



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

METABOLITOS AISLADOS DEL EXTRACTO HEXÁNICO DE TALLOS DE LA *BURSERIA DISCOLOR* RZED., ESPECIE ENDÉMICA DE LA DEPRESIÓN DEL BALSAS Y DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

P R E S E N T A :

ÁNGEL ABAD DEL RÍO CHÁVEZ

ASESOR:

D.C. JUAN DIEGO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

MORELIA, MICHOACÁN. NOVIEMBRE 2012

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 ASESORÍA DEL D.C. JUAN DIEGO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

EL TEMA DE ESTA TESIS FORMA PARTE DE LOS PROYECTOS

- 1.- " FITOQUÍMICA DE BURSERACEAE Y COMPOSITAE DE LAS CUENCAS DEL BALSAS Y DEL PAPALOAPAN"
- 2.- " FITOQUÍMICA DE BURSERACEAE Y COMPOSITAE DE LAS CUENCAS DEL BALSAS Y DEL PAPALOAPAN Y ESTADOS ADYACENTES"

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

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PARTE TEÓRICA	15
DISCUSIÓN Y RESULTADOS	57
CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
MATERIALES, EQUIPOS Y METODOS	97

INTRODUCCIÓN

Las depresiones son terrenos que se encuentran bajo el nivel de las zonas que las rodean. Las más importantes de México son la Depresión del Balsas y la Depresión Central Chiapaneca.

La Depresión del Balsas se encuentra en la zona por donde fluye el río que le da nombre; su origen se debe a la erosión que sus aguas



provocan en las rocas que formaron parte del fondo marino en el Canal del Balsas, un estrecho que existió durante la era mesozoica y que unió a los océanos Pacífico y Atlántico.

La Depresión Central de Chiapas se localiza entre la Meseta Central de Chiapas (la cual posee una altitud promedio de 2.000 m) y la Sierra Madre de Chiapas (misma que tiene una altitud promedio de 1.500 m); en algunos lugares



su altitud más baja llega a 400 m. En esta depresión, el río Grande de Chiapas ha generado una gran erosión que puede apreciarse en el cañón del Sumidero.

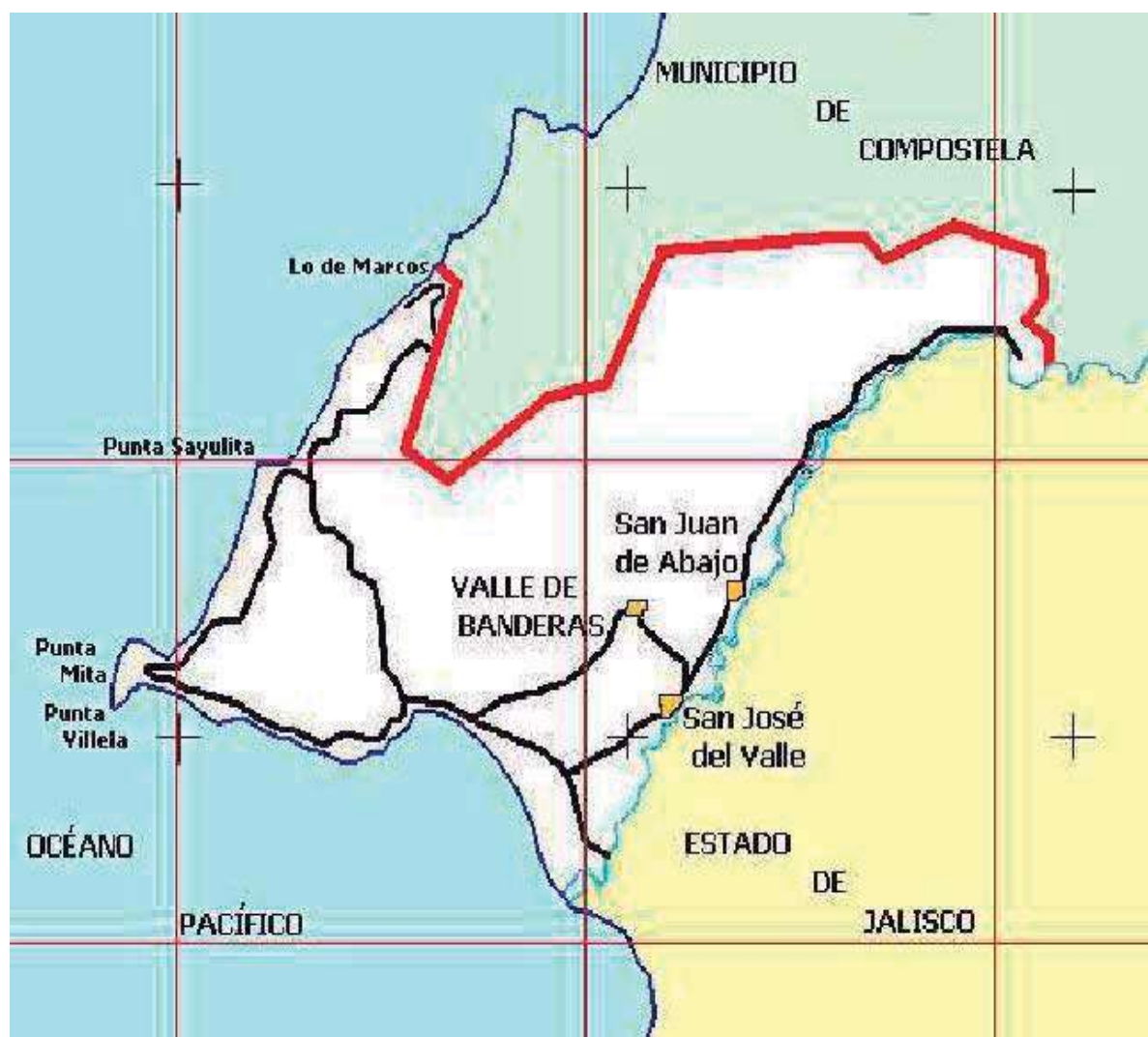
La depresión del río Balsas se encuentra delimitada por dos provincias fisiográficas o morfotectónicas, al norte se encuentra la Faja volcánica transmexicana (eje neovolcánico), al sur la Sierra Madre del Sur, al oriente una subprovincia geológica que es la Sierra Norte de Oaxaca. El 67.8% de la superficie de la depresión se encuentra dentro de la provincia de la Sierra Madre

del Sur y el 32.2% restante se encuentra en el territorio cubierto por la Faja volcánica transmexicana.

En la Sierra Madre del Sur se encuentran diferentes eventos tectónicos, remontándose su origen a la era Mesozoica. Las formaciones geológicas que la componen presentan una variada gama de litologías donde se distinguen sedimentos de origen marino asociados a secuencias volcánico-sedimentarias, derrames lávicos, cuerpos intrusivos y amplios dominios metamórficos¹⁻⁵.

La Sierra Madre del Sur es un sistema montañoso que se inicia al sureste de la Bahía de Banderas, en donde el municipio del mismo nombre, se encuentra localizado en el extremo suroeste del Estado de Nayarit y toma su nombre de la Bahía de Banderas, entrante del Océano Pacífico en la costa de Nayarit y Jalisco y en cuyas costas se encuentra Puerto Vallarta.

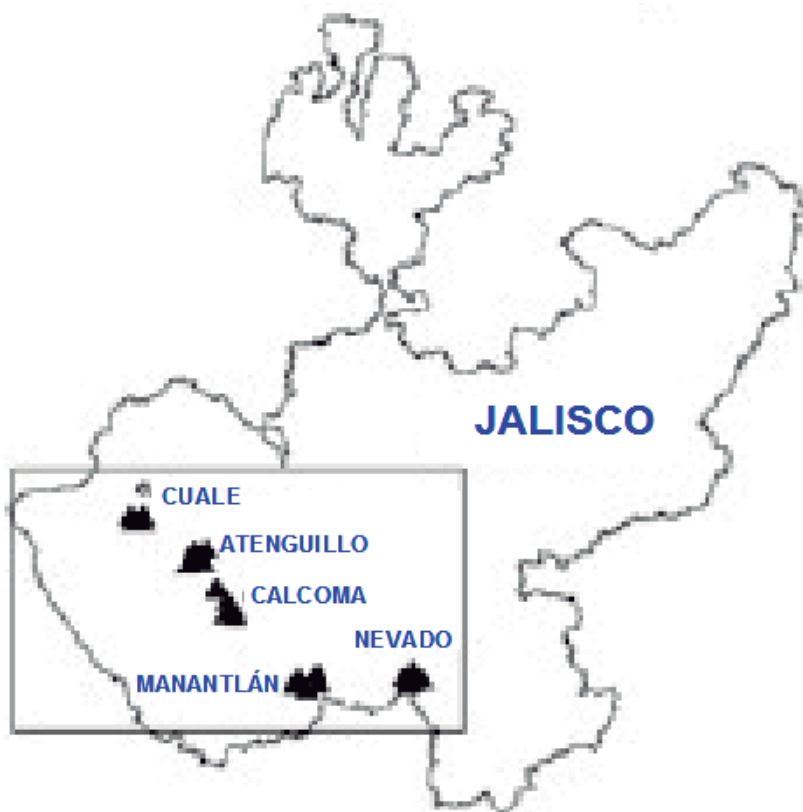
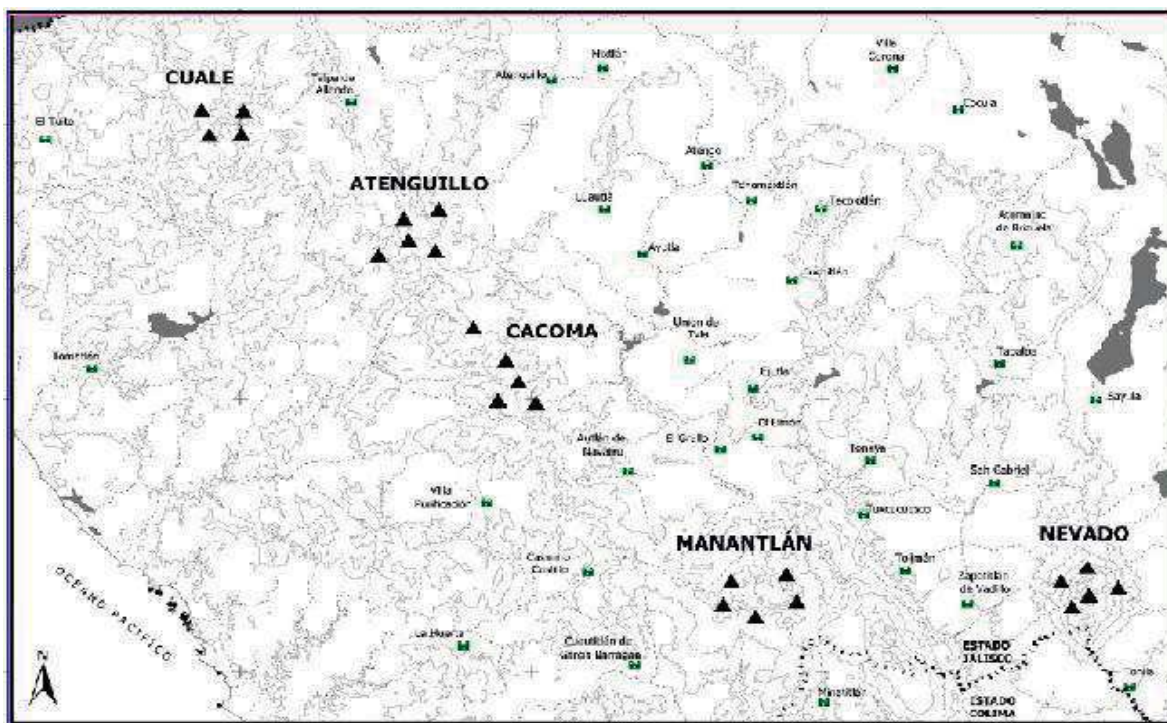
Este sistema montañoso tiene la característica de situarse muy cerca de la costa del océano Pacífico (promedio 75 km), razón por la cual la planicie



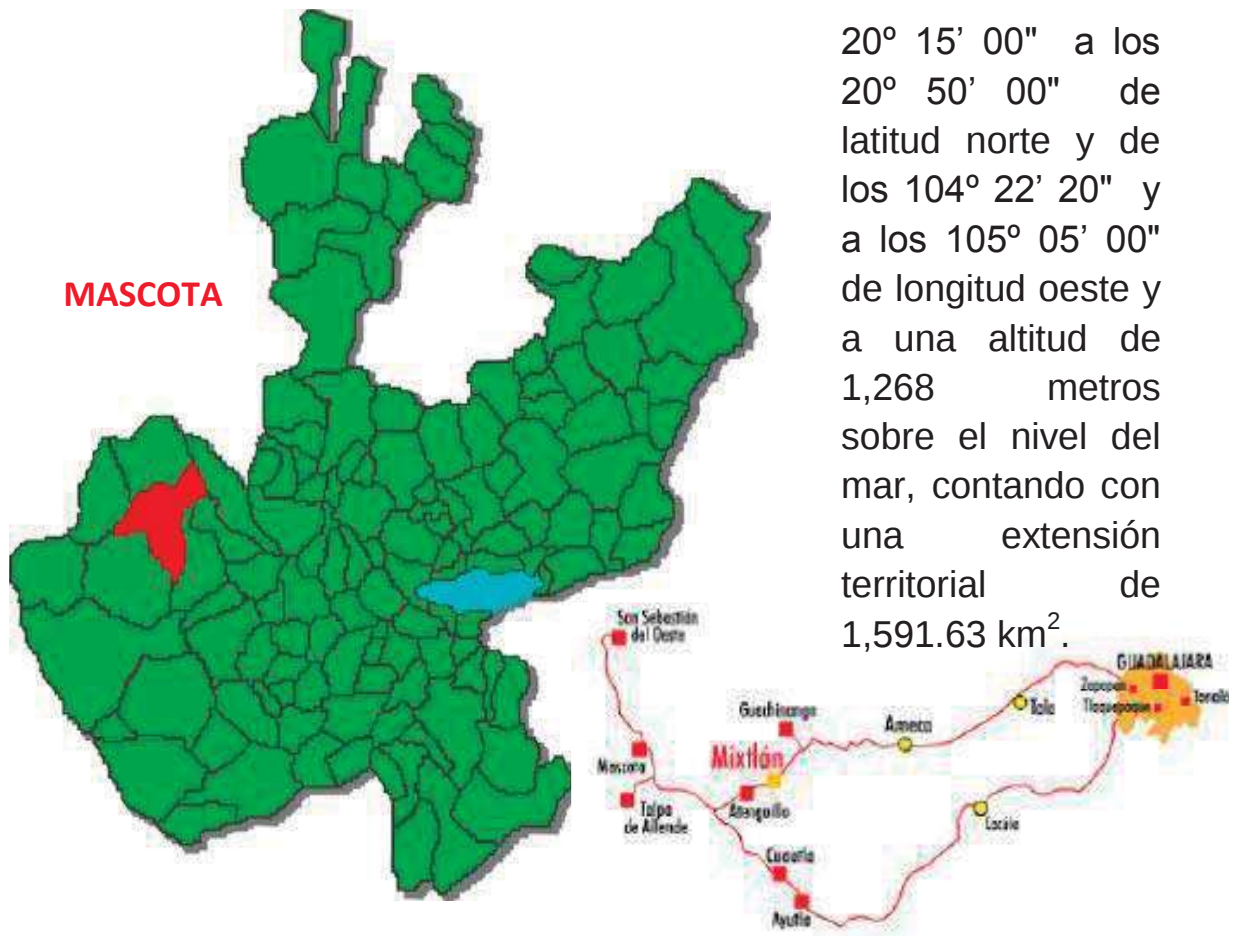


costera es sumamente angosta y hasta llega a desaparecer. Atraviesa los Estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca.





La Sierra va tomando diferentes nombres según la región o la entidad por la que cruce, así la Sierra del Cuale, la cual se distingue por formar un conjunto montañoso⁶⁻⁹ dispuesto en subregiones en la cual, la más norteña es San Sebastián-Talpa-Mascota, ésta última se encuentra situada al noroeste del Estado de Jalisco dentro de las coordenadas



Hacia el sur, la siguiente subregión contigua es la Sierra de Cacoma, abarcando desde Cumbres de Guadalupe hasta Autlán.

La siguiente subregión en dirección sur es el macizo montañoso de la

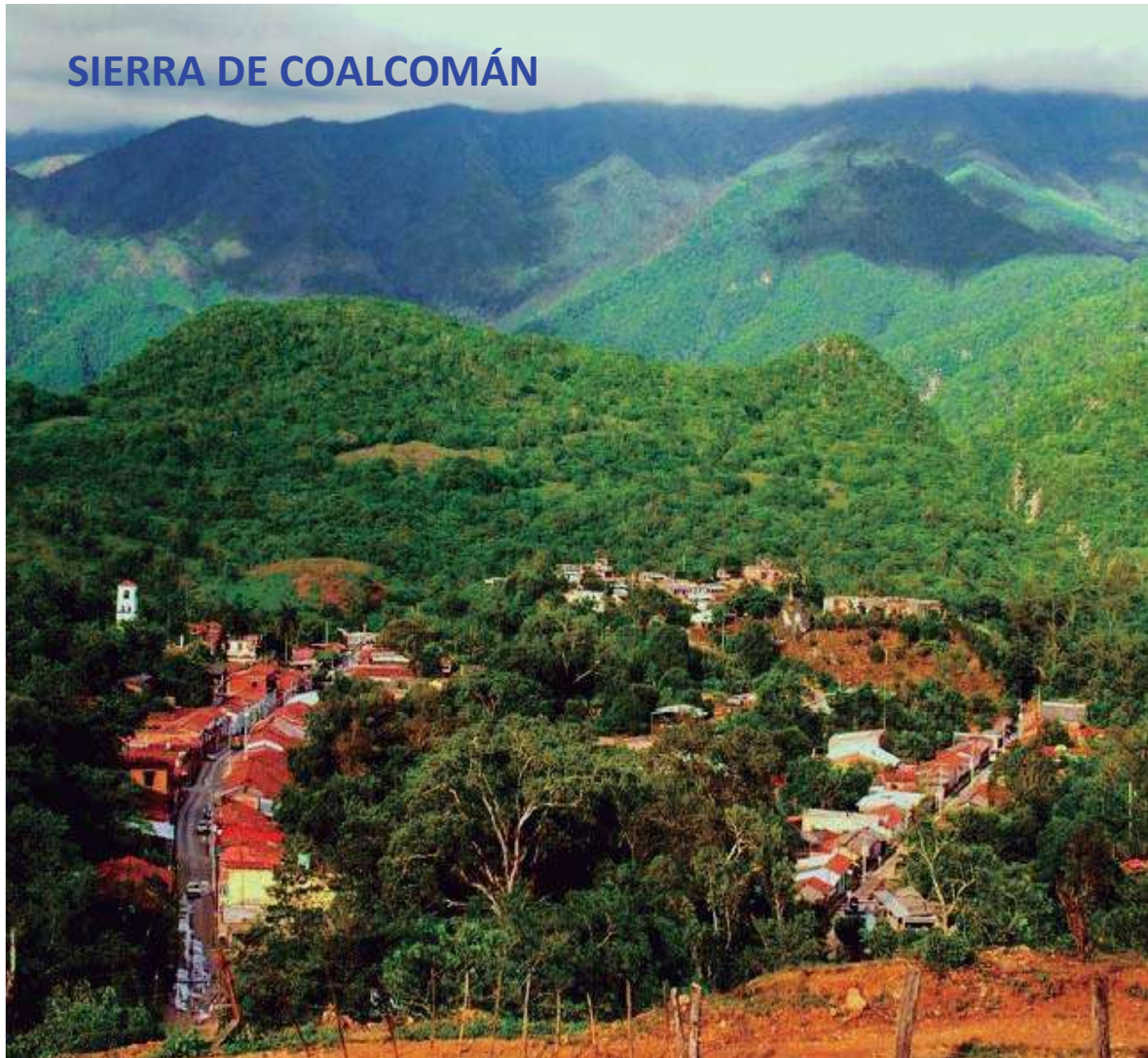


Sierra de Manantlán, con una superficie de 139,577 hectáreas, ubicadas en los



Municipios de Autlán, el cual tiene una extensión territorial total de 962.90 km² y se encuentra a una altura de 900 metros sobre el nivel del mar.

El mapa de la República Mexicana señala que el municipio de Autlán de Navarro se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas que van de los 19° 34' 30" a 19° 53' 45" latitud norte y de



104° 07' 00" a 104° 27' 35" longitud oeste y le sigue Cuautitlán, Casimiro Castillo, Tolimán y Tuxcacuesco en el Estado de Jalisco y Minatitlán y Comala en el Estado de Colima, posteriormente atraviesa el Estado de Michoacán donde se le conoce como la Sierra de Coalcomán, después de cruzar el río Balsas, entra al occidente de Guerrero¹⁰⁻¹² donde se le conoce como Cumbres de la Tentación Sierra de Cuchilla y Sierra de Tenango, atravesando todo el Estado y en sus límites con el Estado de Oaxaca, conocida como la Sierra de Coicoyán.

El Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur se enlazan en el norte de Oaxaca, en el Escudo Mixteco, su altitud media es de 2000 msnm, el punto más alto es el Cerro Nube que en zapoteco es Quie Yelaag el que está a una altura de 3710 msnm, localizado en la sierra madre del sur, en el municipio de Miahuatlán de Porfirio Díaz, es la montaña más alta del Estado de Oaxaca, donde hace contacto con la Cordillera Neovolcánica y continúa hasta el Istmo de Tehuantepec todavía en el Estado de Oaxaca, en las que se encuentran, la Sierra de Colotepec, Sierra de Juquila, y Sierra de Miahuatlán.

CUMBRES DE LA TENTACIÓN





La Provincia de la Sierra Madre del Sur cuenta con climas subhúmedos, cálidos y semicálidos, pero en ciertas regiones elevadas, incluyendo algunas con extensos terrenos planos como los Valles Centrales de Oaxaca, los climas son semisecos, templados y semifríos, en tanto que al oriente, en los límites con la Llanura Costera del Golfo Sur, hay importantes áreas montañosas húmedas cálidas y semicálidas¹³⁻¹⁷.

La vegetación que predomina en la depresión del Balsas en las regiones surorientales de la provincia es la selva baja caducifolia, los bosques de encinos y de coníferas ocupan las zonas más elevadas, y la selva mediana subcaducifolia, se extiende sobre toda la franja costera del sur.

Aparte de esta vegetación hay en la provincia una de las comunidades florísticas más ricas del mundo.

Esta sierra es atravesada por numerosos ríos, los cuales forman notables cañones, principalmente en Guerrero, donde las partes altas son conocidas como filos. La cordillera es notable por su alta biodiversidad, en donde la región manifiesta, además, un alto grado de endemismo (riqueza en especies exclusivas del lugar), además es el área de mayor concentración de especies del género *Bursera* dentro del territorio mexicano¹⁸⁻²⁶.

SIERRA MADRE DEL SUR



RIQUEZA EN ESPECIES

Los cerros, barrancas y llanos de la depresión están cubiertos, desde los 1,800 a los 800 msnm, por encinares, palmares y cuajilotales.

Matorrales espinosos, cactáceas columnares y candelabriformes, constituyen las asociaciones vegetales características de los cerros de las zonas áridas, entre los 200 y los 1,500 msnm.



La *Bursera discolor* Rzed. es una especie arbórea endémica de la Depresión del Balsas y de la Sierra Madre del Sur, es un miembro bien definido del complejo de la *Bursera fagaroides*²⁷⁻³⁷, la *Bursera discolor* se destaca principalmente por la defoliación que presentan sus ramillas, la cual es característica de esta especie, ya que otras especies cercanas como la *Bursera bolivarii*, *Bursera fagaroides* HBK, *Bursera fagaroides* var. *purpusii*, *Bursera fagaroides* var. *elongata* y *Bursera ariensis* HBK no la presentan.

Su distribución geográfica es conocida en los Estados de Colima, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla³⁸⁻⁵⁴. El muestreo de la *Bursera discolor* para la elaboración del presente trabajo se hizo con dos



colectas, una del Estado de Puebla y la segunda del Estado de Guerrero.

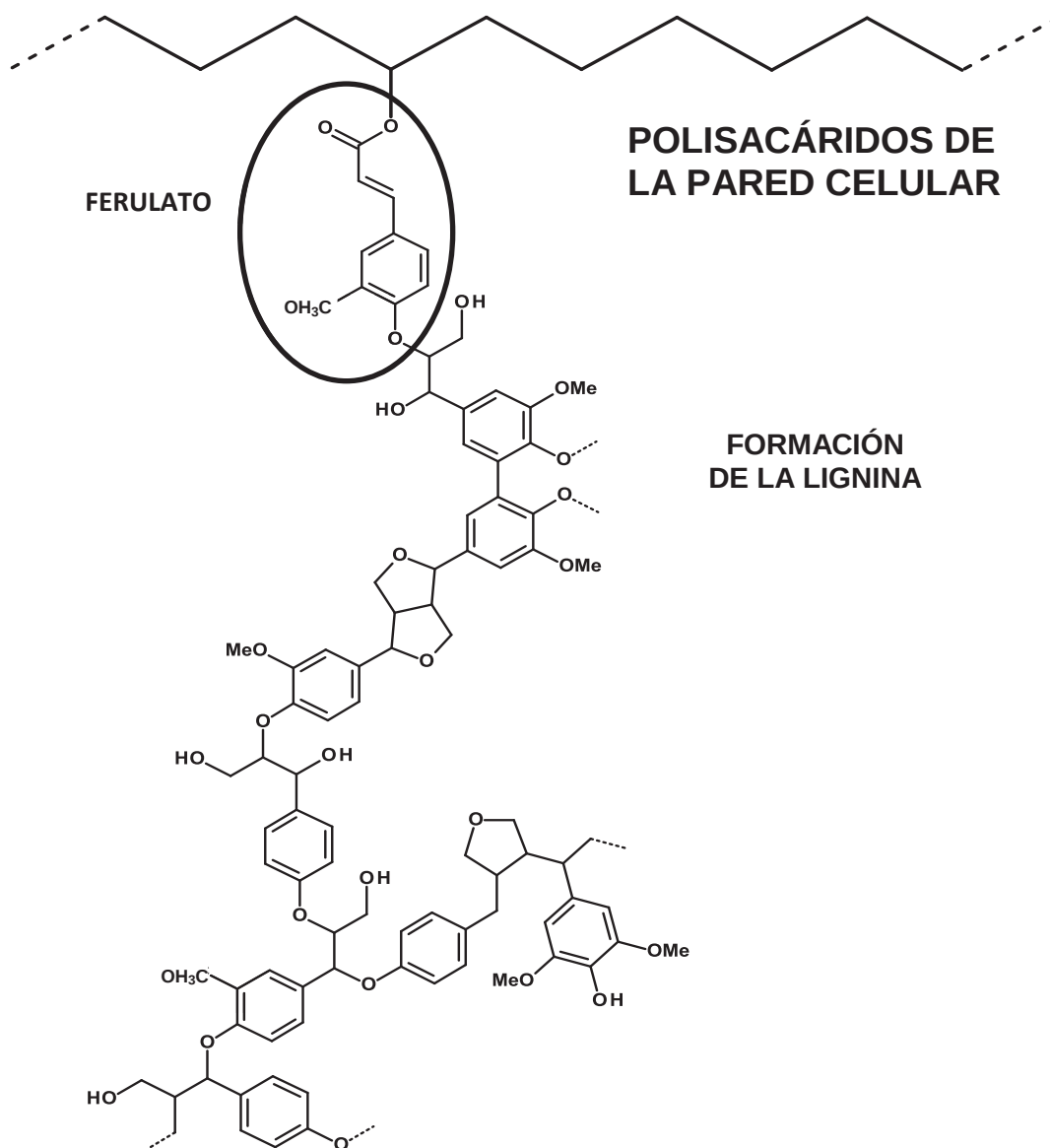
El trabajo llevado a cabo en esta tesis comprendió el estudio del aislamiento y caracterización de los componentes principales obtenidos de los tallos de la *Bursera discolor* Rzedowski, especie arbórea que pertenece a la sección *Bursera* (cuajotes) y en particular queda comprendida dentro de la clasificación de los «cuajotes amarillos» debido a la coloración que presenta su corteza exfoliante, la cual es de color beige ó ligeramente amarillenta.

La caracterización de los metabolitos aislados de los extractos hexánicos se llevó a cabo mediante los análisis espectroscópicos de RMN de ^1H y ^{13}C de las fracciones cromatográficas obtenidas de los compuestos separados y purificados por cromatografía en columna abierta y por la comparación de estos resultados con los reportados en la literatura.

* «(-)-Deoxipodofilotoxina, componente mayoritario aislado de *Bursera discolor* y *Bursera multifolia*»
 Juan D. Hernández-Hernández, Angel A. del Río Chávez, Alejandra Alarcón-Zúñiga, René Velázquez-Jiménez y Luisa Urania Román-Marín.
Bol. Soc. Quím. Méx., Vol 5, Número Especial 2, C/44, 114, (2011) ISSN: 1870-1809.
 XLVI Congreso Mexicano de Química. 10 al 14 de septiembre del 2011, Querétaro, Qro.

PARTE TEÓRICA

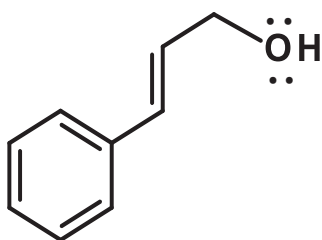
Los Lignanos⁵⁵⁻⁶⁰ se encuentran químicamente relacionados a las ligninas (ESQUEMA I), las cuales constituyen un grupo de polímeros heterogéneos del fenilpropano que se encuentran en las plantas, en ellas constituyen de manera importante la pared celular y se encuentran principalmente en los tejidos leñosos.



ESQUEMA I

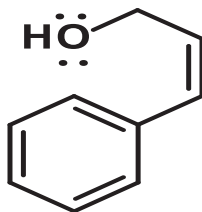
La lignina se encuentra asociada con los polisacáridos de la pared celular como la celulosa, la hemicelulosa y las sustancias pécticas.

Químicamente son sustancias polifenólicas, relacionadas con el metabolismo de la fenilalanina a través de la dimerización de alcoholes cinámicos sustituidos a partir del ácido shikímico. Se forman por acoplamiento oxidativo de alcoholes $C_6 C_3$, como los alcoholes cumarílico, sinapílico y coniferílico. Los constituyentes monoméricos de las ligninas son tres alcoholes derivados de la estructura de los alcoholes *E* y *Z*-cinámicos (I y II) y en particular de alcohol *p*-hidroxicinámico (III), los cuales estos tres derivados hidroxicinámicos son conocidos como monolignoles, cuyos nombres son el alcohol 4-coumarílico (III), el alcohol coniferílico (IV) y el alcohol sinapílico (V).



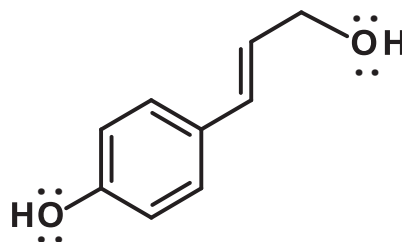
ALCOHOL
E-CINAMÍLICO

I



ALCOHOL
Z-CINAMÍLICO

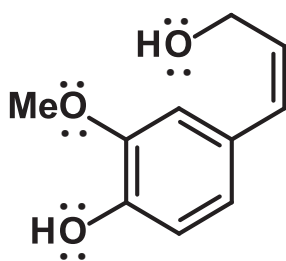
II



ALCOHOL
Z-COUMARÍLICO

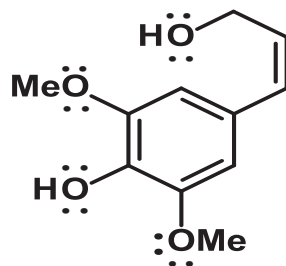
III

El alcohol cafeílico (VI) no ha sido encontrado como un constituyente de la lignina, el cual es un componente característico de las paredes celulares secundarias.



ALCOHOL
Z-CONIFERÍLICO

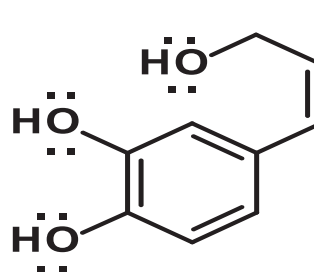
IV



ALCOHOL *Z*-3,5-DIMETOXI-
4-HIDROXICINAMÍLICO

ALCOHOL
Z-SINAPÍLICO

V



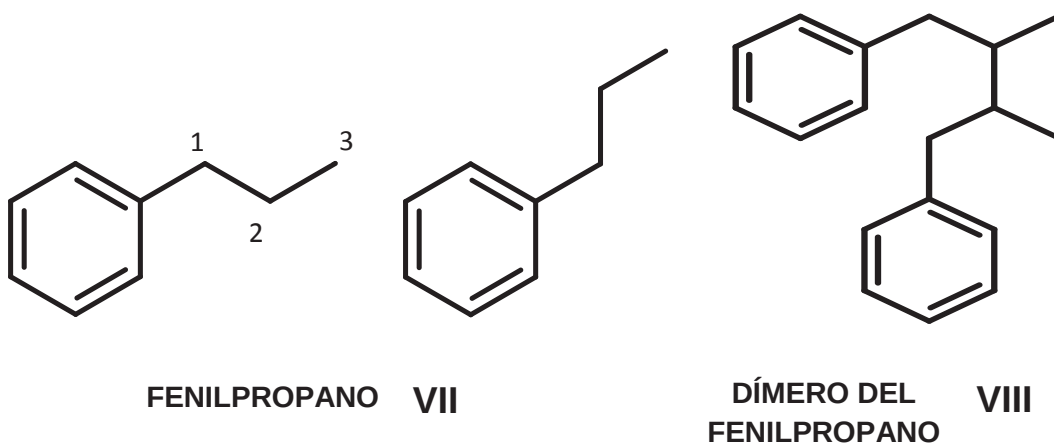
ALCOHOL
Z-3,4-DIHIDROXICINAMÍLICO

ALCOHOL
Z-CAFEÍLICO

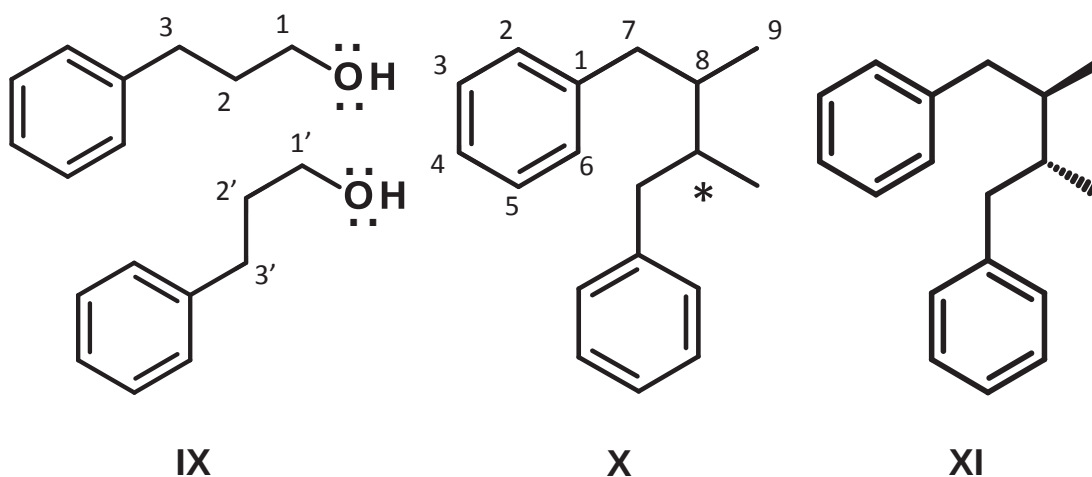
VI

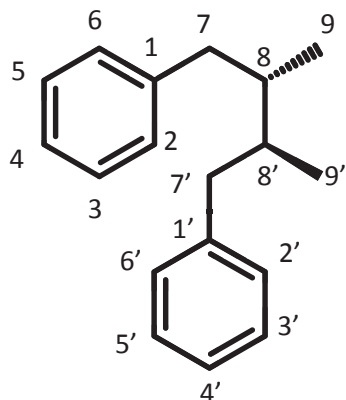
El alcohol cafeílico (**VI**) no ha sido encontrado como un constituyente de la lignina, el cual es un componente característico de las paredes celulares secundarias.

Los lignanos por su parte se encuentran definidos como derivados del areno fenilpropano C_9H_{12} (**VII**)⁶¹⁻⁶³, los cuales son considerados como estructuras diméricas del fenilpropano $C_{18}H_{24}$ (**VIII**) y las unidades estructurales se encuentran incluidas en la biosíntesis de las ligninas.

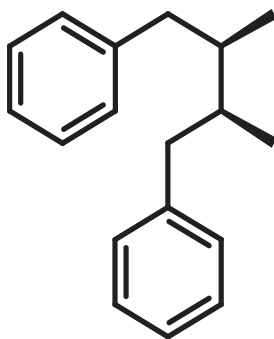


Los lignanos se han definido también como los productos de acoplamiento de alcoholes cinamílicos (**IX**), los cuales no poseen centros quirales, pero sí tienen centros proquirales C-2 y C-3, por lo que al llevar a cabo el acoplamiento en C-2 y C-2' generan dos centros quirales (**X**), esto generará la obtención de cuatro posibles estereoisómeros (**XI** al **XIV**), los cuales se representan también en sus respectivas proyecciones de Cram (**XV** al **XVII**) y de Newman (**XVIII** al **XX**) en donde en ambas proyecciones utilizamos la abreviación del grupo bencilo como Bn.

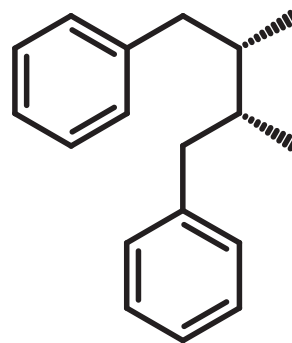




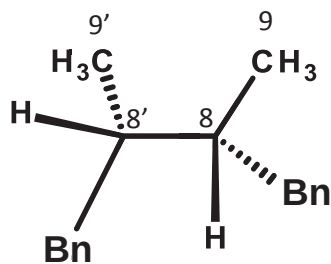
XII



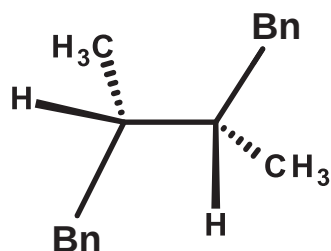
XIII



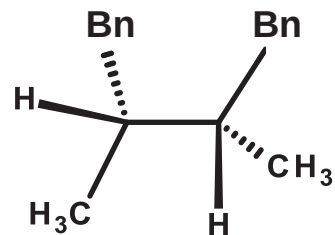
XIV



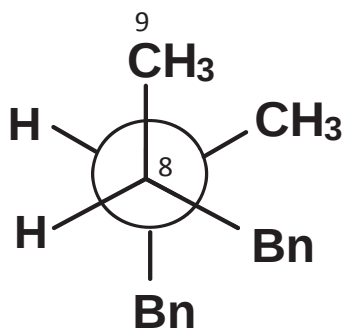
XV



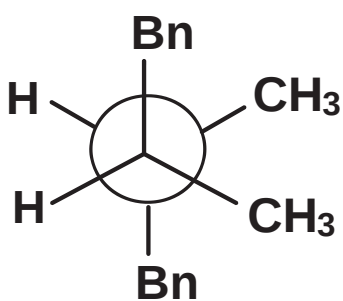
XVI



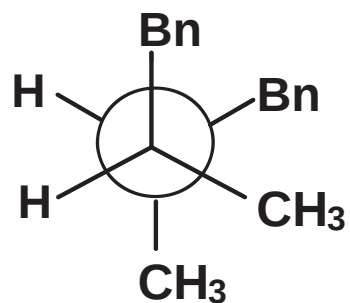
XVII



XVIII



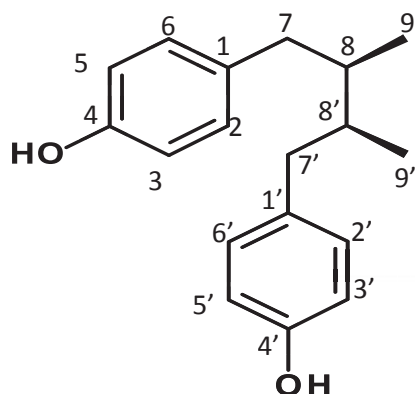
XIX



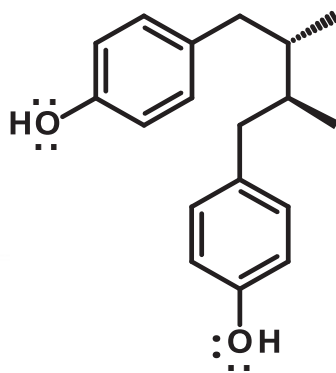
XX

En las proyección de Newman, **XVIII** el carbono C-8 tanto los grupos bencilo como los grupos metilo y los hidrógenos se encuentran «gauche» u oblicuos entre sí, en tanto que en el confórmero **XIX** los grupos bencilo Bn se encuentran anti entre sí.

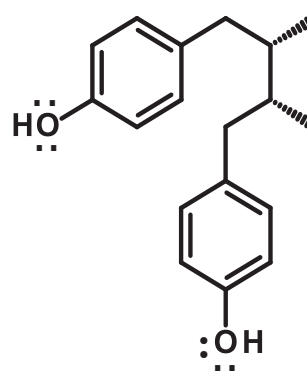
Las mismas apreciaciones estructurales ocurren con sus análogos, como en las estructuras de (XXI al XXIII), las proyecciones de Cram (XXIV al XXVI) y las



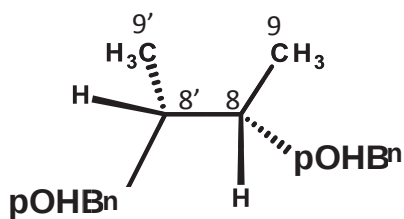
XXI



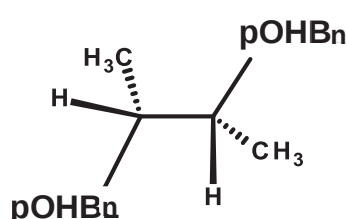
XXII



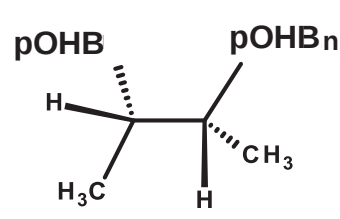
XXIII



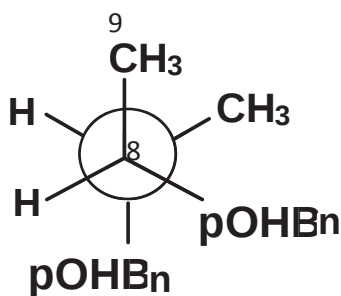
XXIV



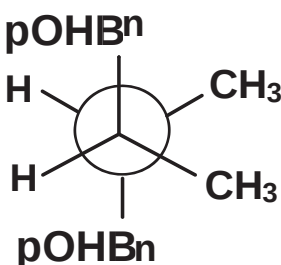
XXV



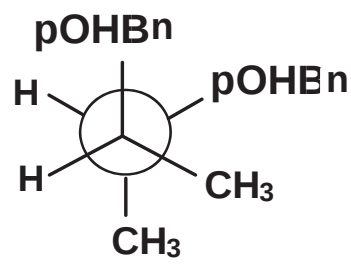
XXVI



XXVII



XXVIII

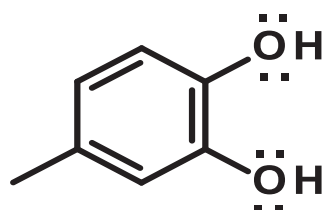


XXIX

proyecciones de Newman (XXVII al XXIX).

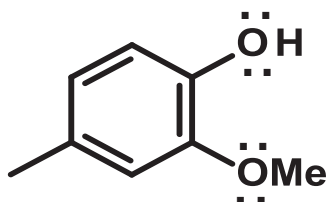
Todas las estructuras (X a XIV) y (XXI al XXIII), se encuentran unidas a través de los carbonos (C_8 - C_8') con una nueva numeración para estos sistemas que se denominan dibencilbutanos y derivados.

Dado que los lignanos y neolignanos poseen estructuras en las que los grupos fenilo tienen más de un sustituyente, en posiciones diferentes, actualmente existe una manera de representar abreviadamente las estructuras para este tipo de lignanos y neolignanos, las cuales consideran un modo más fácil de poderlas abreviar, así por ejemplo los nombres para estos derivados del fenilo disustituídos tenemos al grupo 3,4-dihidroxifenilo ó *m*-catequilo (XXX) abreviado como *m*-Ct; al grupo 3-metoxi-4-hidroxifenilo ó Guaiacilo (XXXI) abreviado como Gu; al grupo 3,4-dimetoxifenilo ó Veratrilo (XXXII) abreviado como Ve y al grupo 3,4-metilendioxfenilo ó piperonilo (XXXIII) abreviado como Pi⁶⁴⁻⁶⁸.



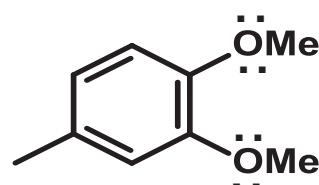
Grupo *m*-Catequilo
(*m*-Ct)

XXX



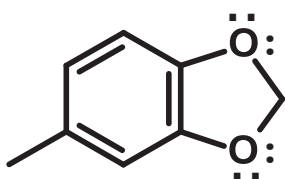
Grupo Guaiacilo
(Gu)

XXXI



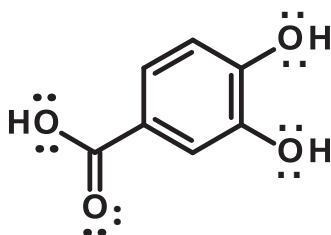
Grupo Veratrilo
(Ve)

XXXII

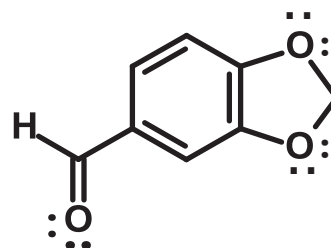


Grupo Piperonilo
(Pi)

XXXIII



XXXIV



XXXV

Dos ejemplos de estructuras simples que contienen a estos grupos y cuyos nombres hacen alusión al nombre del grupo fenilo disustituído son el ácido protocatéquico (XXXIV) y al piperonal (XXXV).

El ácido *R*-guaiarético (XXXVI) es un lignano que se encuentra en la parte aérea y en la resina de la *Larrea tridentata* la que pertenece a la familia de las zigofiláceas, existe otra especie suramericana con la cual se encuentra estrechamente emparentada que es la *Larrea divaricata*, ambas anteriormente eran consideradas como la misma. A la *Larrea tridentata* se le conoce también de su traducción literal del inglés como el arbusto de la creosota y también como gobernadora debido a la habilidad que tiene para inhibir el desarrollo de otras plantas a su alrededor (alelopatía) y así obtener de ese modo más agua.

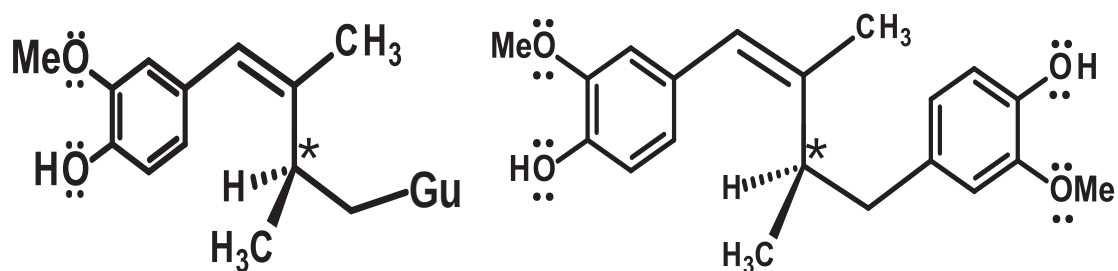
A un área cubierta por gobernadoras, se le denomina chaparral debido a su tamaño pequeño.



Se usa popularmente la corteza y las hojas, las cuales se utilizan para todo tipo de dolencias humanas y animales, por ejemplo, la infusión de la hoja es indicada para la fiebre y combate el dolor de espalda, también es usado como emenagogo (estimula y favorece el flujo menstrual), sus cataplasmas cocidas calman el dolor reumático, además posee propiedades antiinflamatorias, antitumorales, antivirales, anticoléricas, antiperiódicas, balsámicas, sudoríficas, excitantes y vulnerarias (cura llagas, heridas).



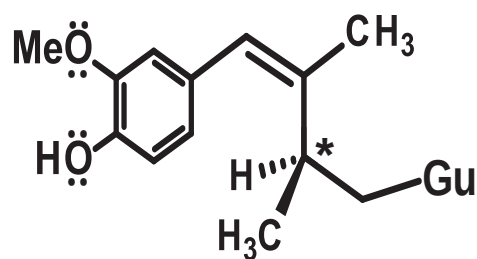
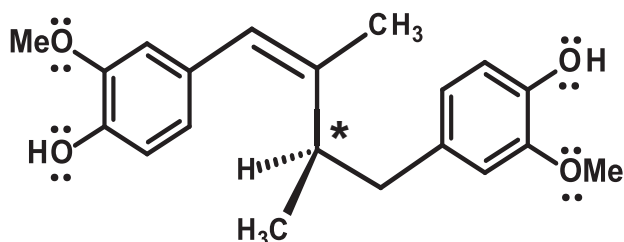
Así también a partir de los exudados resinosos de varias especies del género *Guaiacum*, éste género ha cobrado importancia debido a sus múltiples propiedades, pues actúan como antioxidantes, antitumorales, antimicrobianos y antifúngicos; uno de los principales componentes aislados de estos géneros es el ácido *R*-guaiarético (XXXVI) cuya estructura tiene sólo un centro quiral⁶⁹⁻⁷².



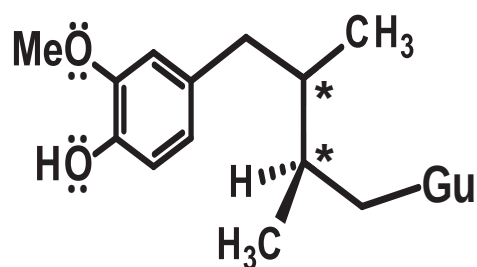
ÁCIDO *R*-GUAJARÉTICO

XXXVI

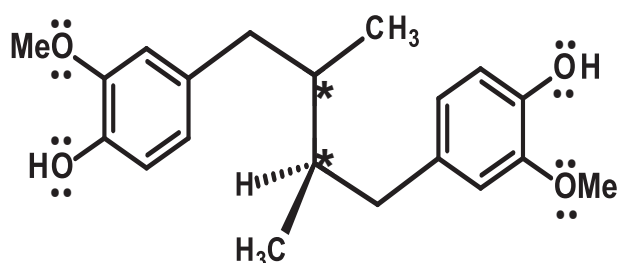
La comparación de la estructura del ácido *R*-guaiarético (XXXVI) que posee únicamente un centro quiral, con la estructura del ácido dihidroguayarético que tiene dos centros quirales por lo que tiene cuatro estereoisómeros, de los cuales uno de ellos es el que se encuentra representado en XXXVII que tiene asignado la configuración absoluta de un centro quiral y a la estructura representada en XXXVIII se le da la asignación de la configuración absoluta de los dos centros quirales que posee.

ÁCIDO *R*-GUAJARÉTICO

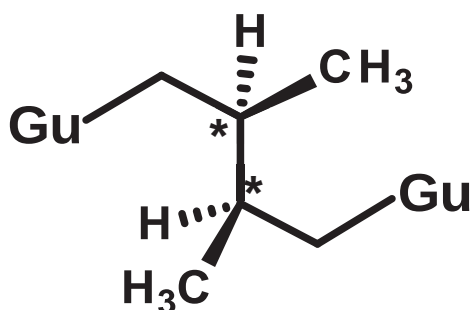
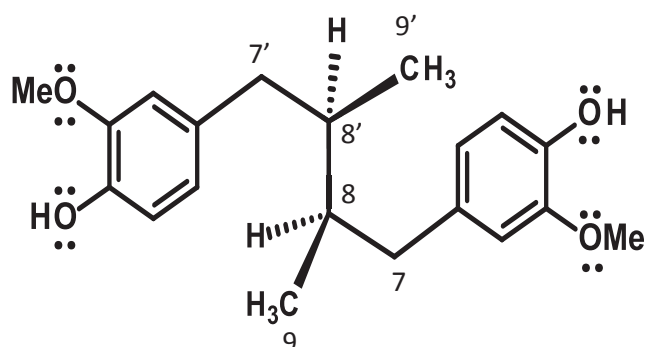
XXXVI



1

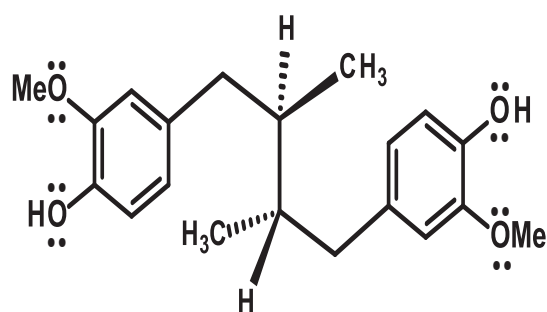
ÁCIDO 8*R*-DIHIDROGUAJARÉTICO

XXXVII

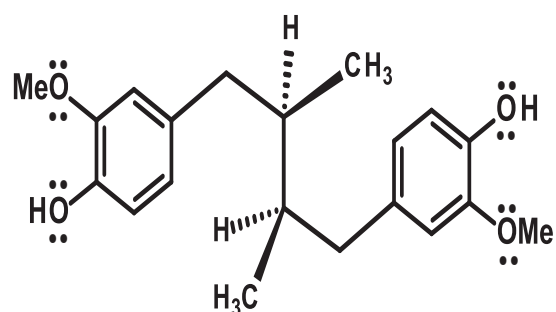
ÁCIDO 8*R*,8'*R*-DIHIDROGUAJARÉTICO

XXXVIII

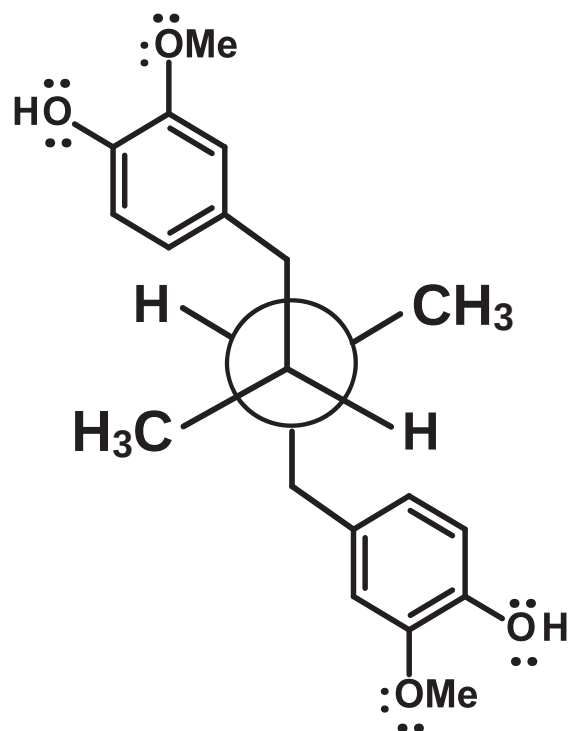
Dos formas diastereoméricas de los cuatro posibles estereoisómeros del ácido dihidroguaiarético, son el 8*S*, 8'*R*-dihidroguaiarético representado en su proyección de Cram (XXXIX) de la forma eritro ópticamente inactiva y la estructura del estereoisómero de la forma treo (XL) ópticamente activa también representadas en las proyecciones de Newman correspondientes (XLI y XLII)⁷³⁻⁷⁶.



XXXIX

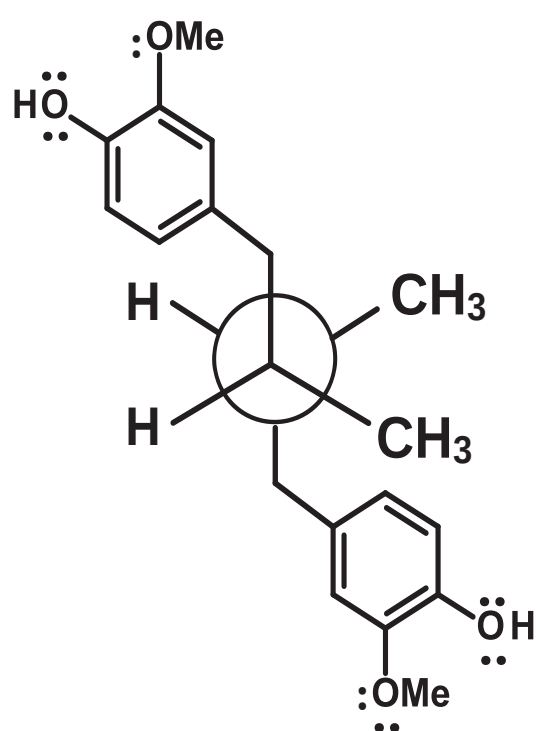


XL



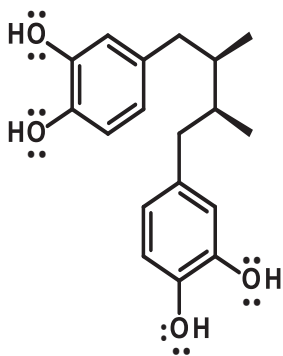
ERITRO

XLI

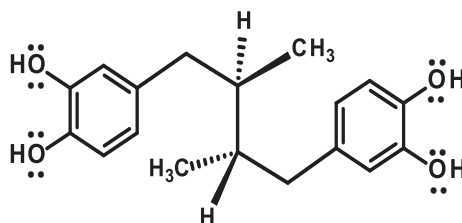


TREO

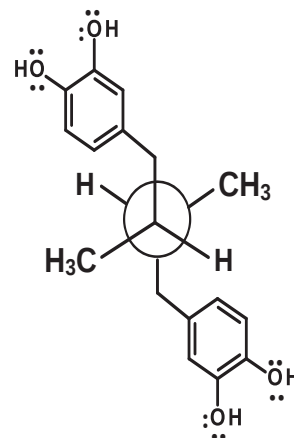
XLII



XLIII



XLIV



XLV

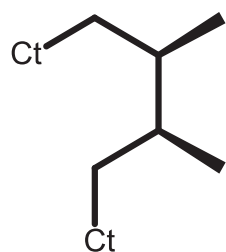
Los dibencilbutanos han sido obtenidos a partir los exudados resinosos de varias especies de los géneros *Guaicum* y *Larrea* (Zygophyllaceae).

El ácido *meso*-nordihidroguaiarético es un constituyente presente en estos géneros, el (NDGA) **XLIII** en su proyección de Cram (**XLIV**) y de Newman (**XLV**) encontrado en la resina de la madera del *Guaicum sanctum* ó Guayacán y en el *Guaicum officinale*.

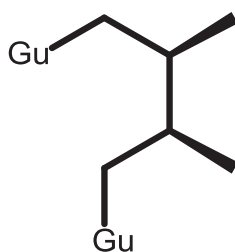
El prefijo nor en la nomenclatura de este ácido indica que no tiene los grupos metilo de los metoxilos respecto a la estructura del ácido *meso*-dihidroguaiarético.



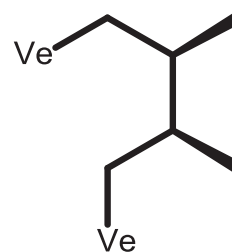
Los dibencilbutanos como el ácido *meso*-nordihidroguaiarético (NDGA) (XXXVI), el ácido *meso*-dihidroguayarético (XXXVII) y su dimetoxiderivado (XLI) pueden representarse más simplemente, haciendo uso de las abreviaciones de los grupos (XXX al XXXII) por lo que quedarían representados como se aprecia en las estructuras (XXXIX al XLI) y en las estructuras (XLII al XLIV) para sus proyecciones de Cram y en (XLV al XLVII) para sus respectivas proyecciones de Newman.



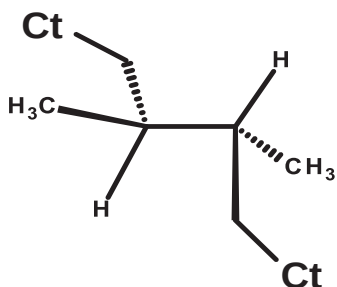
XXXIX



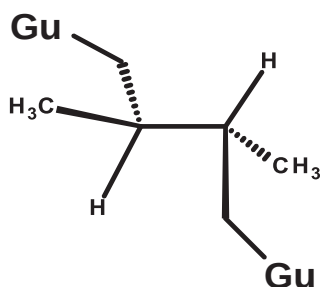
XL



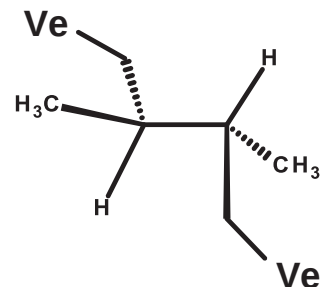
XLI



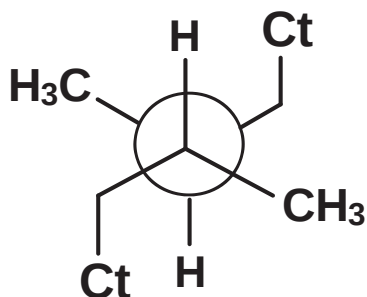
XLII



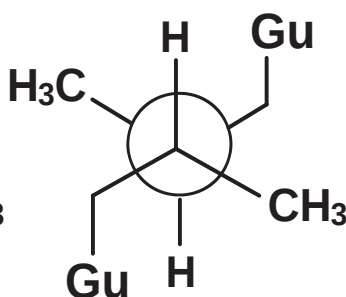
XLIII



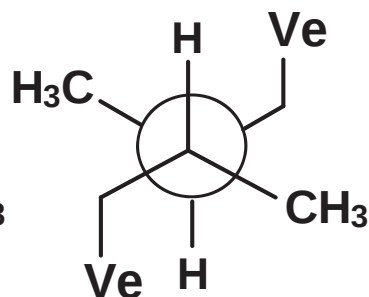
XLIV



XLV

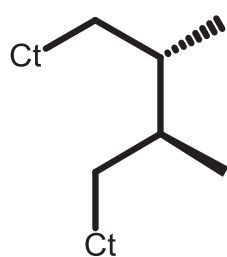
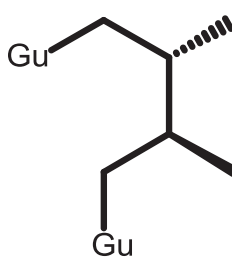
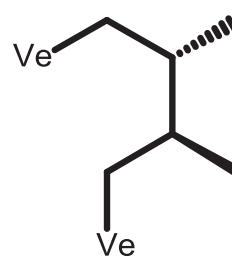
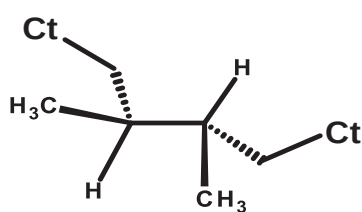
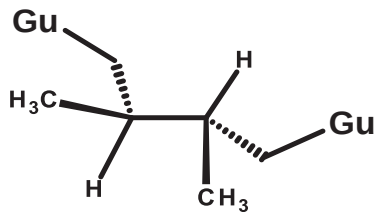
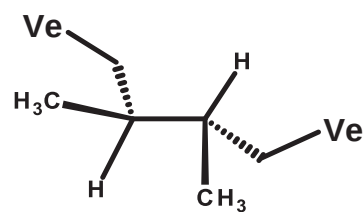
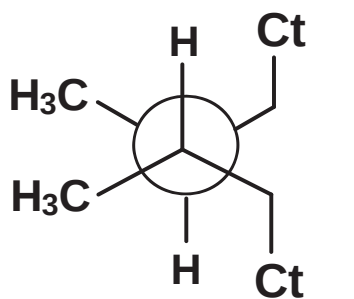
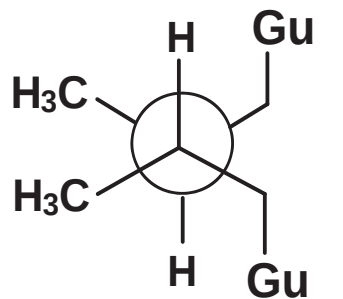
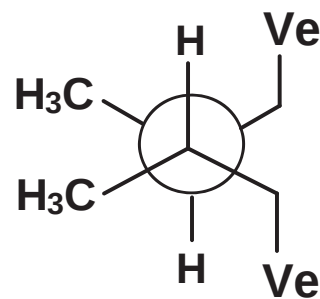


XLVI



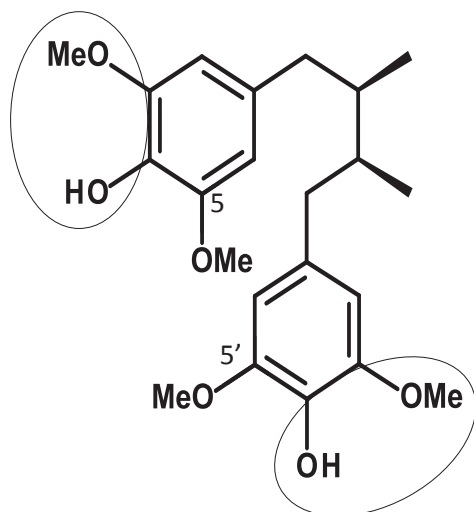
XLVII

Una estructura de dibencilbutano estereoisomérica del ácido *meso*-nordihidroguaiarético (NDGA) (**XXXVI**) es la (**XLVIII**) ; la correspondiente al ácido *meso*-dihidroguayarético (**XXXVII**) es la (**XLIX**) y la de su dimetoxiderivado (**XLI**) es el **L**, también pueden representarse abreviadamente haciendo uso de las abreviaciones de los grupos (**XXX** al **XXXIII**), por lo que quedarían representadas como en (**LI** al **LIII**) para sus proyecciones de Cram y en **LIV** al **LVI** para sus respectivas proyecciones de Newman⁷⁴⁻⁷⁶.

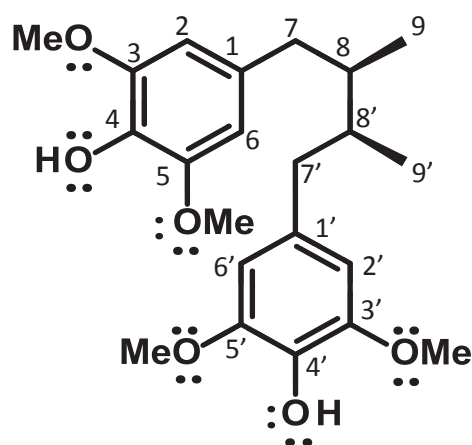
**XLVIII****XLIX****L****LI****LII****LIII****LIV****LV****LVI**

Cuando los anillos aromáticos poseen tres sustituyentes y cuyos nombres se pueden derivar de las estructuras de las que ya poseen dos sustituyentes con las posiciones definidas, como es el caso de la estructura del ácido-*meso*-5,5'-dimetoxidihidroguaiarético (**LVIIa** y **LVIIb**), el cual su nombre se deriva del compuesto con dos sustituyentes correspondientes a los grupos metoxilo en C-3 y C-3' y a los grupos hidroxilo en C-4 y en C-4' que ellos en su conjunto establecen dos grupos Guaiacilo (Gu) y al que se le agregan otros dos grupos metoxilo que ocupan las posiciones C-5 y C-5', lo cual da como resultado el nombre correspondiente al mencionado anteriormente, para estos fenilos trisustituídos para los cuales no se han propuesto nombres abreviados.

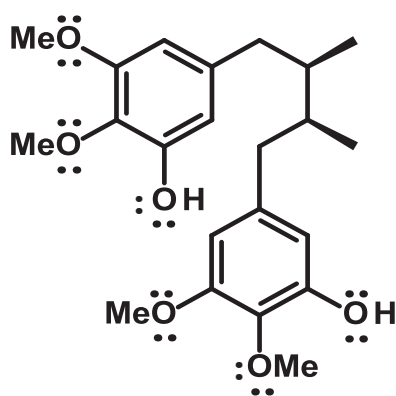
La pregomicina (**LVIII**), es un ejemplo de estructura, la cual es isomérica de **LVIIb**, ambas estructuras tienen en los anillos aromáticos tres sustituyentes, los que difieren entre sí de la posición relativa del grupo hidroxilo respecto a los grupos metoxilo, proyección de Newman (**LIX**), en la que ambas son compuestos *meso*.



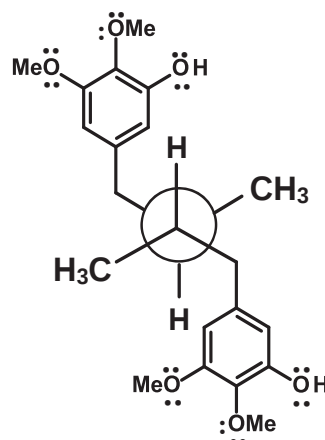
LVIIa



LVIIb

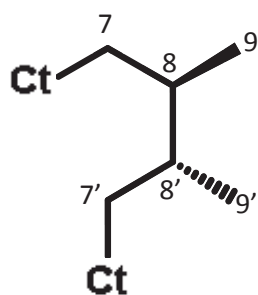
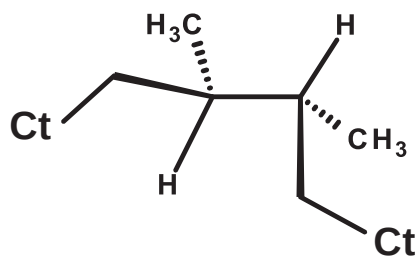
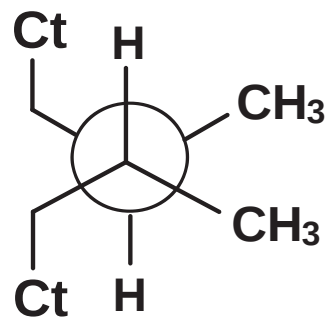
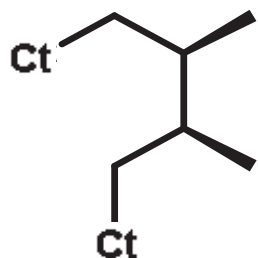
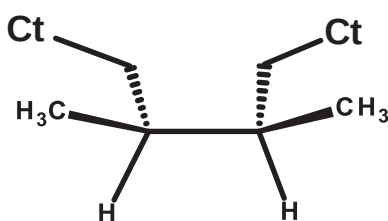
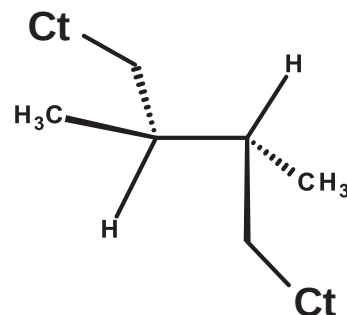
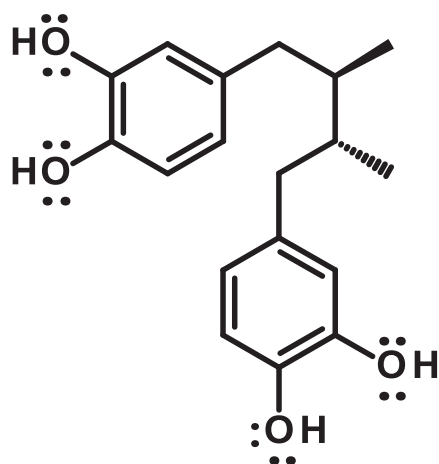
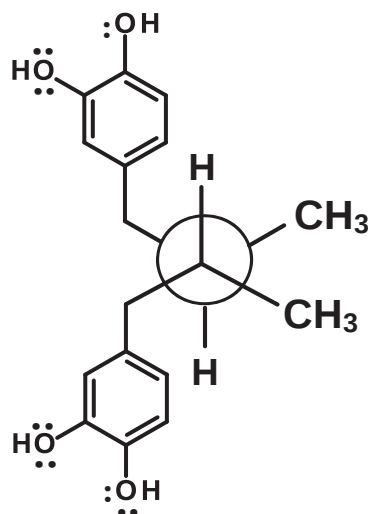


LVIII

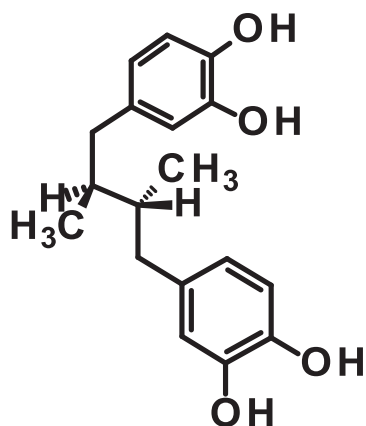


LIX

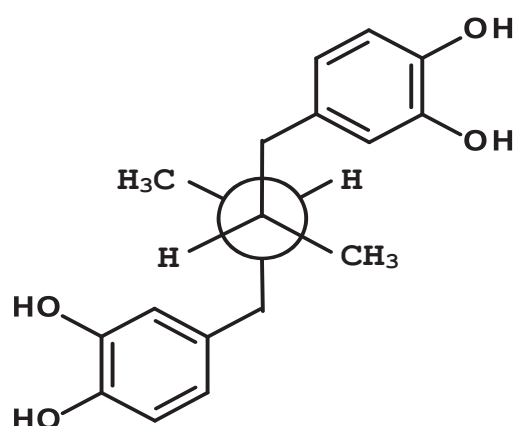
Para las estructuras ópticamente activas del ácido-(-)-nordihidroguaiarético **LX** a **LXII** y sus respectivos estereoisómeros (formas *meso*) ópticamente inactivos (**XXXIX**, **LXIV** y **XLII**), las primeras pueden representarse de forma abreviada como en (**LX**), ó en sus proyecciones de Cram y Newman (**LXI** y **XLII**) y las representadas en su proyección de Newman de los rotámeros alternados en (**LXII** y **LXV**).

**LX****LXI****LXII****XXXIX****LXIV****XLII****LX****LXV**

Otro tipo de representaciones para las estructuras de la forma meso ópticamente inactiva, del ácido nordihidroguayarético son la proyección de Cram (LXVI) y el confórmero alternado de la proyección de Newman (LXVII).

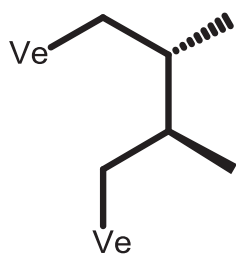


LXVI

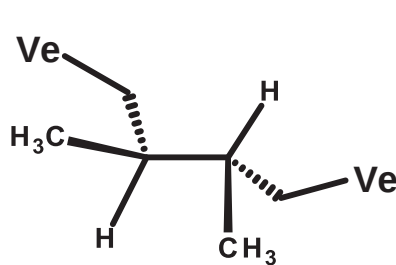


LXVII

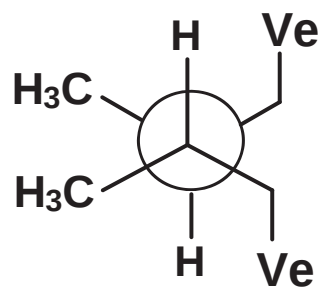
En el enantiómero del ácido(-)-dihidroguaiarético (L), los dos grupos veratrilo, se representan en la fórmula abreviada (LXVIII), en su proyección de Cram en LXIX y en la proyección de Newman de un rotámero alternado en LXX.



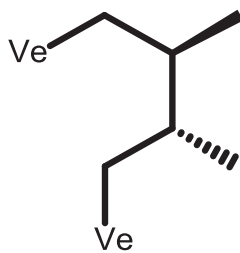
L



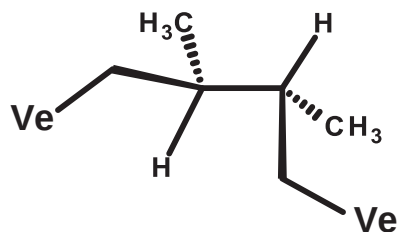
LIII



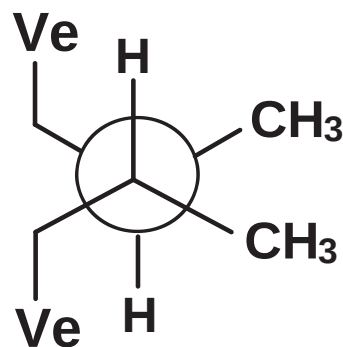
LVI



LXVIII



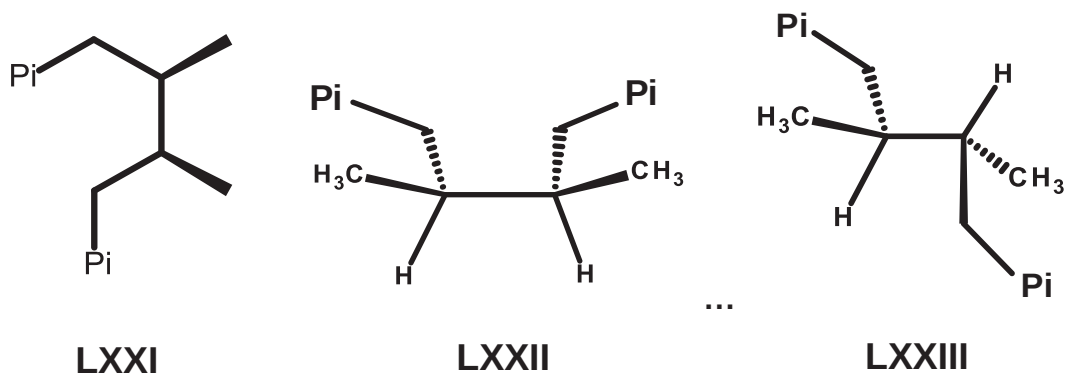
LXIX



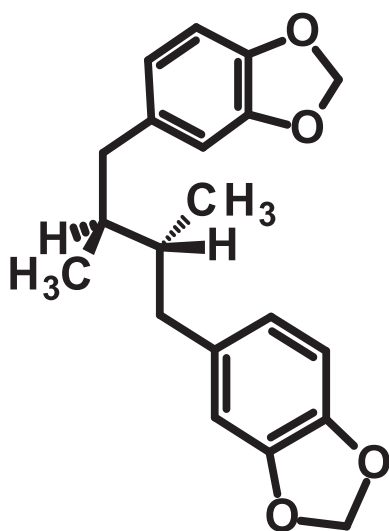
LXX

Los grupos piperonilo se encuentran presentes en los dibencilbutanos en las estructuras del tipo austrobailignano-5, las cuales se han obtenido de una Austrobaileyaceae correspondiente a la *Austrobaileya scandens*⁵⁹, planta endémica de Australia.

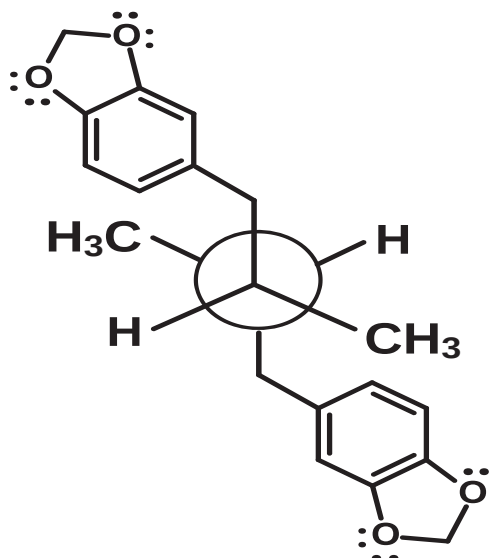
Este tipo de dibencilbutanos posee dos grupos piperonilo (XXXIII), en los anillos aromáticos, el diasterómero meso se representa en su forma abreviada.



(LXXI), las proyecciones de Cram eclipsada (XLII) y alternada (LXXIII) la



LXXIV



LXXV

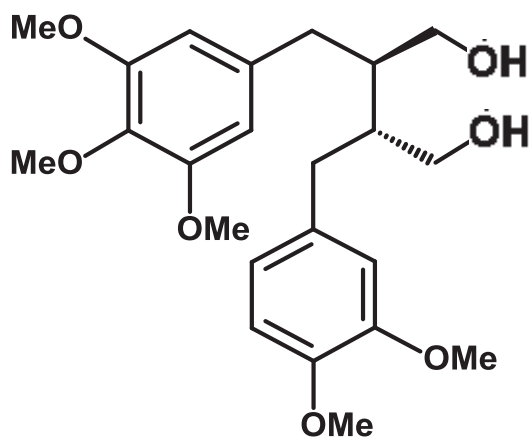


fórmula desarrollada de la proyección de Cram alternada (LXXIV) y la proyección de Newman de un rotámero alternado en (LXXV).

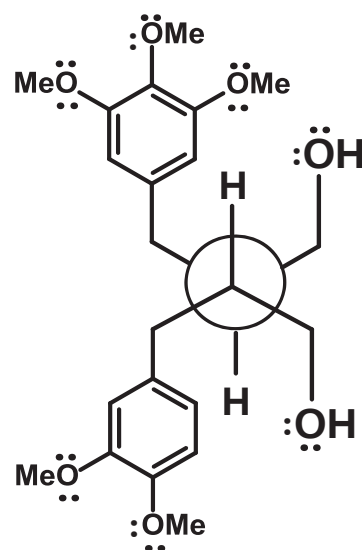
De la *Virola elongata* (Miristaceae) ha sido obtenido un alucinógeno (derivado de la estructura de la triptamina) que inhalan los indios de algunas tribus amazónicas el cual se obtiene de la corteza de esta especie y de otras también se ha reportado⁷⁷⁻⁸⁰ el aislamiento de un derivado con una estructura del tipo de los dibencilbutanos, la que



es representada en (LXXVI), en esta estructura en una proyección de Newman de un confórmero alternado (LXXVII), cabe hacer notar que los oxhidrilos fenólicos son los que se encuentran metoxilados, no así los oxhidrilos alifáticos.



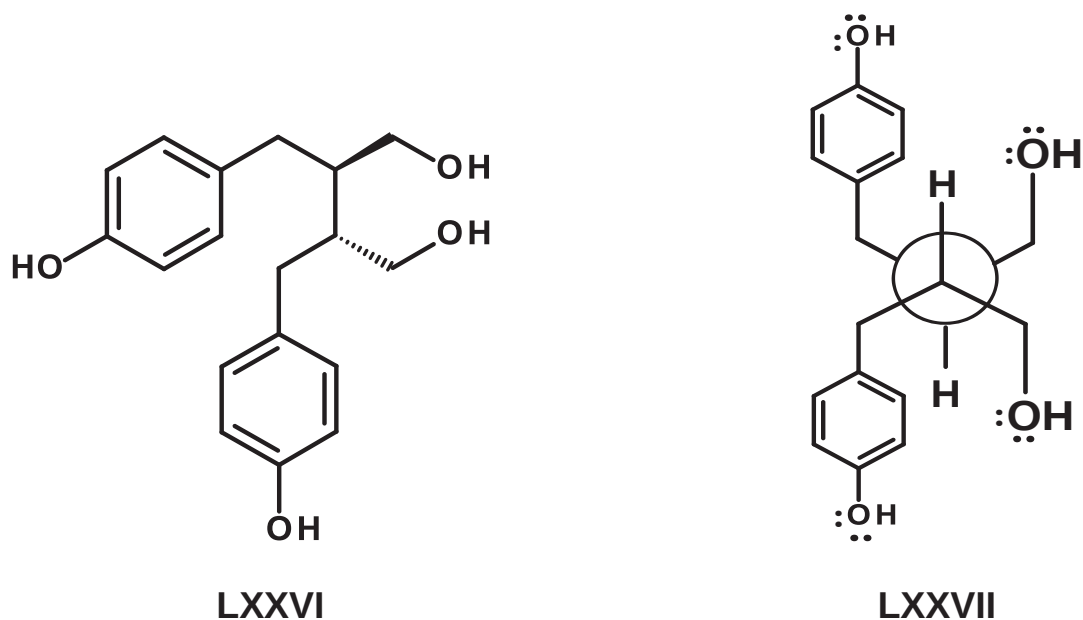
LXXVI



LXXVII

Esto es muy significativo ya que en la clasificación de los dibencilbutanodiolos, es precisamente a los oxhidrilos alifáticos a los que se hace referencia que se encuentran libres o sea que son aquellas estructuras en las que se encuentran oxidados los carbonos C9 y C9' ya sea que se encuentren eterificados ó esterificados y no como carbonos saturados como grupos metilo.

Cabe hacer notar que se han obtenido de fuentes naturales estructuras derivadas de los dibencil butanodiolos , las cuales que se encuentran simétricamente sustituidos como por ejemplo el (-)-secoisolariciresinol (**LXXVI** y **LXXVII**); el (-)- 3,3'-demetoxisecoisolariciresinol (**LXXVIII** y **LXXIX**),



lignano que se encuentra en la linaza, ya que ésta es una de las fuentes más ricas de lignanos vegetales⁸¹⁻⁸⁴.

La linaza es particularmente rica en el lignano secoisolariciresinol diglicósido (SDG), asimismo contiene pequeñas cantidades de matairesinol, pinioresinol e isolariciresinol.

Los lignanos se pueden encontrar en la mayor parte de las plantas ricas en fibra incluyendo los granos como el trigo, la cebada y la avena; en leguminosas como los frijoles, las lentejas y la soya y vegetales como el ajo, los espárragos, el brócoli y la zanahoria.

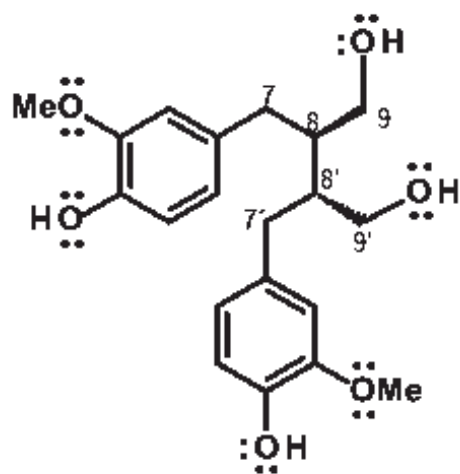
Investigadores Canadienses encontraron que la semilla entera y la linaza molida típicamente contienen entre 0.7 y 1.9% de SDG. Esto se traduce en 77-209 mg de SDG/cucharada de semilla entera ó 56-152 mg de SDG/cucharada de linaza molida.



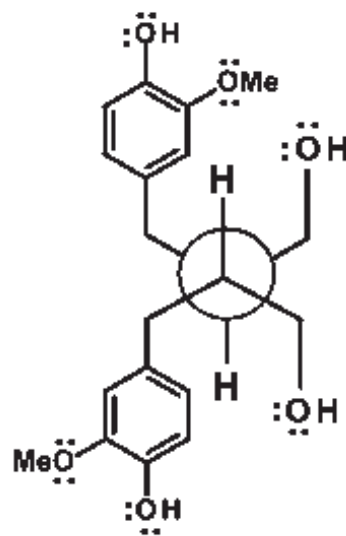
El aceite de linaza con adición de lignanos ha estado disponible en el mercado por varios años.

Dicho producto contiene 0.1% SDG ó cerca de 14 mg SDG/cucharada de aceite de linaza.

La (-)-dihidrocubebina cuya estructura representada en (LXXX) y el confórmero alternado de su proyección de Newman (LXXXI), fue obtenida como un aceite de la planta Piper cubeba, denominada también cubeba ó pimienta, la cual es originaria de las islas de Java, Sumatra y Borneo, la



LXXVIII



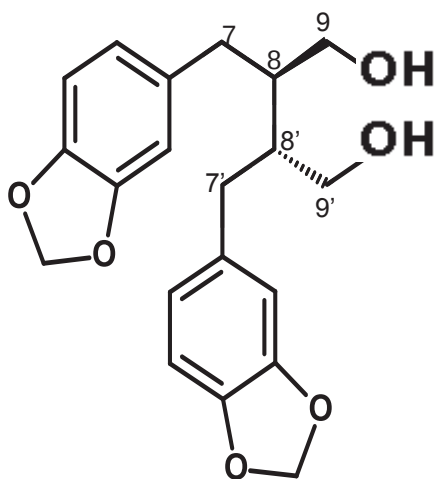
LXXIX



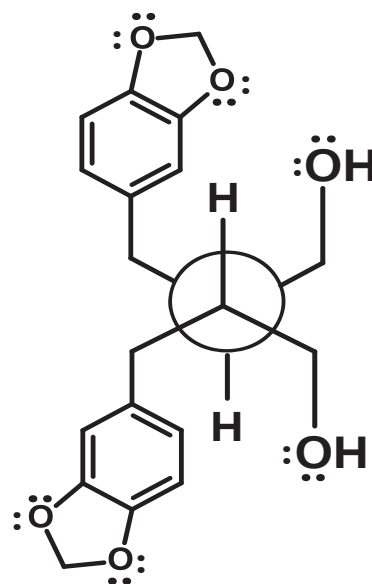
cual es una planta de la familia de la pimienta (piperácea); su fruto utilizado en la elaboración de aceites esenciales; las bayas de la planta se suelen secar y se venden secas o molidas, son ligeramente más grandes que los granos de pimienta, tienen una superficie arrugada, siendo la mayoría de las bayas huecas.

En nuestro laboratorio se obtuvo del extracto CHCl_3 de la *Bursera fagaroides* HBK y como producto de la hidrólisis básica de la ariensina (LXXXII y LXXXIII), que es el componente mayoritario obtenido de los lavados hexánicos y clorofórmicos de los tallos y del

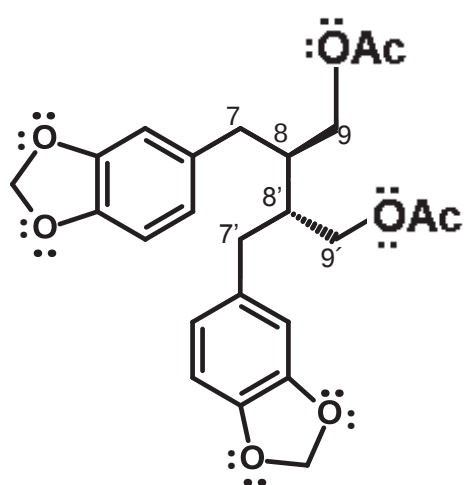
látex que exhuda la *Bursera ariensis* HBK, Burseraceae colectada en los Estados de Guerrero y Michoacán.



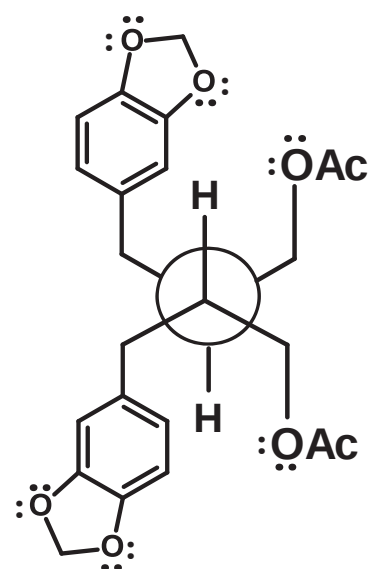
LXXX



LXXXI



LXXXII

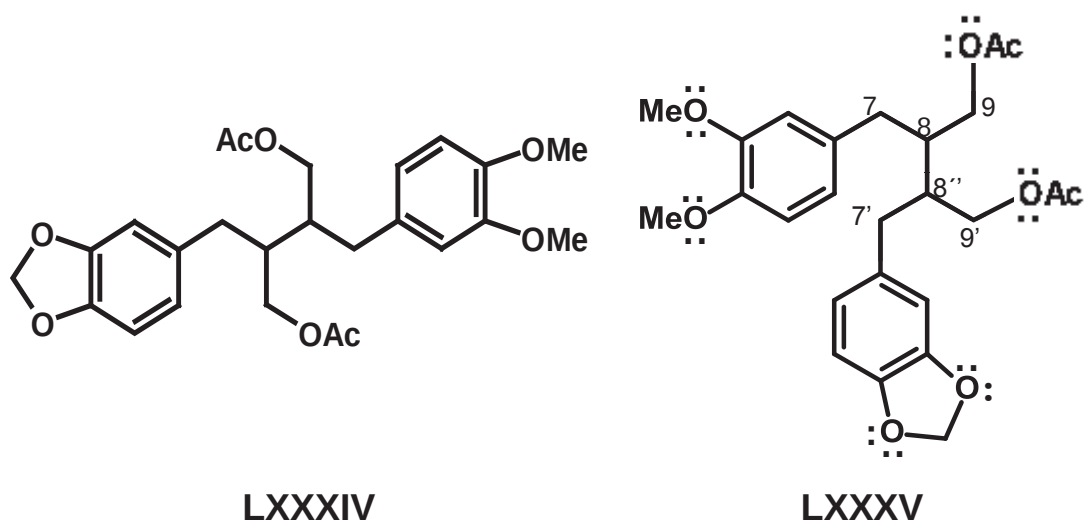


LXXXIII

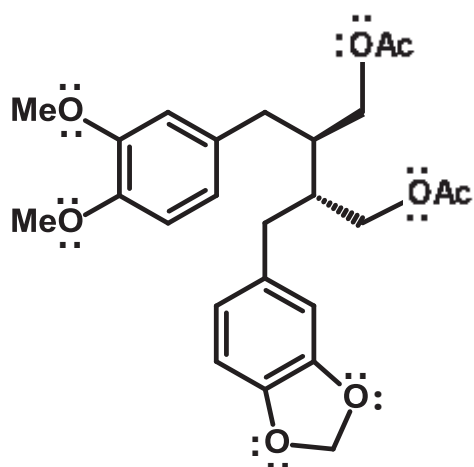




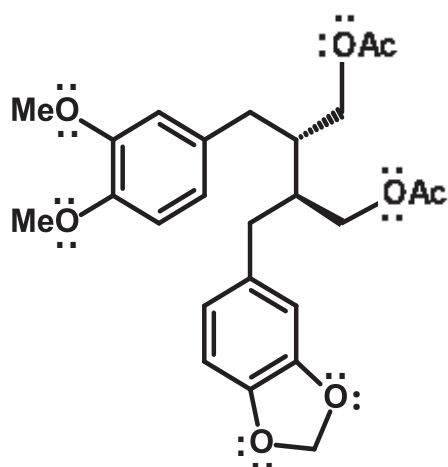
De los extractos hexánico y clorofórmico de los tallos de la *Bursera bolivarii* se obtuvo mayoritariamente un lignano al que nombramos Ariensina B (LXXXIV y LXXXV) como un aceite cristalino denso⁸⁹⁻⁹⁰.



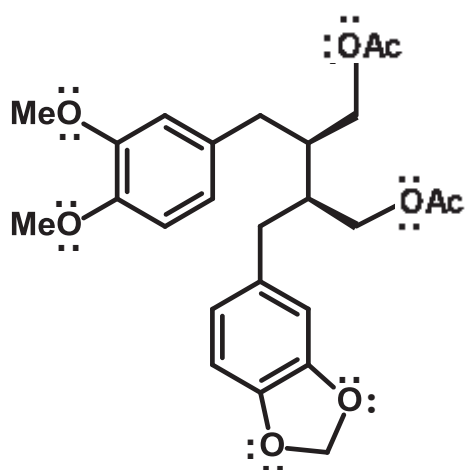
el cual es estructuralmente muy cercano al de la ariensina (LXXXII y LXXXIII), únicamente que ambos anillos del sistema del dibencilbutano no tienen los sustituyentes iguales, sino que en la ariensina B (LXXXIV y LXXXV) uno de los anillos tiene el grupo metilendioxi mientras que el otro tiene un dimetoxi y que además no se le ha determinado la estereoquímica de los centros quirales correspondientes a los carbonos metínicos C-8 y C-8', puesto que las estructuras posibles para dicho compuesto con dos centros quirales, sería cuatro estereoisómeros posibles, indicados en las estructuras (LXXXVI a LXXXIX).



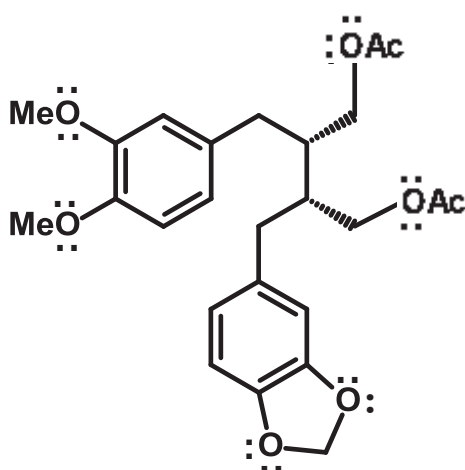
LXXXVI



LXXXVII



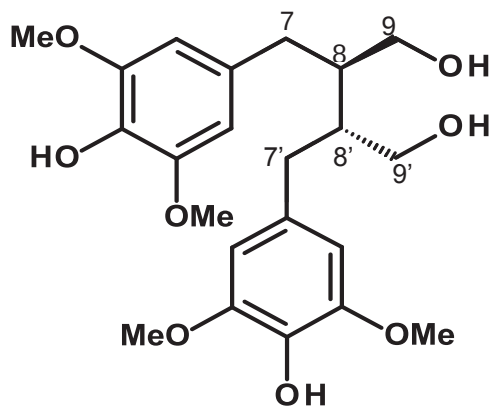
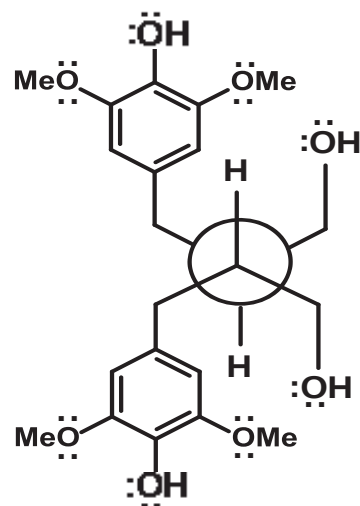
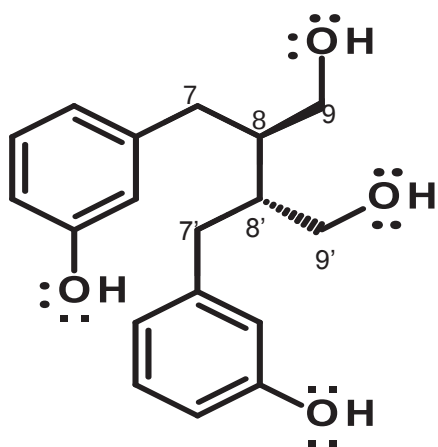
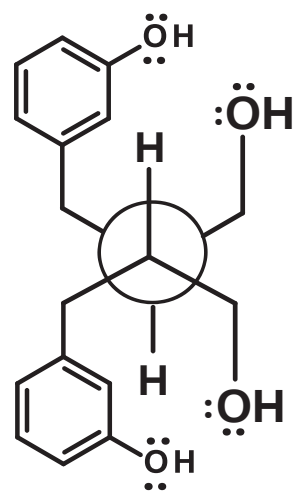
LXXXVIII



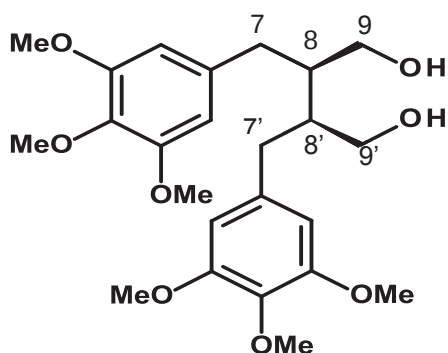
LXXXIX

.....

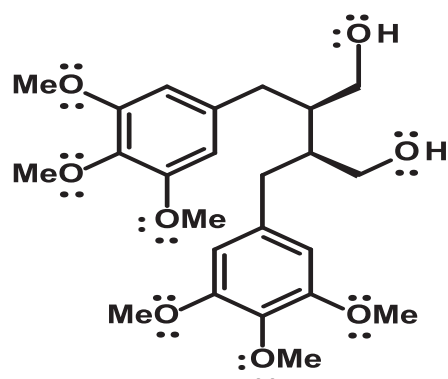
Estructuras de los dibencilbutanodiolos simétricamente sustituidos, en las cuales tenemos que ambos anillos poseen los mismos sustituyentes como en los compuestos 5,5'-dimetoxisecoisolariciresinol (**XC** y **XCI**), el enterodiol (**XCII** y **XCIII**) y cuyas estructuras respecto a la estereoquímica en torno a los carbonos quirales C-8 y C-8' ya han sido establecidas.

**XC****XCI****XCII****XCIII**

En la literatura se han reportado metabolitos lignánicos que son pocos de los ejemplos que se conocen de formas *meso*-2,3-dibencilbutanodiolos como es el caso del metabolito que ha sido obtenido de la corteza de *Zanthoxylum heitzii* (XCIV al XCIX).

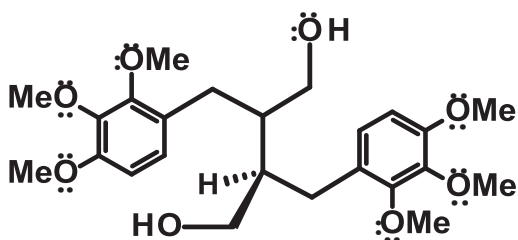


XCIV

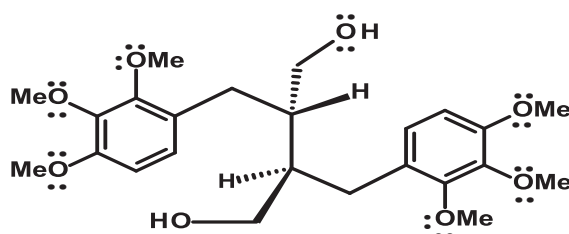


XCV

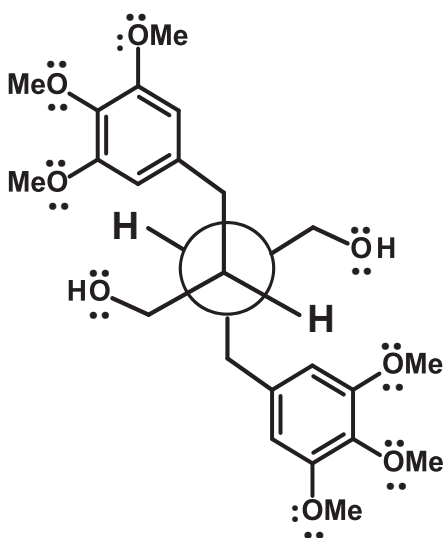
...



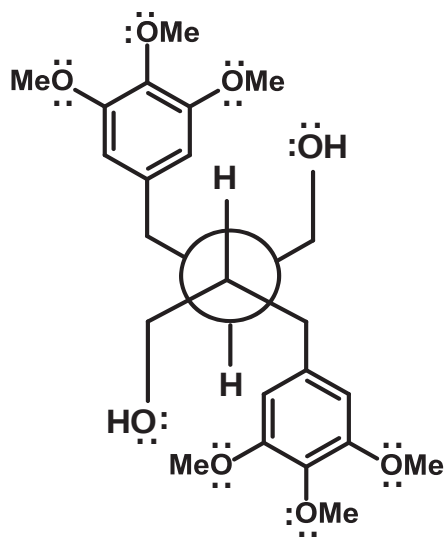
XCVI



XCVII



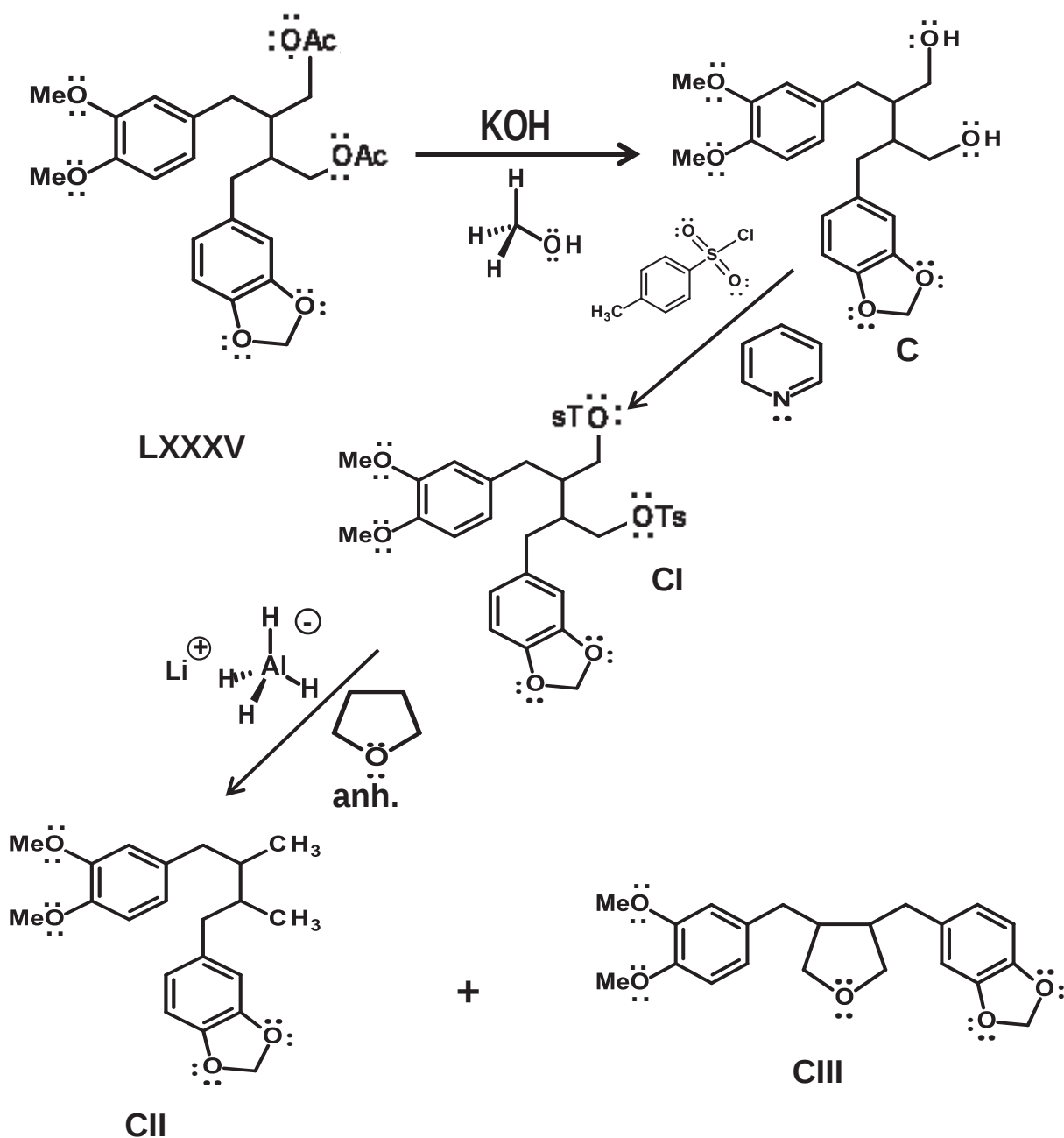
XCVIII



XCIX

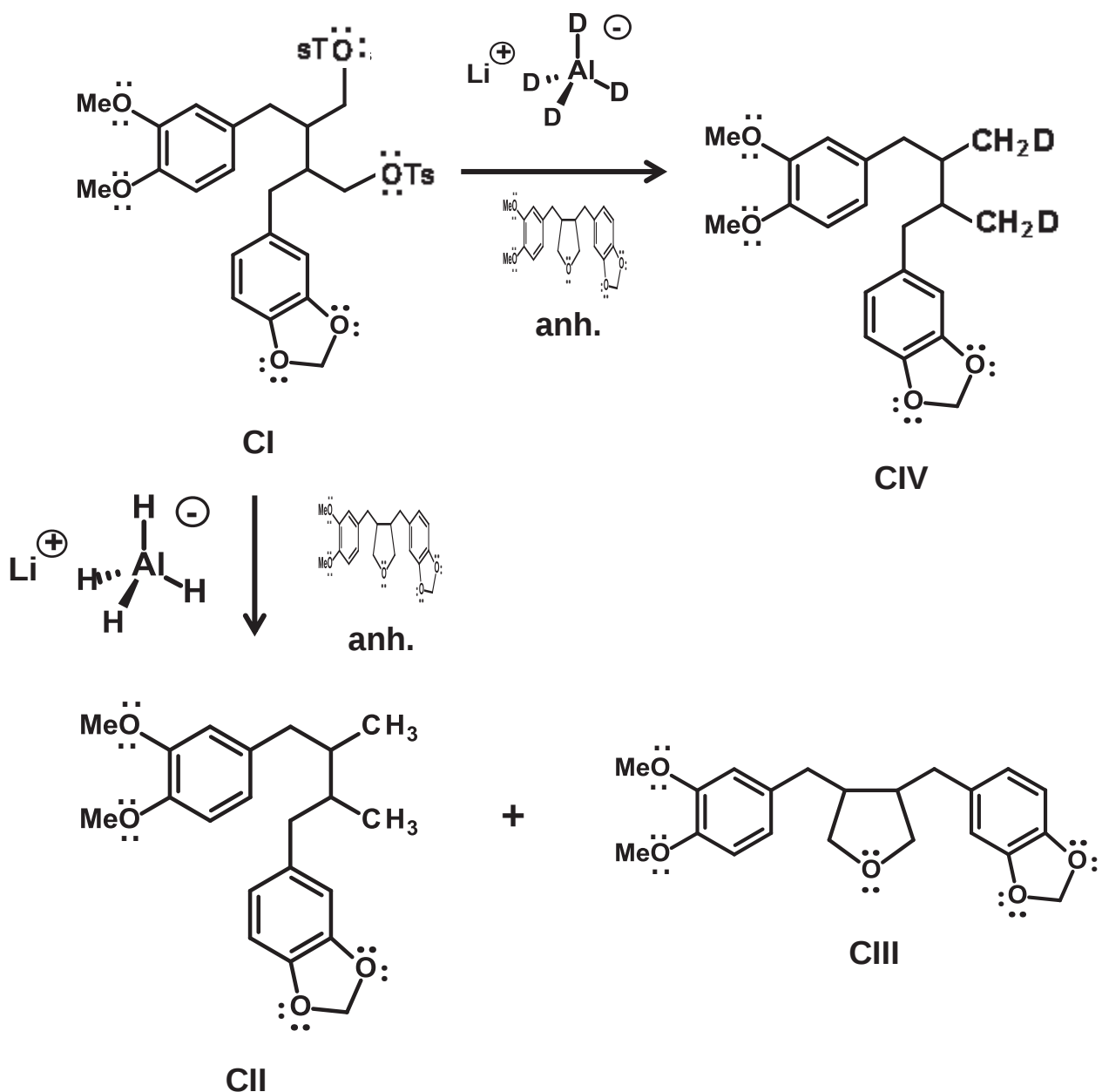
Estudios que hemos llevado a cabo con la finalidad de correlacionar estructuras funcionalizadas en C-9 y C-9' con algunas reportadas en la literatura en las que las posiciones C-9 y C-9' no se encuentran funcionalizadas ya que son grupos metilo.

La secuencia de reacciones que se llevaron a cabo con el objetivo de desfuncionalizar los grupos acetato de las posiciones C-9 y C-9' y convertirlos en grupos metilo se encuentra representada en el ESQUEMA I



ESQUEMA II

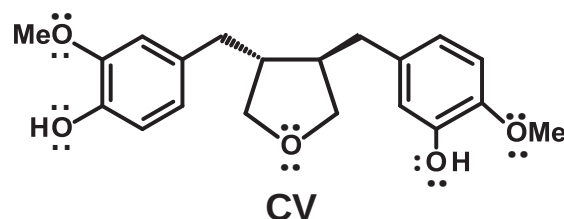
En el ESQUEMA II se muestra la secuencia de reacciones que se llevaron a cabo para desfuncionalizar los grupos acetato de las posiciones C-9 y C-9' y convertirlos en grupos, sólo que en la etapa de la reducción de los grupos tosilato con el hidruro de litio y aluminio en THF anh., además de obtener el producto de desplazamiento de los tosilatos por el anión hidruro (CII), se obtuvo un segundo producto, en el que el ditosilato (CI) sufrió un rearrreglo de tal suerte que se obtuvo un derivado de un tetrahidrofurano (CIII). El marcaje isotópico de la posición desfuncionalizada dio (CIV) como se representa en el ESQUEMA III.



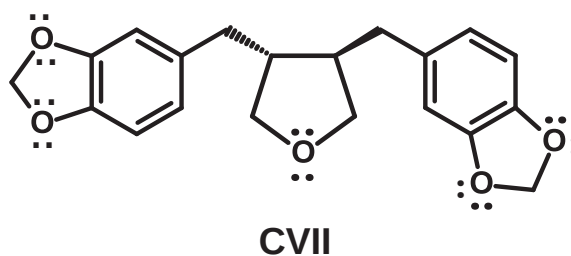
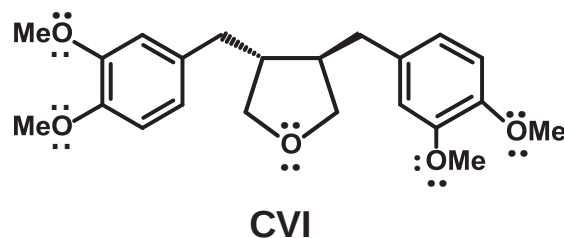
ESQUEMA III

Los lignanos de una estructura derivada de un tetrahidrofurano, en la cual tiene como sustituyentes dos grupos bencilo cuyos anillos aromáticos se encuentran sustituidos y se encuentran en las posiciones 3 y 4 del tetrahidrofurano (3,4-dibenciltetrahidrofuranos) y las posiciones 2 y 5 se encuentran libres o sea sin sustituyentes, pertenecen a la familia ó serie de los 3,4-dibenciltetrahidrofuranos. Ejemplos de este tipo son las estructuras (**CV** a

la **XLIV**) correspondientes a la (-)-shonanina (**CV**) obtenida de hojas del *Calocedrus formosana*, perteneciente a la familia de las Cupressaceae, la cual es una conífera endémica llamada comúnmente «shonan».

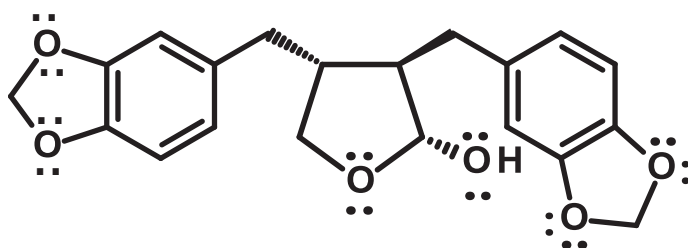


El (-)-brasilignano (**CVI**), la (-)-dehidroxicubebina, (**CVII**) relacionada

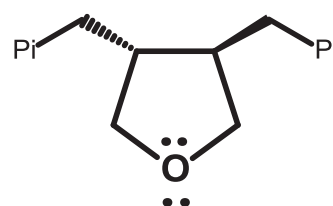




estrechamente con la cubebina $C_{20}H_{20}O_6$ (**CVIII** y **CIX**), las cuales ocurren en los frutos de la piperácea *Piper cubeba*⁸³⁻⁸⁴ y en la raíz de *Aristolochia triangularis*, la cual es usada como un antiséptico urinario.

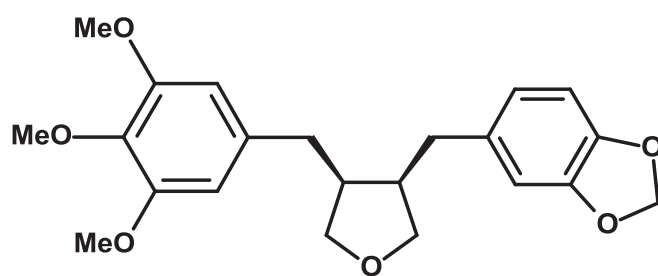
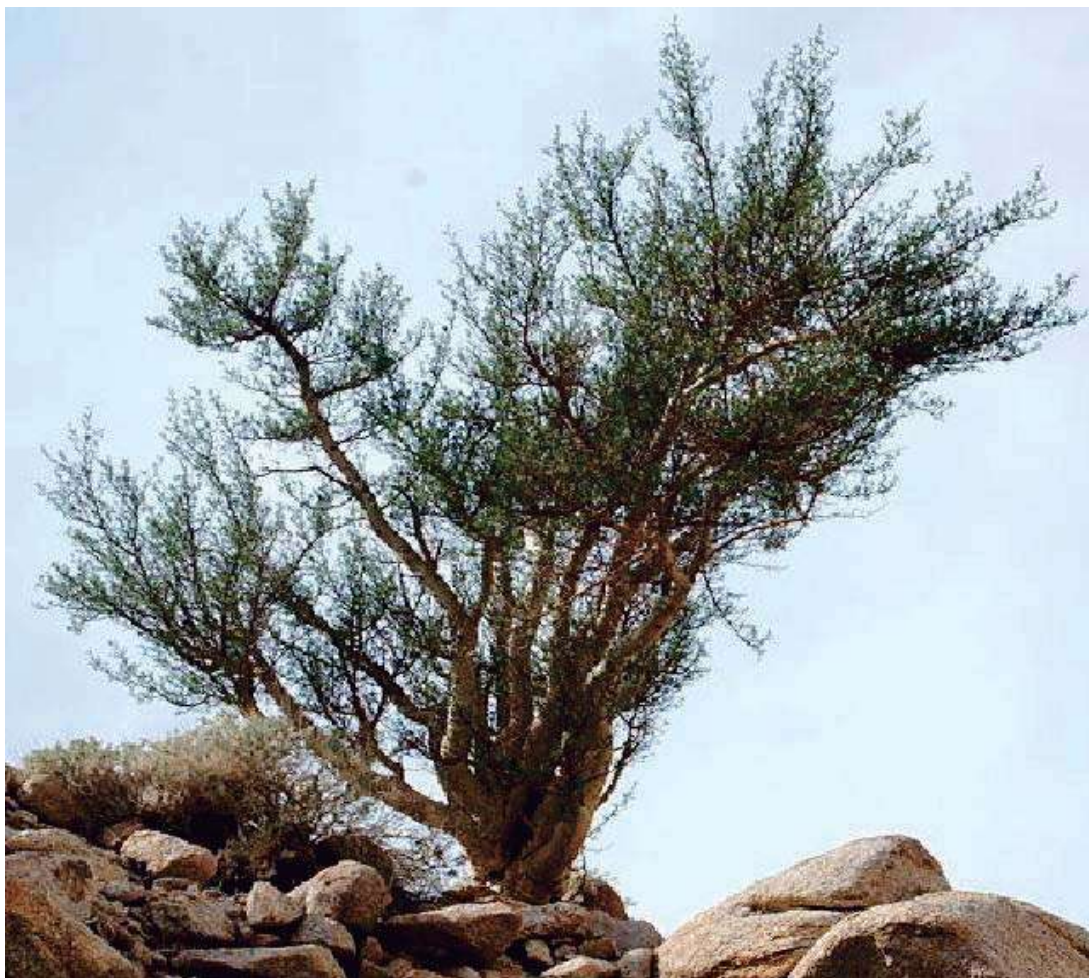


CVIII

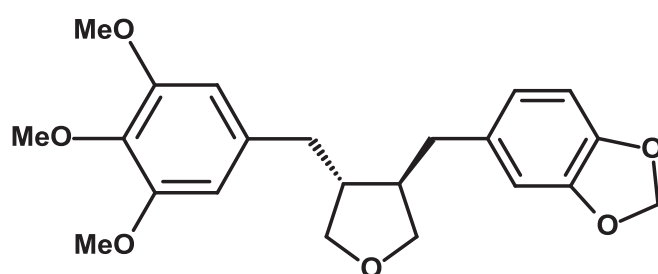


CIX

El (+)-cis-burserano (**CX**), (-)-trans-burserano (**CXI**), los cuales presentan actividad antitumoral y se encuentran en las hojas y tallos de la *Bursera microphylla* Gray (Burseraceae) la cual es un arbusto ó árbol pequeño que crece en las pendientes rocosas al sur de Baja California y en el Estado de Sonora, se le conoce popularmente como árbol del elefante, tiene una corteza defoliante y es extremadamente aromática.



CX



CXI



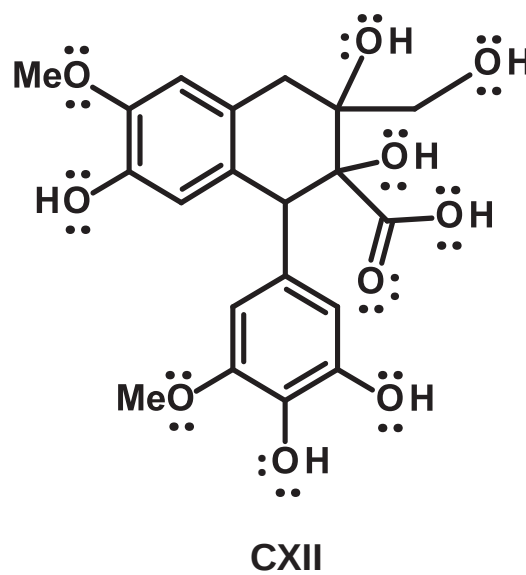
Los nativos del Himalaya y los indios norteamericanos del Estado de Maine conocían que los extractos de las raíces de especies del género *Podophyllum* tenían propiedades catárticas y venenosas, se conocía también que las raíces de la mandrágora americana (*Podophyllum peltatum*) poseían algunas propiedades purgantes, antihelmínticas y vesicantes.

La medicina tradicional China y Japonesa reconocían las propiedades farmacológicas de las plantas ricas en lignanos, un ejemplo es el uso tradicional que data de cientos de años del uso de la corteza seca del *Fraxinus japonica* empleada como diurética, antipirética, analgésica y antireumática.

A excepción de los resultados obtenidos de especies del género *Podophyllum* y el ácido nordihidroguaiarético, los lignanos no parecen estar implicados en intoxicaciones humanas y animales, no obstante el serrín del cedro rojo, una cupressaceae (*Thuja plicata*) produce asma y rinitis alérgica en ciertos individuos, esta patología es conocida con el nombre de asma del cedro rojo occidental, es un problema común en la industria maderera y se conoce que se debe al lignano muy funcionalizado llamado ácido plicático(CXII), ya que actualmente se sabe que este

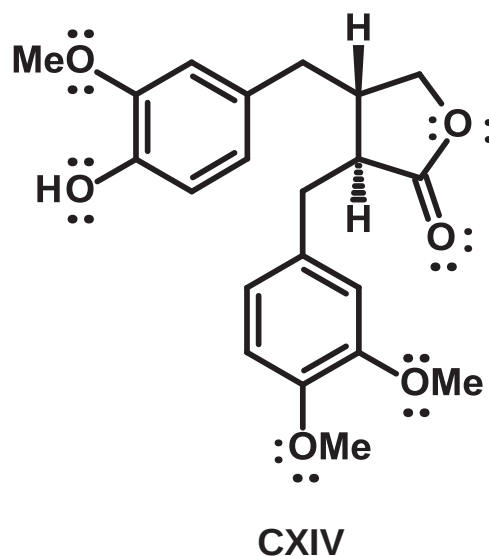
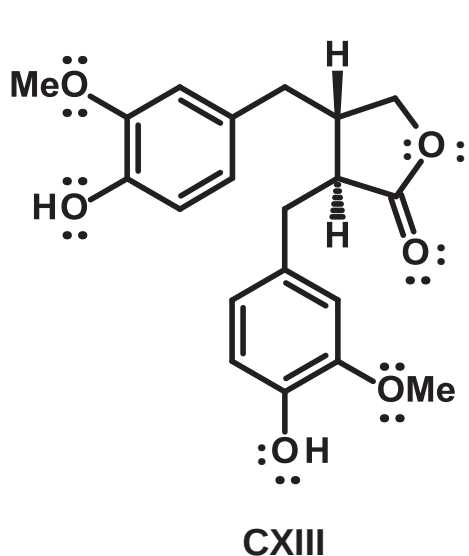


ácido induce broncoconstricción acompañada de niveles elevados de histamina y leucotrienos E4.



Algunos lignanos del tipo de las dibencilbutirolactonas y de los furofuranos inhiben la acción de la AMPc-fosfodiesterasa por lo que prolongan ó intensifican la actividad de la adrenalina al disminuir la velocidad de degradación del AMPc.

Los lignanos como el matairesinol (**CXIII**) y la arctigenina (**CXIV**) muestran esta actividad por lo que son potencialmente agentes antiasmáticos, ya que los niveles elevados de AMPc se encuentran implicados en la relajación del músculo liso de las vía respiratorias superiores al prevenir la activación de las células mediadoras de la respuesta inflamatoria.



El matairesinol (**CXIII**) posee dos anillos de guaiacilo (4-hidroxi-3-metoxifenilo) mostró una actividad elevada, mientras que la arctigenina (**CXIV**) que consta de un anillo de guaiacilo y otro de veratrilo (3,4-dimetoxifenilo) mostró una actividad menor. por lo que son potencialmente agentes antiasmáticos, ya que los niveles elevados de AMPc se encuentran implicados en la relajación del músculo liso de las vía respiratorias superiores al prevenir la activación de las células mediadoras de la respuesta inflamatoria.

Gran parte del interés que han despertado estos productos naturales lignánicos se debe a la actividad antitumoral mostrada por las estructuras derivadas de los llamados ciclolignanos del grupo de la podofilotoxina (**CXV**), que se aísla del *podophyllum peltatum* y del *podophyllum hexndrum* (Berberidaceae).

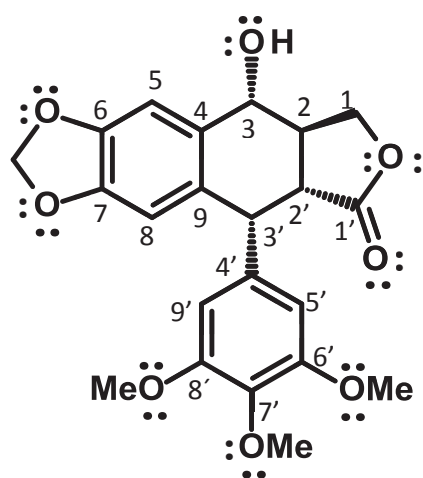
No obstante este lignano muestra una severa toxicidad gastrointestinal, por lo que no es apto para uso clínico, en cambio sus derivados semisintéticos como el etopósido (**CXVI**) y el tenipósido (**CXVII**) son utilizados solos ó conjuntamente con otros fármacos para el tratamiento del linfoma de Hodgkin, linfomas no Hodgkin



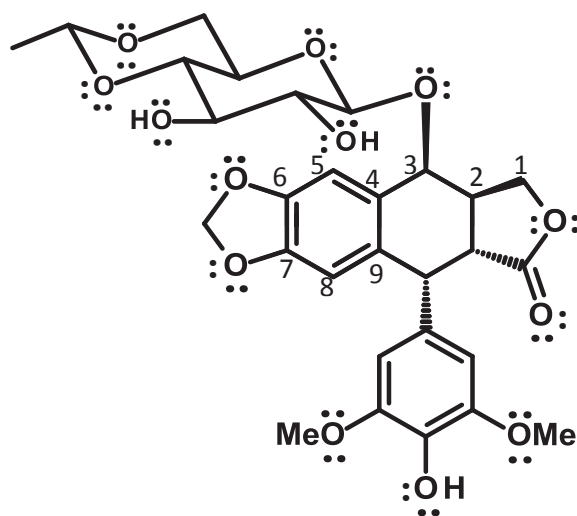
carcinoma de células pequeñas (oat-cell) y leucemia aguda.

La podofilotoxina actúa inhibiendo el ensamblaje de los microtúbulos durante la mitosis, quedando ésta detenida en metafase.

Sin embargo el etopósido (**CXVI**) y el tenipósido (**CXVII**) parece ser que

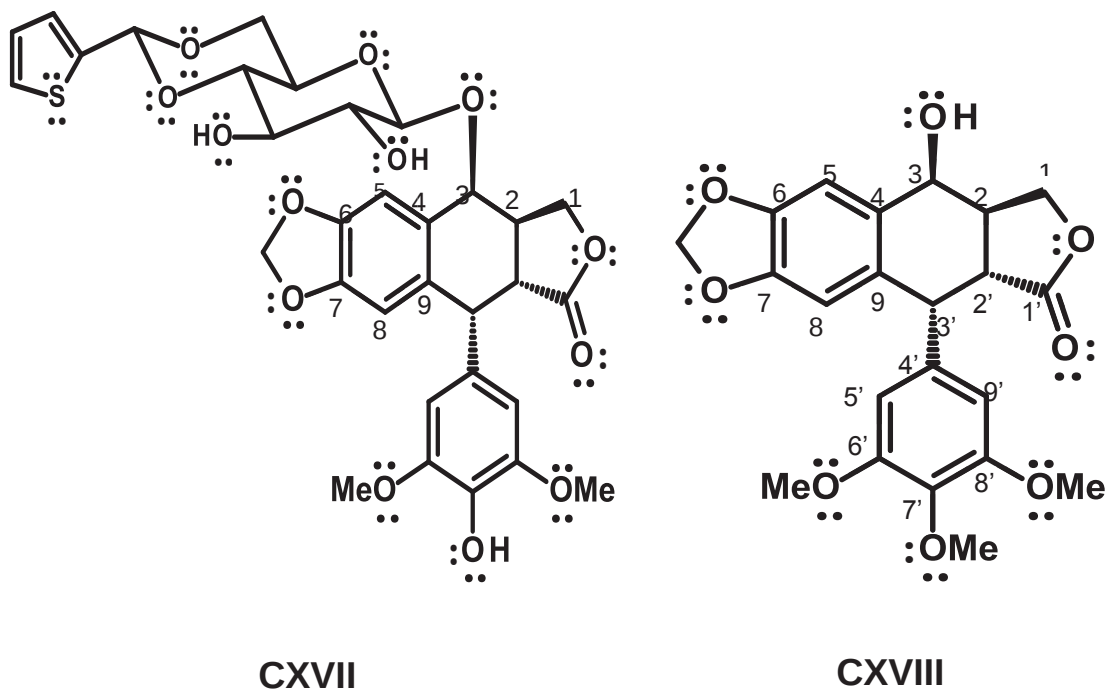


CXV



CXVI

tienen otro mecanismo de acción, en este caso la actividad citotóxica es consecuencia de la capacidad de estos compuestos para formar complejos terciarios estables con la topoisomerasa II y con el DNA, lo que conduce a fracturas en la doble hélice, quedando el ciclo celular detenido en la fase G2, esto produce en última instancia la muerte de la célula.



Del estudio de la relación estructura-actividad de análogos lignánicos a la podofilotoxina (**CXV**), llevada a cabo, se concluyó que la configuración del grupo oxhidrilo en C-3 es importante para la actividad antitumoral.

La 3-*epi*-podofilotoxina (**CXVIII**), estructura epimérica en C-3 respecto a la podofilotoxina (**CXV**), tiene una efectividad como agente citostático en orden de magnitud inferior.

El cambio de grupos oxhidrilo hacia otra posición en el esqueleto de la estructura nos da como resultado un efecto significativo en la actividad, así por ejemplo la β -peltatina (**CXIX**) posee la posición del oxhidrilo en C-5, ésta tiene un efecto antitumoral más activo que la podofilotoxina (**CXV**).

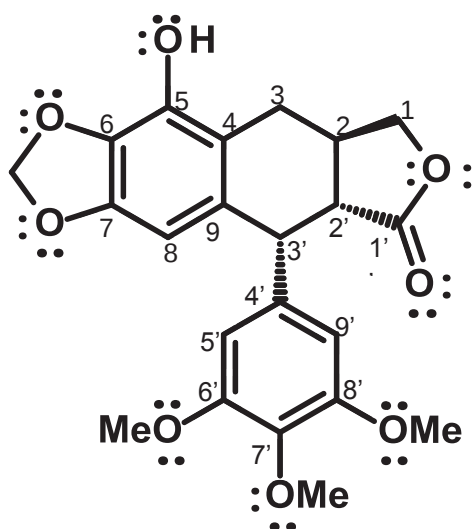
La importancia del anillo de la γ -lactona en la podofilotoxina (**CXV**) en la actividad de esta familia de compuestos, no ha quedado muy bien definida, ya que existen lignanos que presentan actividad antitumoral que no tienen en su estructura esta anillación como es el caso del taxiresinol (**CXX**), el cual es un lignano con esqueleto tetrahidrofuranóide.

La glucosidación de la podofilotoxina (**CXV**) que da el β -D-glucopiranosido derivado (**CXXI**), el cual posee una marcada disminución de la actividad, aunque

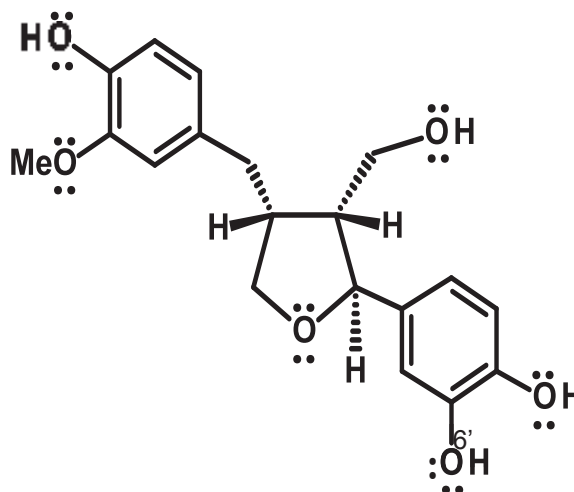
ésta no desaparece por completo.

El grupo metilen dioxi se encuentra presente en muchos esqueletos lignánicos, lo que sugiere que su presencia de él es importante para producir la actividad citostática.

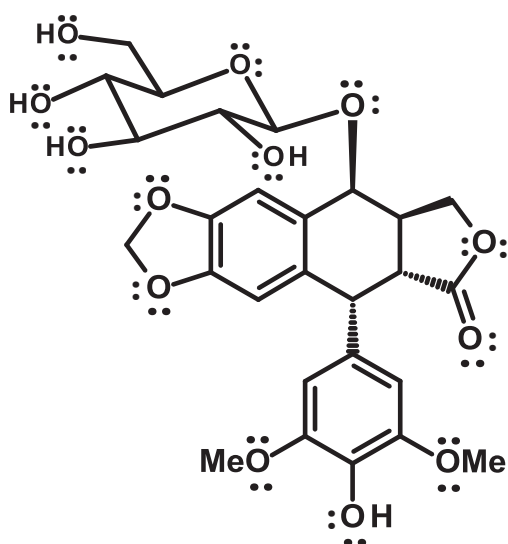
La configuración en torno al carbono C-2' del sistema de la ariltetralina de la podofilotoxina (**CXV**) parece ser que juega un papel relevante en la actividad



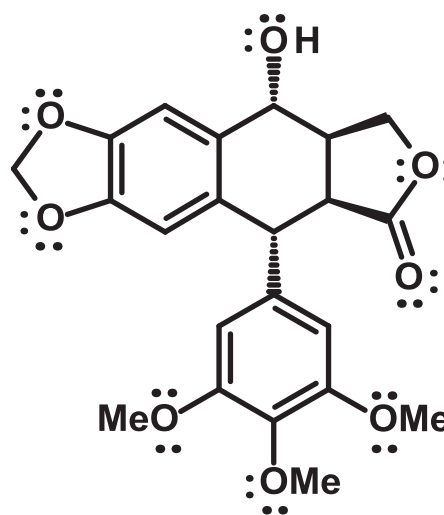
CXIX



CXX



CXXI



CXXII

citostática ya que la estructura de la picropodofilotoxina (**CXXII**) tiene quiralidad opuesta precisamente en C-2' y ésta muestra una marcada atenuación de su actividad como citostático en comparación con su diasterómero epimérico en C-2' (**CXV**).

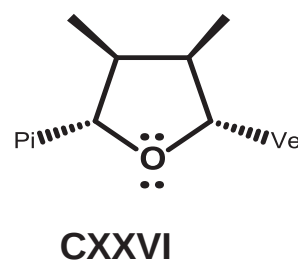
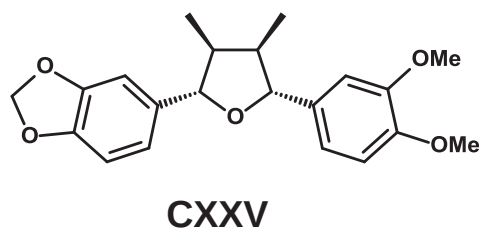
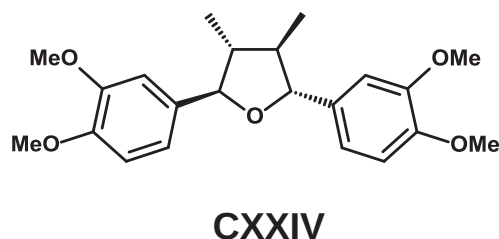
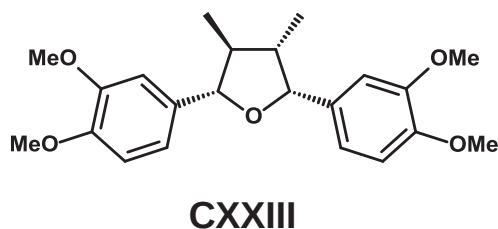
Lignan es un grupo de compuestos cuya estructura se deriva de un tetrahidrofurano es un grupo de lignanos muy prolífico.

De estos existen aquellos en los cuales los anillos aromáticos ocupan las posiciones 2 y 5 del tetrahidrofurano (2,5-diariltetrahidrofuranos) y la posición 3 y 4 contiene dos grupos metilo, estos tetrahidrofuranos tetrasustituídos, tienen por lo tanto cuatro centros quirales uno de los posibles estereoisómeros es la (+)-Veraguensina (**CXXIII**), la cual ocurre en la madera de *Ocotea veraguensis* (*Lauraceae*) y en las hojas de *Virola surinamensis* (*Myristicaceae*); también se han reportado estereoisómeros que difieren en la estereoquímica relativa de los metilos en C-3 y C-4 del tetrahidrofurano como es el caso de la

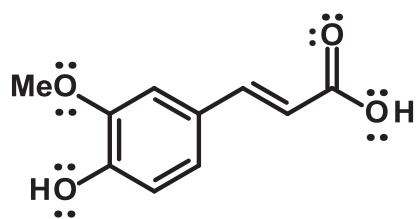




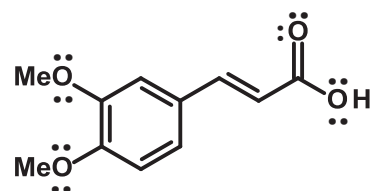
gelbelgina (**CXXIV**), en la cual la estereoquímica de los metilos y el de un grupo veratrilo es opuesta a la estereoquímica de los metilos y de un grupo veratrilo respecto a la (+)-Veraguensina (**CXXIII**), en el caso de la machilina G (**CXXV**), ésta posee en las posiciones 2 y 5 los grupos veratrilo y piperonilo respectivamente, tanto la gelbelgina (**CXXIV**) como la machilina G fueron obtenidas de los tallos y frutos de *Piper wightii*⁸³.



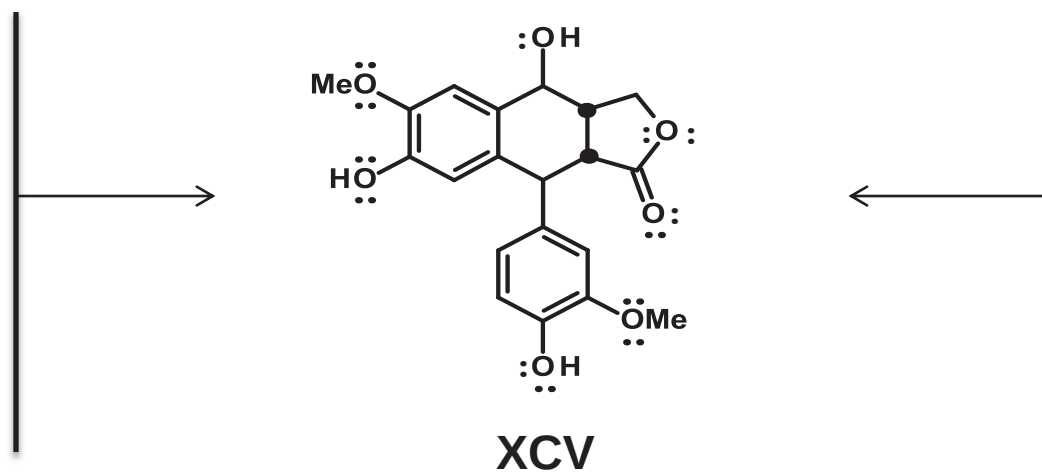
Un estudio reciente con fenilpropanoides marcados con ¹³C indicó que las células en suspensión de *Linum album* al agregar el ácido ferúlico (**XCIII**) al medio de cultivo éste fue convertido en podofilotoxina (**XCIV**)



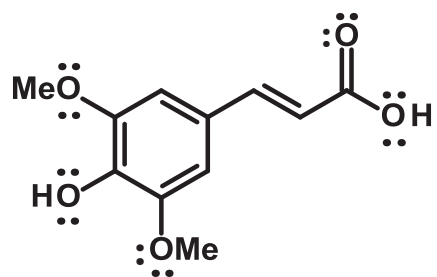
CXXVII



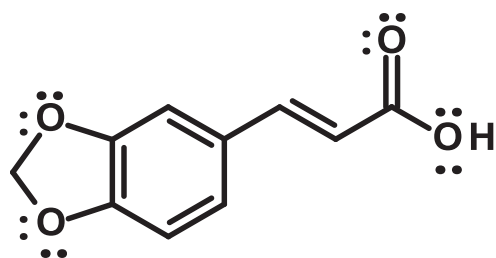
CXXVIII



XCV



CXXIX



CXXX

ESQUEMA IV

La presencia de un átomo de carbono ^{13}C en el ácido ferúlico (**CXXVII**) produciría una podofilotoxina (**CXV**) con una masa de $M+2$. El ácido ferúlico (**CXXVII**) doblemente marcado produciría una podofilotoxina (**CXV**) $M+4$.

Experimentos adicionales con ácido dimetoxicinámico (**CXXVIII**) y ácido sinápico (**CXXIX**) marcados producirían también podofilotoxina (**CXV**)

con un $M+1$ y $M+2$.

Experimentos con el ácido metilendioxicinámico (**CXXX**) produjeron únicamente la podofilotoxina (**CXV**) $M+1$.

No queda muy claro el porqué los sustratos se regresaron al ácido ferulico (**CXXVII**) antes de que se conviertan en la podofilotoxina (**CXV**) durante el trayecto biosintético.



DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los biólogos agrupan y categorizan las especies de organismos ya sean especies extintas o especies vivas y a sus diferentes conjuntos ó taxones en lo que llaman Clasificación Científica, la cual es un método sistemático de la ciencia de la biología. La clasificación biológica es una forma de taxonomía científica que se distingue de la clasificación popular, debido a que esta última carece de base científica, esta taxonomía científica no sólo admite una jerarquización de características y funciones, sino que también permite establecer un esquema de parentescos, similitudes y relaciones entre los diferentes organismos. La utilidad principal de la clasificación es que en un nivel científico exista un consenso general y casi universal para establecer un orden esquemático sobre la enorme diversidad de los organismos.

Existen ocho categorías taxonómicas principales: Dominio, Reino, Phylum, Clase, Orden, Familia, Género y Especie. El nombre de cualquier taxón debe ser seguido de la «autoridad» (o autoridades) del nombre, esto es, el nombre del autor que por primera vez publicó una descripción válida de él.

Estos nombres son frecuentemente abreviados, en botánica existe una regulada lista de abreviaturas estándar.



La planta objeto de estudio de la presente tesis pertenece al Reino Plantae; Phylum Magnoliophyta ; a la clase Magnoliopsida ; al Orden Sapindales; a la familia de las Burseraceae, al género Bursera y la especie es la discolor y la Autoridad que validó su descripción fue el Dr. Jerzy Rzedowskii Rotter doctorado en Botánica en la Universidad Nacional Autónoma de México, autor de Vegetación de México (1971), coeditor y coautor de Flora Fanerogámica del Valle de México (1979; 2001, 2ª ed.), y de la Flora del Bajío y de Regiones

Adyacentes

(1991).



Los árboles y arbustos del género *Bursera*, constituyen un elemento característico no pocas veces dominante e incluso muchas veces abundante de los bosques tropicales caducifolios de México, en donde habitan preferentemente en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1800 m, solamente miembros del complejo *simaruba* llegan a ser componentes de ambientes más húmedos los cuales pueden prosperar en bosques

tropicales subcaducifolios y perennifolios, muchas especies prosperan en matorrales xerófilos.

El género destaca tanto por el número de especies como por su abundancia, sobre todo en la vertiente del Pacífico y en la cuenca del Balsas, donde se presentan



alrededor de unas 60 especies.

Su distribución está estrechamente asociada con la selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio, que es el bosque tropical seco de mayor extensión en México.

Típicamente son árboles de tamaño bajo o medio (5-15 m); el color y textura de su corteza varía si presenta defoliación ó no, de tal manera que las especies que no defolian van desde gris hasta gris-amarillento a café-rojizo, cuando defolia el color de la defoliación puede variar, y son desde un color amarillo pálido ó beige hasta anaranjado ó anaranjado rojizo y la gran mayoría de las especies del género son plantas caducifolias que pierden sus hojas en la temporada seca del año y en general, florecen al final de la misma.

La *Bursera discolor* Rzed., se encuentra etiquetada como *Bursera confusa* (Rose) Bullock, el cual es un ejemplar en el que Bullock la cita así refiriéndose precisamente a este taxón. Es posible que el resto de las colectas llevadas a cabo en el Estado de Guerrero y que quedaran registradas por Bullock como *Bursera confusa* (Rose) Bullock correspondan a esta especie.

La abreviatura Bullock se emplea para indicar a Arthur Allman Bullock (Botánico Inglés 1906-1980) como autoridad en la descripción y clasificación científica de vegetales, en particular destacó las características de la



DEFOLIACIÓN DE CUAJOTES



AMARILLOS



descripción morfológica de la corteza de las especies de burseras, llevando su abreviatura a las especies cuya corteza no presenta exfoliación.

Sin embargo la *Bursera discolor* presenta su mayor desarrollo en las zonas cercanas al ecotono o la zona de transición entre el bosque tropical caducifolio y los encinares, los cuales son dos comunidades biológicas diferentes, de las que forma parte de ambos tipos de vegetación en sus zonas más frescas y más cálidas, aunque se le ha





encontrado también de manera aislada en las partes bajas de la Depresión, en zonas cercanas al Río Balsas y en la Sierra Madre del Sur y cuya distribución abarca los Estados de Michoacán, Puebla, Oaxaca Colima y Guerrero, el grupo al que pertenece es al de los "cuajotes" y en particular al de los "cuajotes amarillos" por el color de la exfoliación que presenta su corteza externa, botánicamente es un miembro muy bien definido del grupo más crítico y difícil en *Bursera* que es el complejo *fagaroides*.

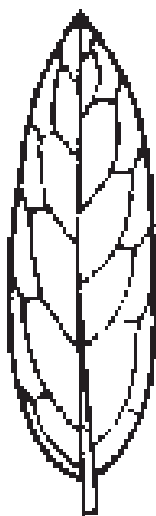


La distribución de la *Bursera discolor* parece no rebasar los límites de la Cuenca del Río Balsas y la mayor parte donde se han llevado a cabo las colectas son las altitudes entre los 1300 y los 1500 msnm, aunque a veces se le ha encontrado alrededor de los 500 msnm.

La *Bursera discolor* es una especie arborea ó arbusto que va desde 1.5 hasta 6(10) m de alto, resinoso y aromático, la corteza del tronco ramas y ramillas exfoliante amarillenta ó pálida anaranjada, en las que se destaca la naturaleza exfoliante de las ramillas, es una especie caducifolia la cual se mantiene totalmente sin hojas durante los meses de diciembre hasta abril. Las hojas tienen hasta 20 cm de largo



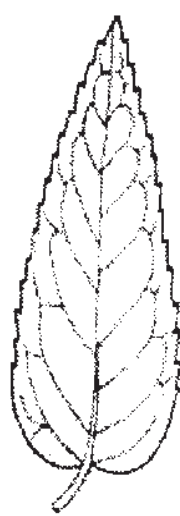
y de 6.5 Hasta 12.5 cm de ancho, las hojas son glabras excepto el raquis, peciólulos y nervadura principal que poseen diminutos pelos glandulosos , tiene entre 3(5) a 11 foliolos de color verde olivo en el haz y verde glauco en el envés el raquis es angostamente alado, los foliolos laterales son oblongos, lanceolados a oblanceolados de 15-65 mm de largo y de 7-18 mm de ancho, frecuentemente



OBLONGO



OBLANCEOLADO

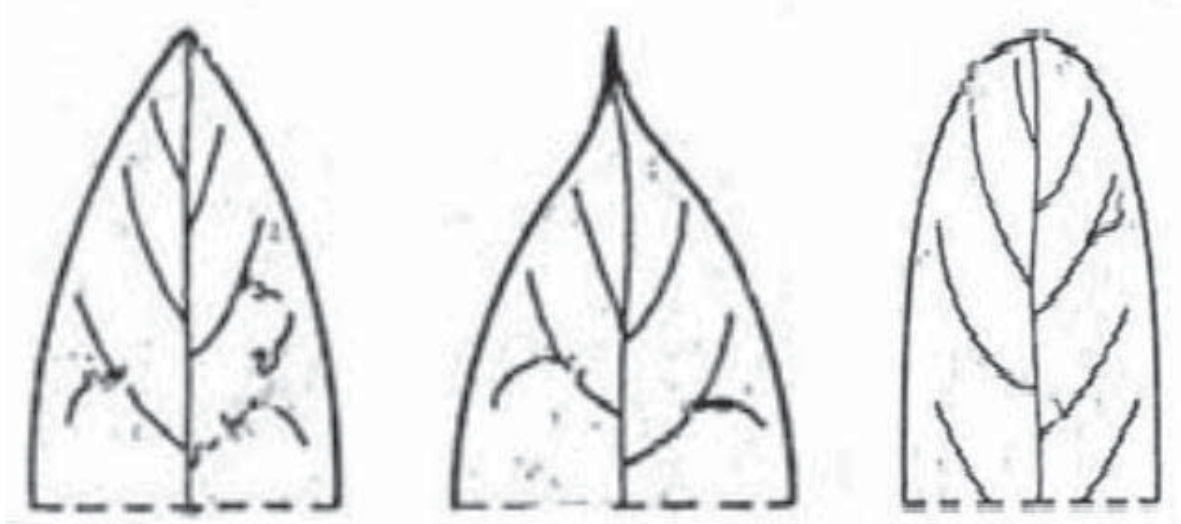


LANCEOLADO



ELÍPTICO

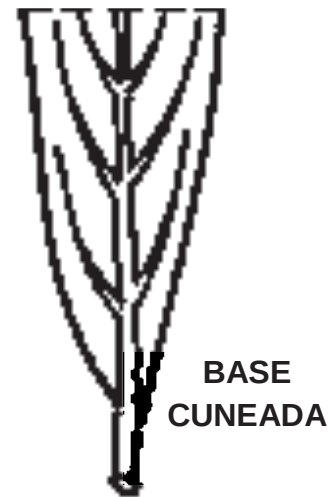
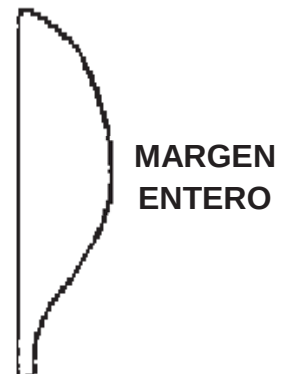
elíptico, el ápice es agudo o acuminado, rara vez obtuso, la base es cuneada, margen entero o subentero, las inflorescencias son racemoso-paniculadas

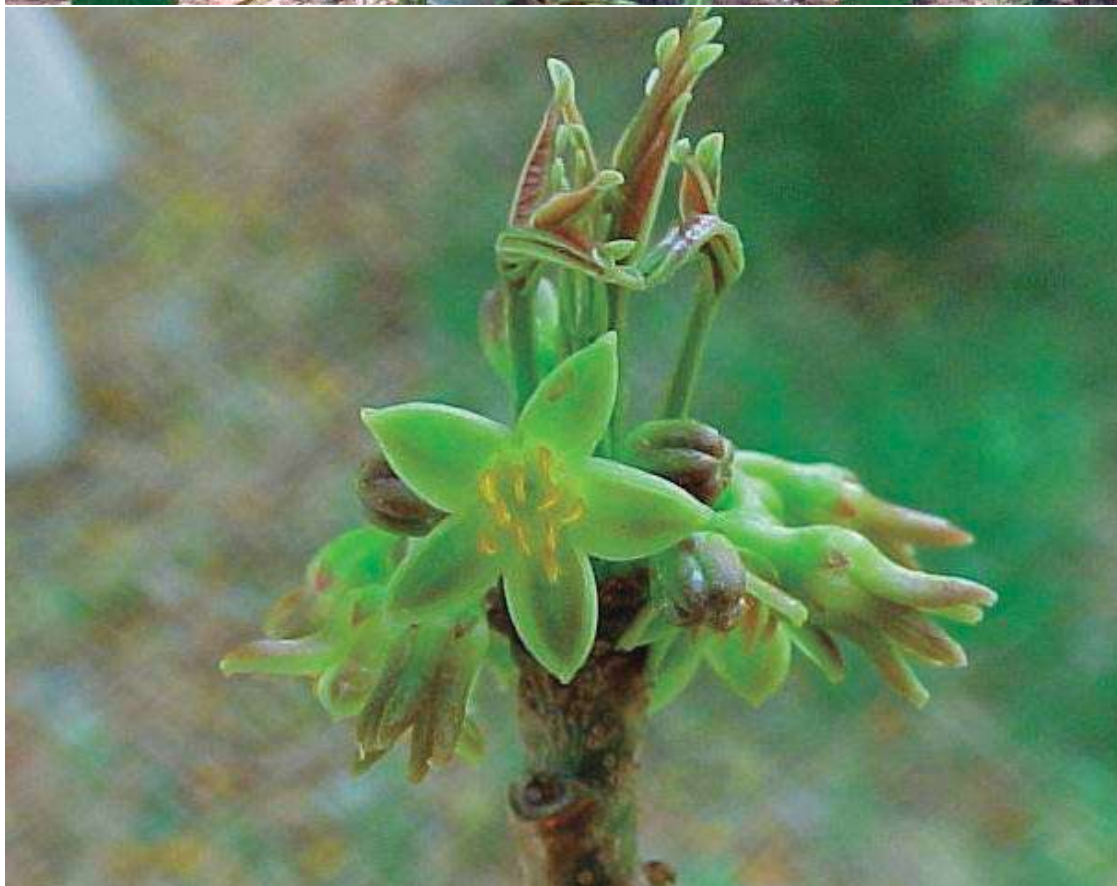


AGUDO

ACUMINADO

OBTUSO

BASE
CUNEADAMARGEN
ENTERO



Las flores masculinas tetrámeras, pentámeras, hexámeras y las femeninas pentámeras, los lóbulos del cáliz ovados a triangulares de 0.5 a 1.5 mm de largo, agudos, glabros, pétalos ascendentes, lanceolados a ovados de 2.5 a 4.5 mm de largo, agudos, de color rojo-vino glabros su corteza interna es de color verde mate ó verde brillante y la corteza externa es algo amarillenta y presenta exfoliaciones en láminas papiráceas y sus ramillas son glabras con hojas imparipinnadas con pecíolo de 0.5 cm de largo y glabro, con láminas desde 1 a 7(8.5) cm de largo y desde 0.6 a 3 cm de ancho, el raquis es sin alas y desde 7 a 15 foliolos de sésiles a subsésiles, elípticos a ovados u obovados y el ápice va de agudo a redondeado, con la base cuneada a redondeada, margen generalmente entero de textura membranácea a cartácea glabros, la nervadura principal oscura y poco evidente en el haz, pero en el envés es prominente y amarillenta.

Las colectas llevadas a cabo para la identificación de la especie en estudio fueron en los Estados de Guerrero y Puebla. En el Estado de Guerrero se colectó en el tramo carretero entre Ahuelican y Zumpango del Río, en tanto que en el Estado de Puebla se colectó en el tramo carretero de Tehuetzingo y Tulcingo del Valle.





La *Bursera discolor* tiene una estrecha relación con la *Bursera bolivarii* ambas especies pertenecen a la Sección *Bursera* y a la clasificación de los «cuajotes amarillos».

El trabajo de la presente tesis consistió en llevar a cabo la maceración hexánica de las ramas delgadas de la *Bursera discolor* Rzed. y el aislamiento y la caracterización de los metabolitos secundarios obtenidos, para esto se procesaron alícuotas para su separación y purificación.

Mediante procedimientos cromatográficos en columna abierta usando gel de sílice como fase estacionaria y mediante el procedimiento de elución de polaridad ascendente, iniciando con hexano; se colectaron doce eluatos hexánicos y de las fracciones F2 a la F8 revelaron contener sus respectivos concentrados un líquido cristalino ligeramente amarillento y oleoso con olor ligeramente a limón correspondiente al limoneno (**CXXXI**) mezclado con cantidades variables de impurezas de naturaleza apolar el cual fue identificado por medio del análisis espectroscópico por RMN de ^1H y la Figura 1 muestra el respectivo espectro de RMN de ^1H de la fracción F-3; éste monoterpene monocíclico se obtuvo mayormente puro al juntar las fracciones correspondientes y someterlas a un nuevo proceso cromatográfico y la Figura 2 muestra el espectro correspondiente, el cual la presencia de las impurezas de naturaleza apolar mostradas en la región entre 0.8 y 1.2 ppm se disminuyeron considerablemente.

El limoneno (**CXXXI**) es un monoterpene monocíclico encontrado en una cantidad considerable de *Bursera*, tanto en las *Bursera* defoliantes del grupo

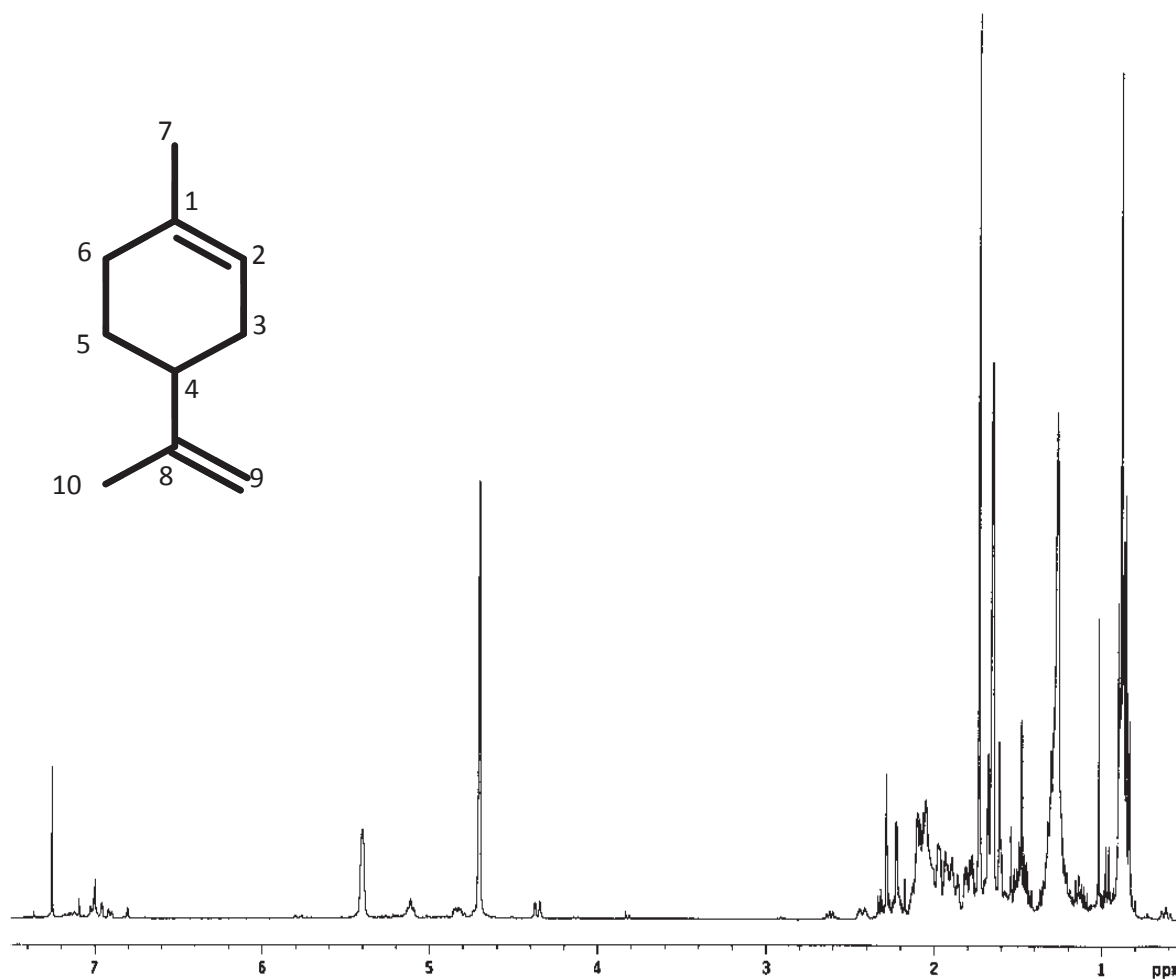


Figura 1.- Espectro de RMN ^1H de la fracción F-3 de la Cromatografía en columna del extracto hexánico de los tallos de la *Bursera discolor*.

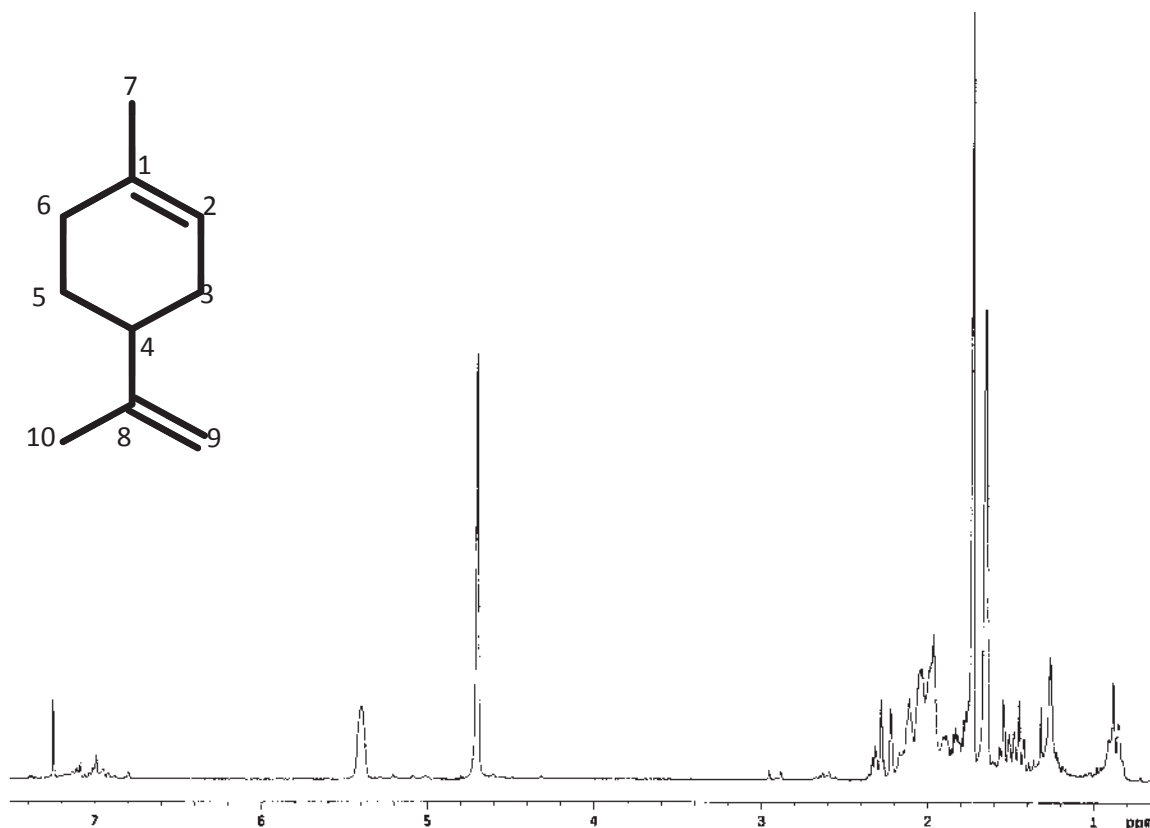


Figura 2.- Espectro de RMN ^1H de la fracción F-3 de la recromatografía en columna del extracto hexánico de los tallos de la *Bursera discolor*.

de los "cuajotes amarillos" y algunos de los "cuajotes rojos", así como también en especies que pertenecen a las especies no defoliantes (sección Bullockia),

NOMBRE BINOMIAL DE LA PLANTA		
1.-	<i>Bursera aptera</i> Ramírez	(t,f,e)
2.-	<i>Bursera arida</i>	(t,e)
3.-	<i>Bursera ariensis</i> HBK	(t,f,e)
4.-	<i>Bursera bolivarii</i>	(t,e)
5.-	<i>Bursera discolor</i> Rzd.	(t,e)
6.-	<i>Bursera fagaroides</i> HBK	(t,f,e)
7.-	<i>Bursera fagaroides</i> var. <i>elongata</i>	(t,f,e)
8.-	<i>Bursera fagaroides</i> var. <i>fagaroides</i>	(t,f,e)
9.-	<i>Bursera fagaroides</i> var. <i>purpusii</i>	(t,f,e)

Tabla I Burseras de las que se ha aislado (-)-Limoneno (CXXXI) de los «cuajotes amarillos» (Burseras defoliantes) tallos (t), frutos (f) y exhudados (e).

NOMBRE BINOMIAL DE LA PLANTA		
10.-	<i>Bursera crenata</i>	(t,f)
11.-	<i>Bursera galeottiana</i>	(t)
12.-	<i>Bursera lancifolia</i>	(t,f)
13.-	<i>Bursera longipes</i>	(t,f)
14.-	<i>Bursera morelensis</i>	(t,f)
15.-	<i>Bursera multifolia</i>	(t,f)
16.-	<i>Bursera suntui</i>	(t,f)

Tabla II Burseras de las se ha aislado (-)-Limoneno (CXXXI) de los «cuajotes rojos» (Burseras defoliantes) tallos (t), frutos (f) y exhudados (e).

NOMBRE BINOMIAL DE LA PLANTA		
17.-	<i>Bursera biflora</i> (Rose) Steandl.	(t)
18.-	<i>Bursera bonetii</i> Rzed.	(t,f)
19.-	<i>Bursera copallifera</i>	(t,f)
20.-	<i>Bursera glabrifolia</i> (HBK) Engl.	(t,f)
21.-	<i>Bursera infernidialis</i> Guevara & Rzed.	(t,f)
22.-	<i>Bursera palmeri</i> S. Wats.	(t,f)
23.-	<i>Bursera paradoxa</i> Guevara & Rzed.	(t)
24.-	<i>Bursera sarukhanii</i> Guevara & Rzed.	(t,f)
25.-	<i>Bursera véjar-vazquezii</i> Miranda	(t)
26.-	<i>Bursera vellutina</i> Bullock	(t,f)
27.-	<i>Bursera xochipalensis</i> Rzed.	(t)

Tabla III Burseras de las que se ha aislado (-)-Limoneno (CXXXI) de los copales (Burseras no defoliantes) tallos (t), frutos (f) y exhudados (e).

La Tabla I muestra una lista de especies que pertenecen a los «cuajotes amarillos» de los cuales se ha obtenido de los respectivos extractos hexánicos el limoneno (CXXXI) en donde se indica la parte de la planta donde se ha obtenido tallos (t), frutillas (f) y exhudados (e) ⁸⁵⁻⁹⁰.

Del mismo modo en la Tabla II se muestra la lista de especies que pertenecen a los «cuajotes rojos» de los que se ha obtenido también de los extractos hexánicos el limoneno (**CXXXI**) indicando la parte de la planta donde se ha obtenido tallos (t) , frutillas (f) y exudados (e) e igualmente en la Tabla III se muestra también la lista de especies que pertenecen a la Sección Bullockia (especies no defoliantes) de los que se ha obtenido de los extractos hexánicos el limoneno (**CXXXI**) también indicando la parte de la plana donde se ha obtenido tallos (t) , frutillas (f) y exudados (e).

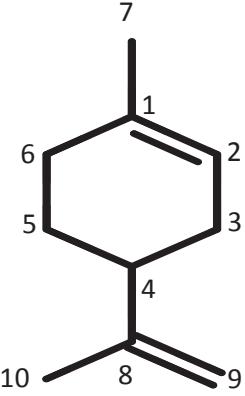
 (-)-LIMONENO CXXXI		<i>Bursera discolor</i>	
		Rzedowskii	
		400MHz	Lit MHz
	C-1	133.62	133.1
	C-2	120.99	120.8
	C-3	30.53	30.6
	C-4	41.02	41.2
	C-5	27.84	28.0
	C-6	30.74	30.8
	C-7	23.42	23.7
	C-8	150.12	149.6
	C-9	108.33	108.4
	C-10	20.74	20.5

Tabla IV.- Desplazamientos químicos de los carbonos del limoneno (**CXXXI**).

La Tabla IV muestra los desplazamientos químicos de los carbonos del espectro de RMN de ^{13}C de limoneno (**CXXXI**) obtenido de los extractos hexánicos de los tallos de la *B. discolor* y los dsesplazamientos químicos correspondientes reportados en la literatura, con los cuales se estableció por comparación de los mismos la identificación de este monoterpene.

A partir de la F-13 se incrementó la polaridad en la elución a hexano-cloruro de metileno 9:1, colectándose veinticuatro eluatos de los cuales en las fracciones F-21 y F-22 se obtuvo una pequeña cantidad de un aceite denso ligeramente amarillento correspondiente a un compuesto cuyo espectro de RMN de ^1H se comparó con el espectro de RMN de ^1H obtenido de la F-14 de la cromatografía del extracto hexánico de los tallos de la *Bursera aptera* Ramírez mostrados ambos en la Figura 3, los cuales revelaron ser muy semejantes,

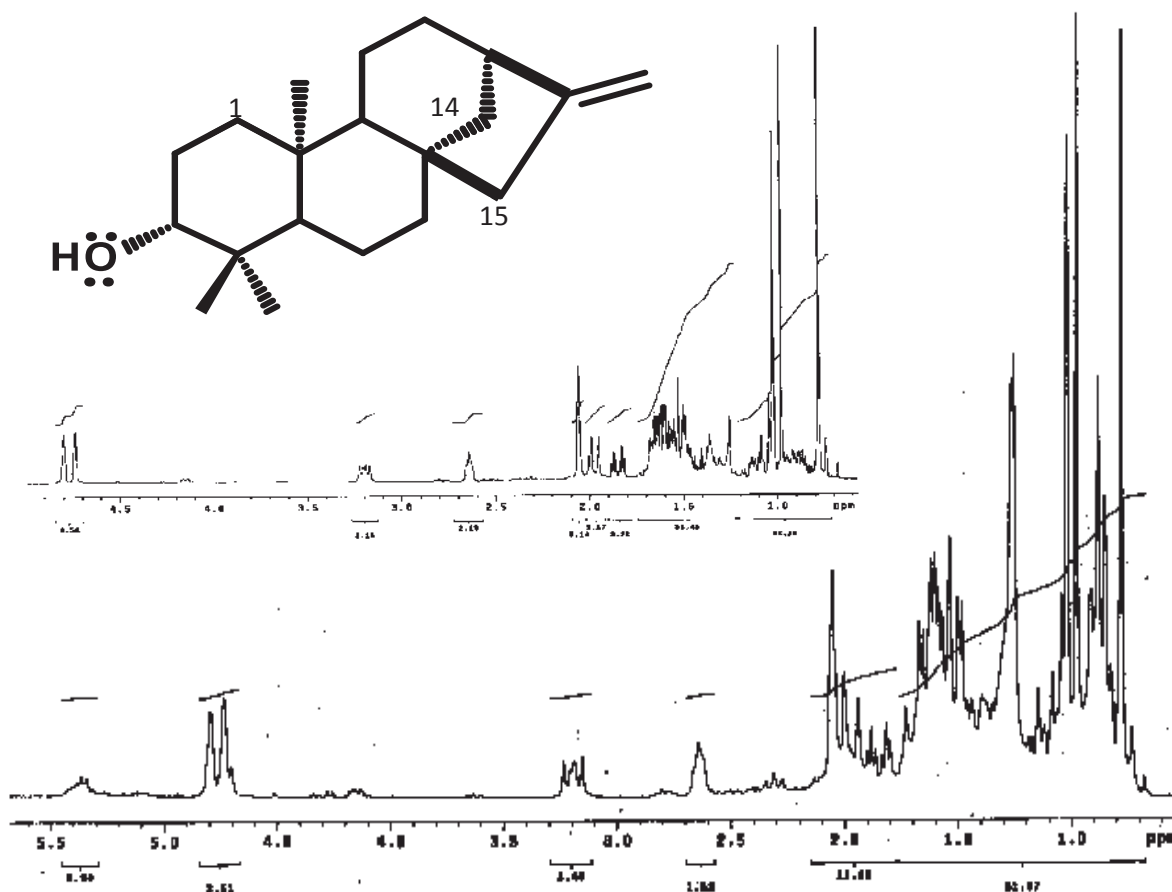


Figura 3.- Espectros de RMN ^1H del ent-3b-hidroxikaur-16-eno (CXXXII) obtenido de la F-21 de la cromatografía de los tallos de la *Bursera discolor* Rzed. (Parte inferior) y el de la parte superior correspondiente al obtenido de la *Bursera aptera* Ramírez.

únicamente la diferencia de algunas señales a campo alto principalmente, atribuibles a la diferencia de grados de pureza de cada compuesto.

En la Figura 4 se muestra una ampliación del espectro de RMN de ^1H en la región a campo alto en la región entre 1.78 y 2.1 ppm, en el que se encuentran tres señales que presentan distinto tipo de multiplicidad, asignadas a los hidrógenos de los metilenos H-1; H-14 y H-15, desplazadas en 1.845 ppm; 1.97 ppm y 2.06 ppm respectivamente y cuyas multiplicidades claramente se aprecian como una señal doble de triples (tripletes) con una constante de acoplamiento $J=13.16$ y 3.66 Hz para el metileno H-1 acoplado vecinalmente con los hidrógenos del metileno H-2, y su correspondiente acoplamiento geminal, la constante de acoplamiento de mayor valor es la geminal, así para H-1, ésta se obtiene de la diferencia de los

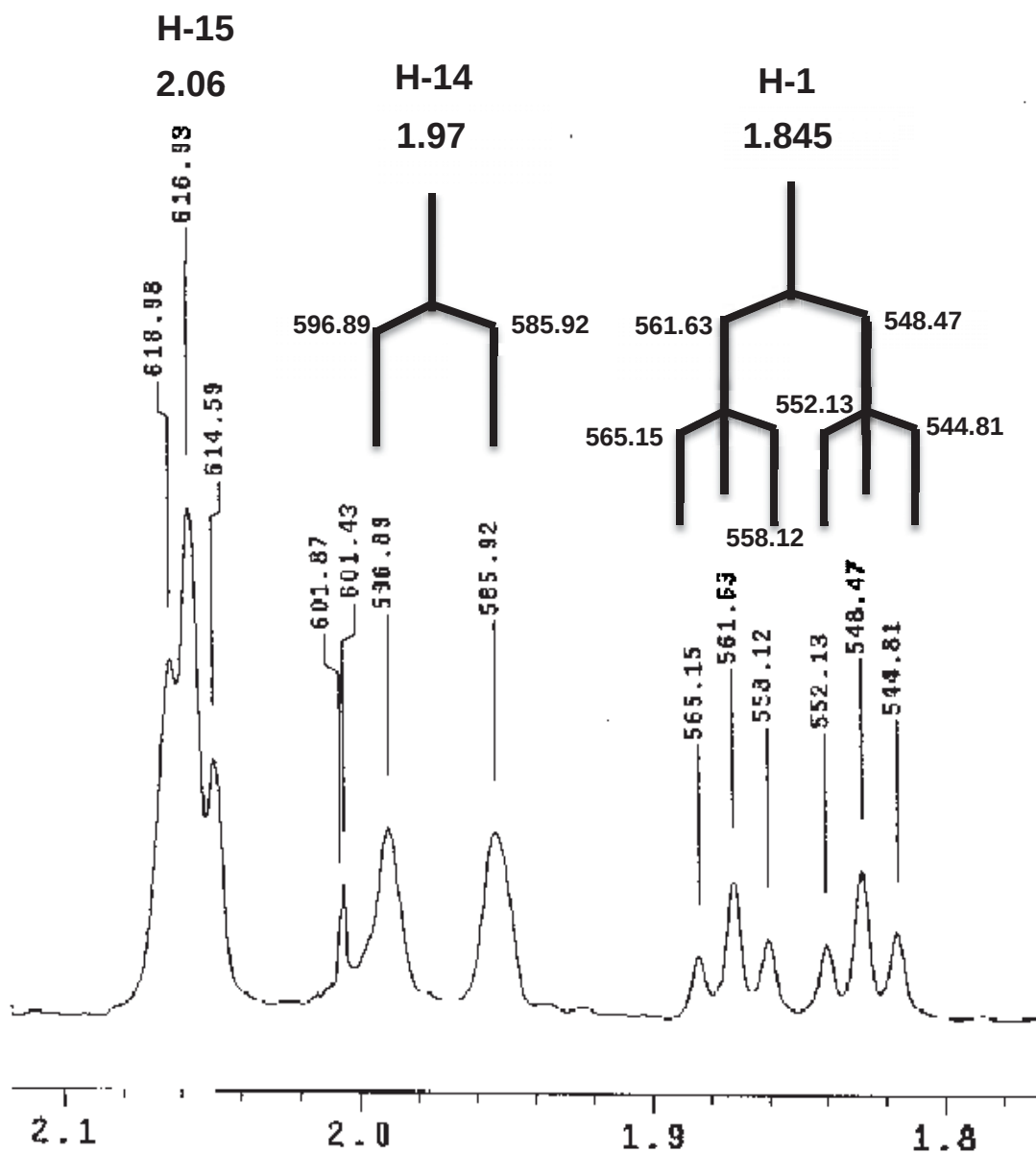


Figura 4.- Ampliación de espectros de RMN¹H en la región a campo alto de 1.78 ppm a 2.1 ppm del ent-3b-hidroxikaur-16-eno (CXXXII) obtenido de la F-21 de la cromatografía de los tallos de la *Bursera discolor* Rzed.

valores de los desplazamientos de las señales en Hz, así el valor de la constante de acoplamiento geminal es la diferencia de los valores 561.63 - 548.47 la cual da 13.16 Hz. respectivamente y la constante de acoplamiento vecinal es diferencia de los valores 548.47 - 548.81 la cual da 3.66 Hz respectivamente.

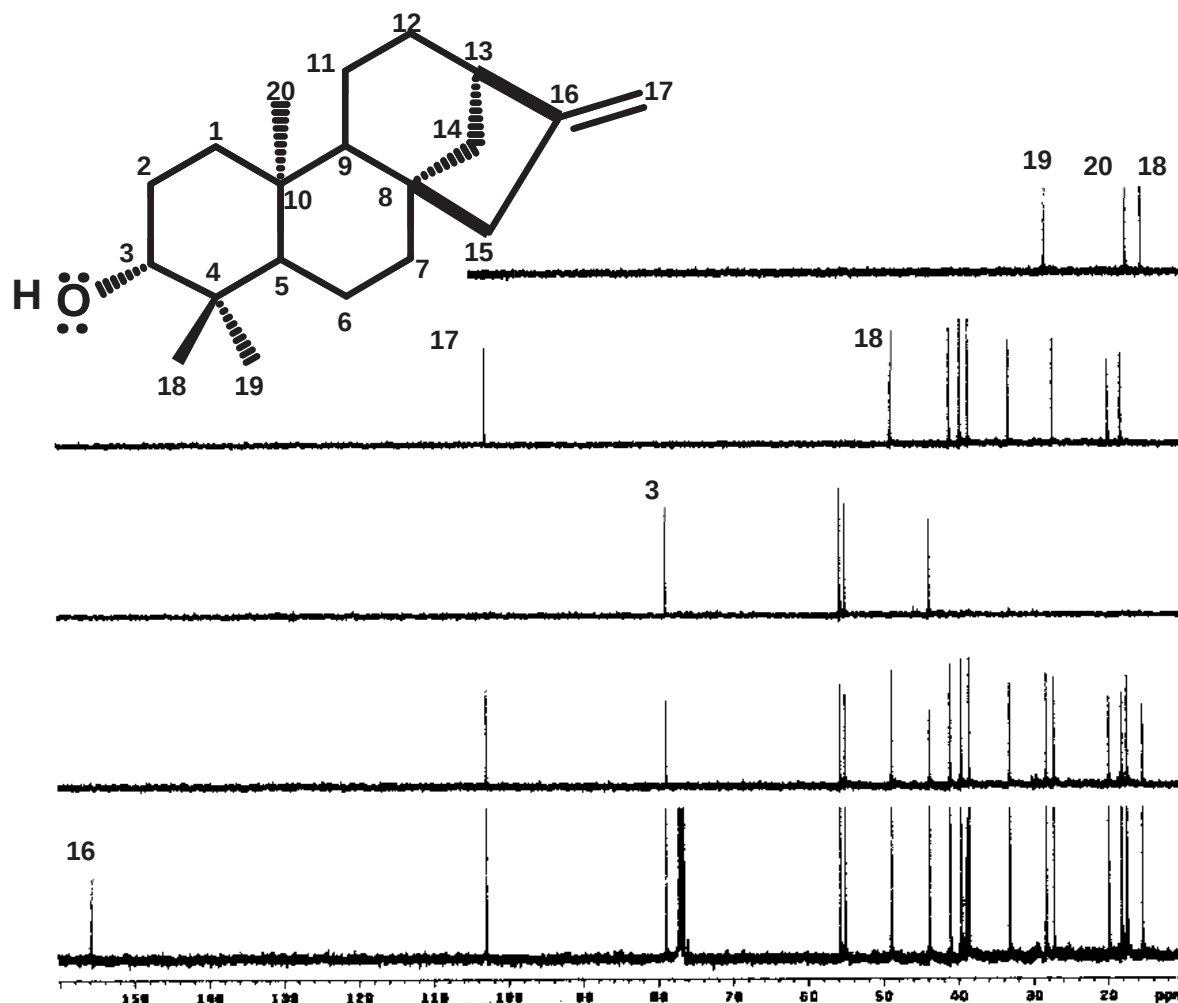
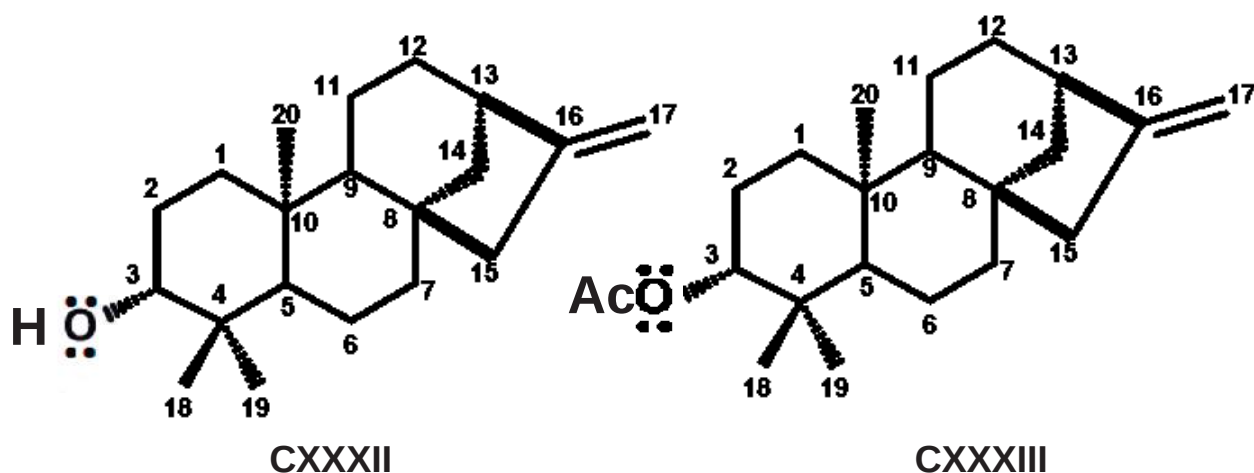


Figura 5 .- Espectro de RMN de ^{13}C DEPT del ent-Kaurenol (CXXXII)

El espectro de RMN ^{13}C DEPT del alcohol diterpénico (CXXXII) mostrada en la Figura 5, se revelan algunas asignaciones para los carbonos a modo de ejemplo un carbono cuaternario C-16 desplazado a campo bajo en 155.9 ppm ; un carbono protonado metínico C-3 que es la base del oxhidrilo desplazado en 79.1 ppm; un carbono metilénico sp^2 correspondiente a C-17 desplazado en 103.0 ppm y las asignaciones de los tres carbonos metílicos C-19 desplazado a campo alto en 15.5 ppm; la señal para C-20 desplazada en 17.6 ppm y la señal del metilo C-18 desplazada en 28.4 ppm, la totalidad de los valores de los desplazamientos de las señales son mostradas en la Tabla V en las que se enlista la comparación de los valores de los desplazamientos para las señales reportadas para este compuesto el cual ha sido obtenido de los extractos hexánicos de los tallos de la *Bursera aptera* Ramírez, de *Bursera fagaroides* y ahora de la *Bursera discolor* Rzed.



	<i>Bursera aptera</i>	Lit.		<i>Bursera fagaroides</i>	<i>Bursera discolor</i>		CXXXIII
C-1	41.1	41.4	C-1	38.6	38.6	C-1	39.7
C-2	27.3	28.2	C-2	27.3	27.4	C-2	23.6
C-3	79.0	78.1	C-3	79.0	79.1	C-3	81.0
C-4	38.8	39.4	C-4	38.8	38.8	C-4	37.7
C-5	55.1	55.4	C-5	55.1	55.2	C-5	55.2
C-6	19.9	20.4	C-6	19.9	19.9	C-6	19.8
C-7	41.1	39.1	C-7	41.1	41.2	C-7	41.0
C-8	44.0	44.2	C-8	43.9	44.0	C-8	44.0
C-9	55.8	55.9	C-9	55.8	55.9	C-9	55.7
C-10	39.0	39.4	C-10	39.0	39.1	C-10	38.9
C-11	18.2	18.5	C-11	18.2	18.3	C-11	18.3
C-12	33.1	33.4	C-12	33.2	33.2	C-12	33.2
C-13	43.9	44.3	C-13	43.9	43.9	C-13	43.9
C-14	39.6	39.9	C-14	39.6	39.8	C-14	38.3
C-15	48.9	49.3	C-15	48.9	49.0	C-15	48.9
C-16	155.8	155.9	C-16	155.8	155.9	C-16	155.7
C-17	102.9	103.5	C-17	102.9	103.0	C-17	103.1
C-18	28.4	28.9	C-18	28.3	28.4	C-18	28.3
C-19	15.5	16.4	C-19	15.4	15.5	C-19	16.6
C-20	17.6	17.8	C-20	17.5	17.6	C-20	17.6
							Me(AcO) 21.3
							C=O 171.0

Tabla V.- Valores de los desplazamientos químicos de los carbonos del ent-kaurenol (CXXXII) y su acetato (CXXXIII) obtenido de los extractos hexánicos de las *B. aptera*, *B. fagaroides* y *Bursera discolor* comparados con valores reportados en la literatura.

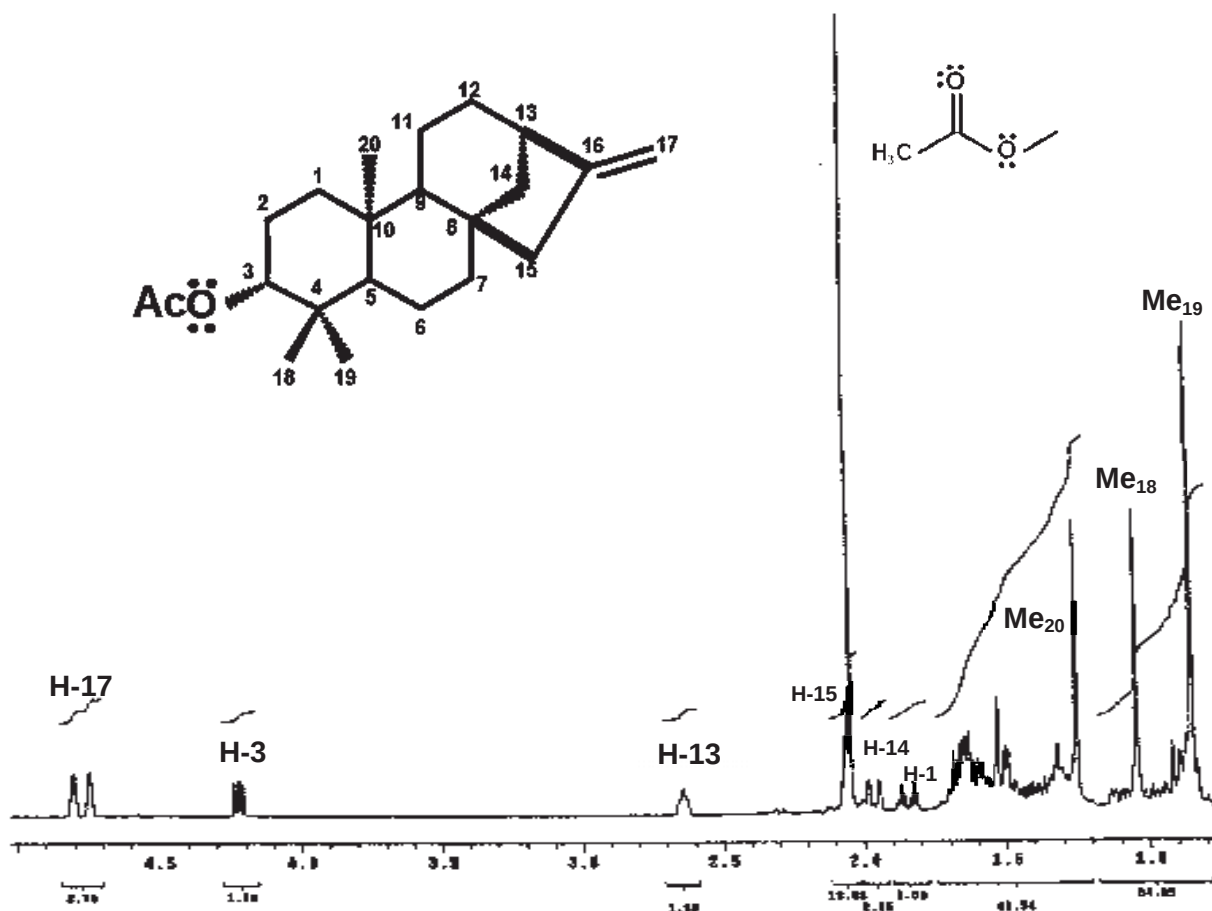


Figura 6.- Espectro de RMN ^1H del derivado acetilado del ent-Kaurenol CXXXIII

El espectro de RMN de ^1H de la acetilación en condiciones estándar de (CXXXII) es mostrado en la Figura 6 en el cual al ser comparado con el espectro respectivo de la materia prima, luego (CXXXIII) mostró en 2.06 ppm la señal simple aguda que integró para 3H característica de los tres hidrógenos del metilo del grupo acetato que se encuentra traslapada con la señal múltiple del metileno H-15 en tanto que la señal del hidrógeno base del grupo acetato sufrió un desplazamiento hacia campo bajo y apareció también como una señal doble de dobles en 4.22 ppm, mientras que las señales correspondientes a los hidrógenos del metileno vinílico exocíclico en C-17 aparecieron como singuletes anchos desplazadas en 4.75 y 4.80 ppm y la señal simple ensanchada para el hidrógeno metínico en C-13 apareció en 2.64 ppm y la señal de los metilenos H-14 y H-1 prácticamente conservaron su mismo patrón de multiplicidad y desplazamiento que CXXXII.

La Figura 7 muestra la expansión del espectro de RMN ^{13}C en la región de los carbonos sp^3 entre 36 y 57 ppm, en donde aparecieron diez señales, de las cuales ocho de ellas aparecen con sus desplazamientos bien diferenciados, en tanto que dos de ellas se encuentran casi traslapadas, las cuales correspondieron a los desplazamientos en 43.873 y 43.961 ppm, el resto de las asignaciones de los desplazamientos de las señales del espectro de RM ^{13}C se llevaron a cabo por la comparación de los valores respecto al acetato derivado proveniente de la acetilación del ent-kaurenol obtenido del extracto hexánico de los tallos de la *Bursera aptera*⁹¹⁻⁹⁴, los valores se encuentran en la Table V.

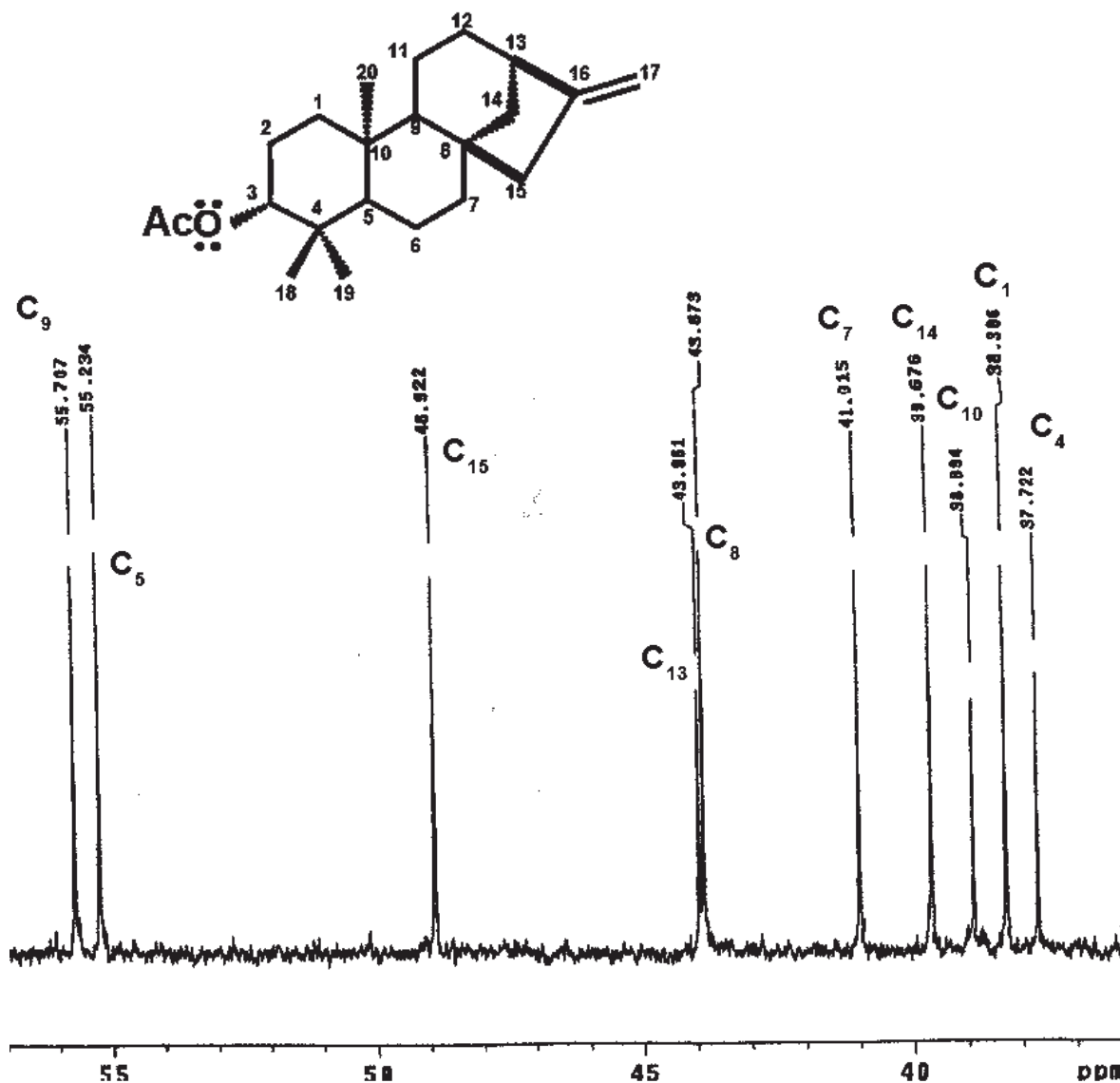


Figura 7.- Espectro de RMN ^{13}C expansión en la región entre 36 y 57 ppm del derivado acetilado del ent-Kaurenol CXXXIII.

De las fracciones eluidas con hexano-cloruro de metileno 8:2 hasta hexano-cloruro de metileno 1:1, se obtuvo una mezcla del acetato del ácido oleanólico (CXXXIV), el cual posee un esqueleto de la α -amirina y el acetato del ácido ursólico (CXXXV) el cual posee un esqueleto de la β -amirina, ambos ya conocidos⁹⁵ y aislados previamente de otras especies de *Bursera* de la sección *Bullockia* y de la sección *Bursera*.

Las señales características de estos triterpenos pentacíclicos son mostradas en la Figura 8, las cuales son el hidrógeno vinílico H-12 apreciado como una señal simple ancha desplazada en 5.23 y 5.27 ppm; el hidrógeno H-3 base del acetato que se muestra como una señal simple ancha y una señal característica del hidrógeno metínico H-18 que apareció como una señal doble ancha desplazada en 2.81 ppm y desde luego la señal simple alta de los hidrógenos del metilo del grupo acetato desplazada en 2.03 ppm.

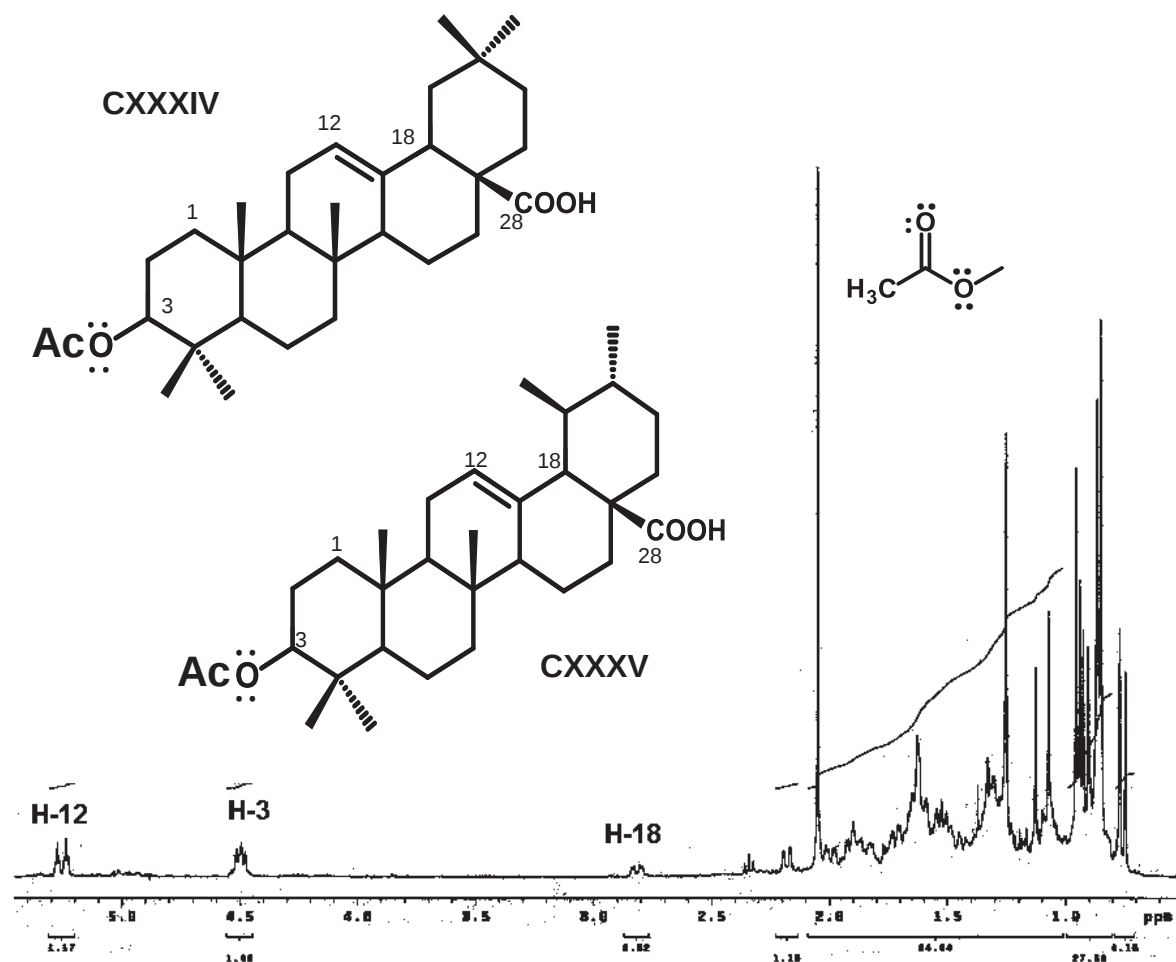


Figura 8.- Espectro de RMN¹H de la mezcla de los acetatos de los ácidos oleanólico CXXXIV y ursólico CXXXV.

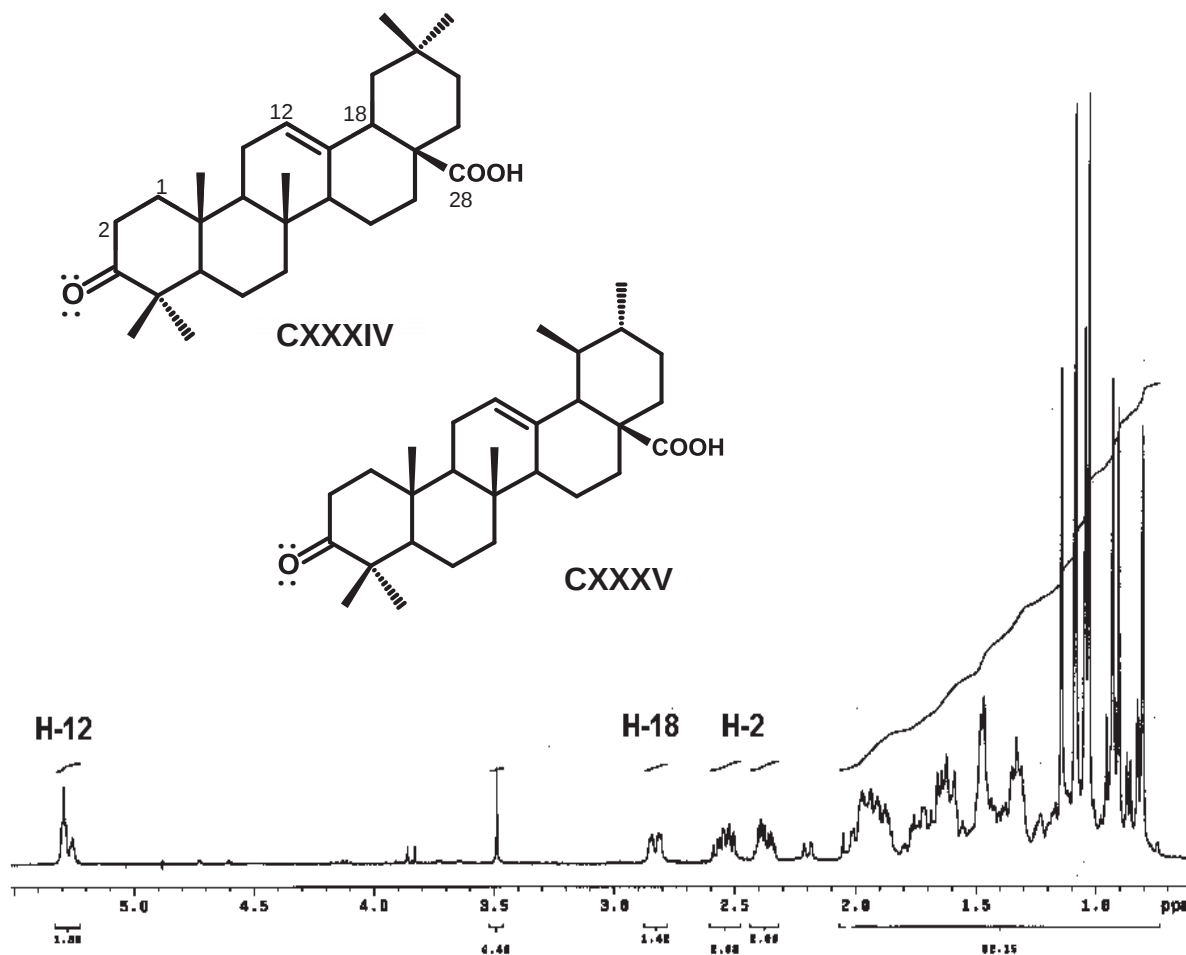


Figura 9.- Espectro de RMN ¹H de la mezcla de los 3-oxo-derivados de los ácidos oleanólico CXXXVI y ursólico CXXXVII

De las fracciones eluidas con hexano-cloruro de metileno 4:6 hasta cloruro de metileno puro, F-48 a la F-62 se obtuvo un aceite denso ligeramente verdoso amarillento correspondiente a una mezcla de los 3-oxo derivados del ácido oleanólico (CXXXVI), el cual posee un esqueleto de la α -amirina y el acetato del ácido ursólico (CXXXVII) el cual posee un esqueleto de la β -amirina, ambos ya conocidos y aislados previamente de otras especies de *Bursera* de la sección *Bursera*.

Las señales características de estos triterpenos pentacíclicos mostradas en la Figura 9, son el hidrógeno vinílico H-12 apreciado como una señal simple ancha desplazada en 5.23 y 5.27 ppm ; ya no aparece la señal correspondiente al hidrógeno H-3 base del acetato ó en su defecto como base de un oxhidrilo, revelada como una señal simple ancha, luego la señal característica del hidrógeno metínico H-18 que apareció como una señal doble ancha desplazada en 2.82 ppm y un agrupamiento de señales múltiples debida a los hidrógenos del metileno H-2 alfa al grupo carbonilo de C-3 desplazada entre 2.36 y 2.60 ppm.

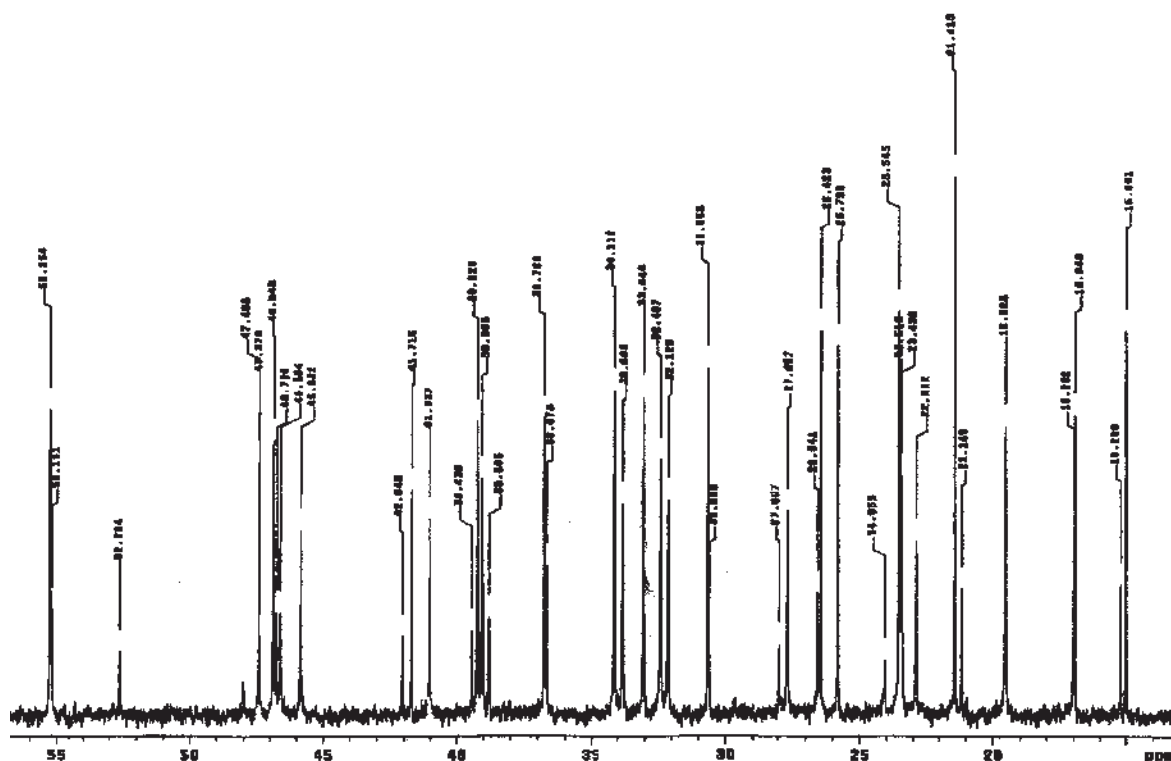
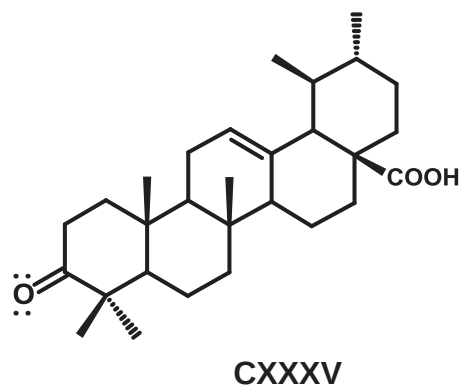
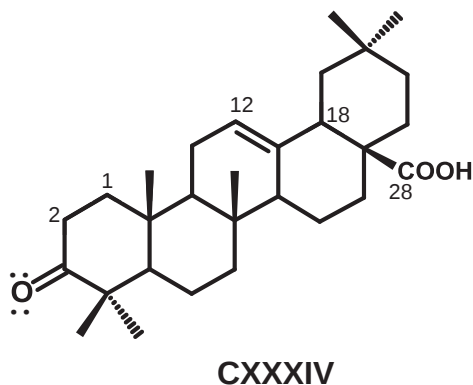


Figura 10.- Espectro de RMN ¹³C expansión en la región de campo alto entre 14 y 56 ppm de la mezcla de 3-oxo-derivados del ácido oleanólico CXXXVI y del ácido ursólico CXXXVII.

La Figura 10 muestra la expansión del espectro de RM^{13}C a campo alto en entre 14 y 56 ppm, en donde puede apreciarse claramente que se trata de una mezcla de compuestos de estructura cercanamente similar ya que aparecieron agrupamiento de señales de desplazamientos muy similares pero de intensidades diferentes, por ejemplo las señales desplazadas en 15.001 y 15.206 ppm, cuya intensidad entre ellas es aproximadamente un poco mayor a 3:1.

Las fracciones eluidas con cloruro de metileno hasta una mezcla de cloruro de metileno-acetato de etilo 7:3, F-65 a la F-71 se obtuvo un aceite denso ligeramente verdoso amarillento correspondiente a un metabolito obtenido previamente de otras especies de *Bursera*, particularmente de los «cuajotes amarillos» y cuyo espectro de RMN de ^1H presentado en la Figura 11 mostró señales características de estructuras de esqueleto lignánico, en el que se revela la presencia de tres grupos metoxilo, dos de ellos equivalentemente desplazamientos en 3.76 ppm, el tercero desplazado en 3.80 ppm, las señales de un metileno de un grupo metilendioxi desplazadas en 5.93 y 5.96 ppm, señales para hidrógenos aromáticos de un anillo tetrasustituído en el que los hidrógenos se encuentran en las posiciones para entre sí cuyas señales corresponden a los desplazamientos 6.67 y 6.53 ppm respectivamente, en tanto que para el segundo anillo aromático también tetrasustituído con los hidrógenos disponibles *meta* entre sí y magnéticamente equivalentes ya que su señal desplazada en 6.35 ppm integra para dos hidrógenos, el resto de las señales múltiples y ligeramente anchas, son atribuibles a hidrógenos metínicos y metilénicos unidos a carbonos sp^3 .

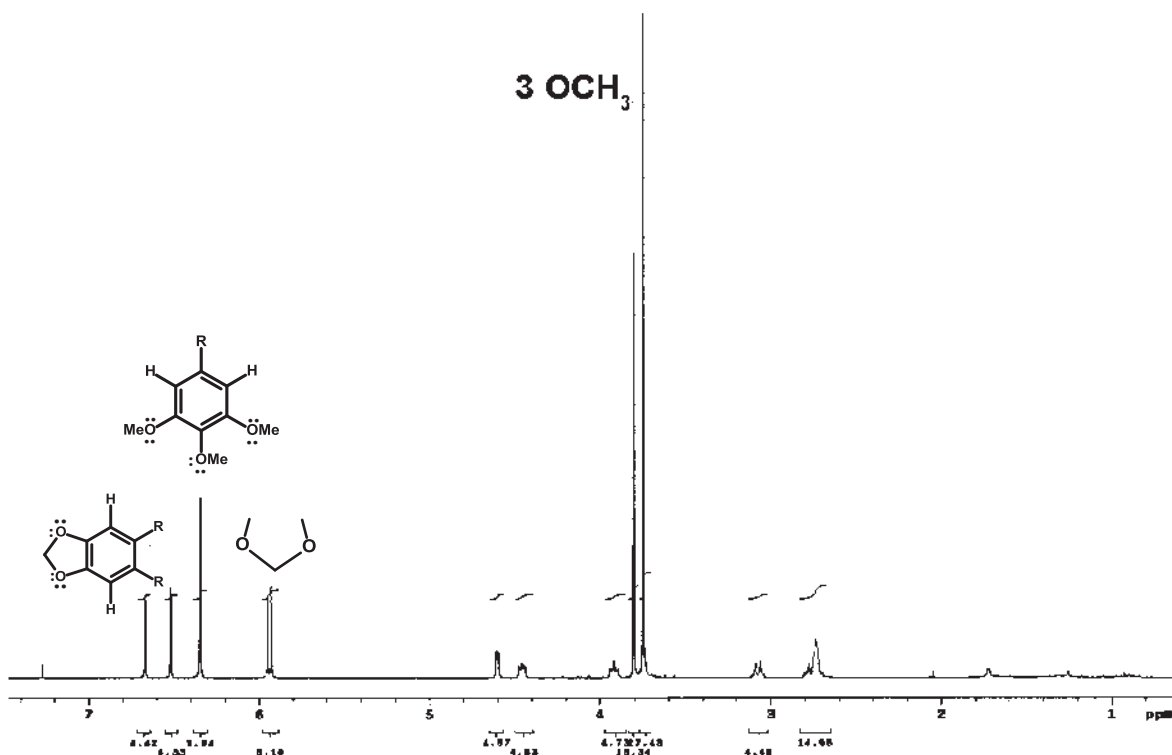


Figura 11.- Espectro de RMN ^1H a 400 MHz CXXXVIII de la F-67 de la CC del extracto hexánico de los tallos de *Bursera discolor* Rzed.

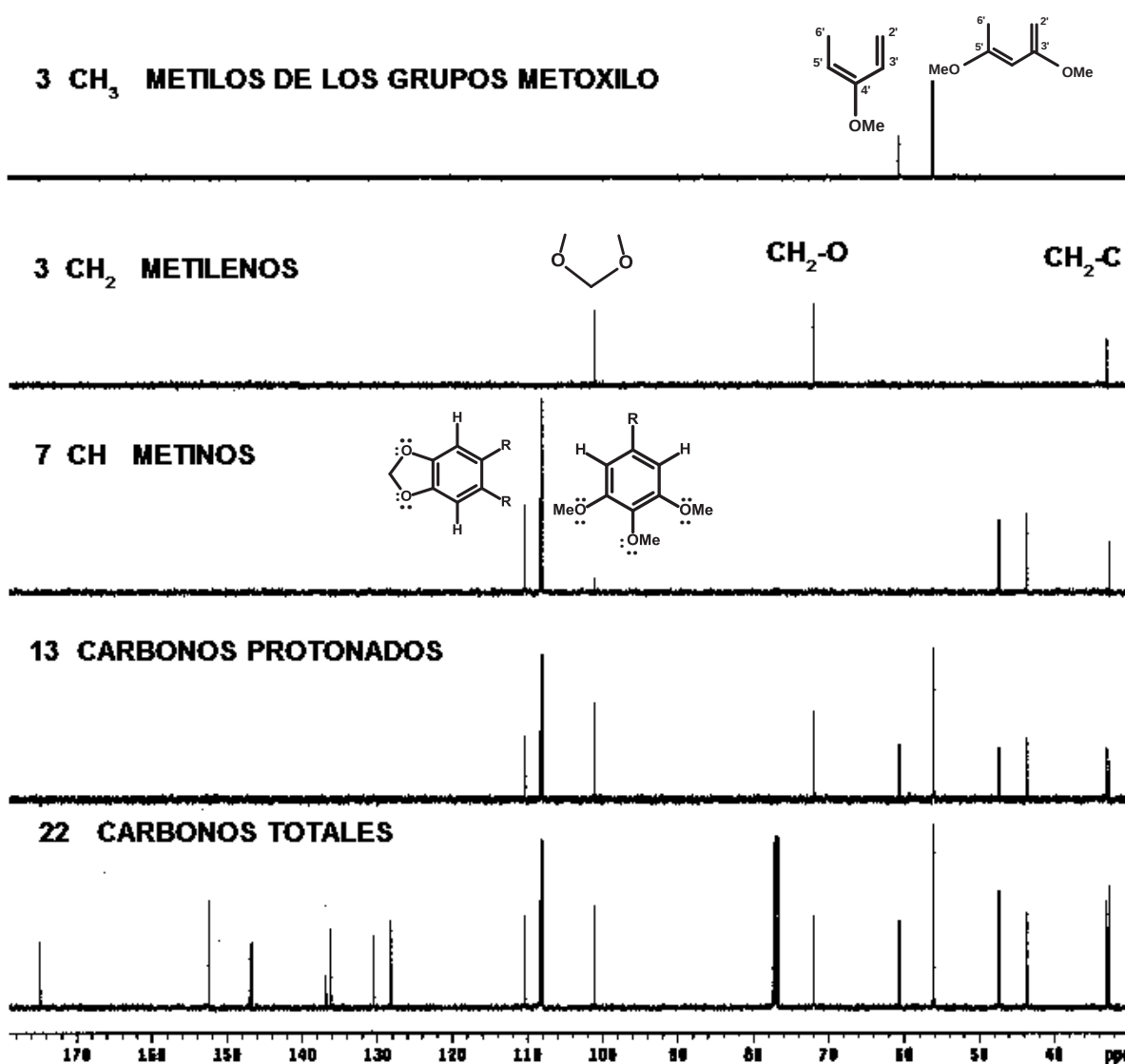


Figura 12.- Espectro de RMN ¹³C DEPT a 400 MHz del compuesto C₂₂H₂₄O₇ en CDCl₃ CXXXVIII de la F-67 de la CC del extracto hexánico los tallos de *Bursera discolor* Rzed.

El espectro de RMN de ¹³C DEPT presentado en la Figura 12 confirma los tres grupos metoxilo mostrados en el barrido correspondiente a los metilos, en los que los dos grupos metoxilo magnéticamente equivalentes se encuentran desplazados en 56.2 ppm, el tercero desplazado en 60.8 ppm, en el barrido correspondiente a los carbonos metilénicos, apareció el carbono del metileno del grupo metilendioxi desplazado en 101.1 ppm, además aparecieron otras dos

señales de metilenos, una de un metileno base de oxígeno desplazada en 72.1 ppm y la otra señal del metileno desplazada en 33.1 ppm; el barrido correspondiente a los carbonos metínicos mostró siete señales, las cuales confirmaron precisamente los dos carbonos aromáticos del anillo tetrasustituído en el que los carbonos metínicos se encuentran en posiciones *para* entre sí con desplazamientos en 108.5 y 110.4 ppm respectivamente, en tanto que para los carbonos metínicos del segundo anillo aromático tetrasustituído con los carbonos *meta* entre sí y magnéticamente equivalentes mostró la señal su desplazamiento en 108.1 ppm con el doble de intensidad que las correspondientes señales vecinas hacia campo bajo; también el barrido mostró en la región de los carbonos sp^3 tres señales desplazadas en 32.7; 43.7 y 47.4 ppm y por último la comparación entre el barrido de los carbonos protonados con el barrido de los carbonos totales nos revela las señales correspondientes a los carbonos cuaternarios, de tal manera que de aquí se puede apreciar que la molécula (**CXXXVIII**) posee nueve carbonos cuaternarios, ocho de las cuales corresponden a los dos anillos aromáticos tetrasustituídos y los desplazamientos de éstos correspondieron precisamente a la región de los carbonos aromáticos en 128.2; 130.6; 136.2; 136.9; 146.7; 147.0 y 152.4 ppm, ésta última señal dada su intensidad se debe a que coincide el desplazamiento para dos carbonos, finalmente la señal desplazada en 174.9 ppm atribuible a un carbono de un grupo carbonilo posiblemente de una lactona. De acuerdo a estos resultados se está considerando una estructura con C_{22} correspondiente a 3 carbonos de metilos de los grupos metoxilo, 3 metilenos, uno de ellos de un grupo metilendioxi, siete carbonos metínicos, cuatro de ellos de carbonos metínicos aromáticos, dos pertenecientes a un benceno tetrasustituído de posición relativa *para* entre sí y dos carbonos metínicos aromáticos del benceno tetrasustituído de posición relativa *meta* entre sí, además de tres carbonos metínicos sp^3 lo que dan el total de siete, la cantidad de carbonos cuaternarios obtenida de la diferencia de las señales entre los carbonos totales y los carbonos protonados fue de nueve, ocho de ellas derivadas de los dos anillos aromáticos tetrasustituídos y el carbono del carbonilo de una lactona, esto daría tentativamente $C_{22}H_{24}O_7$, revisando la literatura y comparando los resultados reportados de los lignanos obtenidos de los extractos hexánicos de los tallos de la *Bursera fagaroides*, éstos fueron concordantes para la deoxipodofilotoxina (**CXXXVIII**), la cual sería una estructura análoga a la podofilotoxina(**CXXXIX**), solamente que sin el grupo oxhidrilo orientado en la posición alfa en C-3.

Los espectros de RMN de 1H y de ^{13}C DEPT de la deoxipodofilotoxina con la totalidad de las asignaciones de las señales respectivas tomadas de la comparación con las reportadas en la literatura y también con los valores de los desplazamientos publicados del metabolito obtenido de la *Bursera fagaroides*⁹⁶⁻¹⁰³, son mostradas en la Figura 13 y la Figura 14 respectivamente.

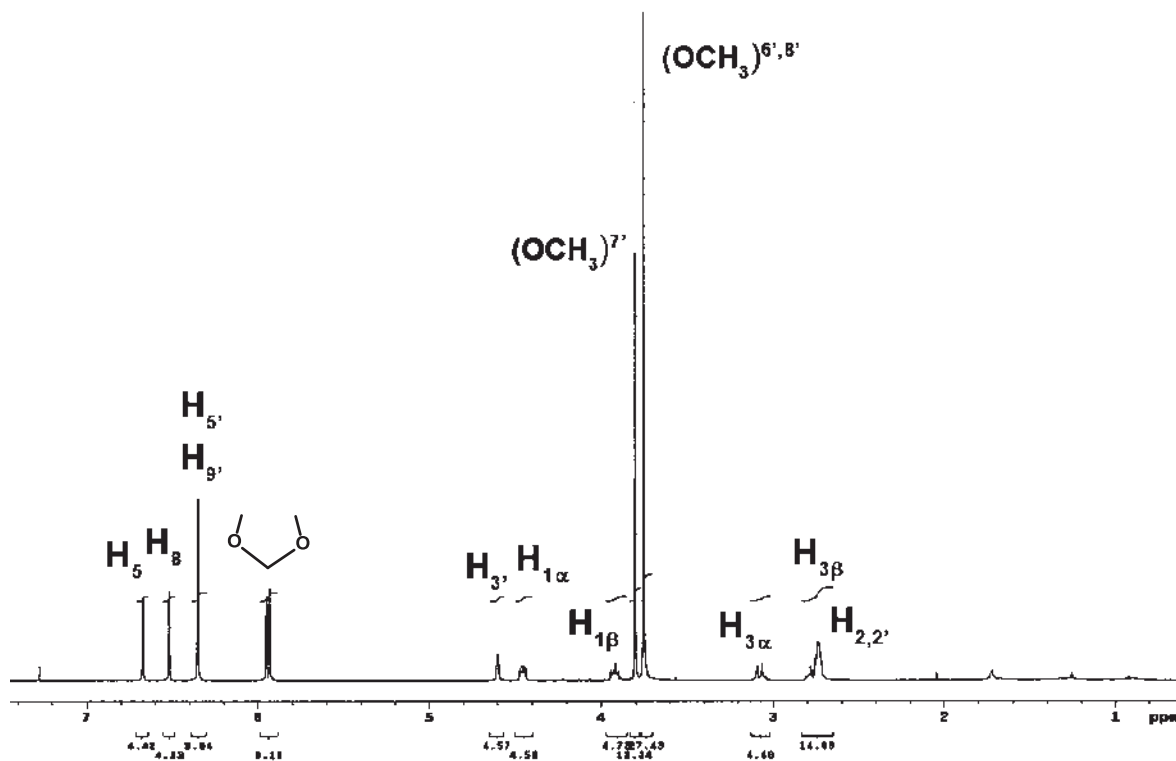
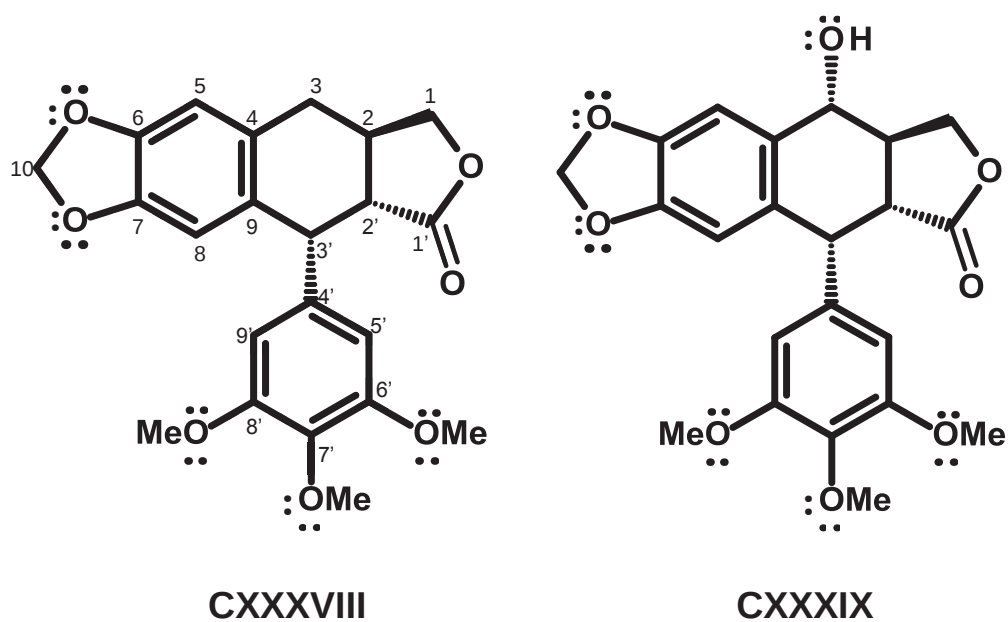


Figura 13.- Espectro de RMN H a 400 MHz de la (-)-deoxipodofilotoxina en CDCl₃ CXXXVIII de la F-67 de la CC del extracto hexánico de los tallos de *Bursera discolor* Rzed.

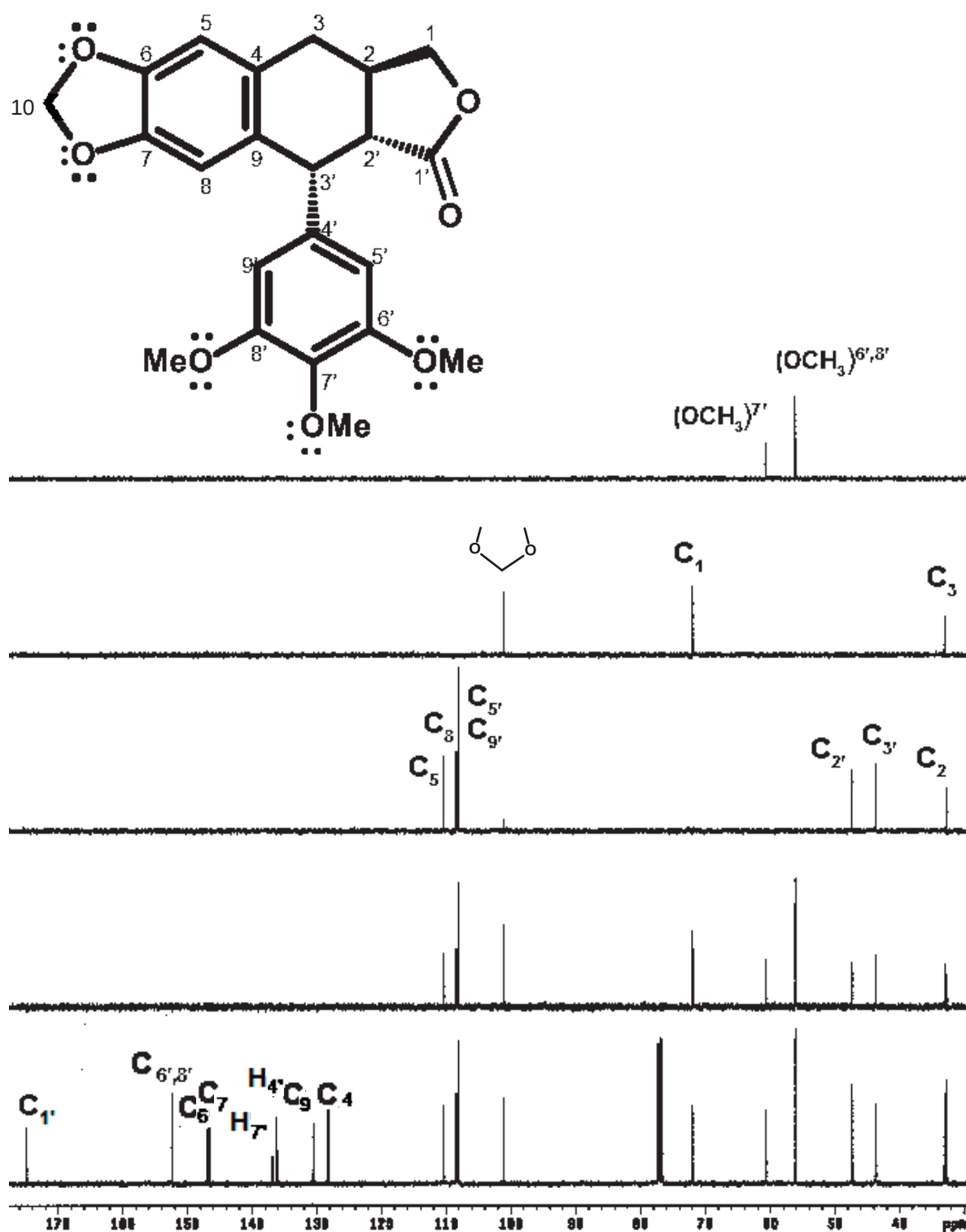


Figura 14.- Espectro de RMN ^{13}C DEPT a 400 MHz del (-)-deoxipodofilotoxina en CDCl_3 LXVIII de la F-67 de la CC del extracto hexánico de los tallos de *Bursera discolor* Rzed.

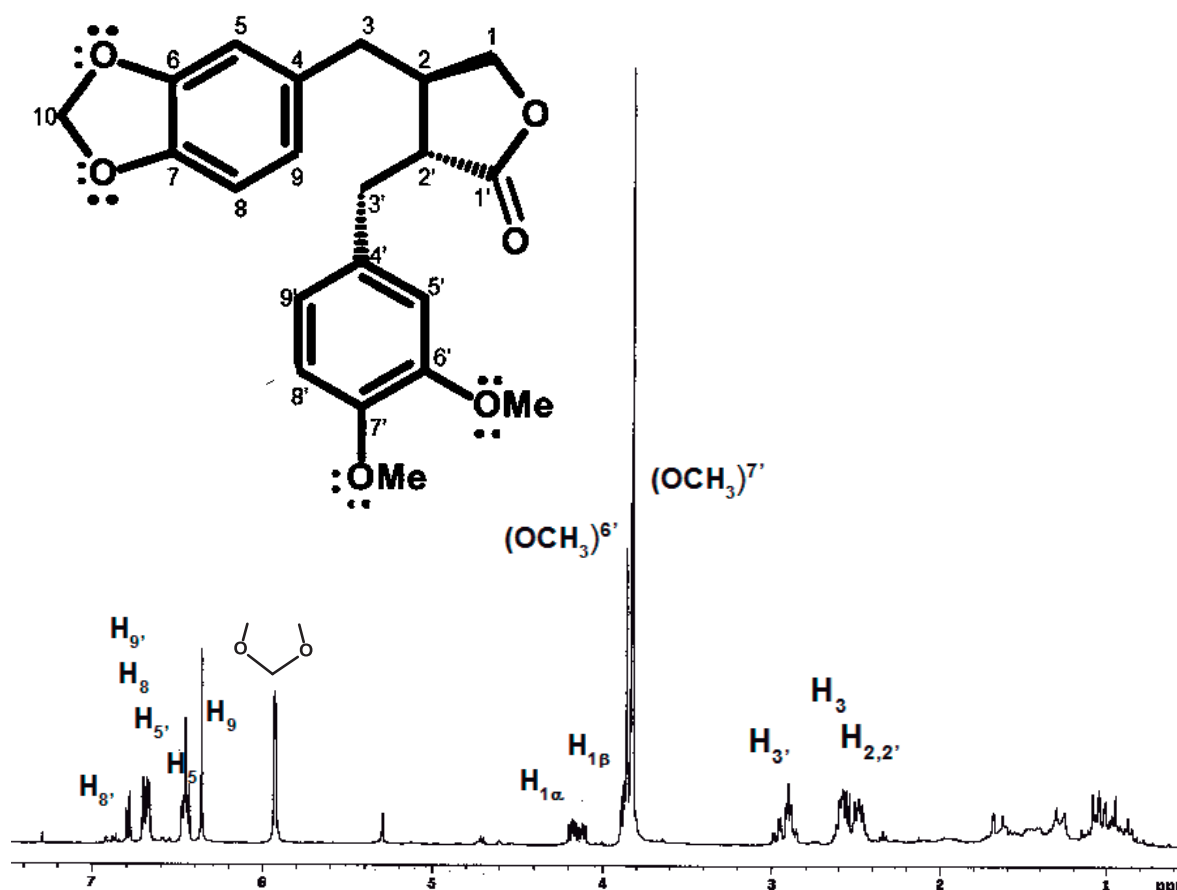


Figura15.- Espectro de RMN¹H a 400 MHz de la 8'-desmetoxiyateína en CDCl₃ CXL de la F-76 de la CC del extracto hexánico de los tallos de *Bursera discolor* Rzed.

Las fracciones eluídas con cloruro de metileno-acetato de etilo 6:4 hasta una mezcla de cloruro de metileno-acetato de etilo 1:1, F-72 a la F-78 se obtuvo un aceite denso ligeramente verdoso amarillento correspondiente a un metabolito obtenido previamente de otras especies de *Bursera*, particularmente de los «cuajotes amarillos» y cuyo espectro de RMN de ¹H presentado en la Figura 15 mostró señales características de estructuras de esqueleto lignánico, en el que se revela la presencia de grupos metoxilo, cuyos desplazamientos en 3.84 ppm, y en 3.86 ppm, las señales de metileno de un grupo metilendioxi desplazadas en 5.93 y 5.94 ppm, señales para hidrógenos aromáticos cuyas señales corresponden a los desplazamientos 6.44, 6.46, 6.67, 6.69, 6.70 y 6.79 ppm respectivamente, el resto de las señales múltiples y ligeramente anchas, son atribuibles a hidrógenos metínicos y metilénicos unidos a carbonos sp^3 , desplazadas en 4.11; 3.85; 2.98, 2.90; 2.59; 2.56 y 2.48 ppm, los valores de los desplazamientos de las señales se compararon con las reportadas en la literatura y las obtenidas para el 8'-desmetoxiyateína obtenida de la *Bursera fagaroides*¹⁰⁴ y fueron coincidentes.

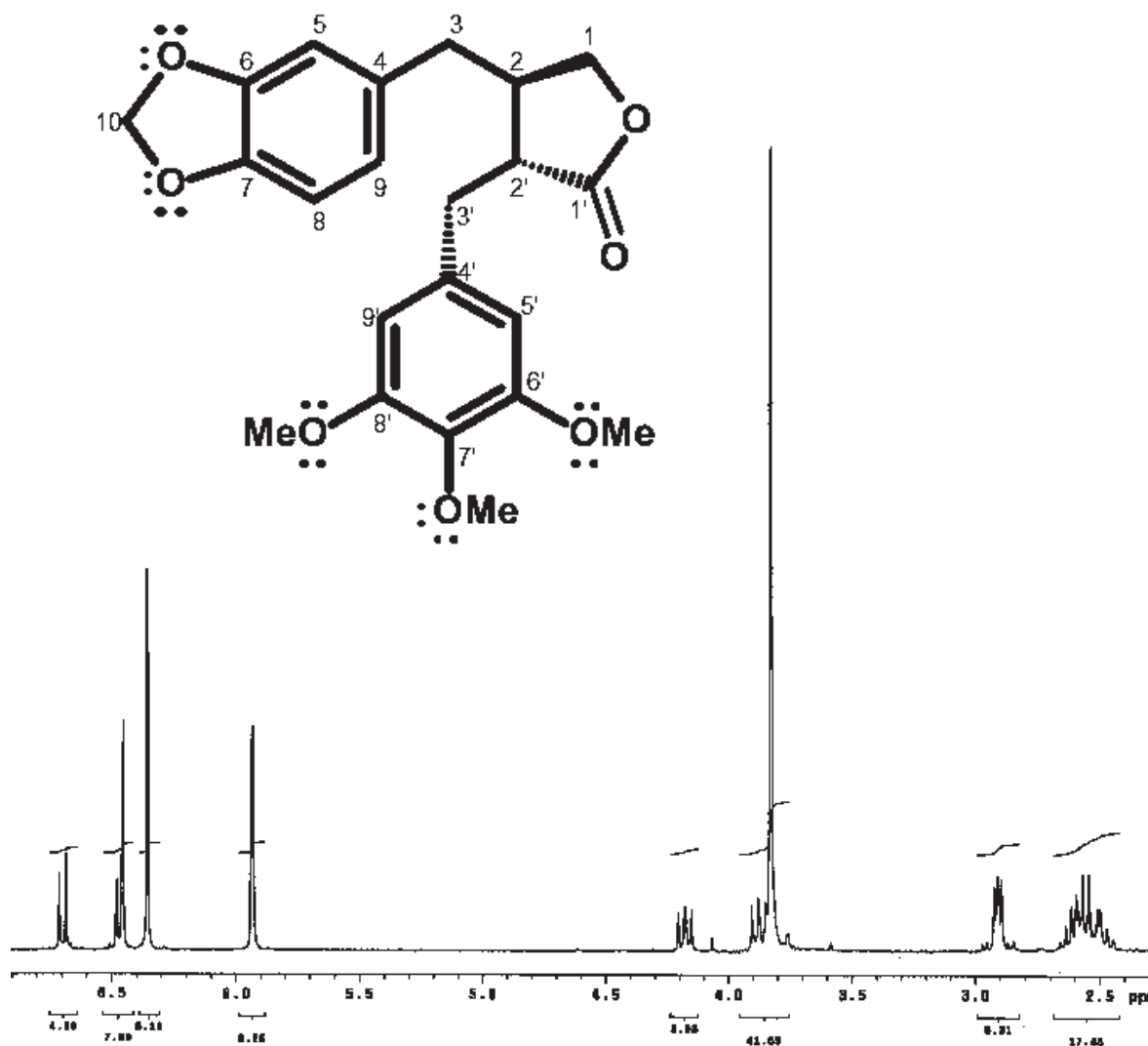


Figura 16.- Espectro de RMN ^1H de la yateína CXL

El espectro RMN ^1H mostrado en la Figura 19, correspondiente a la yateína (CXL) obtenida de varias especies de «cuajotes amarillos» fue comparado con el respectivo espectro de RMN ^1H mostrado en la Figura 18 en donde pueden apreciarse que son muy semejantes tanto los grupos de señales múltiples correspondientes a los hidrógenos a campo alto, como los hidrógenos de los grupos metoxilo y los hidrógenos del metileno base de la lactona, así como también las señales del metilendioxi y las correspondientes a los hidrógenos aromáticos de los dos anillos bencénicos.

CONCLUSIONES

Del extracto hexánico de los tallos de *Bursera discolor* Rzed. se aisló mayoritariamente como aceite ligero y oleoso de olor característico un monoterpeno monocíclico (-)-limoneno **CXXXI** el cual es el metabolito secundario más distribuido en las especies de *Bursera* defoliantes¹⁰⁵⁻¹¹¹ y en particular las del grupo de los «cuajotes amarillos», se aisló también un diterpeno ent-kaurenoide correspondiente al (-)-ent-kaur-16-en-3-ol **CXXXII**, del que se preparó su acetato **CXXXIII**, además se obtuvo la mezcla en la que no se pudieron separar sus componentes correspondientes a los acetatos de los ácidos oleanólico **CXXXIV** y ursólico **CXXXV**, los cuales son dos triterpenoides de esqueleto pentacíclico cuya diferencia se debe a la colocación de dos grupos metilo que en el primer caso se encuentran colocados geminalmente entre sí, en tanto que en el segundo caso se encuentran en posiciones vecinales, esta mezcla de triterpenos pentacíclicos se han obtenido también de otras especies de *Burseras* principalmente de las *Burseras* que pertenecen a la sección *Bullockia*, asimismo también se obtuvo la mezcla no separable de los 3-oxo-derivados de los ácidos oleanólico **CXXXVI** y ursólico **CXXXVII**, los cuales también se han obtenido de otras especies de *Burseras* tanto de la sección *Bursera* como de la sección *Bullockia*, además se aisló el compuesto de fórmula molecular $C_{22}H_{24}O_7$ correspondiente a la (-)-deoxipodofilotoxina **CXXXVIII**, el cual fue el metabolito que se obtuvo mayoritariamente asimismo se aisló en menor cantidad otro lignano correspondiente a la 8'-desmetoxyateina **CXL**, ambos lignanos se obtuvieron como aceites densos, obtenidos también de otras especies de *Burseras*, particularmente de especies cercanamente relacionadas como la *Bursera bolivarii*, *Bursera aptera* y de algunas variedades de *Bursera fagaroides*.

Todos los metabolitos aislados fueron caracterizados en base a sus propiedades químicas y espectroscópicas¹¹²⁻¹²⁰ por medio de la comparación de los valores de sus desplazamientos químicos leídos de sus espectros de RMN¹H y de RMN¹³C, DEPT incluyendo también espectros en dos dimensiones., con respecto a los valores de los desplazamientos químicos reportados en la literatura.

BIBLIOGRAFIA

1. CONABIO. Provincias biogeográficas de México, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.* **1997**
2. Fuentes Aguilar, Luis. Regiones Naturales del Estado de Puebla, *Instituto de Geología, UNAM, México*, **1972**.
3. Ramírez, Felipe. La Altiplanicie Central, del Preclásico al Epiclásico. En El México Antiguo. De Tehuantepec a Baja California, *Pablo Escalante Gonzalbo Centro de Investigación y Docencia, Económicas, Fondo de Cultura Económica, México*, **2009**, Tomo I, Cap. 2.
4. F., Miranda. "Estudios sobre la Vegetación de México IV", *An. Inst. Biol. Méx.*, **1943**, 14. 407-421.
5. F. Miranda. "Estudios sobre la Vegetación de México V", *Rasgos de la Vegetación en la Cuenca del Río Balsas. Rev. Soc. Méx. Hist. Nat.*, **1947**, 8. 95-114.
6. F. Miranda; E. Hernández X., "Los sobre Tipos de Vegetación de México y su Clasificación". *Bol. Soc. Bot. Méx.*, **1963**, 28. 29-179.
7. F. Miranda, Nuevas fanerógamas del S.O. del estado de Puebla. *An. Inst. Biol. Méx.*, **1942**, 13. 451-462.
8. F. Miranda; E. Hernández-Xolocotzi. "Tipos de la Vegetación de México y su Clasificación", *Bol. Soc. Bot. Méx.*, **1963**, 28. 29-179.
9. Escalante, T., Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **2009**, 80. 551-560.
10. F. Miranda; A. J. Sharp, "Characteristics of the Vegetation in certain temperate regions of Eastern México". *Ecol.*, **1950**, 31. 313-333.
11. Villaseñor, J. L., Dávila, P & Chiang, F. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol. Soc. Bot.*, **1990**, 50. 135-149.
12. G. Hinton y J. Rzedowski, *George B. Hinton*, collector of plants in southwestern Mexico, *Journ. Arn. Arbor.* **1972**, 53 (2), 141-178.
13. Salas S., L. Schibli, E. Torres, G. Ramírez & A. González. Análisis de la vegetación y uso actual del suelo en el estado de Oaxaca III. (Cañada y Mixteca). *Informe técnico final SERBO A.C.*, **1995**.
14. Peralta-Gómez, S., N. Diego Pérez y M. Gual-Díaz. Listados Florísticos de México XIX, *La Costa Grande de Guerrero Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México*.
15. CONABIO Workshop, Mexico, D.F., *Ecological and Biogeographical Regionalization of Mexico*. **November 1997**.
16. Funk, V. A. y K. S. Richardson. Systematic data and biodiversity studies use it or lose it. *Systematic Biology*. **2002**, 51. 303-316.

17. García, E., Climas. Escala 1:1,000,000. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, D.F., **1998**.
18. Dahlgren, R. M.; Clifford, H. T., Yeo, P. F., *The families of the monocotyledons*. (Springer-Verlag edición). Berlín. **1985**.
19. Gilmartin, A. J.; Brown, G. K., «Bromeliales, related monocots and resolution of relationships among Bromeliaceae subfamilies.». *Syst. Bot.* **1987**, (12). pp. 493-500.
20. Benzing, D. H., The biology of the bromeliads. Eureka, CA: *Mad River Press*. **1980**. 305 pp.
21. Rzedowski, J., Vegetación de México. Limusa, México, D. F., **1978**. p.432
22. Rzedowski, G. C. de, Rzedowski, J., Flora Fanerogámica del Valle de México, 2a. Ed., *Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán, México*. **2001**.
23. SEMARNAT-UAM., Estudios climáticos y de la vegetación de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. *Informe Técnico*. **1997**, 192. pp. 11.
24. Smith, C.E., Flora, Tehuacán Valley. *Fieldiana, Bot.* **1965**, 31. 101-143.
25. Zavala, H.J.A., Estudios ecológicos en el Valle semiárido de Zapotitlán, Puebla. Clasificación numérica de la vegetación basada en atributos binarios de presencia o ausencia de las especies. *Biótica*. **1982**, 7. 99-1202.
26. J. Rzedowski y R McVaugh, Synopsis of *Bursera* in Western Mexico with notes of the material of *Bursera* collected by Sessé & Mocino, *Kew. Bull.*, **1965**, 18. 317-382.
27. Rzedowski, J., Notas sobre el género *Bursera* (Burseraceae) en el Estado de Guerrero, *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.*, **1968**, 17. 17-36.
28. Altamirano, F., Catálogo de la colección de productos naturales indígenas. Remitida por la Sociedad Mexicana de Historia Natural á la Exposición Internacional de Filadelfia. *La Naturaleza III*, **1876**. 382-392,
29. Ezcurra, E. & Medina I.R., Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 18. *Instituto de Biología, UNAM*. **1997**. 13 pp.
30. Torres, C.R., L. Torres, P. Dávila y J.L. Villaseñor. Listados Florísticos de México XVI, Flora del Distrito de Tehuantepec, Oaxaca, *Instituto de Biología, UNAM, México*.
31. Engler, A., Burseraceae. In: Engler, A. & K. Prantl. *Die natürlichen Pflanzenfamilien*. **1931**, ed. 2. 19a. 405-456.
32. Engler, A., Burseraceae. DC. Monogr. Phaner. **1883**, 4. 1-169.
33. Bullock, A. A., Contributions to the flora of tropical America: xxxvii. Notes on the Mexican species of *Bursera*, *Kew Bull.* **1936**. 346-387.
34. Bullock, A. A., Further notes on the genus *Bursera*. *Kew Bull.*, **1937**. 447-458.
35. Oliva, L., Flora médica. El copal. *La Naturaleza I*, **1869**. 37-43.
36. Ramírez, J., Datos para el estudio de los cuajotes. *An. Inst. Med. Nac.*, **1896**, 2. 14-18.
37. Humboldt, A., A. Bonpland & K. S. Kunth, Burseraceae, In, Nova genera et species plantarum, **1825**, 7. 23-35, 611-612.
38. Schlechtendal, D. F. L., De plantis Mexicanis a G. Schiede, M.Dr., Car. Ehrenbergio aliisque, collectis. *Linnaea*. **1843**, 17. 625-631.

39. Rose, J. N., Burseraceae. North Amer. Fl., **1911**, 25. 241-261.
40. Rzedowski, J., Notas sobre el género *Bursera* (Burseraceae) en el Estado de Guerrero, *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.*, **1968**, 17. 17-36.
41. Rzedowski, J., Plantae Guerrerenses Kruseanae. Ciencia. **1978**, 28. 49-56.
42. Toledo Manzur, C. A. El género *Bursera* (Burseraceae) en el Estado de Guerrero. Tesis, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. **1982**. 182.
43. Kohlmann, B. y S. Sánchez. Estudio areográfico del género *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) en México: una síntesis de métodos. In: Ezcurra, E. et al. Métodos cuantitativos en la biogeografía. *Instituto de Ecología, A.C. Publicación No. 12. México, D.F.*, **1984**. 45-125.
44. Guízar Nolazco, E. y A. Sánchez Vélez, Guía para el reconocimiento de los principales árboles del alto Balsas. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx., **1991**. 207.
45. Cuevas G., R. y J. Rzedowski. Una especie nueva de *Bursera* (Burseraceae) del occidente de México, *Acta Bot. Mex.*, **1999**, 46. 77-81.
46. R. Fernández-Nava, C. Rodríguez-Jiménez, M. A. Arreguín-Sánchez, A. Rodríguez-Jiménez. , "Listado Florístico de la Cuenca del Río Balsas, México", *Polibotánica*. **1998**, 9. 1-151.
47. Shapiro K, Gong WC. Natural products used for diabetes. *J. Am. Pharm. Assoc.*, (Wash). **2002** Mar-Apr; 42(2). 217-26.
48. Galati EM, Monforte MT, Tripodo MM, d'Aquino A, Mondello MR. Antiulcer activity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae), ultrastructural study, *J. Ethnopharmacol.* , **2001** Jun; 76(1). 1-9.
49. J.L. Villaseñor, *Bol. Soc. Bot. Méx.*, **1987**, 47. 65-86.
50. Rzedowski, R. Medina y G. Calderón de Rzedowski. *Acta Botánica Mexicana*. **2007**, 81. 45-70.
51. Agustina Rosa Andrés-Hernández y David Espinosa Organista. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, **2002**, 70. 5-12.
52. Espinosa, D.J. y J.J. Morrone, Historical Biogeographical patterns of Burseraceae and their Taxonomic implications. *Journal of Biogeography*. **2006**, 28. 293-304.
53. J. Rzedowski, R. Medina y G. Calderón de Rzedowski, Inventario del conocimiento taxonómico de la diversidad y del endemismo regional de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*. **2005**, 70. 81-111.
54. Ezequiel Hernández-Pérez, Mariuo González-Espinosa, Irma Trejo y Consuelo Bonfil, "Distribución del Género *Bursera* en el Estado de Morelos México y su relación con el clima.", *Revista Mexicana de Biodiversidad*,. **2011**, 82. 964-976.
55. O.R. Gottlieb, "Neolignans", *Fortschritte der Chemische Organische Naturstoffe*. **1978**, 35. 1-72.
56. C.B.S. Rao, "Chemistry of Lignans", Waltair, India : Andhra University. (Ed.), **1978**.

57. D.C. Ayers y J.D. Loicke, *Lignans : Chemical, biological and clinical properties*, Cambridge, University Press, **1990**.
58. Ashok K. Prasad, Om Dutt Tyagi, Jasper Wengel, Per M. Boll, Carl E. Olsen, Suman Gupta, Nawai K. Sharma, Kirpal S. Bisht y Virinder S. Parmar, *Tetrahedron*, **50**, 10579-10586 (1994).
59. S. T. Murphy, E. Ritchie y W.C. Taylor, *Aust. J. Chem.*, **1975**, 28. 81.
60. M. J. Kato, M. Yooshida y O.R. Gottlieb, *Phytochemistry*. **1990**, 29.1799.
61. S. Ngouele, E. Tsamo y J.D. Connolly, *Phytochemistry*. **1994**, 37. 867.
62. A. R. Carroll y W.C. Taylor, *Aust. J. Chem.*, **1994**, 47. 937.
63. Ashok K. Prasad, Om Dutt Tyagi, Jasper Wengel, Per M. Boll, Carl E., Suman Gupta, Nawai K. Sharma, Kirpal S. Bisht y Virinder S. Parmar, *Tetrahedron*. **1994**, 50. 2231-2240.
64. H. López, A. Valera y J. Trujillo, *J. Nat. Prod.*, **1995**, 58. 782.
65. M.C.S. Vidigal, A.J. Cavaleiro, M. J. Kato y M. Yooshida *Phytochemistry*. **1996**, 41. 287.
66. C. Conno, Z.Z. Lu, H.Z. Xue, C.A.J. Edelmeier, D. Meksuriyen, X.C.T. Che, G.A. Cordell, D.D. Soejarto, D.P. Waller y H.S. Fong, *J. Nat. Prod.*, **1990**, 53. 396.
67. A. Urzua y L. Presle, *Phytochemistry*. **1993**, 34. 874.
68. P.H. Ferri y L.E.S. Barata, *Phytochemistry*. **1991**, 30. 4204.
69. Om Dutt Tyagi, S. Jensen, Per M. Boll, Nawai K. Sharma, Kirpal S. Bisht y Virinder S. Parmar, *Phytochemistry*. **1993**, 32. 445.
70. Jim-Min Fang, Kuo-Chio Hsu y Yu-Shia Cheng, *Phytochemistry*. **1989**, 28. 3553-3555.
71. Y.L. Ma, Q. Huang y G.Q. Han, *Phytochemistry*. **1996**, 41. 287.
72. A. Pelter, R.S. Ward, R. Venkateswarlu y C. Kamakshi, *Tetrahedron*,. **1991**, 47. 1275.
73. Andrew Streitwieser, Jr. y Clayton H. Heathcock, "Química Orgánica", 1ª Ed., Nueva Editorial Interamericana., México, D.F., **1979**. pág. 611-614.
74. Juan Diego Hernández Hernández, "Notas de Química Orgánica I" Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. **2010**.
75. Juan Diego Hernández Hernández, "Notas de Química Orgánica II" Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. **2010**.
76. Juan Diego Hernández Hernández, "Notas de Química Orgánica III" Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. **2010**.
- 73.- G.A. Gaboury y M.P. Sibi, *J. Org. Chem.*, **1993**, 58. 2173.
77. N. Rehnberg y G. Magnusson, *J. Org. Chem.* **1990**, 55, 4340.
78. Weeks A. y B.B. Simpson, *Plant Science Bulletin*. **2001**, 47. 123-124.
79. M.S. Kamel, K. Ohtani, M.H. Assaf, R. Kasai, M.A. El-Shanawani, K. Yamasaki, A.A. Ali y O.Tanaka, *Phytochemistry*. **1992**, 31. 2469.
80. M. Sugiyama y M. Kikuchi, *Chem. Pharm. Bull.*, **1991**, 39. 483.
81. M. Miyasawa, Y. Ishikawa, H. Kasahara, J. Yamanaka y H. Kameoka., **1994**, 35. 61.
82. A.S. Casabuono y A.B Pomilio, *Phytochemistry*. **1994**, 35. 479.

83. C. Pérez, L.N. Almonacid, J.M. Trujillo, A.G. González, S.J. Alonso y E. Navarro, *Phytochemistry*. **1995**, 40, 1511.
84. S. Yahara, H. Domoto, C. Sugimura, T. Nohara, Y. Nuho, Y. Nakajima y Hito, *Phytochemistry*. **1994**, 37, 1755.
85. "b-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*. **1999**. pág. 29.
86. "Terpenos obtenidos por muestreo directo de peciolo y tallos delgados de 18 especies de *Burseraceae*". Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez, Concepción Armenta, J. Carlos Guzmán y Luisa Urania Román-Marín. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, 44, C-123, 136 **2000**. XXXV Congreso Mexicano de Química, San Luis Potosí, S.L.P.
87. "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*, **2001**. pág. 27.
88. P. Torres Campello, Tesis de Licenciatura, Univ. de Alicante, España.
89. "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, **2001**. Pág. 129.
90. "Terpenos obtenidos por muestreo directo de peciolo y tallos delgados de 18 especies de *Burseraceae*". Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez, Concepción Armenta, J. Carlos Guzmán y Luisa Urania Román-Marín. *Rev. Soc. Quím. Méx.* XXXV Congreso Mexicano de Química, San Luis Potosí, S.L.P. **2000**, 44, C-123, 136.
91. "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 Facultad de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 10 de agosto de **1988**.
92. "Análisis de partes aéreas de cuajotes amarillos". Juan Diego Hernández-Hernández, Rocío Alvarez-García y Luisa Urania Román-Marín. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, XXXVI Congreso Mexicano de Química. **2001**, 45, C/2, 98.
93. "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*, **2001**. pág. 28.
94. Estudio Químico de la Parte Aérea de *Bursera cuneata* y de *Eupatorium arsenei* Rob.". Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, presentada por Manuel García Velgara a la Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 8 de febrero de **1996**.

95. "Triterpenos Obtenidos de Algunas *Burseras*" Juan D. Hernández, L. García, J.C. Guzmán, R. Herrera, M. García, M. A. Sánchez y L.U. Román. *ANUARIO VI del Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. **1995**. pág.43-57.
96. "Aislamiento y Reacciones de Lignanos Derivados del género *Bursera*" J.D. Hernández, L.U. Román, E.C. Alvarez, S. Manzo y P. Joseph-Nathan. *Revista de la Sociedad Química de México*. **1989**, 33. 231.
97. "Preparación de derivados lignánicos del 2-(3,4-dimetoxibencil)-3-(3,4-metilendioxbencil)-1,4-butanodiol." Juan Diego Hernández-Hernández, Yolanda López-Camacho, A. Alvarez y Luisa Urania Román-Marín. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **2002**, 46 . C/113, 131.
98. "Preparación de derivados bromados y nitrados del diacetato de 2-(3,4-metilendioxbencil)-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*, **2003**, 47. C/96, 147.
99. Química y Espectroscopía de los Componentes obtenidos de los Extractos Hexánicos de algunas *Burseras*." J.D. Hernández, M. García, R. Herrera y L.U. Román. II Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística, Noviembre **1992**, Morelia, Mich.
100. Elvia Celina Alvarez Cisneros "Productos Químicos naturales y algunos derivados obtenidos a partir de los extractos de la resina de *Bursera fagaroides* HBK , *Bursera ariensis* HBK y de la inflorescencia de *Montanoa grandiflora* DC" Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. 6 de abril de **1990**.
101. "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 Facultad de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. el 10 de enero del **2001**.
102. Agarwal, R.B., Rangari y V.D., , P. G., *Ind. J. Pharmacol.* **2003**, 3. 384-867.
103. Syamasundar, K.V., y Mallavarapu, G. R., *Phytochemistry*. **1995**. 40, 337-339.
104. "Absolute Configuration of Podophyllotoxin related lignans from *Bursera fagaroides*, using Vibrational Circular Dichroism". René Velázquez-Jiménez, J. Jesús Martín Torres-Valencia, Carlos M. Cerda-García-Rojas Juan D. Hernández-Hernández, Luisa U. Román-Marín, Jesús Manríquez-Torres, Mario A. Gómez-Hurtado, Alejandro Valdez-Calderón, Virginia Motilva, Sofía Gómez-Mouriño, Elena Talero, Javier Ávila y Pedro Joseph-Nathan. *Phytochemistry*. **2011**,. 72. 2237-2243.
105. "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**.

106. "Análisis por CG de Aceites Esenciales de Frutos de *Burseras*." Juan D. Hernández, Juan C. Guzmán, M.A. Sánchez y Luisa U. Román. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **1996**, 40. C/42, 112.
107. "Estudio Químico de la Parte Aérea de *Bursera cuneata* y de *Eupatorium arsenei* Rob." Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo, presentada por Manuel García Velgara a la Facultad de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H., el 8 de febrero de **1996**.
108. "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*. **1997**. pág. 69-86.
109. "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*, **2001**. pág 129.
110. "Ariensin , a new lignan from *Bursera ariensis* HBK" J.D. Hernández, L.U. Román, J. Espiñeira and P. Joseph-Nathan, *Planta Medica*.**1983**, 47. 193.
111. Química y Espectroscopía de los Componentes obtenidos de los Extractos Hexánicos de algunas *Burseras*." J.D. Hernández, M. García, R. Herrera y L.U. Román. II Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística, Noviembre **1992**, Morelia, Mich.
112. Reiko Tanaka y Shunyo Matsunaga *Phytochemistry*. **1988**, 27 . 2273-2277.
113. "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**.
114. Trujillo Serrato, Joel de Jesús. "Agliconas flavonoides de *Stevia connata* y Terpenoides de *Verbesina greenmannii*." Escuela de Químico-Farmacobiología de la U.M.S.N.H. de enero de **1993**.
115. Morrison y Robert Neilson Boyd, "Química Orgánica, 3ª edición, Fondo Educativo Interamericano, New York, N.Y., **1976**. pág. 307-310.
116. William A. Bonner y Albert J. Castro, "Essentials of Modern Organic Chemistry, 3ª edición, Reinhold Publishing Corporation. New York, London, Amsterdam. **1967**. pág. 230-236.
117. Henry Rakof y Norman C. Rose , "Organic Chemistry" , 2ª edición, Collier-Macmillan Co., New York, N.Y., **1967**. pág. 170-210.
118. Federic M. Menger , David J. Goldsmith y Leon Mandell , "Química Orgánica", 2ª edición , Fondo Educativo Interamericano , New York, N.Y., **1975**.
119. Stephen J. Weininger, "Química Orgánica", 1ª edición, Nueva Editorial Interamericana, México, D.F. **1975**.
120. Graham Solomons y Craig Fryhle , "Organic Chemistry" , 7ª edición , John Wiley & Sons , Inc. , New York, N.Y., **2000**.

LOS MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS FUERON LOS SIGUIENTES

- Rotavapor marca Buchi
- Balanza analítica
- Balanza granataria
- Parrilla de Calentamiento
- Equipo de destilación con refrigerante de doble tubo
- Refrigerantes de serpentín y de rosario
- Baño María para evaporar eluatos colectados en viales
- Porrones de plástico de 20 lts
- Matraces Erlenmeyer
- Viales
- Probetas
- Embudo de separación
- Columnas de Cromatografía
- Soportes universales
- Pinzas para sujetar columnas cromatográficas
- Anillos de soporte de embudo de extracción
- Anillos de soporte de matraces balón
- Tijeras cortadoras de los tallos de las plantas
- Matraz balón
- Vasos de precipitado
- Embudo de filtración
- Espátulas
- Pipetas Pasteur
-
- Equipo de RMN Varian (400 MHz y 200 MHz)

METODOS

- Preparación de la muestra de la *Bursera discolor* para su clasificación botánica
- Selección de las tomas fotográficas de las distintas partes de la planta
- Corte de los tallos delgados de la *Bursera discolor*
- Corte de los tallos delgados en pequeños canutos y llenado del porrón de 20 lts.
- Maceración de los canutos cortados mediante la adición 8 lts. de hexano
- Filtración de la solución hexánica del macerado.
- Evaporación de la solución hexánica del macerado para obtener el concentrado.
- Repetición de los tres procedimientos anteriores las veces necesarias hasta agotar la cantidad extraída.
- Mantener los extractos hexánicos obtenidos por separado.
- Someter a separación cromatográfica una alícuota del primer extracto hexánico.
- Caracterización de las fracciones cromatográficas colectadas mediante un seguimiento de sus características físicas y espectroscópicas.
- Seleccionar los conjuntos de fracciones afines para juntarlos y posteriormente someterlos por separado a un segundo proceso cromatográfico hasta la obtención de fracciones pura.
- Análisis de las propiedades físicas de los componentes purificados.
- Obtención de los espectros graficados de RMM de ^1H y ^{13}C e interpretación de los mismos
- Obtención de los espectros mono y bidimensionales y los necesarios para la determinación de la estructuras de los compuestos separados y purificados.
- Comparación de los resultados generales con los de otras especies de cuajotes amarillos
- Identificación de la (-)-Deoxipodofilotoxina obtenida de tallo y resina de *Bursera discolor*.
- Comparación de los resultados obtenidos del componente mayoritario del extracto hexánico de *Bursera discolor* con respecto a la obtenida de especies afines como la de la *Bursera fagaroides* HBK y *Bursera fagaroides* variedad elongata.

