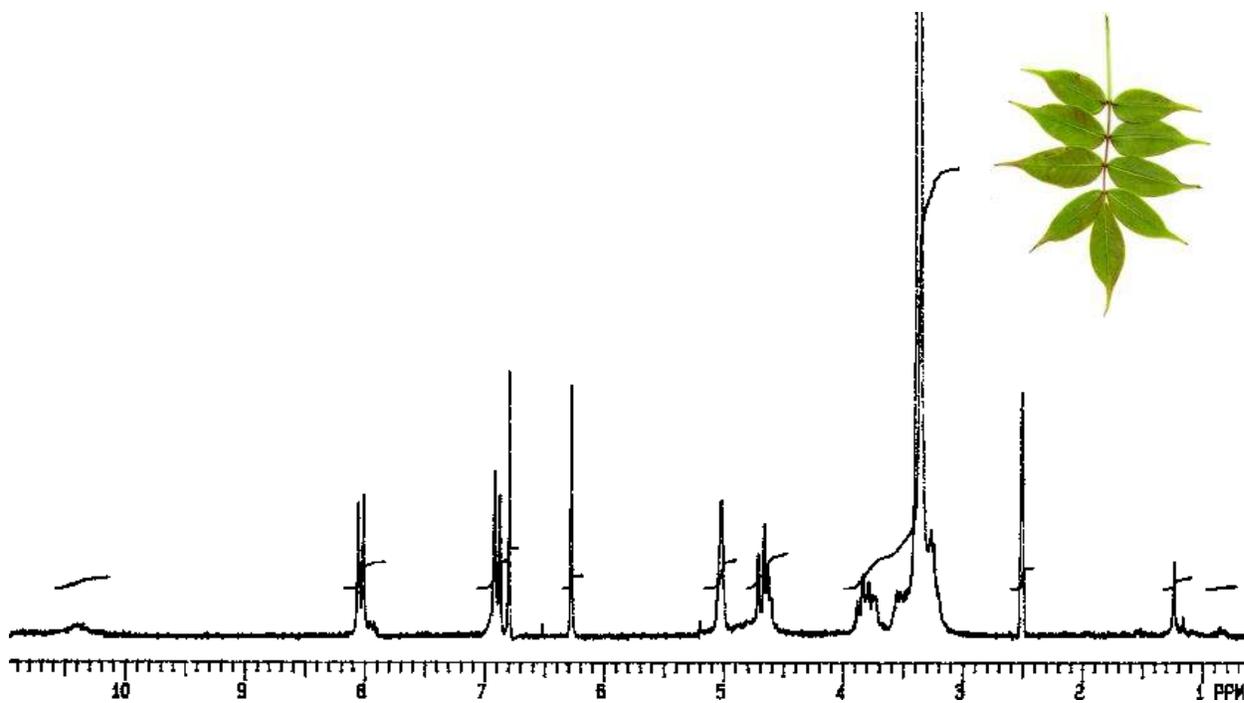


; el metabolito vitexina fue aislado previamente de las hojas de la *Bursera grandifolia*, su aislamiento tiene gran importancia por tratarse de un C-glicósido, o sea que el azúcar se encuentra unido directamente a Carbono y no a Oxígeno los cuales son poco comunes.

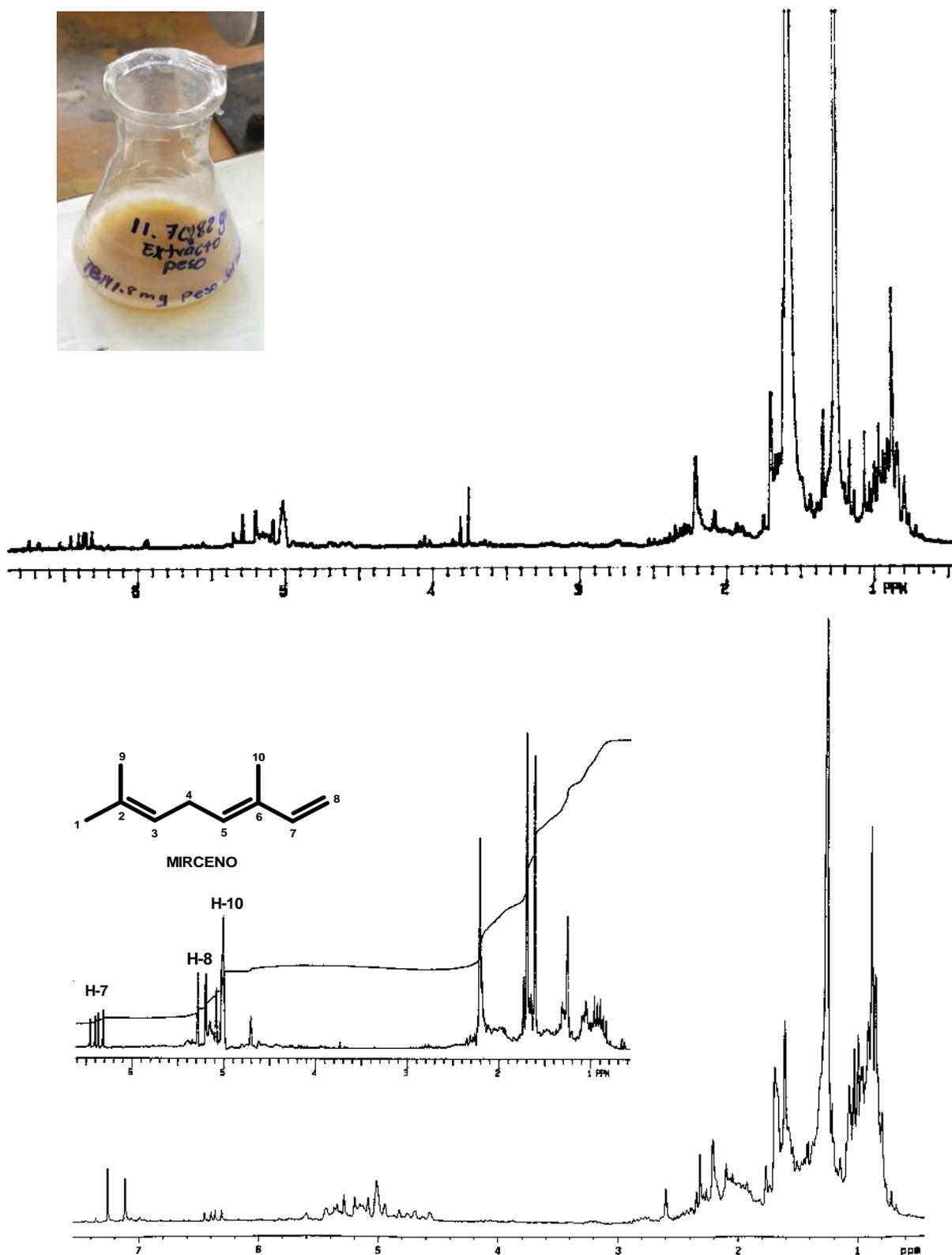
Los espectros de RMP a 200 MHz son mostrados en la Figura 2 para la vitexina aislada de *Bursera grandifolia* y en la Figura 3 para la vitexina aislada de *Bursera attenuata*.



**FIGURA 2.-** Espectro de RMP a 200 MHz de la vitexina de *B. grandifolia*



**FIGURA 3.-** Espectro de RMP a 200 MHz de la vitexina de *B. attenuata*.



**FIGURA 4.-** Espectro de RMP a 200 MHz del E.H. de *Bursera attenuata* (arriba). Espectro de RMP a 200 MHz de la F-1 de la CC del extracto hexánico *Bursera attenuata* y de la recromatografía de F-1 a F6 (abajo).

A un lote colectado de 2.5 kg. de tallos de *Bursera attenuata* (Rose) Riley se sometieron a macerar en hexano durante 15 días a temperatura ambiente, transcurrido ese tiempo, se filtró el disolvente y se evaporó obteniéndose un extracto amarillento muy denso de un peso aproximado de 8 g., cuyo espectro de RMP a 200 MHz es mostrado en la Figura 4 en la parte superior; del extracto se tomó una alícuota de 1 g. para someterla a un

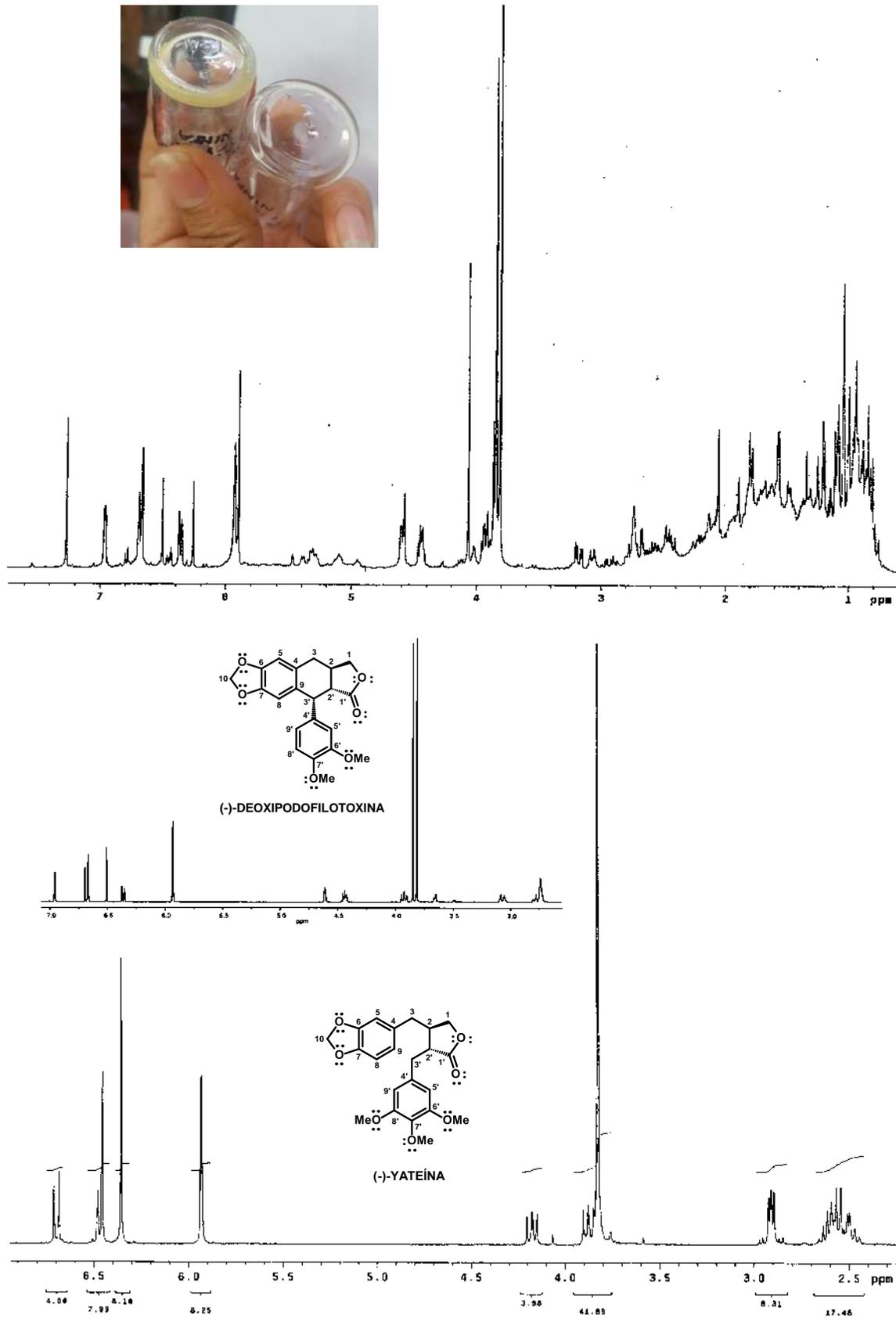


procedimiento de purificación cromatográfica de columna abierta (CC) y en las primeras siete fracciones eluidas con hexano, se obtuvo muy poca cantidad de un aceite denso amarillento; las primeras siete fracciones colectadas se juntaron y nuevamente se volvieron a someter a CC y de las fracciones 3 y 4 eluidas también con hexano, se analizaron obteniéndose los espectros de RMP a 200 MHz tanto de las fracciones F-1 a F-5 juntadas como de la fracción F-4 obtenida por recromatografía y eluída también con hexano son mostrados en la Figura 4 en la parte inferior, correspondiendo a un monoterpene alicíclico insaturado de esqueleto de mircano llamado mirceno ya conocido<sup>122</sup>.

Las fracciones cromatográficas desde la F-12 a la F-23 eluidas en polaridad de hexano-CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, consistieron en una mezcla de estructuras lignánicas y triterpénicas de aspecto aceitoso denso de ligeramente amarillento a cristalino, cuyo espectro de RMP es mostrado en la Figura 5 parte superior, todas estas fracciones fueron juntadas y el concentrado fue sometido a dos procedimientos posteriores de purificación cromatográfica separándose sólo dos de ellas ya conocidas y



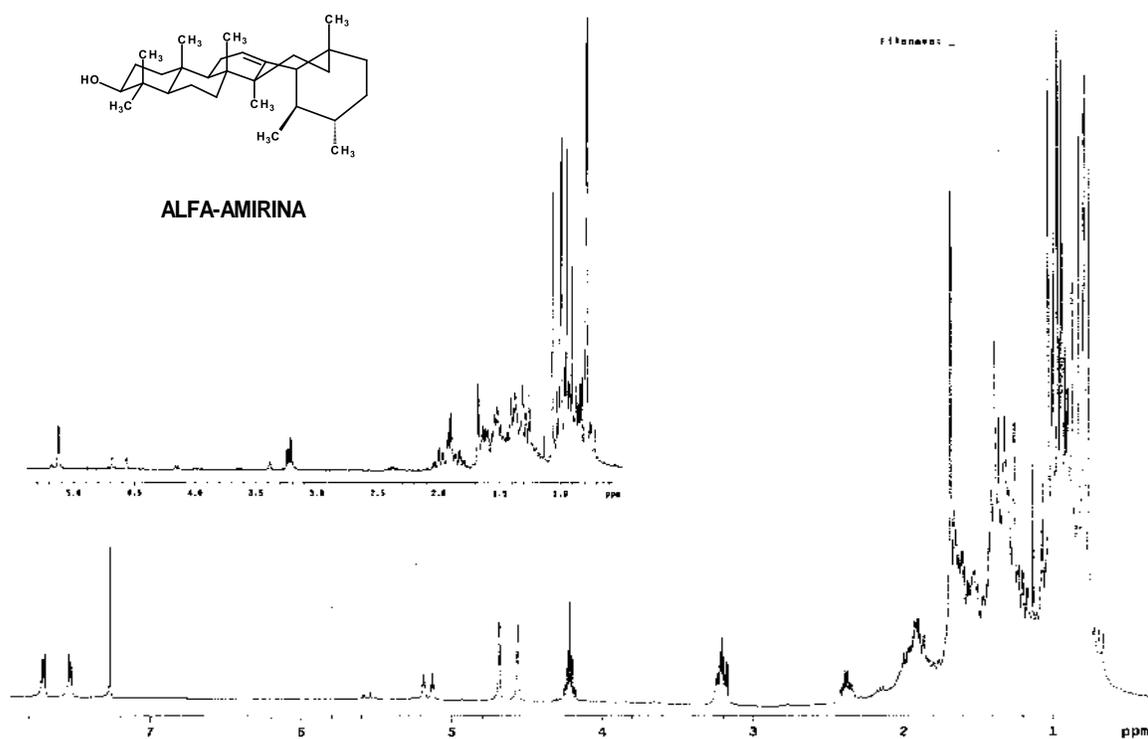
dos de ellas ya conocidas y



**FIGURA 5.-** Espectro de RMP de mezcla de lignanos de la F-12 a la F-23 (arriba). Espectro de RMP de (-)-Yateína y (-)-Deoxipodofilotoxina (abajo).

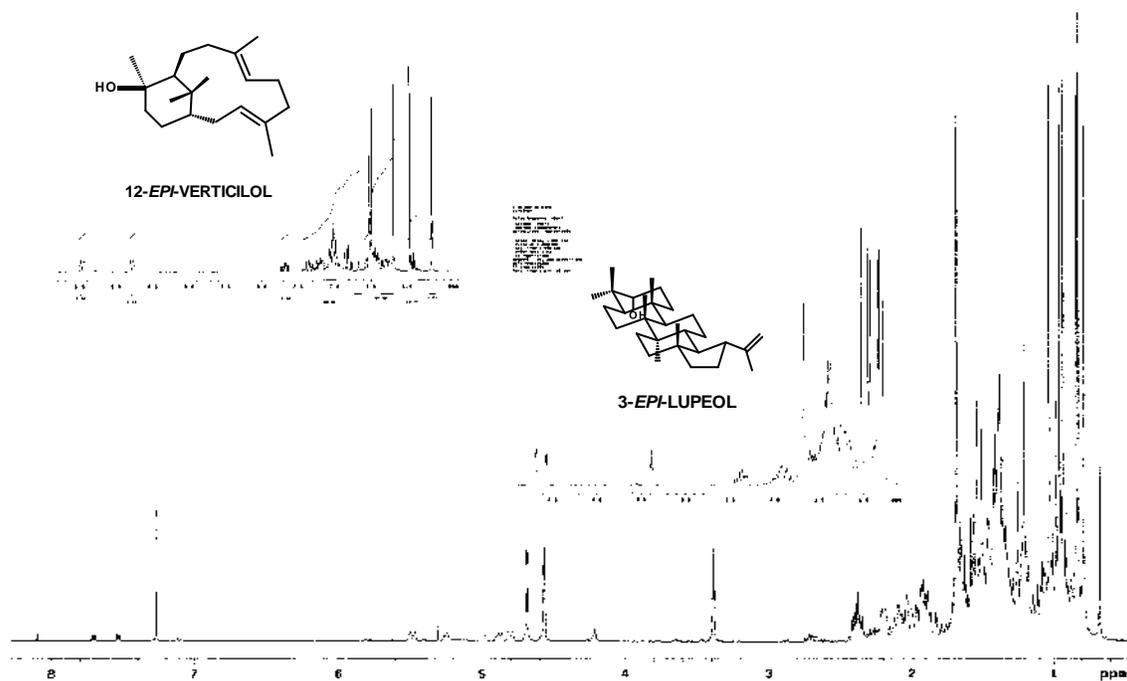
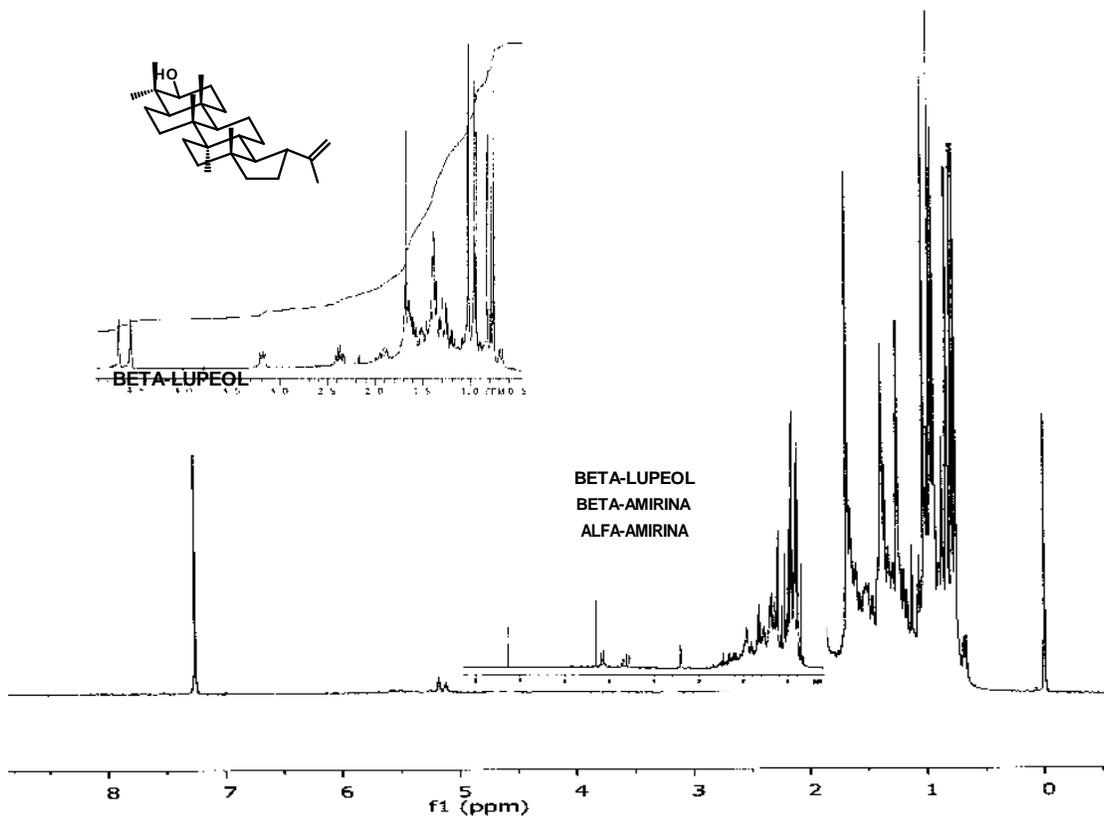
previamente aisladas de "cuajotes amarillos" como la *Bursera aptera* Ramírez y la *Bursera fagaroides* var. *elongata*<sup>123-124</sup>; estas dos lignanolactonas correspondieron a la (-)-yateína, la que se encuentra presente en muchas especies de burseras y la cual ya ha sido previamente caracterizada mediante análisis espectroscópicos y su espectro de RMP es mostrado en la Figura 5 en la parte inferior; en tanto que la segunda correspondió a la (-)-deoxipodofilotoxina, también reportada con anterioridad.

Las fracciones de mayor polaridad a partir de la F-26 hasta la F-84 se obtuvo una mezcla de metabolitos triterpénicos, los cuales son mostrados en el espectro de RMP de la Figura 6 donde se revela la presencia de los esqueletos triterpénicos de lupano, oleanano y ursano; particularmente a los metabolitos 3-*epi*-lupeol,  $\alpha$ -amirina y  $\beta$ -amirina y el barrido espectral que se encuentra en la parte superior corresponde al espectro de RMP de la  $\alpha$ -amirina separada mayoritariamente, este se encuentra muy distribuído



**FIGURA 6.-** Espectro de RMP a 400 MHz de mezcla de triterpenos de la F-26 a la F-84 (abajo).

Espectro de RMP a 400 MHz de la  $\alpha$ -amirina (arriba).



**FIGURA 7.-** Espectros de RMP a 400 MHz de algunas fracciones recromatográficas las que muestran la presencia de mezcla de los metabolitos indicados.

en Burseraceae, y en particular los de la sección *Bullockia*.

La comparación de los espectros de RMP mostrados en la Figura 7 correspondientes a distintas fracciones de las recromatografías eluidas a mayor polaridad se obtuvieron mezclas enriquecidas de compuestos triterpénicos, como los que se encuentran en los espectros de la parte superior e intermedia consistentes en  $\beta$ -lupeol; 3-*epi*-lupeol;  $\alpha$ -amirina y  $\beta$ -amirina en distintas proporciones, así como los espectros de RMP de la



parte inferior correspondientes a mezclas de compuestos triterpénicos como el 3-*epi*-lupeol con metabolitos diterpénicos como el 12-*epi*-verticilol, en el cual es evidente la proporción mayoritaria del triterpeno 3-*epi*-lupeol, sin embargo este resultado es importante ya que estructuras verticilénicas provenientes de Burseraceae únicamente las hemos obtenido de los "cuajotes rojos" tales como *Bursera kerberi*, *Bursera suntui* y *Bursera multifolia*.<sup>125-133</sup> En el 2015 reportaron metabolitos verticilénicos aislados de *Bursera microphylla* A. Gray (Burseraceae), también conocida como el árbol del elefante, cuajote ó torote, planta endémica del desierto del estado de Sonora.

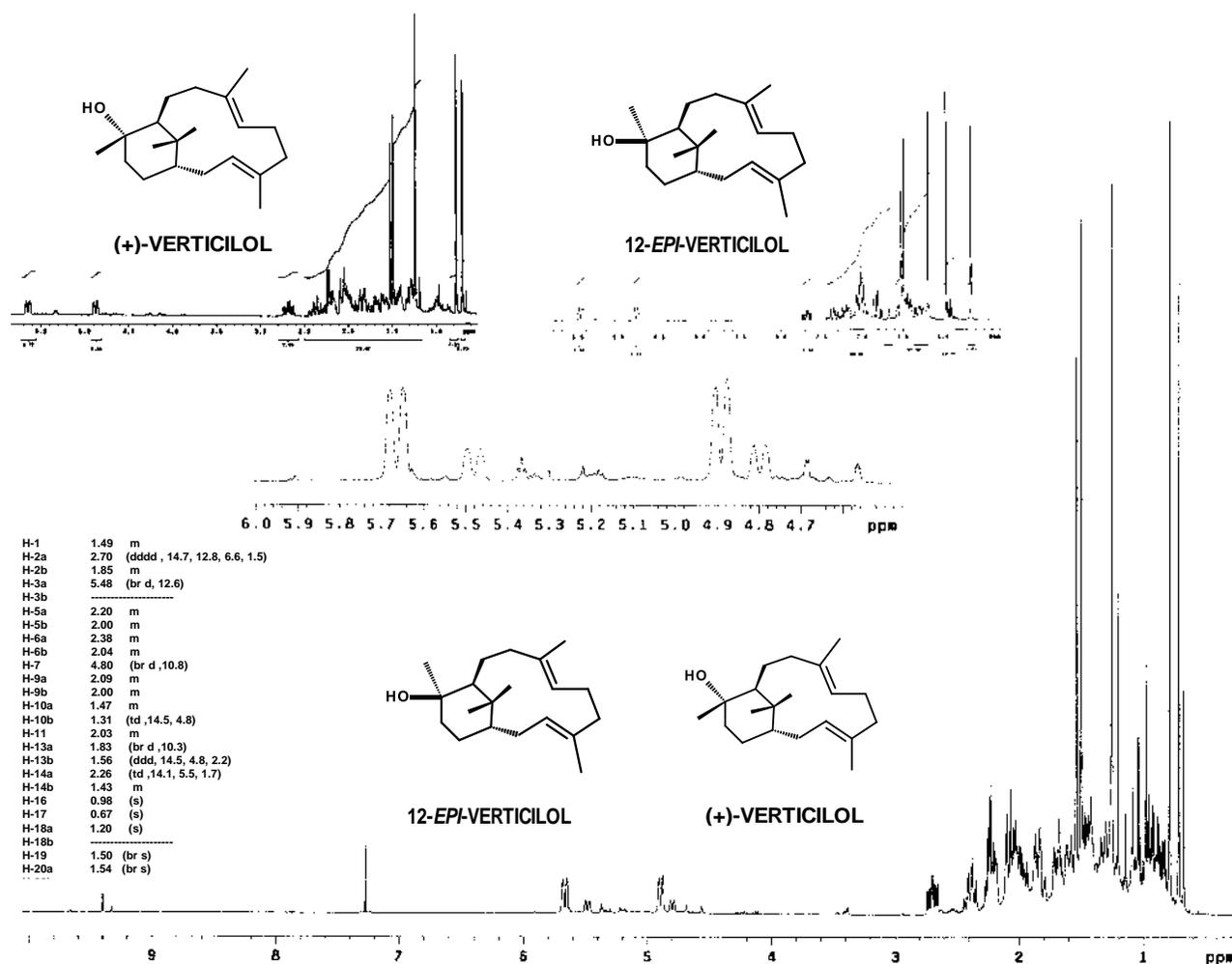




Este hecho nos motivó para iniciar la búsqueda y el análisis fitoquímico de especies afines a la *Bursera attenuata* pertenecientes al complejo simaruba y se buscó y localizó a la *Bursera roseana* una especie del bosque tropical caducifolio, la cual crece en colindancia con encinares y pinares en altitudes de 600(1200) a 1900 msnm, es conocida como papelillo, el cual es un árbol poco aromático y resinoso, de corteza exfoliante, en tiras delgadas rojizo anaranjadas que puede llegar a medir hasta 20 m de altura, sus frutos son triquetrate-ovoides de 9-12 mm de largo, glabros, sostenidos por pedicelos notablemente engrosados se encuentra en los Estados de Jalisco, Nayarit, Aguascalientes, Colima, Edo. de México, Zacatecas, Michoacán y Guerrero, permanece sin follaje de noviembre a mayo, florece en mayo-junio y una muestra fue colectada en el Estado de Michoacán en el tramo carretero Apatzingán-Coalcomán entre los poblados de El Aguacate de los Laureles y Puerto de las Cruces de la Carretera 120 y de Coordenadas entre los 18° 56' 22" Latitud Norte y los 103° 07' 13" Longitud Oeste y una altitud de 1190 msnm.

Estudios preliminares confirmaron la presencia de metabolitos verticilénicos como lo muestran los espectros de RMP de la Figura 8; del

extracto hexánico de tallos de la *Bursera roseana* consistente de una mezcla de los verticiloles epiméricos en C-12 (parte inferior); el barrido del espectro mostrado en la parte intermedia corresponde a una ampliación del anterior en la región de los protones vinílicos en los que se resaltan las señales de los protones vinílicos características de ambos epímeros y en la parte superior los espectros de RMP por separado de ambos.



**FIGURA 8.-** Espectros de RMP a 400 MHz de la mezcla de verticiloles proveniente del extracto hexánico de los tallos de la *Bursera roseana* (abajo); la ampliación del espectro en la región de los protones vinílicos (parte intermedia) y los espectros de RMP de los verticiloles epiméricos en C-12 (parte superior).

## CONCLUSIONES

- 1.- De las fracciones apolares obtenidas del extracto hexánico de los tallos de *Bursera attenuata*, provenientes de dos lotes colectados en diferentes localidades Estatales se aisló mayoritariamente de ambos, mediante separaciones cromatográficas el hidrocarburo alicíclico monoterpénico mirceno como un líquido oleoso cristalino de olor característico, previamente aislado en nuestro laboratorio de las *Burseras* pertenecientes a la sección *Bullockia* como *Bursera cuneata*; *Bursera penicillata* y *Bursera fragantissima* y de las *Burseras* pertenecientes a la sección *Bursera* como la *Bursera crenata*; *Bursera* aff. *ariensis* aff. *ariensis* y *Bursera* aff. *crenata* y todo parece indicar que este metabolito monoterpénico se encuentra tanto en *Burseras* defoliantes como no defoliantes; no así metabolitos diterpénicos hidrocarbonados no fueron aislados.
- 2.- Las fracciones cromatográficas colectadas en la polaridad de hexano-CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, desde la F-12 a la F-23 se obtuvo una mezcla de consistencia pastosa de metabolitos lignánicos, los cuales se juntaron, y ya juntas las fracciones, se intentó separar los componentes de la mezcla por procedimientos cromatográficos sucesivos y únicamente se logró la separación de sólo dos lignanlactonas (-)-yateína y (-)-deoxipodofilotoxina previamente aisladas e identificadas en los "cuajotes amarillos" *Bursera aptera* Ramírez y *Bursera fagaroides* var. *elongata*, los cuales hasta ahora sólo los hemos aislado de este tipo de *Burseras* defoliantes.
- 3.- Las fracciones de mayor polaridad a partir de la F-26 se obtuvo una mezcla de metabolitos mayoritariamente triterpénicos y en pequeña cantidad un metabolito diterpénico verticilénico, que sólo se lograron separar mediante cromatografías sucesivas en el que el 3-*epi*-lupeol se obtuvo como componente mayoritario y el (+)-12-*epi*-verticilol, y del resto de las fracciones eluídas, sólo se obtuvieron mezclas de diversa proporción correspondientes al 3- $\beta$ -lupeol; 3-*epi*-lupeol;  $\alpha$ -amirina,  $\beta$ -amirina; el (+)-12-*epi*-verticilol, diterpeno aislado por vez

primera vez de una *Bursera* que no se encuentra incluida en los "cuajotes rojos" y que pertenece a otro grupo de *Burseras* llamado complejo simaruba.

- 4.- Del estudio fitoquímico preliminar de la *Bursera roseana* (Rose) Riley la cual pertenece también al complejo simaruba, fueron aislados los metabolitos del extracto hexánico de los tallos se los cuales se caracterizaron obteniéndose una mezcla de los verticiloles epiméricos en C-12 correspondientes al (+)-verticilol y al (+)-12-*epi*-verticilol aislados con anterioridad de los "cuajotes rojos" *Bursera suntui*; el (+)-verticilol y dos verticilenos funcionalizados adicionalmente en C-20 y de la *Bursera kerberi* Engl., verticilenos hidrocarbonados y el (+)-12-*epi*-verticilol.

Esto es indicativo que del grupo de *Burseras* que se encuentran clasificadas dentro del complejo simaruba, por vez primera se han aislado también los diterpenos verticilénicos, reportados con anterioridad sólo de algunos "cuajotes rojos" y por lo tanto hay que considerar que existen otras fuentes de *Burseras* que contienen a los verticilenos cuyo esqueleto biogenéticamente se encuentra relacionado con taxoides.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Ferrucci, M.S. 2005. *Tiliaceae*. En N. M. Bacigalupo y A. Burkart. (eds.). Fl. Il. Entre Ríos, Colecc. C. Tecnol. Inst. Nac. Agropecu. 5.
- 2.- Frayxell, P.A. 1969. The genus *Cienfuegosia* Cav. ( Malvaceae). Ann. Missouri Bot. Gard. 56: 179-250.
- 3.- Frayxell, P.A. 1999. *Pavonia* Cavanilles (Malvaceae). In. Fl. Neotrop. Monogr. 76:1-284.
- 4.- Enrique Rioja, "*El rico presente de la flora mexicana*", *Sinopsis, IV*, México, 17-25 (1953).
- 5.- Fryxell, P. A. 1993. Malvaceae. 16: 1–175. In J. Rzedowski & G. Calderón de Rzedowski Fl. Bajío. Instituto de Ecología A.C., Pátzcuaro.
- 6.- Idárraga-Piedrahíta, A., R. D. C. Ortiz, R. Callejas Posada & M. Merello. 2011. Flora de Antioquia. Catálogo de las Plantas Vasculares, vol. 2. Listado de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia. Pp. 1-939.
- 7.- Molina Rosito, A. 1975. Enumeración de las plantas de Honduras. Ceiba 19(1): 1–118.
- 8.- Nasir, E. & S. I. Ali (eds). 1980-2005. Fl. Pakistan Univ. of Karachi, Karachi.
- 9.- Standley, P. C. & J. A. Steyermark. 1949. Malvaceae. In Standley, P.C. & Steyermark, J.A. (Eds), Flora of Guatemala - Part VI. Fieldiana, Bot. 24(6): 324–386.
- 10.- Stevens, W. D., C. Ulloa Ulloa, A. Pool & O. M. Montiel. 2001. Flora de Nicaragua. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 85: i–xlii,.
- 11.- The Biology of *Gossypium hirsutum* L. and *Gossypium barbadense* L. (cotton) Stein, Burton (1998).
- 12.- Haq Q N, Niwmuddin M, Mosihuzzaman M, Nahar N, Larm O 1987 Structural studies and chemical modifications of a xylan from unretted jute stick (*Corchorus capsularis*). Swedish *J. Agric. Res.*, 11 67-72.
- 13.- Mosihuzzaman M, Theander O, Aman P 1982 Analysis of carbohydrates in the jute plant (*Corchorus capsularis*). *J. Sci. Food. Agric.*, 33 1207-1212.

- 14.- Sawardeker J S, Sloneker J H, Jeanes A 1965 Quantitative determination of monosaccharides as their alditol acetates by gas liquid chromatography. *Anal. Chem.* 37, 1602- 1604.
- 15.- Srivastava H C, Bishop C T, Adams G A 1961 Structure of an aldobiuronic acid isolated from jute fibre hemicellulose. *J. Org. Chem.*, 26, 3958-3960.
- 16.- Sweeley C C, Bentley R, Makita M, Wells W W 1963 Gas-liquid chromatography of trimethylsilyl derivatives of sugars and related substances. *J. Amer. Chem. Soc.*, 85 2491-2507.
- 17.- Theander O, Aman P 1976 Low molecular carbohydrates in rapeseed and turnip rapeseed meals. *Swedish J. Agric. Res.*, 6, 81-85.
- 18.- Theander O, Aman P 1979 Studies on dietary fibres 1. Analysis and chemical characterization of water-soluble and water-insoluble dietary fibres. *Swedish J. Agric. Res.*, 9, 97-106.
- 19.- Howard Scott Gentry, *Agaves de Norteamérica* (Universidad de Arizona Press, 1982) pp. 628-631.
- 20.- CONABIO. 2009. Catálogo taxonómico de especies de México. *In. Ca. Nat.*, México. CONABIO, Mexico City.
- 21.- Correa A., M. D., C. Galdames & M. N. S. Stapf. 2004. *Cat. Pl. Vasc. Panamá*, 1–599. Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá.
- 22.- A. Al-Shamma, S.D. Drake, L.E. Guagliardi, L.A. Mitscher, and J.K. Swayze, *Phytochemistry* 21, 485 (1982).
- 23.- Y.G. Luo, B.G. Li, and G.L. Zhang, *Chinese Chem. Lett.* 12, 337 (2001).
- 24.- Y. Luo, Y. Liu, D. Luo, B. Li, and B. Zhang, *Planta Med.* 69, 842 (2003).
- 25.- N.K. Hart, S.R. Johns, and J.A. Lamberton, *Aust. J. Chem.*, 21, 2579 (1968).
- 26.- N.K. Hart, S.R. Johns, and J.A. Lamberton, *Aust. J. Chem.*, 21, 1397 (1968).
- 27.- N.R. Farnsworth, N.K. Hart, S.R. Johns, J.A. Lamberton, and W. Messmer, *Aust. J. Chem.*, 22, 1805 (1969).
- 28.- Müller Argo viensis, J. 1860a. Apocynaceae. En: C.F.P. von Martius (ed.), *Flora Brasiliensis* 6(1):1–180.
- 29.- Morales, J.F. 2006. Estudios en las Apocynaceae Neotropicales XXIV: *Bahiella* (Apocynoideae: Echiteae) un desapercibido género endémico de Bahia, Brasil. *Sida* 22:333–353
- 30.- Morales, J.F. 2007. Estudios en las Apocynaceae Neotropicales XXXI: el complejo de *Mandevilla hirsuta* y cuatro nuevas especies, *J. Bot. Res. Inst. Texas* 1:859–869.

- 31.- Morales, J.F. and A. Fuentes. 2004. Estudios en las Apocynaceae Neotropicales VIII: nuevas especies de *Mandevilla* (Apocynoideae, Mesechiteae) para Perú y Bolivia, con notas sobre la morfología floral en corolas infundibuliformas, *Candollea*, 59:167–174.
- 32.- Müller Argo viensis, J. 1860b. Species novae nonnullae americanae ex ordine Apocynearum et observationes quaedam in species generis *Echites* auctorum earumque distributio in genera emendata et nova. *Linnaea*, 30:387–454.
- 33.- Hammond, B. L. & Polhamus, L. G. (1965). Research on guayule (*Parthenium argentatum*) 1942- 1959. US Department of Agriculture Technical Bulletin no. 1327. Hewitt, E. J. (1966).
- 34.- Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition. 2nd Edn. Farnham Royal, England: Commonwealth Agricultural Bureaux.
- 35.- Hurly, R. F., Van Staden, J. & Smith, M. T. (1989). Guayule (*Parthenium argentatum* Gray) seed germination. The effect of water soaks, gibberellic acid and gibberellin,/, applied on seed production. *Seed Science & Technology* 17, 223-233.
- 36.- Lewis, D. H. (1980). Are there inter-relations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen? *New Phytologist* 84, 261-270.
- 37.- Lloyd, F. E. (1911). Guayule (*Parthenium argentatum*), a rubber plant of the Chihauhuan desert. Carnegie Institute Publication No. 139, Washington.
- 38.- Whitehead, M. R. & Mitchell, J. W. (1943). Effect of nutrient, photoperiod, and night temperature on the development of guayule seeds. *Botanical Gazette*, 105, 14-24.
- 39.- Oteros, J., Orlandi, F., García-Mozo, H., Aguilera, F., Dhiab, A. B., Bonofiglio, T. & Galán, C. (2014). Better prediction of Mediterranean olive production using pollen-based models. *Agronomy for sustainable development*, 34(3), 685-694.
- 40.- Oteros, J., García-Mozo, H., Alcázar, P., Belmonte, J., Bermejo, D., Boi, M., & Galán, C. (2015). A new method for determining the sources of airborne particles. *Journal of environmental management*, 155, 212-218.
- 41.- Davidse, G. y R. W. Pohl. 1994. 146. *Saccharum* L. 6: 378–379.
- 42.- En G. Davidse, M. Sousa Sánchez y A.O. Chater (eds.) , *Fl. Mesoamer.*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

- 43.- Davidse, G., M. Sousa Sánchez y A.O. Chater. 1994. Alismataceae a Cyperaceae. 6: i–xvi, 1–543. En G. Davidse, M. Sousa Sánchez y A.O. Chater (eds.), *Fl. Mesoamer.*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 44.- Dodson, C.H. y A.H. Gentry. 1978. Flora of the Río Palenque Science Center: Los Ríos Province, Ecuador. *Selbyana* 4(1–6): i–xxx, 1–628.
- 45.- Dodson, C.H., A.H. Gentry y F.M. Valverde Badillo. 1985. *Fl. Jauneche*, 1–512. Banco Central del Ecuador, Quito.
- 46.- Espejo Serna, A., A.R. López-Ferrari y J. Valdés-Reyna. 2000. Poaceae. Monocot. Mexic. *Sinopsis Floríst.* 10: 7–236.
- 47.- Idárraga-Piedrahíta, A., R. D. C. Ortiz, R. Callejas Posada & M. Merello. 2011, Flora de Antioquia. Catálogo de las Plantas Vasculares, vol. 2. Listado de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia. p. 1-939.
- 48.- Nasir, E. & S. I. Ali (eds). 1980-2005. *Fl. Pakistan*, Univ. of Karachi, Karachi.
- 49.- Razi, *Journal of Medical Sciences*. 11/1/2014, Vol. 21 Issue 125, p 37-45.
- 50.- Gilmartin, A. J.; Brown, G. K. (1987). «Bromeliales, related monocots and resolution of relationships among Bromeliaceae subfamilies.». *Syst. Bot.*, (12): pp. 493-500.
- 51.- Benzing, D. H. 1980. The biology of the bromeliads. Eureka, CA: Mad River Press. 305 pp.
- 52.- Doyle, J.A., H. Sauquet and T. Scharaschkin  
 «Phylogeny, molecular and fossil dating, and biogeographic history of Annonaceae and Myristicaceae (Magnoliales) «  
*International Journal of Plant Sciences* 165 (4): 55–67, (2004).
- 53.- Fries, R. E. , Annonaceae, Flora of Peru, *Mus. Nat. Hist., Bot. Ser.* 13(2/3): 700–766 (1938).
- 54.- Shi, Q.-W.; Oritani, T.; Sugiyama, T.; Kiyota, H. *J. Nat. Prod.* **1998**, , 1437-1440.
- 55.- Shi, Q.-W.; Oritani, T.; Sugiyama, T., *Phytochemistry* **1999**, 50, 633-636.
- 56.- Hosoyama, H.; Inubushi, A.; Katasui, T.; Shigemori, H.; Kobayashi, J. *Tetrahedron* **1996**, 52, 13145-13150.
- 57.- Zamir, L. O.; Zhou, Z. H.; Caron, G.; Nedeá, M. E.; Sauriol, F.; Mamer, O. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1995**, 529-530.
- 58.- Zamir, L. O.; Zhang, J.; Kutterer, K.; Sauriol, F.; Mamer, O.; Khat, A.;

- Boulanger, Y. *Tetrahedron* **1998**, *54*, 15845-15860.
- 59.- Fang, W.-S.; Fang, Q.-C.; Liang, X.-T. *Planta Med.* **1996**, *62*, 567-569.
- 60.- Fang, W.-S.; Fang, Q.-C.; Liang, X.-T.; Lu, Y.; Zheng, Q.-T. *Tetrahedron* **1995**, *51*, 8483-8490.
- 61.- Shigemori, H.; Wang, X.-X.; Yoshida, N.; Kobayashi, J. *Chem. Pharm. Bull.* **1997**, *45*, 1205-1208.
- 62.- Shi, Q.-W.; Oritani, T.; Sugiyama, T.; Kiyota, H. *Planta Med.* **1998**, *64*, 766-769.
- 63.- D. J. Ballhom, "Cyanogenic glycosides in nuts and seeds," in *Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention*, V. R. Preedy, R. R. Watson, and V. B. Patel, Eds., pp. 129–136, Academic Press is an imprint of Elsevier, London, UK, 1st edition, 2011.
- 64.- D. S. Seigler, "Isolation and characterization of naturally occurring cyanogenic compounds," *Phytochemistry*, vol. 14, no. 1, pp. 9–29, 1975.
- 65.- M. R. Haque and J. H. Bradbury, "Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods," *Food Chemistry*, vol. 77, no. 1, pp. 107–114, 2002.
- 66.- G. Drochioiu, C. Arsene, M. Murariu, and C. Oniscu, "Analysis of cyanogens with resorcinol and picrate," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 46, no. 11, pp. 3540–3545, 2008.
- 67.- Sun, Q.; Cai, X.; Li, J.; Zheng, M.; Chen, Z.; Yu, C.-P. Green synthesis of silver nanoparticles using tea leaf extract and evaluation of their stability and antibacterial activity. *Colloids Surf., A* 2014, *444*, 226–231.
- 68.- Begum, N. A.; Mondal, S.; Basu, S.; Laskar, R. A.; Mandal, D. Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles using aqueous solutions of Black Tea leaf extracts. *Colloids Surf., B* 2009, *71*, 113–118.
- 69.- Santhoshkumar, T.; Rahuman, A. A.; Rajakumar, G.; Marimuthu, S.; Bagavan, A.; Jayaseelan, C.; Zahir, A. A.; Elango, G.; Kamaraj, C. Synthesis of silver nanoparticles using *Nelumbo nucifera* leaf extract and its larvicidal activity against malaria and filariasis vectors. *Parasitol. Res.* 2011, *108*, 693–702.
- 70.- Alejandro de Humboldt, *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, Editorial Porrúa, México, 241 (1966).

- 71.- L. Ruzicka, *Angew. Chem.* 51, 5 (1938)
- 72.- L. Ruzicka, *Proc. Chem. Soc.*, 341 (1959)
- 73.- J.D. Bu' Lock Robinson, *The Biosynthesis Relations of Natural Products*, Mc- Graw-Hill (1965).
- 74.- M. Luckner, "*Secondary Metabolism in Plants and Animals*" Chapman and Hall (1972).
- 75.- T. A. Geissman, D.H.G. Crout, *Organic Chemistry of Secondary Plant Metabolism*, Freeman, Cooper & Co. (1969).
- 76.- J. Rzedowski y R McVaugh, Synopsis of *Bursera* in Western Mexico
- 77.- J. Rzedowski y R McVaugh, *La Vegetación de Nueva Galicia, Contr.*
- 78.- G. Hinton y J. Rzedowski, *George B. Hinton, collector of plants in*
- 79.- Rodolfo Palacios Chávez *Biotica*, 9(2), 153-182 (1984).
- 80.- J. Rzedowski et al., *Acta Botánica Mexicana*, 70, 55-111 (2005).
- 81.- "Flavonoid glicosides, Terpenoids and other constituents from *Bursera* Species.", Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez-García, Juan Carlos Guzmán-Martínez, Angelina Hernández y Luisa Urania Román-Marín", 42nd. Annual Meeting of the American Society of Pharmacognosy, *Memorias*, ASP, pág 129 (2001).
- 82.- "Caracterización de los Componentes Principales de Aceites Esenciales obtenidos de *Burseras*.", J.D. Hernández, Leticia García, R. Reyes , Juan Carlos Guzmán y L.U. Román, XIII Taller de Otoño de Productos Naturales, Mérida, Yuc., *Memorias*, C/12 (1995).
- 83.- "Análisis por CG de Aceites Esenciales de Frutos de *Burseras*." Juan D. Hernández, Juan Carlos Guzmán, M.A. Sánchez, y Luisa U. Román, *Revista de la Sociedad Química de México*, 40, C/42, 112 (1996).
- 84.- "Estudio Químico de la Resina del Papelillo" J.D. Hernández, L.U. Román, S. Manzo y P. Joseph-Nathan. *Revista de la Sociedad Química de México*, 31, 172 (1987).
- 85.- "Aislamiento y Estudio Químico de los componentes de la resina de *Bursera ariensis* HBK."
- Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, presentada por Sergio Manzo Andrade a la Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 10 de agosto de 1988.

- 86.- "Terpenoides de Resina y Fruto de *Bursera cuneata* (Schlecht.) Engl., J. D. Hernández, M. García y L.U. Román. V Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística., *Memorias*, pág. 53 (1995).
- 87.- "Cromatografía de Gases de Aceites Esenciales de Frutos de Siete Especies de *Burseras*", Juan Diego Hernández, Juan Carlos Guzmán, Leticia García y Luisa Urania Román. *Anuario VII del Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas*, pág. 69-86 (1997). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.
- 88.- "alfa-Felandreno obtenido del aceite esencial de *Bursera morelensis* y *Bursera penicillata*.", Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez-García, Lidia Beiza, Sulidy Cerezo y Juan C. Guzmán-Martínez, XI Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística. *Memorias*, pág. 27, (2001).
- 89.- "β-Felandreno, componente mayoritario obtenido de los extractos hexánicos de las ramas y frutillas de tres especies de *Burseraceae*." Juan D. Hernández, Rocío Alvarez, J. Magaña, Isaías Tapia, R. Pardo y Juan C. Guzmán, IX Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística, *Memorias*, pág. 29, (1999).
- 90.- "Essential oils from branches and fruits of twenty five Mexican *Bursera* Species.", Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez-García, Juan Carlos Guzmán-Martínez, Concepción Armenta, Lidia Beiza, Isaías Tapia y Luisa Urania Román-Marín. 42nd. Annual Meeting of the American Society of Pharmacognosy. *Memorias*, ASP, pág 129 (2001) ,
- 91.- "Nuevos (+)-verticilenos de *Bursera kerberi* y *Bursera multifolia*." Juan D. Hernández, V. Reyes, N. Herrero, I. Tapia, Luisa U. Román, Carlos M. Cerda-García-Rojas, y P. Joseph-Nathan.
- 92.- "Distribución de terpenoides en *Burseraceae*." Juan D. Hernández-Hernández, A. Hernández, R. Alvarez, Juan C. Guzmán-Martínez , L. Beiza, Y. López, I. Tapia, N. Herrero y Luisa U. Román-Marín, XIII Congreso Italo-Latinoamericano de Etnomedicina, CO/35 (2004).
- 93.- "Estudio Conformacional de Diterpenos Macrocíclicos ". Carlos M. Cerda-García-Rojas, Juan D. Hernández-Hernández, Luisa Urania Román-Marín y Pedro Joseph-Nathan. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **49**, págs. 60-61, (2005).

- 94.- "Derivados de Esqueleto Tipo Ursano con posible actividad Hepatoprotectora obtenidos a partir de  $\alpha$ -amirina (urs-2-en-3 $\beta$ -ol).", J.D. Hernández, R. Herrera, M. García y L.U. Román. III Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística, Centro Cultural Universitario (1993), Morelia, Mich.
- 95.- "Química de Algunos Triterpenos obtenidos de *Burseras*." J.D. Hernández, M.A. Sánchez, R. Herrera y L.U. Román. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, 38, C/49, 308 (1994).
- 96.- "Terpenoides de Resina y Fruto de *Bursera cuneata* (Schlecht.) Engl., J. D. Hernández, M. García y L.U. Román, V Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística., *Memorias*, pág. 53 (1995).
- 97.- "Derivados de 3-lupenona, un triterpeno pentacíclico obtenido de *Bursera mirandae* sp., Juan Diego Hernández, Rocío Alvarez García, Isaías Tapia y Luisa Urania Román, *Revista de la Sociedad Química de México*, 42, R-1, 49 (1998).
- 98.- "Estudio Químico de algunos componentes obtenidos de *Bursera attenuata*, *Bursera fagaroides* var. *elongata*, *Bursera mirandae* y *Bursera submoniliformis*", Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, presentada por Rocío Alvarez García a la Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 10 de enero del 2001.
- 99.- "Reactividad de los dobles enlaces del verticila-3,7,12-trien-20-ol" Ángel A. del Rio-Chávez, Juan D. Hernández Hernández, Ninfa Maldonado Maldonado, Hugo A. García-Gutiérrez, Luisa U. Román-Marín, Carlos M. Cerda-García-Rojas, Pedro Joseph-Nathan. *Rev. Latinoamer. Quim.* 2018, 46 (*Suplemento Especial*), p. 145.
- 100.- Morrison y Robert Neilson Boyd, "Química Orgánica, 3ª edición, Fondo Educativo Interamericano. pág. 307-310, New York, N.Y.,(1976).
- 101.- Andrew Streitweiser, Jr. y Clayton H. Heathcock, "Química Orgánica", 1ª edición, Nueva Editorial Interamericana. pág. 611-614, México, D.F. (1979).
- 102.- Juan Diego Hernández Hernández, "Notas de Química Orgánica I" Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. (2005).

- 103.- Juan Diego Hernández Hernández, "Notas de Química Orgánica II" Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.(2005).
- 104.- William A. Bonner y Albert J. Castro, "*Essentials of Modern Organic Chemistry*, 3ª edición, Reinhold Publishing Corporation. pág. 220 , New York, London, Amsterdam (1967).
- 105.- Nagashima F.; Tamada A.; Fujii N.; Asakawa Y. *Phytochemistry*, **46(7)**, 1203-1208(6) **1997**.
- 106.- F. Nagashima, M. Toyota and Y. Asakawa *Phytochemistry*, **29(7)**, 2169-2174 (**1990**).
- 107.- S.B. Mahato, B.C. Pal, T. Kawasaki, K. Miyahara, O. Tanaka and K. Yamasaki, *Journal of the American Chemical Society*, 4720-4723, (1979).
- 108.- W. G. Dauben, *Journal Organic Chemistry* , **30**, 1693 (1965).
- 109.- H. Kobayashi y S. Akiyoshi, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **35**, 1044, (1962).
- 110.- H. Kobayashi y S. Akiyoshi, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **36**, 823, (1963).
- 111.- R. L. Rowland, *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 5007 (1957).
- 112.- Taxuspines U, V, and W, new taxane and related diterpenoids from the Japanese yew *Taxus cuspidata*". Hosoyama, H.; Inubushi, A.; Katsui, T.; Shigemori, H.; Kobayashi, J. *Tetrahedron* 1996, **52**, 13145-13150.
- 113.- "Taxuspines X-Z, New Taxoids from Japanese Yew *Taxus cuspidata*". Shigemori, H.; Wang, X. X.; Yoshida, N.; Kobayashi, J. *Chem. Pharm. Bull.* **1997**, **45**, 1205-1208.
- 114.- "Bioactive Taxoids from Japanese Yew *Taxus cuspidata* and Taxol Biosynthesis". Kobayashi, J.; Shigemori, H. *Heterocycles* **1998**, **47**, 1111-1133.
- 115.- "Taxachitrienes A and B, two new bicyclic taxane diterpenoids from *Taxus chinensis*". Fang, W. S.; Fang, Q. C.; Liang, X. T.; Lu, Y.; Zheng, Q. T. *Tetrahedron* 1995, **51**, 8483-8490.
- 116.- "Glicósidos Flavonoides de hojas de cuatro especies del Género *Bursera*." Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, q presentada por Leticia García Heredia a la Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 7 de junio de 1996.
- 117.- "Agliconas y glicósidos flavonoides obtenidos de hojas de tres especies del género *Bursera*.", Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, presentada por Angelina Hernández

- Barragán a la Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 15 de enero de 1999.
- 118.- "Ariensin , a new lignan from *Bursera ariensis* HBK"  
J.D. Hernández, L.U. Román, J. Espiñeira and P. Joseph-Nathan, *Planta Medica*, 47, 193 (1983).
- 119.- "Aislamiento y Reacciones de Lignanos Derivados del género *Bursera*", Juan D. Hernández, Luisa Urania Román, E.C. Alvarez, S. Manzo y P. Joseph-Nathan.  
*Revista de la Sociedad Química de México*, **33**, 231 (1989).
- 120.- "Análisis de partes aéreas de cuajotes amarillos."  
Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez-García y Luisa Urania Román-Marín, *Rev. Soc. Quím. Méx.*, 45, C/2, 98 , (2001) XXXVI Congreso Mexicano de Química,
- 121.- " Ariensina-B un Lignano obtenido de tallos de *Bursera bolivarii*."  
Juan D. Hernández-Hernández, L. Beiza, I.A. Martínez, Y. López y A. Alvarez, XI Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística. *Memorias*, pág. 28, (2001).
- 122.- "Cromatografía de Gases de Componentes volátiles de frutos e Identificación de Glicósidos Flavonoides de hojas de *Burseras*."  
Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, presentada por Juan Carlos Guzmán Martínez a la Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 12 de julio de 1996.
- 123.- "Preparación de derivados lignánicos del 2-(3,4-dimetoxibencil)-3-(3,4-metilendioxibencil)-1,4-butanodiol."  
Juan Diego Hernández-Hernández, Yolanda López-Camacho, A. Alvarez y Luisa Urania Román-Marín, *Rev. Soc. Quím. Méx*, 46 , C/113, 131 , (2002) .
- 124.- "Preparación de derivados bromados y nitrados del diacetato de 2-(3,4-metilendioxibencil)-3-(3',4'-dimetoxibencil)-1,4-butanodiol (I), obtenido de *Bursera bolivarii*.", Juan D. Hernández-Hernández, Norma Herrero, Perla Y. López, L. U. Román-Marín, C.M. Cerda-García-Rojas y P. Joseph-Nathan , *Rev. Soc. Quím. Méx*, **47** , C/96 , 147 , (2003).

- 125.- B. Karlsson, A.M. Pilotti, A.C. Soderholm, T. Norin, and S. Sundin  
*Tetrahedron*, Vol. **34**, 2349-2354 (1978).
- 126.- S. Basar, A. Koch and W.A. Konig  
*Journal of Flavour and Fragrance*, **16**, 315-318, (2001).
- 127.- "Verticillane derivatives from *Bursera suntui* and *Bursera kerberi*."  
J.D. Hernández, L.U. Román, C.M. Cerda-Garcia and P. Joseph-Nathan.  
*Journal of Natural Products*, Vol **68**, 1598-1602, (2005).
- 128.- "Diterpenos tipo Verticilano obtenidos de Burseraceae."  
Juan Diego Hernández-Hernández, Lidia Beiza y Araceli Alvarez.  
XI Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística, *Memorias*, pág. 35, (2001).
- 129.- "Nuevos derivados tipo verticilano obtenidos de *Bursera multifolia*."  
Juan D. Hernández-Hernández, Norma Herrero, Perla Y. López,  
L. U. Román-Marín, C.M. Cerda- García-Rojas y P. Joseph-  
Nathan, *Rev. Soc. Quím. Méx*, **47**, R-80, 105, (2003).
- 130.- "Preparación de epóxidos a partir de (+)-verticiloles aislados de  
*Burseraceae*."  
Juan D. Hernández, V. Reyes, N. Herrero, J. Pérez, Luisa U.  
Román, Carlos M. Cerda-García- Rojas, y P. Joseph-Nathan.  
*Rev. Soc. Quím. Méx*, **48** , R-13 , 90 ,(2004).
- 131.- " Dos Nuevos Derivados Epoxidados de ve  
rticila-3,7-dien-12,20-diol aislados de *Bursera suntui*".  
Juan D. Hernández-Hernández, Norma Herrero Pineda, Verónica  
Reyes-Olivares, Luisa Urania Román-Marín, Carlos M. Cerda-  
García-Rojas y Pedro Joseph-Nathan.  
*Rev. Soc. Quím. Méx.*, **49**, 171, C/147 (2005).
- 132.- "Cembra-3,7,11,15-tetraeno, un Diterpeno Hidrocarbonado  
Macrocíclico obtenido de *Bursera kerberi* ", Juan D. Hernández-  
Hernández, Verónica Reyes-Olivares, Luisa Urania Román-Marín,  
Isaías Tapia Quintero, Carlos M. Cerda-García-Rojas y P. Joseph-  
Nathan., *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **49**, 171, C/146, (2005).
- 133.- "Dos Nuevos Diterpenos Macrocíclicos tipo Cembranoide aislados  
de *Bursera multijuga*", Juan D. Hernández-Hernández, Verónica  
Murillo-Galeana, Lizeth, Murillo-Galeana, Luisa Urania Román-  
Marín, Carlos M. Cerda-García-Rojas y Pedro Joseph-Nathan.  
*Rev. Soc. Quím. Méx.*, **49**, 171, C/146 (2005).