



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Metabolitos secundarios de corteza de guayacán
comercializada en el Mercado de Sonora, Cd. de México,
México”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA

HEIDI YUBILLY CORTÉS SUÁREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RICARDO REYES CHILPA
CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

2017





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno
Cortés
Suárez
Heidi Yubilly
15396025
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
309125406
2. Datos del tutor
Dr
Ricardo
Reyes
Chilpa
3. Datos del sinodal 1
Dra
Eva
Aguirre
Hernández
4. Datos del sinodal 2
Dr
Sol
Cristians
Niizawa
5. Datos del sinodal 3
M en C
María Edelmira
Linares
Mazari
6. Datos del sinodal 4
M en C
Lucia Yoscelina
Centeno
Betanzos
7. Datos del trabajo escrito
Metabolitos secundarios de corteza de guayacán comercializado en el Mercado de
Sonora, Cd. De México, México
75p
2017

Agradecimientos:

A la **UNAM** y a la **Facultad de Ciencias**, por mi formación académica.

Al **Instituto de Química y Laboratorio 2-4 de Productos Naturales**, por abrirme sus puertas para la realización de este proyecto.

Al **Dr. Ricardo Reyes Chilpa** por su asesoría en la realización de este proyecto y su gran ayuda en la interpretación de los espectros de RMN.

A la **M. en C. Lucía Yoscelina Centeno Betanzos** por facilitar las muestras de corteza empleadas en el presente estudio.

Al **M. en C. Simón Hernández Ortega** del Laboratorio de Difracción de Rayos X por monocristal del Instituto de Química, por su apoyo técnico en la determinación de la estructura molecular.

A la **M. en C. Elizabeth Huerta Salazar** del Laboratorio de Resonancia Magnética Nuclear del Instituto de Química, por su apoyo técnico en la obtención de los espectros.

Al personal técnico del **Laboratorio de Espectrometría de Masas** y al **Laboratorio de Espectrometría y Polarimetría** del Instituto de Química por la obtención de los espectros y cromatogramas correspondientes.

Al **Programa de Apoyo a proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT DGAPA UNAM)**: Proyecto IN210016. Bioprospección de la Flora Mexicana para la búsqueda de nuevos compuestos con posible actividad antiviral (VIH-1), antifúngica y antitumoral.

Al comité sinodal, por sus oportunas observaciones en la revisión de este proyecto:

Dra. Eva Aguirre Hernández

Dr. Sol Cristians Niizawa

M. en C. Ma. Edelmira Linares Mazari

Dedicatorias

A Dios,
A Papá y Mamá,
A mis hermanos,
A mi familia espiritual,
Mis amigos y compañeros de la carrera y de aventuras.

El corazón humano genera muchos proyectos, pero al final prevalecen los designios del Señor. -Proverbios 19:21

No hagan nada por egoísmo o por vanagloria; más bien, con humildad consideren a los demás como superiores a ustedes. Cada uno debe velar no sólo por sus propios intereses sino también por los intereses de los demás. -Filipenses 2:3-4.

Índice

Índice de figuras y Tablas	7
1. Resumen.....	9
2. Introducción	10
3. Antecedentes	11
3.1 Los mercados y las plantas medicinales.....	11
3.2 Identificación de Plantas Medicinales.....	13
3.2.1 Anatomía y morfología.....	13
3.2.2 Quimiotaxonomía	13
3.2.3 Control de calidad de plantas medicinales	14
3.3 El “guayacán” presente en los mercados.....	16
3.4 <i>Guaiacum coulteri</i>	18
3.4.1 Taxonomía.....	18
3.4.2 Descripción Botánica.....	18
3.4.3 Etnobotánica	20
3.4.4 Química y Farmacología	21
3.5 <i>Lonchocarpus sericeus</i>	23
3.5.1 Taxonomía.....	23
3.5.2 Descripción Botánica.....	23
3.5.3 Etnobotánica	25
3.5.4 Química y Farmacología	25
4. Objetivos	27
5. Hipótesis.....	27
6. Materiales y métodos	28
6.1. Muestra 1a de corteza de guayacán	29
6.2 Muestra 1b de corteza de Guayacán.	32
7. Resultados.....	33
7.1 Muestra 1a de corteza de guayacán	33
7.1.1 Fracciones 42-51.	34
7.1.2 Fracción 19-21.....	46

Identificación de (E)-6-(2,4-dimetoxiestiril)-4-metoxi-2H-piran-2-ona (II).....	46
7.1.3 Fracción 81-117.....	48
Identificación de (E)-6-(4-hidroxiestiril)-4-metoxi-3-3-metilbut-2-en-1-il)-2H-piran-2-ona (III).....	48
7.2 Muestra 1b de corteza de “Guayacán”.....	54
8. Discusión.....	58
8.1 Análisis químico de metabolitos obtenidos por RMN.....	58
8.2 El complejo medicinal “guayacán”.....	65
9. Conclusiones.....	66
10. Anexos.....	67
11. Referencias.....	70

Índice de figuras y Tablas

Figura	Página
1. Ejemplar de herbario MEXU de <i>G. coulteri</i> . Detalle de flores y fruto	19
2. Compuestos reportados en especies del género <i>Guaiacum</i>	22
3. Ejemplar de herbario MEXU de <i>Lonchocarpus sericeus</i>	24
4. Compuestos reportados para <i>Lonchocarpus sericeus</i> .	26
5. Cromatografía en Columna de extracto CH ₂ Cl ₂ de muestra 1a de corteza de Guayacán.	29
6. CCF bajo luz UV de las fracciones reunidas obtenidas por CC de la muestra 1a de corteza.	33
7. Estereodiagrama por Difracción de Rayos X de la 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)	35
8. Espectro de Infrarrojo de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktepirona(I)	36
9. Cromatografía de Masas por Impacto Electrónico de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktepirona (I)	36
10. Espectro general de RMN ¹ H de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I).	40
11. Espectro de RMN ¹³ C de la fracción 42-51 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)	41
12. Espectro de DEPT 90 de la fracción 42-51 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)	42
13. Espectro de DEPT 135 de la fracción 42-51 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)	43
14. Espectro de HSQC de la fracción 42-51 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona. (I)	44
15. Espectro de HMBC de la fracción 42-51 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I).	45
16. Estructura propuesta para la fracción 19-21 (II).	47
17. Espectro de Resonancia Magnética Nuclear de Protón de la fracción 19-21 (II).	46
18. Espectro general de ¹ H de la fracción 81-117(III)	49

19. Espectro RMN ¹³ C de la fracción 81-117 (III).	50
20. Espectro DEPT 90 de la fracción 81-117 (III).	51
21. Espectro DEPT 135 de la fracción 81-117(III).	52
22. Estructura propuesta para la fracción 81-117 (III)	48
23. Cromatografía de Masas por DART ⁺ de la fracción 81-117 (III).	53
24. CCF de muestra 1b de corteza de guayacán observado bajo luz UV.	54
25. Cromatografía en placa preparativa de muestra 1b de corteza bajo luz UV.	55
26. Espectro de Infrarrojo de la banda D.	56
27. Cromatografía de Masas por Impacto Electrónico de banda D.	56
28. Espectro de RMN ¹³ C de banda D de corteza de mercado Sonora.	57
29. Espectro de RMN de Protón de banda D de corteza de mercado de Sonora.	57
30. Ejemplar de herbario MEXU de <i>A. panamense</i> .	60
31. Compuestos aislados del género <i>Acosmium</i>	63

Tabla	Página
1. Especies identificadas como “guayacán” citadas en la literatura	17
2. Reunión de las fracciones obtenidas a partir de la Cromatografía en Columna	30
3. Características del 3-(1'', 1''- dimetil-alil)-5,6- dehidrokawaína o chaktépirona (I)	35
4. Desplazamientos químicos y asignación con base en Espectro de RMN de ¹ H, ¹³ C y HMBC 3-(1'', 1''- dimetil-alil)-5,6- dehidrokawaína o chaktépirona (I)	39
5. Compuestos aislados del género <i>Acosmium</i>	62

1. Resumen

Actualmente, gran parte de la población mexicana aún acude a la medicina tradicional para curar distintas enfermedades. En los principales mercados de la Ciudad de México podemos encontrar a la venta maderas y cortezas recomendadas para curar distintos padecimientos, como la diabetes, entre ellas, la corteza de “guayacán”, nombre con el cual se conoce popularmente a *Guaiacum coulteri* (Zygophyllaceae). En la literatura se registra que esta especie tiene actividad hipoglucemiante; sin embargo, también se ha reportado que la población asigna el nombre “guayacán” a 24 especies botánicas diferentes, entre ellas *Acosmium panamense* (= *Sweetia panamense*) (Leguminosae). Este estudio tuvo como objetivo analizar químicamente muestras de la corteza de “guayacán” que se comercializan en el Mercado de Sonora de la Ciudad de México y proponer a cuál especie, o especies, pertenecen. Para aislar los compuestos químicos, se prepararon extractos hexánicos de dos muestras de corteza de “guayacán” compradas en dicho mercado y se sometieron a cromatografía en columna y en capa fina. De ambas muestras se logró aislar una nueva estiril pirona, la 3-(1”, 1”-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína, a la cual se le asignó el nombre trivial de chaktépirona (I). Su estructura fue determinada con base en sus datos de Difracción de Rayos X, Resonancia Magnética Nuclear de Protón y Carbono (¹³C), Espectrometría de Masas y Espectroscopia de Infrarrojo. Otras estirilpironas, estrechamente relacionadas estructuralmente, han sido previamente aisladas de *Acosmium panamense* y pueden ser consideradas como compuestos marcadores, es decir que identifican químicamente a una especie. Por esta razón, se propone que las muestras aquí analizadas químicamente corresponden a *A. panamense*, lo cual podría corroborarse con futuros estudios anatómicos, morfológicos e incluso genéticos. La información obtenida puede coadyuvar a aprovechar los recursos vegetales medicinales de manera más óptima y a su certificación.

2. Introducción

Comunidades de varias partes del mundo han usado las plantas medicinales como recurso para aliviar sus enfermedades. En México los primeros registros provienen de Códices Precolombinos y a la fecha se sigue conservando esta tradición; además, a lo largo de los últimos cien años se han realizado estudios farmacológicos y químicos que respaldan la efectividad de algunas de estas plantas (Aguilar, 2009). Según la Organización Mundial de la Salud (2009, 2010), actualmente se presenta un auge en el consumo de remedios herbolarios y de la medicina tradicional, por lo cual es necesario implementar nuevas estrategias de manejo. De acuerdo a esta misma organización, las plantas medicinales poseen gran importancia dentro de la Medicina Tradicional, ya que gran parte de la población continúa recurriendo a estos remedios tradicionales para curarse de diferentes enfermedades. En los mercados de nuestro país, pueden encontrarse a la venta diversas plantas medicinales, ya sea frescas o secas, principalmente hojas, tallos y raíces, y en menor cantidad, maderas y cortezas (Garay, 1997). Este material presenta dificultades para ser identificado correctamente, ya que la mayoría se expenden en trozos pequeños, por lo cual muchas veces no es posible distinguir a simple vista las diferencias morfológicas (Carmona, 1992). Otro problema que se puede encontrar en los mercados populares, es la falta de certificación botánica, es decir especies diferentes son conocidas y vendidas con el mismo nombre popular; o viceversa, una especie botánica es conocida con diferentes nombres populares, ya sea porque ha ido cambiando a lo largo del tiempo o a través del proceso de comercialización (Bye & Linares, 1983). Por lo tanto, es necesaria la regulación de los productos en venta para garantizar su eficacia y efectividad en la cura de la enfermedad a la que se dice estar destinada. Uno de los métodos para certificar la identidad biológica de la planta es a través de la determinación taxonómica mediante la observación de sus características morfológicas. Otro de los métodos comúnmente utilizados, es la comparación anatómica de los

tejidos de las plantas, observando las diferencias microscópicas en su estructura. Una opción que también puede considerarse para la identificación botánica, es a través de la fitoquímica, es decir, caracterizar los constituyentes químicos de una planta. En ambos casos, se pueden comparar las estructuras celulares o los metabolitos secundarios presentes en una muestra de mercado, con la de muestras auténticas previamente identificadas por métodos taxonómicos (Pribitkin, 2005). Actualmente, las técnicas de biología molecular, en especial los marcadores moleculares son herramientas que se han ido incorporando como una alternativa a la corroboración de especies y la identificación de adulterantes (Feria *et. al.*, 2007)

3. Antecedentes

3.1 Los mercados y las plantas medicinales

Los mercados en México han tenido gran repercusión en la cultura nacional, ya que desde tiempos prehispánicos la gente acude a ellos no solo para abastecer sus necesidades materiales, sino también como un lugar de convivencia social, aprendizaje e intercambio cultural. Estos sitios permiten que las personas estén en contacto directo con las plantas, en particular con aquella población que esté menos expuesta a su entorno natural. (Bye y Linares, 1983; 1987).

Whitaker y Cutler (1966), mencionan que una de las funciones de los mercados es conservar a lo largo del tiempo los registros de las plantas útiles de la región, y establecer centros de población donde existe mayor posibilidad de intercambio comercial. Por otro lado, Bye y Linares (2016) indican que los productos en venta reflejan el intercambio cultural basado en el conocimiento tradicional y la explotación de distintas zonas ecológicas. Los análisis realizados a lo largo del tiempo, muestran que el mercadeo en el México contemporáneo

es consecuencia de las relaciones que se dieron en los diferentes tiempos históricos y que ahora se reflejan en los mercados tradicionales.

La Secretaría de Desarrollo Económico dio a conocer el listado de los mercados públicos de la Ciudad de México en la Gaceta Oficial del Distrito Federal de 2015, en ella se menciona la presencia de 329 mercados, los cuales abastecen un porcentaje importante de los habitantes de esta ciudad. Las plantas medicinales y alimenticias que se encuentran en venta, son las que presentan mayor diversidad dentro de los mercados. De acuerdo con Betancourt y Gutiérrez (1999) en los mercados se comercializan aproximadamente 250 especies medicinales principalmente del centro y sur del país en forma tanto fresca como deshidratada. La SEMARNAT mediante la NOM 059, puso a disposición una guía para que la explotación de las especies esté regulada y no disminuya la abundancia de dónde es extraído el material vegetal.

El mercado Sonora de la Ciudad de México, es considerado uno de los mercados centrales para la venta de plantas medicinales. Es reconocido en varios estados del país como el “mercado nacional”, donde se pueden encontrar plantas medicinales procedentes de varias partes nuestro territorio e incluso del extranjero. Se ha documentado los principales lugares de donde se obtienen las plantas en venta, así como la dinámica de comercialización de las plantas medicinales entre el mercado central y los centros de abasto más importantes (Bye y Linares, 2009).

3.2 Identificación de Plantas Medicinales

3.2.1 Anatomía y morfología

El estudio de la morfología vegetal se utiliza principalmente como un método de clasificación taxonómica al observar las principales estructuras macroscópicas, poniendo atención a las características que pueden ayudar en la determinación de la identidad botánica (Bell, 1991). Las estructuras más fáciles de identificar son las hojas, flores, frutos e incluso las semillas, ya sea por su forma, estructura o en otros casos, color y sabor. La identificación de estas estructuras puede ser apoyada con ejemplares de herbario y claves taxonómicas. (Bold, 1980; Carmona, 1992).

Por otra parte, la anatomía también nos puede brindar información taxonómica, al estudiar la conformación de los tejidos de la planta; sin embargo, no es sencillo observarlos a simple vista. Los tejidos que se encuentren en la madera, corteza, tallo o raíz, son la epidermis, el parénquima, el xilema o floema, las cuales deben observarse a través del microscopio para poder describir el orden y el arreglo que las células y tejidos posean. Estas características pueden ser específicas para un determinado grupo de plantas, ya sea a nivel de género, tribu o familia. Al mismo tiempo la histoquímica es una herramienta para facilitar la identificación y la ubicación de los compuestos químicos o metabolitos secundarios con actividad farmacológica (Centeno, 2007; Trease & Evans, 1987).

3.2.2 Quimiotaxonomía

Es una herramienta para la clasificación taxonómica de las plantas a través del análisis de los metabolitos secundarios presentes en una determinada especie de plantas. Estos compuestos marcadores pueden ser específicos de una especie, así como brindar información sobre su posible actividad farmacológica. Bajo este tipo de análisis se utilizan tres principales criterios; presencia o

ausencia; cantidad y la ruta biosintética de los metabolitos secundarios encontrados. A este tipo de clasificación se le nombra quimiotaxonomía (Harbone, 1968; Valencia, 1995;). Existen varios estudios fitoquímicos en los que se aíslan y elucidan metabolitos secundarios que se encuentran en las plantas.

Sin embargo, Domínguez (1988) propone que existen varias dificultades a las que se enfrenta la quimiotaxonomía debido a la naturaleza biológica de las plantas, algunas de ellas son:

- Los caracteres químicos pueden no presentarse en todos los individuos del mismo grupo, es decir, la cantidad de los compuestos puede variar entre los organismos de la misma especie.
- La presencia o ausencia de compuestos químicos al ser substituidos por otra molécula dentro del mismo grupo, familia o género de plantas.
- La abundancia del compuesto presente puede variar entre los órganos de la misma planta (flor, hoja, corteza, etc.).
- Variaciones por causas extrínsecas o exógenas. La cantidad de los componentes puede tener variaciones debido a condiciones climáticas y la forma en que la planta responde a ellas.
- Los componentes pueden ser modificados en concentración o localización dependiendo la edad del material que este tenga; si es fresco o seco.

3.2.3 Control de calidad de plantas medicinales

El conocimiento que tradicionalmente ha sido tradicional y empírico, se transmite a la investigación científica formal hasta llegar a la estandarización de las características químicas y botánicas de las especies que se usan con fines medicinales.

La OMS ha propuesto utilizar la medicina herbolaria tradicional para lograr alcanzar recursos económicamente accesibles y culturalmente apropiados para

la población, con la finalidad de elevar la condición médico-sanitaria de los países más pobres. Los fitomedicamentos que se vendan tienen que ser de calidad controlada, es decir, que tengan su constitución química definida y su actividad farmacológica bien establecida (Machado, 2000).

En la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos se encuentran descritas distintas técnicas que pueden ser empleadas en el análisis y control de calidad de plantas medicinales. Algunas de las técnicas utilizadas en este trabajo son descritas a continuación:

-Cromatografía. Esta técnica permite la separación de sustancias que se encuentran en una mezcla y es valiosa por la determinación cualitativa de pequeñas cantidades de compuestos o impurezas. Es fácil de realizar, es efectiva y requiere de equipo poco costoso; por lo tanto es utilizado frecuentemente para la evaluación de plantas medicinales y de sus preparaciones.

Para el análisis por cromatografía en capa fina deben tomarse en cuenta los siguientes parámetros: el método de preparación y concentración de la solución, la fase móvil y la distancia de migración, el número y posición aproximado de R_f de las manchas, así como su fluorescencia y color; detección bajo lámpara de luz UV (254nm o 365nm) o visible.

-Espectroscopia infrarroja. Se basa en la absorción de la radiación infrarroja debida a las vibraciones de los diferentes grupos funcionales presentes en la molécula. El espectro se presenta en unidades de número de onda (cm^{-1}) en la abscisa y en unidades de absorbancia en la ordenada. Las señales características para cada grupo funcional están sujetas a desplazamientos en su posición, por las características de la estructura molecular. Para establecer la identidad de un compuesto se identifica su "huella digital", sin embargo, hay que tener cuidado ya que diferentes compuestos presentan señales muy similares y un mismo compuesto puede presentar señales diferentes.

3.3 El “guayacán” presente en los mercados.

El “Guayacán” es una planta medicinal cuya corteza y madera se recomienda para tratar enfermedades de las vías urinarias y la diabetes. Soto (1987) reporta que el Guayacán que se vende en la región de la cuenca del Río Balsas corresponde a *Guaiacum coulteri*. Legorreta (1989) fue quien indicó que en el mercado Sonora de la Ciudad de México y en otros mercados del país, se puede encontrar diferentes especies del género *Guaiacum*.

En la tabla 1 se observa las 24 especies más comunes que se conocen como “guayacan”. En la literatura, la especie que cuenta con más reportes con el nombre común de “guayacán” es *Guaiacum coulteri* (Zygophyllaceae) con 21 menciones, seguido por otras tres especies de *Guaiacum*: *G. sanctum* (14), *G. officinale* (6) y *G. palmeri* (5). También figuran *Sweetia panamensis* con 5 menciones y *Acosmium panamense* con 3 (Centeno 2007). Cabe destacar que estas dos últimas son sinónimos de la misma especie perteneciente a la familia Fabaceae, por lo tanto sería la tercera especie más citada (con un total de 8 menciones).

García (1992) ha reportado que más de 12 especies botánicas diferentes han sido identificadas como “guayacán”, lo cual puede poner en duda los resultados de estudios que sólo se hayan basado en la literatura, sin haber hecho el trabajo correspondiente para identificar botánicamente el material estudiado.

Centeno (2007) realizó la caracterización anatómica e histoquímica de muestras de madera y corteza que se encontraban en venta en los principales mercados de la Ciudad de México y se comparó con muestras auténticas de *G. coulteri* proveniente de la xiloteca MEXUw. Se encontró que ninguna muestra correspondió a *G. coulteri*; además se propuso que con base en la anatomía se podían distinguir tres grupos distintos de maderas. Dos de los cuales probablemente podrían corresponder a *Lonchocarpus sericeus* y el tercero al género *Citrus*. A partir de los resultados obtenidos, se sugirió que era necesario

realizar un estudio fitoquímico que proporcionara información de los compuestos de la muestra de mercado (Centeno- Betanzos *et. al.* 2013).

Tabla 1.

Especies identificadas como “guayacán” citadas en la literatura (Centeno, 2007).

Especie	Familia	No. De citas
1. <i>Guaiacum coulteri</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	21
2. <i>Guaiacum sanctum</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	14
3. <i>Guaiacum officinale</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	6
4. <i>Guaiacum palmeri</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	5
5. <i>Sweetia panamensis</i>	<i>Fabaceae</i>	5
6. <i>Porlieria angustifolia</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	3
7. <i>Acosmium panamense</i>	<i>Fabaceae</i>	3
8. <i>Guaiacum guatemalense</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	3
9. <i>Tabebuia guayacan</i>	<i>Bignoniaceae</i>	2
10. <i>Tabebuia crysantha</i>	<i>Bignoniaceae</i>	2
11. <i>Gyminda tomduzii</i>	<i>Celastraceae</i>	2
12. <i>Guaiacum planchoni</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	2
13. <i>Guaiacum sp.</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	2
14. <i>Lonchocarpus sericeus</i>	<i>Fabaceae</i>	2
15. <i>Conzattia multiflora</i>	<i>Fabaceae</i>	1
16. <i>Guaiacum unjugum</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	1
17. <i>Viscainoa geniculata</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	1
18. <i>Peltostigma pteleoides</i>	<i>Rutaceae</i>	1
19. <i>Solandra grandiflora</i>	<i>Solanaceae</i>	1
20. <i>Bursera copallifera</i>	<i>Burseraceae</i>	1
21. <i>Bursera fagaroides</i>	<i>Burseraceae</i>	1
22. <i>Bursera glabrifolia</i>	<i>Burseraceae</i>	1
23. <i>Acacia chaconensis</i>	<i>Fabaceae</i>	1
24. <i>Acacia sp.</i>	<i>Fabaceae</i>	1

3.4 *Guaiacum coulteri*

3.4.1 Taxonomía

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Orden Zygophyllales

Familia Zygophyllaceae

Género *Guaiacum* L.

Especies *Guaiacum coulteri* A. Gray

Sinónimias: *Guaiacum planchonii*, *Guaiacum parvifolium*, *Guaiacum palmeri* Vail

Nombres comunes:

- Español: guayacán, guajacum, leño de guayaco, palosanto, trimarindillo
- Francés: bois de gaïac, bois de vie, bois saint, gaïac, gayac
- Inglés: lignum-vitae, pockwood, wood of life, tree of life
- Alemán: Pockholz, Guaiacum
- Azteca: matlalquauitl
- Portugués: guaiaco, pau santo, lenha di guaiaco

3.4.2 Descripción Botánica

Árbol de 10 hasta 15m de altura, frecuentemente ramificado desde cerca de la base, copa dispersa. La corteza es de lisa a escamosa y delgada color gris amarillento a pardo grisácea hacia el interior. La madera es dura y de color pardo cremosa. Presenta hojas opuestas de color verde intenso, parapinnadas, de 1.5 a 3.5cm de largo, con 3-5 pares de folíolos sésiles de 0.8x 0.2 a 2.7 x 0.6cm. Presentan margen entero y ápice agudo o redondeado. Las flores son de un olor agradable, de color azul

añil a lila o morado (Fig. 1); de 2 a 3 cm de diámetro, zigomorfas. Presenta 5 pétalos de 1 a 1.7 cm de largo y 7 a 13 mm de ancho; 10 estambres de color amarillo. La etapa de floración es durante los meses de febrero a julio. Los frutos son cápsulas cartilaginosas de 1.5cm de largo y 2cm de ancho, de color amarillo hasta anaranjado rojizo cuando maduran, generalmente de marzo a octubre (Pennington & Sarukhán, 2005).



Figura 1. Ejemplar de *G. coulteri* del herbario MEXU (Colector: M. Rojas 17). Detalle de flores y fruto. Foto: Cortés, H y: Nava, A. CONABIO

Es originaria de México. Habita en climas cálido, semicálido y templado desde los 650 y los 1800 msnm. Asociada a bosque tropical caducifolio y subcaducifolio, así como a vegetación perturbada derivada de bosque tropical caducifolio sabana y manglar, además de bosque mesófilo de montaña bosque espinoso, bosques de encino y de pino. Tiene una distribución a lo largo del pacífico de México, desde el estado de Sonora hasta Oaxaca, aunque no resulta claro hasta qué latitud llega en América del Sur (Porter, 1963; Porter, 1972).

La sobreexplotación de su hábitat, la deforestación y la introducción de especies no nativas ha provocado la disminución de su distribución (Pennington, 1968). López, *et. al.*, (2011) proyectan que el hábitat disponible para *G. coulteri* declinará en un 30-50% en el año 2020 si las tasas estimadas de pérdida de hábitat permanecen igual.

3.4.3 Etnobotánica

Las especies del género *Guaiaacum* se caracterizan por tener una madera muy dura, por ello se considera muy importante económicamente al utilizarse en las construcciones como vigas y como poleas; con este uso se reporta que se exporta a países europeos, principalmente Alemania. También ha sido utilizada para combustible y artesanías. Mientras que las flores y la resina han sido usadas como agentes colorantes (Grow & Schwartzman, 2001a; Mabberley, 1997; CITES).

Tradicionalmente, en Michoacán se emplea para elaborar un jarabe con flores, y raíz de zarzaparrilla (*Smilax aristolochiifolia*), flores de sauco (*Sambucus mexicana*) y rosa de castilla (*Rosa centifolia*) para evitar las náuseas de embarazadas y las úlceras gástricas. Se menciona que esta planta tiene acción antipruriginosa y sirve para tomar baños medicinales, en este caso se prepara un cocimiento con las hojas y la corteza.

Actualmente se vende en los mercados para la diabetes y enfermedades de los riñones (García, 1992).

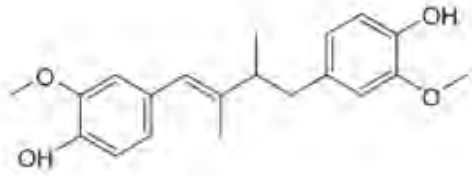
3.4.4 Química y Farmacología

El Atlas de la Medicina Tradicional Mexicana dice que las hojas y tallos de *G. coulteri* se ha detectado la presencia de alcaloides. También se ha reportado que tiene lignanos como el ácido guayarético (45), ácido guayácico (46), ácido guayacónico (47), así como saponinas (triterpenos glucosilados): guaianina (48) y la saponina guayácica (50) (Record, 1921; King, 1964) (Fig. 2).

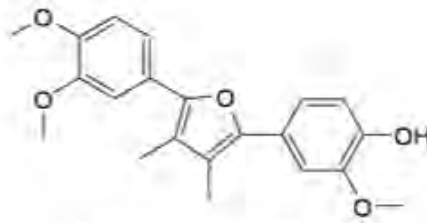
En otras especies del género *Guaiacum* se ha reportado la presencia de saponinas en la corteza y la estructura de la aglicona con un triterpeno fue establecida como un ácido oleanoico (49). Así también se han aislado lignanos espirocíclicos, llamadas ramonaninas, las cuales han mostrado tener actividad citotóxica contra líneas celulares de cáncer (Chávez, 2011; Saba, 2012).

Castillo *et. al.* (2009) reportaron que el extracto metanólico de *G. coulteri* muestra un alto nivel inhibitorio contra la bacteria *Helicobacter pylori*, el agente etiológico responsable de la gastritis tipo B y úlceras gástricas. En este mismo estudio se menciona que también se puede encontrar con el nombre de “Cuachalalate” blanco.

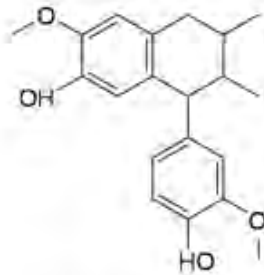
Román *et. al.* (1992) evaluaron la actividad hipoglucemiante de *G. coulteri* en conejos diabetizados con aloxano, sin embargo se requiere de la función del páncreas o presencia de insulina para una mayor actividad farmacológica. Posteriormente Alarcón *et. al.* (2003) confirmaron que había una disminución significativa en los picos de hiperglicemia y que en general los niveles glucémicos fueron menores que los observados en estudios control.



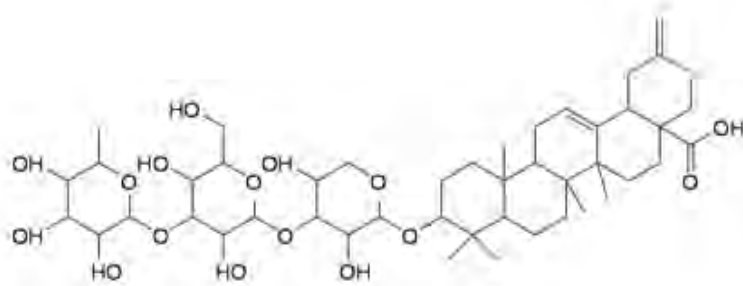
Ácido guayarético **45**



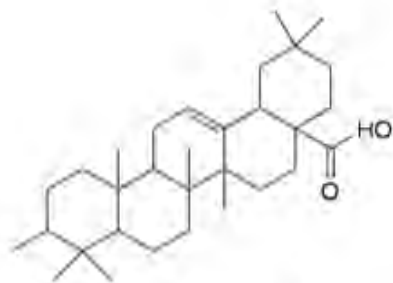
Ácido guayácico **46**



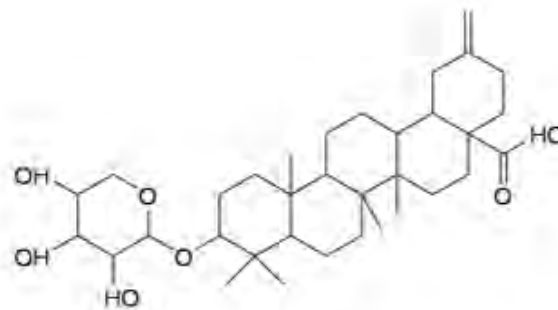
Ácido guayacónico **47**



Guaianina **48**



Ácido oleanoico **49**



Saponina guayácica **50**

Figura 2. Estructura química de compuestos reportados en especies del género *Guaiacum*.

3.5 *Lonchocarpus sericeus*

En 1823 se publicó la obra *Nova Genera et Species Plantarum*, en la cual se estableció el género *Lonchocarpus* por Kunth. Su nombre proviene de las raíces griegas λογχη- lanzar y καρπος- frutos, debido al aspecto de lanza de la legumbre (Pittier, 1917). El género *Lonchocarpus* se compone principalmente de arbustos y árboles. La sección *Lonchocarpus* se caracteriza por tener una corteza que exuda una resina de color rojo oscuro.

3.5.1 Taxonomía

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Orden Fabales

Familia Fabaceae

Género *Lonchocarpus* Kunth.

Subgénero *Lonchocarpus*

Sección *Lonchocarpus*

Especie *Lonchocarpus sericeus*

Sinonimias: *Lonchocarpus cruentus*, *L. formosanus*, *L. pyxidarius*,
Derris sericea, *Robinia sericea*

Nombre popular: Guayacán, Huayacán, Palo de sangre, balché, rosa morada, frijolillo.

3.5.2 Descripción Botánica

Lonchocarpus sericeus presenta un altura de hasta 40m, copa irregular y densa. La corteza externa de esta especie es lisa con pequeñas arrugas transversales y de color pardo verdosa; la corteza interna es quebradiza y presenta un color crema rosado. Hojas de color verde pálido dispuestas en espiral,

imparipinnadas de 12 a 25 cm de largo incluyendo el peciolo con 11 a 19 folíolos opuestos de 4 x 2 a 10 x 4 cm, con margen entero y ápice acuminado, base aguda a trunca. Flores papilionadas de 1.4 a 2 cm de color morado a lila, sostenidas por dos bracteólas doradas de 1 a 2 mm de largo (Fig. 3). Florece de fines de mayo a octubre. Los frutos se presentan en forma de vaina indehisciente, de 4 hasta 14 cm de largo y de 3 a 3.5 cm de ancho, de color pardo amarillento a verdes; presentan de 1 a 2 semillas de 1 a 2 cm de largo. La etapa de maduración va de septiembre a marzo (Sousa, 2005; Pennington & Sarukhán, 2005).



Figura 3. Ejemplar de herbario MEXU de *Lonchocarpus sericeus* (No. De ejemplar: 1002095). Foto: Cortés H. y Pérez, R. Smithsonian

Es importante mencionar que *Lonchocarpus sericeus* presenta una alternancia en el tamaño de sus flores en la distribución de norte a sur. Se distribuye principalmente en la vertiente del Golfo, zona de los Tuxtlas hasta el norte de Chiapas, la selva lacandona y Tabasco; se presenta una población en la zona de Tlaxiaco, Oaxaca. Forma parte de las selvas altas perennifolias y sbperennifolias; desde el nivel del mar hasta los 300m (Pennington & Sarukhán, 2005).

3.5.3 Etnobotánica

Los lacandones mayas utilizaban la corteza de *L. violaceus* para realizar ceremonias religiosas a su principal deidad “Hachäkyum”, quien él mismo les proporcionaba ese árbol, así como la forma en que debían fermentar la corteza y el protocolo del ritual. Esta bebida fermentada, de nombre “*balché*”, sólo es consumido en un contexto ritual (Cook, 2016). También se ha reportado que la corteza y hojas se utilizan como laxante, anticonvulsivo, estomacal, antiséptico, gastrointestinal, enfermedades de la piel, artritis y fiebre. La resina de las semillas es considerado como un veneno muy fuerte, por lo cual se ha utilizado como insecticida, aracnicida, y como veneno para peces (Quatrocchi, 2012).

3.5.4 Química y Farmacología

Los flavonoides que se han encontrado en el género *Lonchocarpus* son principalmente del tipo de las chalconas, flavavonas, auronas y estilbenos, además de los rotenoides. Algunos compuestos de importancia alimenticia que se han reportado en mayor abundancia para las semillas de *L. sericeus* (= *L. cruentus*) son: antocianinas, beta carotenoides, quercetina y vitamina E. Otros compuestos secundarios reportados de esta especie son: la lonchocarpina, derricina (**54**), isocordaína, 4-hidroxilonchocarpina y la flavanona lonchocarpina (Fig. 4) (Dixon, 1999; Oyedeji *et. al.* 2015). Abdullahi *et. al.* (2013) aislaron

lupeol, un triterpenoide pentacíclico, de una fracción de cloroformo a partir de extractos metanólicos de corteza de *L. sericeus*. Alencar *et. al.* (2005) probaron que las semillas de *L. sericeus* inhibían la respuesta inflamatoria y la colonización bacteriana ante una peritonitis infecciosa en ratas.

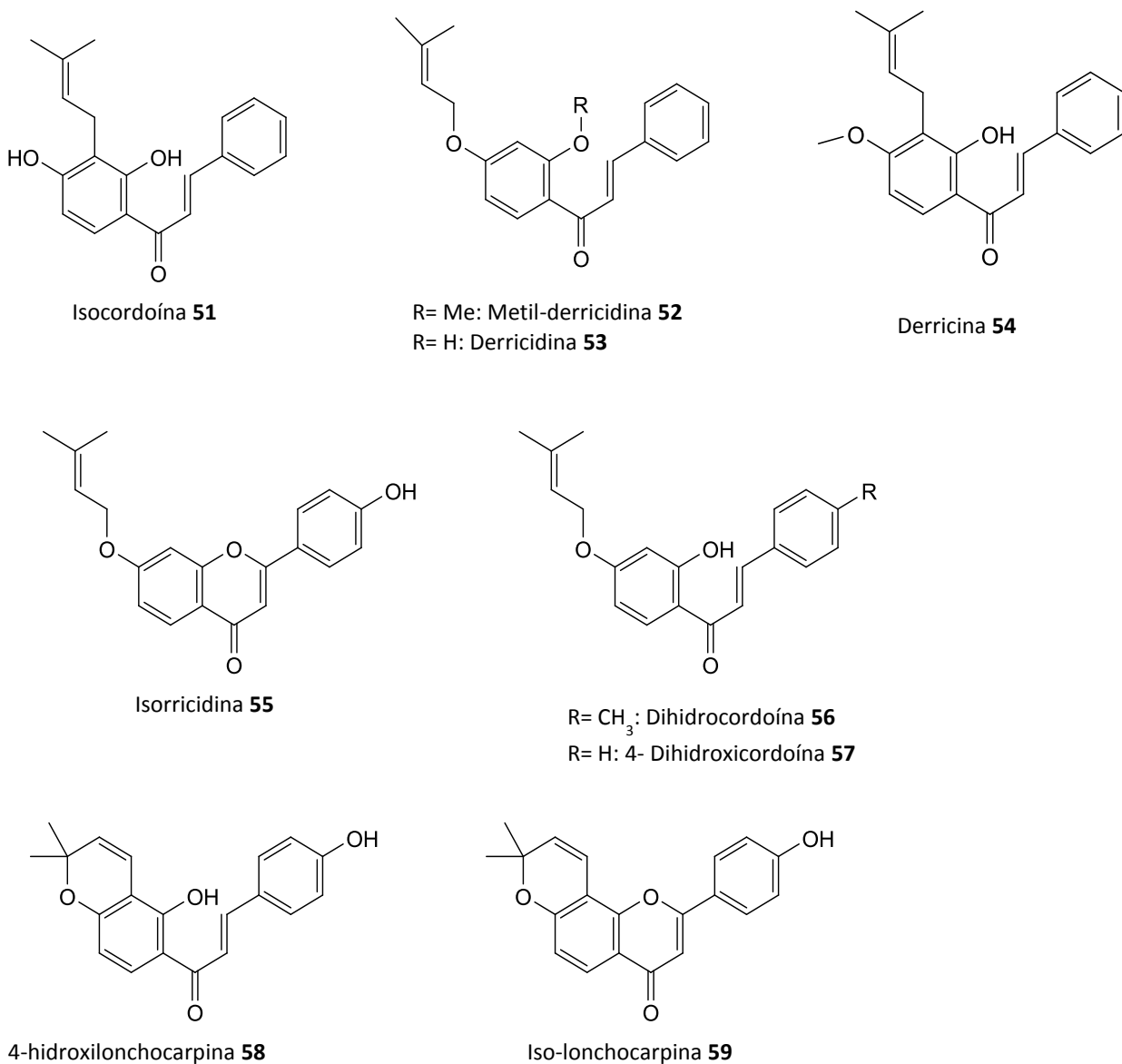


Figura 4. Compuestos reportados para *Lonchocarpus sericeus* (Sin. *L. cruentus*) (Delle Monache *et. al.*, 1978)

4. Objetivos

- Aislar e identificar los metabolitos secundarios presentes en la corteza de guayacán adquirida en el mercado de Sonora, Ciudad de México.
- Comparar dichos metabolitos secundarios identificados con aquellos presentes en *Guaiacum coulteri* (Zygophyllaceae), ya que esta especie ha sido reportada en venta en el mercado de Sonora.

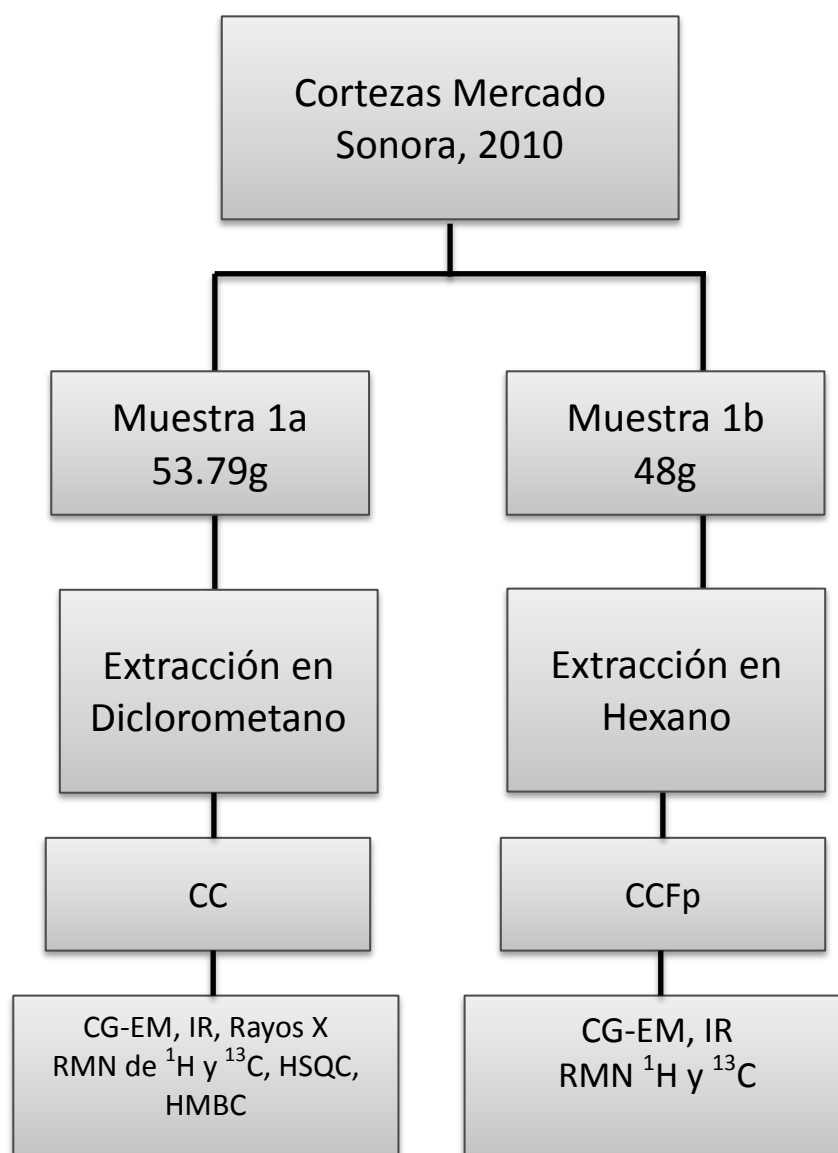
5. Hipótesis

Considerando que la mayor cantidad de reportes de muestras de corteza vendidas con el nombre de “guayacán” en el Mercado de Sonora corresponden a especies de *Guaiacum*, se espera que los metabolitos secundarios presentes en la muestra estudiada químicamente correspondan dicho género, en especial *G. coulterii*.

Alternativamente dicha muestra podría ser de *Lonchocarpus sericeus*, con base en estudios recientes de anatomía de muestras de guayacán de dicho mercado.

6. Materiales y métodos

En el 2010 se compró en el mercado de Sonora corteza bajo el nombre de “guayacán”, la cual se dividió en dos lotes. El primero pesó 53.79 g y se le denominó como muestra 1a. El segundo lote pesó 48 g y se le denominó muestra 1b. Cada muestra fue macerada por separado con disolventes diferentes y posteriormente fueron analizadas como se describe el siguiente diagrama y en los incisos subsecuentes.



Esquema general de la Metodología empleada en este trabajo.

6.1. Muestra 1a de corteza de guayacán

- I. Se pesó 53.79 g de la muestra 1a de corteza, se trituró y se extrajo con diclorometano.
- II. El extracto obtenido se sometió a la separación de sus componentes por Cromatografía en Columna (CC). Para ello, se utilizó una columna de vidrio de 2 cm de diámetro, empaquetada a 20cm de altura con 24g de Sílica Gel de 230-400 μ , obteniendo fracciones de 15ml. La elución se inició con hexano al 100% y en las eluciones posteriores se fue agregando gradualmente AcOEt hasta llegar a una proporción de AcOEt al 100%. En la figura 5 se puede observar el esquema de elución de las 237 fracciones obtenidas.

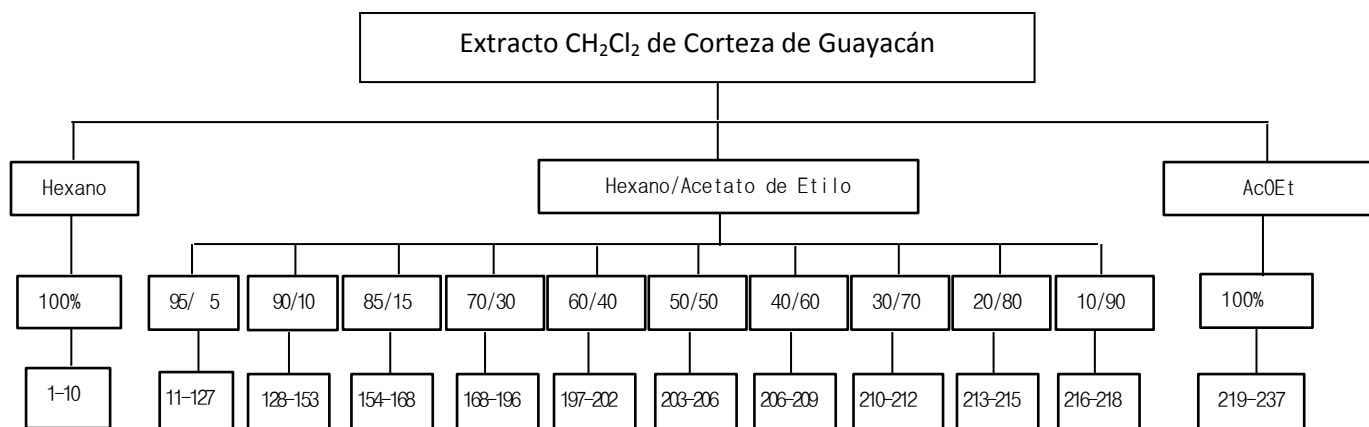


Figura 5. Cromatografía en Columna de extracto CH₂Cl₂ de la muestra 1a de corteza de Guayacán.

- III. Las fracciones obtenidas se analizaron por CCF usando cromatofolios de sílica gel 60 (Macherey-Nagel) con indicador de fluorescencia UV₂₅₄ de 20 x 20 cm de tamaño y 0.2 mm de espesor. Se aplicaron 5 μ l de extracto en cada placa con ayuda de un capilar graduado y se usó como fase móvil Hexano/Acetato de Etilo 8:2. Para observar los diferentes patrones de resolución de las placas, se revelaron las fracciones bajo luz ultravioleta

en onda corta y onda larga (254 y 365 nm, respectivamente). Posteriormente, todas las placas cromatográficas fueron reveladas con Sulfato Sérico.

- IV. Una vez analizadas las fracciones, se reunieron aquellas que se encontraran a una altura de Rf similares. (Tabla 3). A continuación se analizaron dichas fracciones por CCF, usando como fase móvil; Hexano/Acetato de Etilo (8:2).

1-15	118-129
16-18	130-138
19-21	139-148
22-25	149-165
26-28	166-176
29-34	177-179
35-41	180-188
42-51	188-205
52-66	206-209
67-71	210-213
72-80	214-225
81-117	226-237

Tabla 2. Reunión de las fracciones obtenidas a partir de la Cromatografía en Columna.

- V. Las fracciones reunidas de la 42-51 desarrolladas con Hexano 95% y Acetato de Etilo 5% se analizaron por los siguientes métodos espectroscópicos:
- Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear de ^1H y ^{13}C , HSQC y HMBC se obtuvieron en un equipo Bruker Avance III con una frecuencia de 400 MHz, usando CDCl_3 como disolvente.
 - Se utilizó el software MestRe Nova versión 8.0.2 para calcular las integraciones y las constantes de acoplamiento de los espectros de ^1H y ^{13}C y proponer la estructura del compuesto aislado.
 - Para la realización de la Espectrometría de Gases por Impacto Electrónico se utilizó un equipo Jeol, The AccuTOF JMS-T100LC.
 - Para la espectrometría de Infrarrojo se ocupó un Espectrofotómetro IR Bruker Tensor 27.
 - Para confirmar la estructura química se utilizó la técnica de difracción de Rayos X por monocristal. Se usó un difractómetro marca Bruker, modelo Smart Apex, equipado con radiación de Mo ($\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$), detector bidimensional CCD y dispositivo de baja temperatura).
- VI. Se realizó la búsqueda bibliográfica de la estructura propuesta en la base de datos Dictionary of Natural Products.

6.2 Muestra 1b de corteza de Guayacán.

- I. Se pesó 48 g de la muestra 1b de corteza, se trituró y se extrajo con hexano.
- II. El precipitado obtenido con este proceso se sometió a CCF usando cromatofolios de sílica gel 60 (Macherey-Nagel) con indicador de fluorescencia UV₂₅₄ de 20 x 20 cm de tamaño y 0.2mm de espesor, se aplicaron 5 µl de extracto en cada placa con ayuda de un capilar graduado. Para observar los diferentes patrones de resolución, las bandas obtenidas, se revelaron bajo luz UV a 254 y 365nm.
- III. Posteriormente, se sometió a la separación de sus componentes por Cromatografía en Capa Fina preparativa (CCFp), para ello se usó un cromatofolio con base de vidrio, sílica gel de 20 x 20cm. Se utilizó como fase móvil Hexano/Acetato de Etilo 8.5:1.5
- IV. Se obtuvieron cuatro bandas, estas se rasparon de la placa con una espátula y se colocaron en frascos diferentes. Posteriormente se filtró la sílica de cada una de las bandas para recuperar el compuesto.
- V. A continuación se les denominó dichas bandas como A, B, C y D; se analizaron por (CCF) y se revelaron con Sulfato Sérico. La banda D se analizó mediante los siguientes métodos espectroscópicos:
 - Para la realización de la Espectrometría de masas por Impacto Electrónico se utilizó un equipo Jeol, The AccuTOF JMS-T100LC.
 - Para la espectrometría de Infrarrojo se ocupó un Espectrofotómetro IR Brucker Tensor 27.
 - Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear de ¹H y ¹³C, HSQC y HMBC se obtuvieron en un equipo Bruker Avance III con una frecuencia de 400 MHz, usando CDCl₃ como disolvente
- VI. Se realizó la búsqueda bibliográfica en Dictionary of Natural Products para establecer si el compuesto aislado ya se encontraba reportado en la literatura.

7. Resultados

7.1 Muestra 1a de corteza de guayacán

De la cromatografía en columna se obtuvieron en total 237 fracciones, las cuales fueron analizadas en CCF y bajo luz UV (anexo 1). En la figura 6 se indica las fracciones reunidas por similitud de Rf, las cuales corresponden a las fracciones 19-21, 42-51 y a 81-117. Bajo luz UV se muestra absorbancia a onda corta (254nm) de los tres grupos de fracciones.

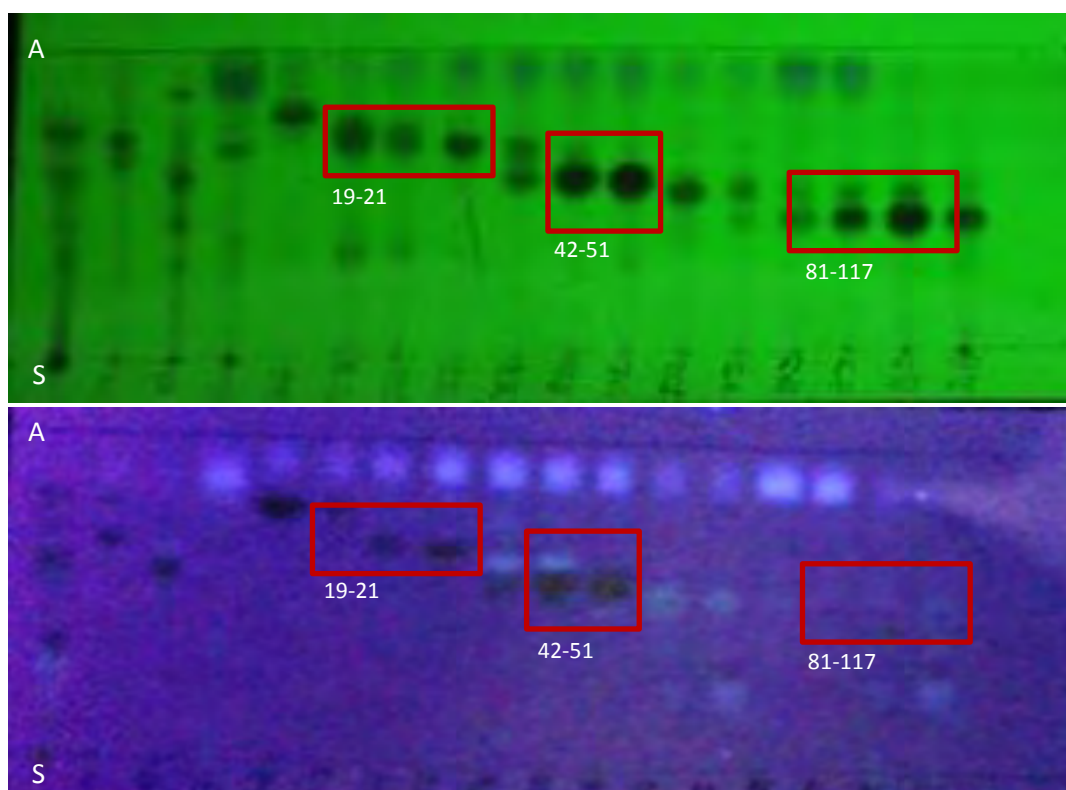


Figura 6. CCF bajo luz UV de las fracciones reunidas obtenidas por CC de la muestra 1a de corteza. **A:** 254nm. **B:** 365nm **S:** Extracto de diclorometano de la corteza de guayacán.

7.1.1 Fracciones 42-51.

7.1.1.1 Identificación de la 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)

De las fracciones 42-51 eluidas con hexano-acetato de etilo (95:5) se formaron espontáneamente cristales grandes y opacos de color amarillo claro (74.3mg). Este compuesto presentó un punto de fusión de 86° C y se obtuvo su esterodiagrama por difracción de rayos X (Fig. 7). En el anexo 2 se encuentran los datos del cristal analizado por ésta técnica. Por espectrometría de masas (impacto electrónico) mostró el ión molecular de 296, la cual corresponde a fórmula mínima de C₁₉H₂₀O₃. Su espectro de RMN ¹H y ¹³C indicó que se trataba de un nuevo compuesto de la familia de las estilipironas (Tabla 3). Esta estructura no se encontró registrada en Dictionary of Natural Products por lo que se propuso el nombre de chaktépirona (I) por el nombre popular de chakte y por pertenecer a este tipo de compuestos. El nombre químico es 3-(1'', 1''- dimetil-alil)-5,6- dehidrokawaína; mientras que el nombre dado por el programa ChemDraw corresponde a (E)-4-metoxi-3-(2-metilbut-3-en-2-il)-6-estiril-3, 6-dihidro-2H-piran-2-ona).

El espectro de infrarrojo (Fig. 8) mostró la presencia de bandas de intensidad media en 1693.61 cm⁻¹ correspondiente a un grupo carbonilo (C=O), las bandas en 3100, 1641 y 1522 cm⁻¹ indican grupos aromáticos y vinílicos, así como en 1241 cm⁻¹ correspondiente a C-O de un ester cíclico conjugado (anillo de lactona), 2928.60 cm⁻¹ correspondiente a grupos metilo (CH₃) y una banda y 2867 cm⁻¹ de intensidad media atribuida a grupos metileno (CH₂).

El espectro de masas (Fig. 9) por impacto electrónico del compuesto I mostró un ión molecular [M⁺] 296 lo cual resulta congruente con la fórmula mínima C₁₉H₂₀O₃ y con la estructura propuesta por difracción de rayos X- También se observó el pico base en m/z = 253, así como otros picos en con m/z 281 y 131.

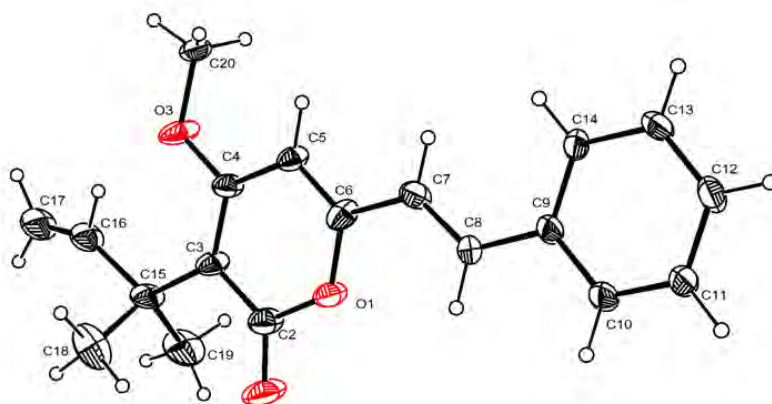


Figura 7. Estereodiagrama por difracción de rayos X de la 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)

Tabla 3. Características del 3-(1'', 1''- dimetil-alil)-5,6- dehidrokawaína o chaktépirona (I)

Peso Molecular	Punto de Fusión	Masa obtenida	
296	86° C	74.3mg	
Formula Química	Apariencia del compuesto		
$C_{19}H_{20}O_3$	Cristales grandes y opacos, coloro amarillo claro		

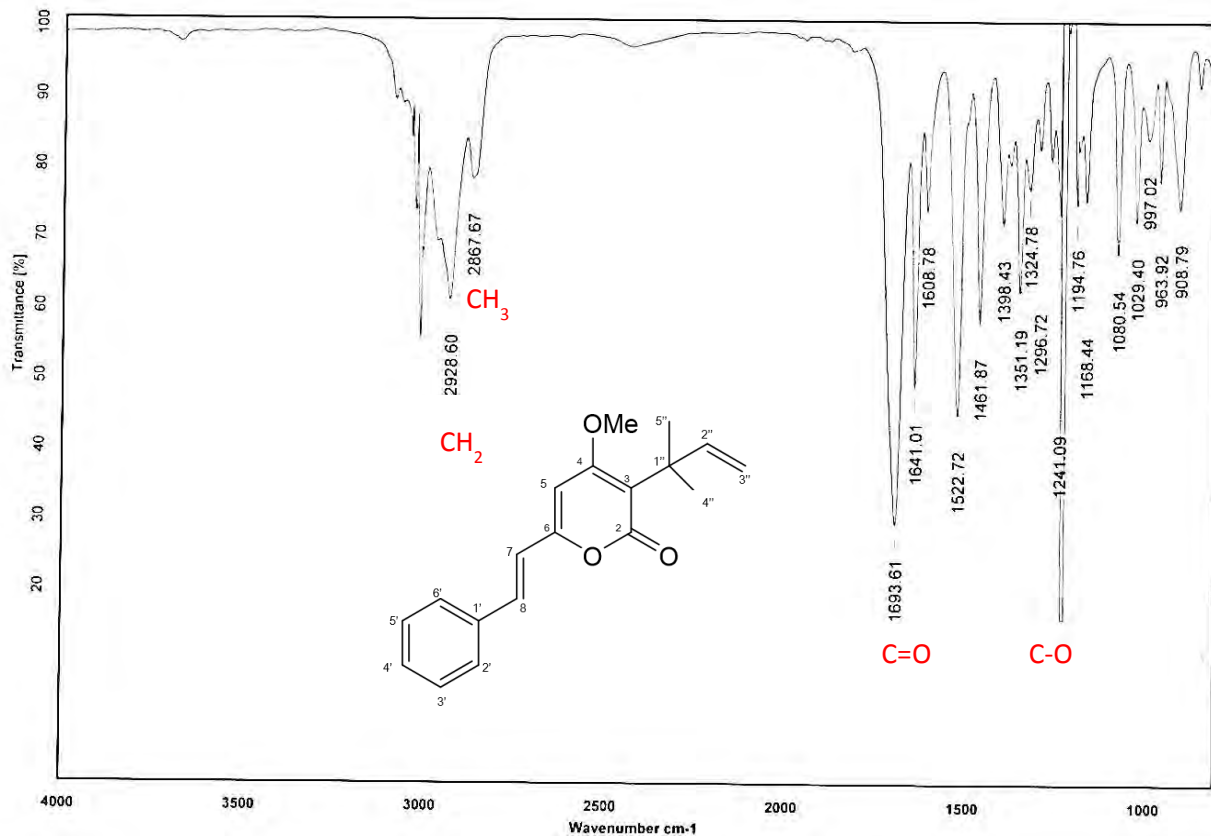


Figura 8. Espectro de Infrarrojo de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktepirona (I)

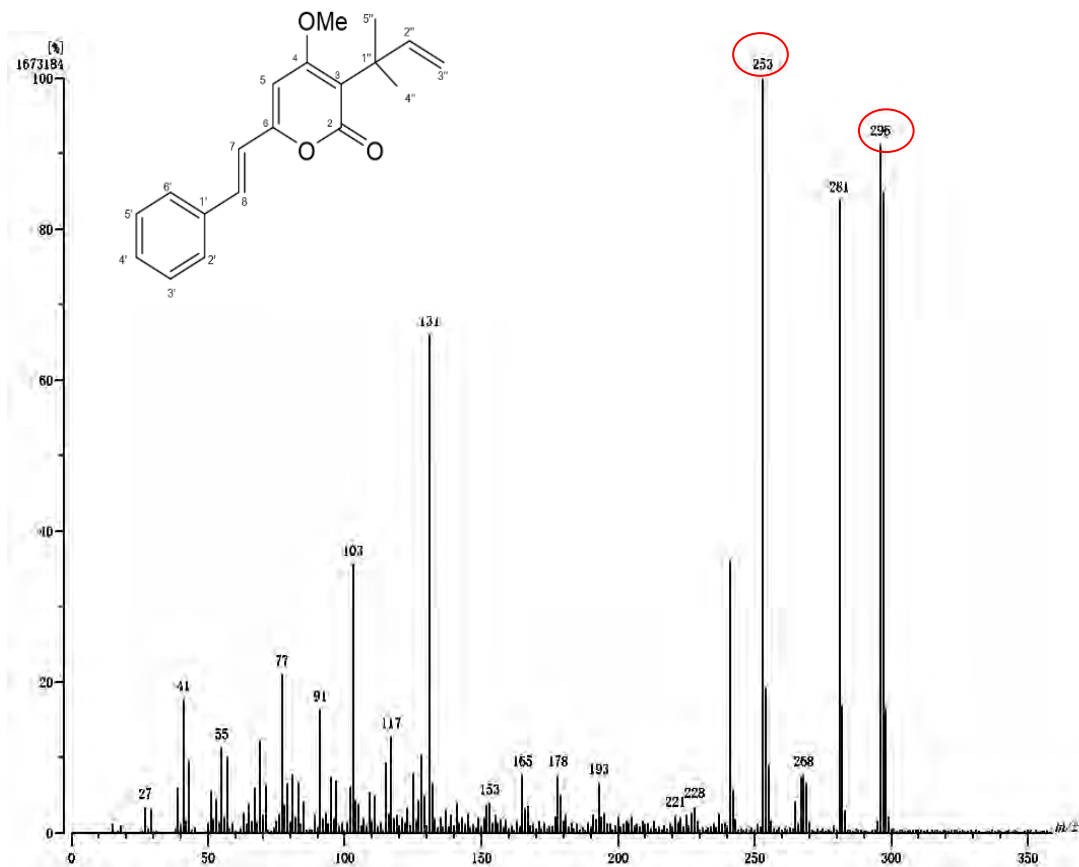


Figura 9. Cromatografía de Masas por Impacto Electrónico de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktepirona (I) [M^+] 296 y pico base de 253

7.1.1.2 **Resonancia Magnética Nuclear de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawáina o chaktépirona (I).**

En la tabla 4 se observa los desplazamientos químicos para cada carbono e hidrógeno con base en los espectros de RMN de protón y ^{13}C , así como heteronucleares $^{13}\text{C-H}$ a un enlace ^1J (HSQC) y a dos enlaces $^{13}\text{C-C-H}^2\text{J}$ y tres enlaces $^{13}\text{C-C-C-H}^3\text{J}$ (HMBC).

En el Espectro de Protón se pueden observar los desplazamientos químicos para cada uno de los hidrógenos presentes en el compuesto I (Fig.10). A campo alto se observa en $\delta=1.50$ ppm un singulete que integra para seis hidrógenos, estos corresponden a los grupos metilo de las posiciones 4'' y 5''. Se observa en $\delta=3.81$ ppm otro singulete que integra para los tres hidrógenos del grupo metoxi en la posición 4. También, se observan dos señales doble de dobles en $\delta=4.86$ y 4.93 ppm, cada una integra para cada uno de los dos hidrógenos del grupo metileno de la posición 3''.

A campo más bajo, se observa a $\delta=6.13$ ppm un doble de dobles que integran para el hidrógeno en la posición 2''. Un singulete para H-5 se observa en $\delta=6.58$ ppm. Se observa un doblete que integra para un hidrógeno vinílico en la posición 7. Posteriormente, en campo bajo de todo el espectro, se observa un multiplete en $\delta=7.33$ ppm que integra para un solo hidrógeno en la posición 4'. En $\delta=7.37$ ppm se observa un multiplete que integra para los hidrógenos de las posiciones 3' y 5', los cuales son equivalentes. Finalmente, en $\delta=7.48$ ppm se observa un multiplete que integra para 3 hidrógenos de las posiciones 8, 2' y 6' estos dos últimos son equivalentes.

En el Espectro de Resonancia Magnética Nuclear de ^{13}C del compuesto (I) (Fig. 11) se observaron señales para 19 carbonos, la mayoría aromáticos o vinílicos. Se observó la presencia de los carbonos 1'-6' de un anillo aromático con desplazamiento químicos entre $\delta=125$ y 140 ppm y dos metinos vinílicos C-6 y C-7 en $\delta=157.84$ y 118.86 ppm. Este último está unido a una pirona, cuyo carbonilo (C-1) se observó en 166.71 y los carbonos 2-6 en la zona de carbonos vinílicos. Esta pirona está substituída en el carbono 4 con un grupo metoxi, el cual se observa en $\delta=56.04$ ppm. La pirona también está substituída en la posición C-3 por

una cadena 3-(1'', 1''- dimetil-alil) de 5 átomos de carbono. Dicha cadena se evidencio de la siguiente manera. Los carbonos más protegidos son el carbono cuaternario C-1'' con un desplazamiento de $\delta=29.89$ ppm, así como los dos metilos en 4'' y 5'' en $\delta=27.91$ ppm, estos dos últimos son equivalentes. Los carbonos 2'' y 3'' se observaron en $\delta= 148.74$ y 108.21 ppm. La figura 12 muestra el espectro de DEPT 90, el cual únicamente muestra los desplazamientos de grupos CH, los carbonos aquí presentes son 5, 6 y 8 correspondientes a la lactona; los carbonos correspondientes al anillo aromático 1'-6' y los carbonos correspondientes a la cadena 3-(1'',1''-dimetil-alil)2'', 4'' y 5''. En la figura 13 se observa el espectro de DEPT 135 donde se muestran en el eje positivo los grupos CH antes mencionados, más el grupo metoxi y en el eje negativo, se encuentra el C-3''.

En la figura 14 se observa el espectro de HSQC, a partir del cual realizó la correspondencia entre cada hidrogeno con su respectivo carbono El espectro de HMBC permitió ver los carbonos relacionados a dos o tres enlaces con los hidrógenos (Fig. 15).

En el Anexo 6 se encuentra la comparación de los desplazamientos químicos de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína con estructuras similares de la familia de las estilipironas previamente reportadas en la literatura.

Tabla 4. Desplazamientos químicos y asignación con base en Espectro de RMN de ^1H , ^{13}C y HMBC 3-(1'', 1'''- dimetilalil)-5,6- dehidrokawaína o chaktépirona (I).

Posición	H (J, Hz)	^1C	HMBC
1			-
2		166.71	-
3		112.4	-
4		162.76	-
5	6.06 s 1h	96.89	C(2), C(3), C(6)
6		135.55	
7	6.56 d 1h	157.84	C(4), C(5), C(7)
8	7.47 m 1h	118.86	C(6)
1'		137.7	
2'	7.47 m 1h	127.58	C(8), C(2'), C(6'), C(3'), C(4')
3'	7.35 t 1h	129.08	C(3), C(3')
4'	7.30 t 1h	129.50	C(1'), C(2'), C(6')
5'	7.35 t 1h	129.08	C(3')
6'	7.47 m 1h	127.58	C(8), C(2'), C(6'), C(4'), C(5')
1''		29.89	
2''	6.17 dd 1H	148.74	C(3), C(4''), C(5'')
3''a	4.91 dd 1h	108.21	C(2''), C(4''), C(5'')
3''b	4.85 dd 1h	108.21	C(2'')
4''	1.48 s 3H	27.91	C(2), C(3), C(1''), C(2''), C(3'')
5''	1.48 s 3 H	27.91	C(2), C(3), C(1''), C(2''), C(3'')
OMe	3.81 s 3H	56.04	

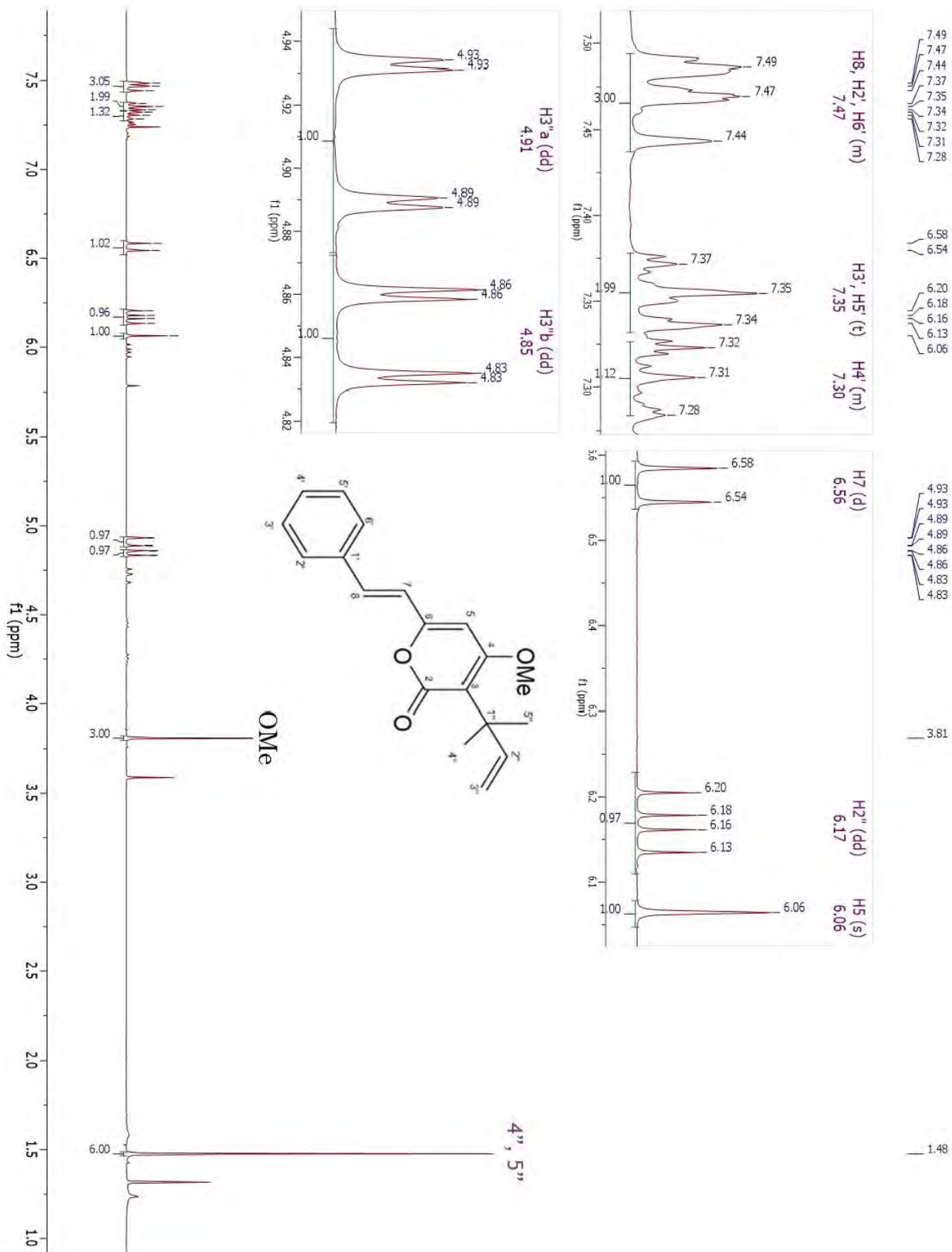


Figura 10. Espectro general de RMN ¹H de 3-(1',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I). 400 MHz, CDCl₃/ TMS

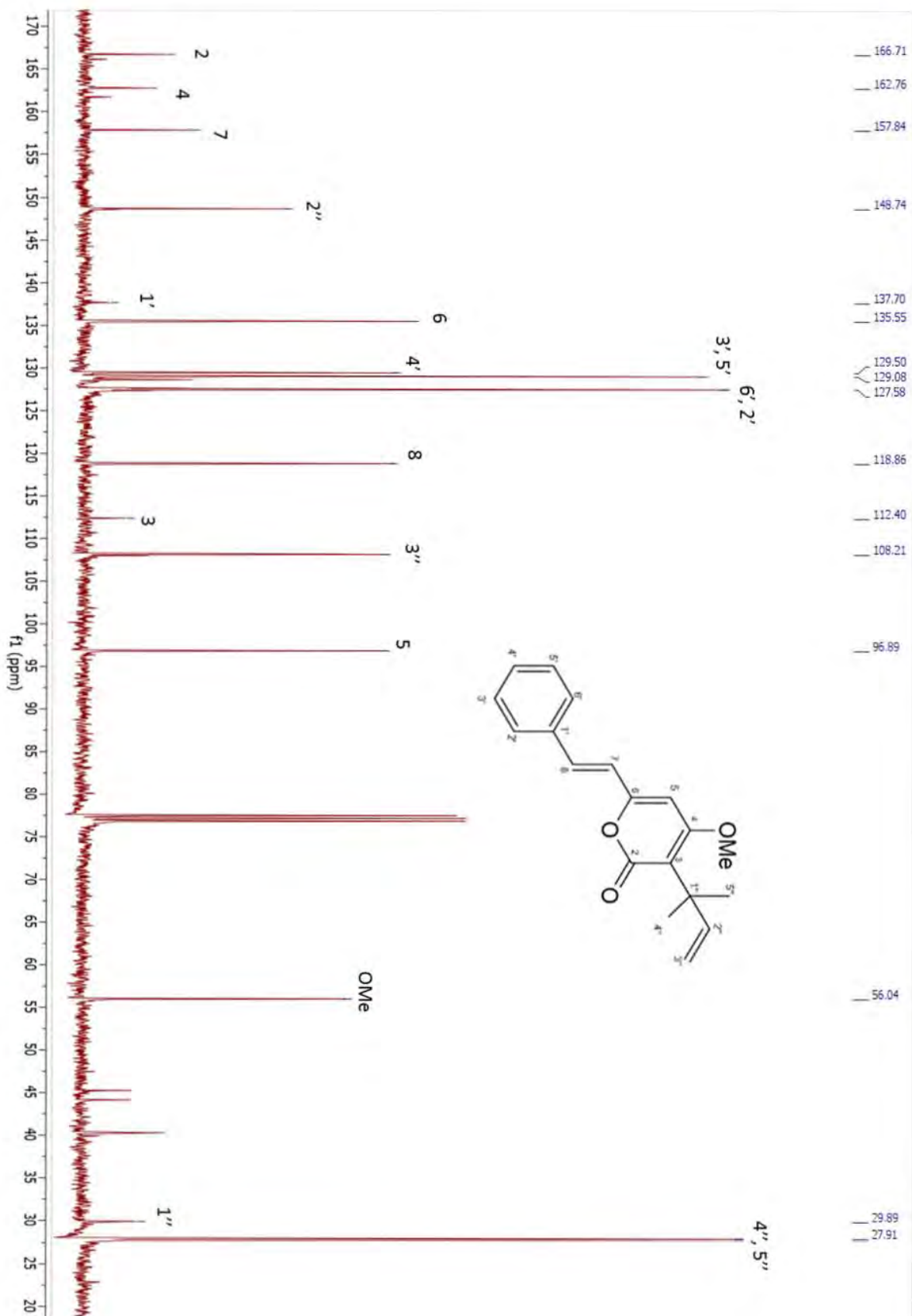


Figura 11. Espectro de RMN ^{13}C de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktéprona (I).

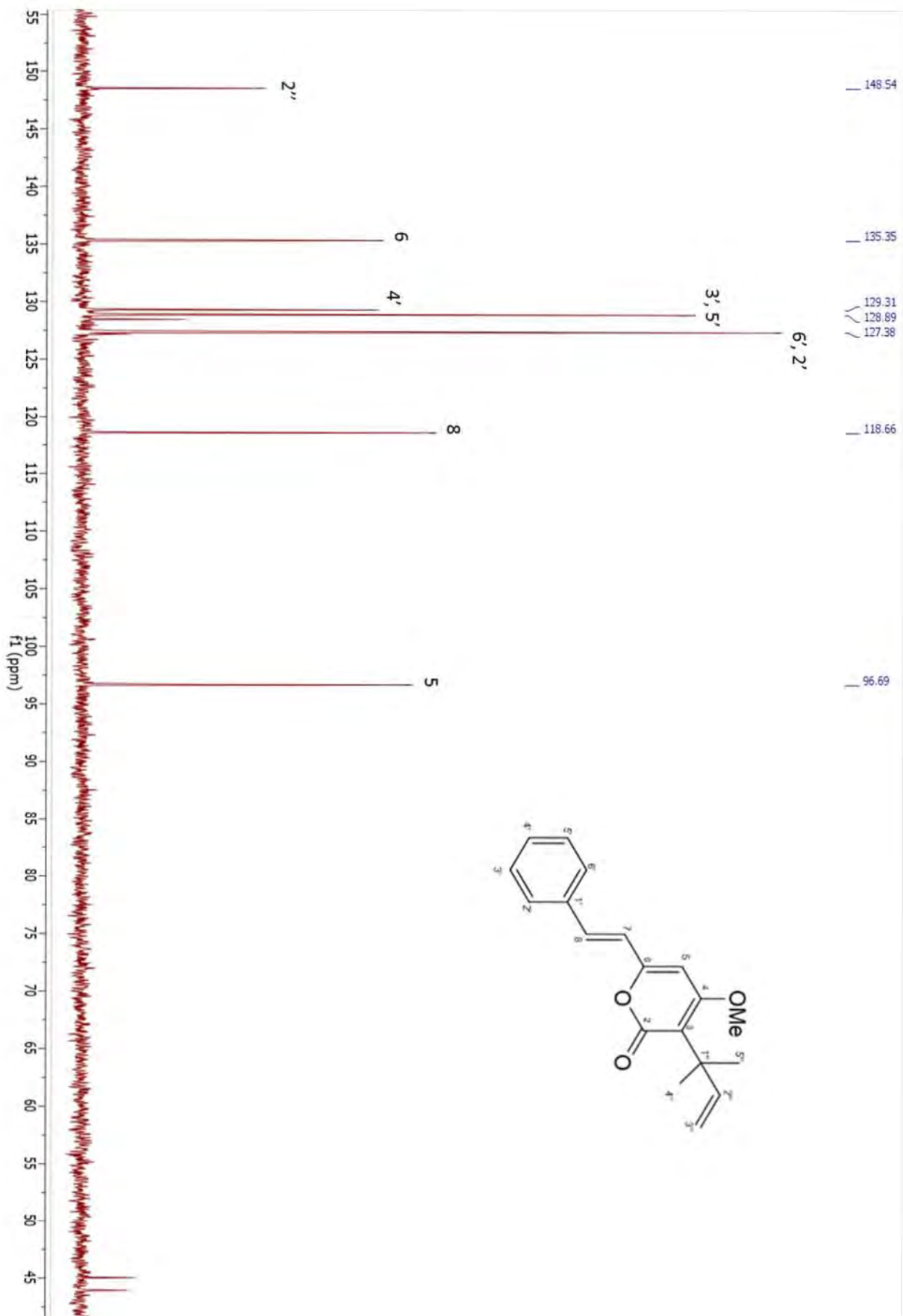


Figura 12. Espectro de DEPT 90 de 3-(1',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I).

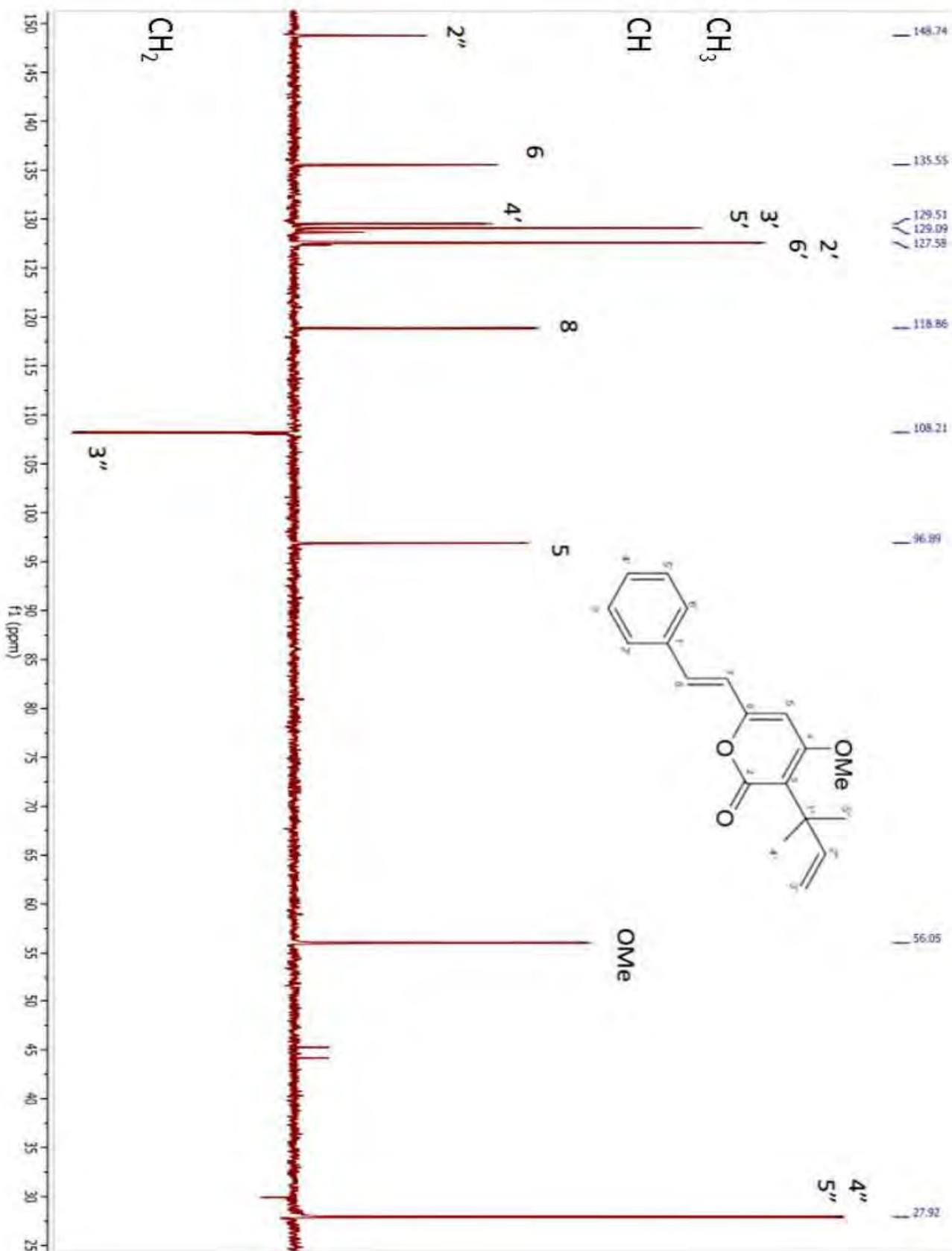


Figura 13. Espectro de DEPT 135 de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktepirona (I).

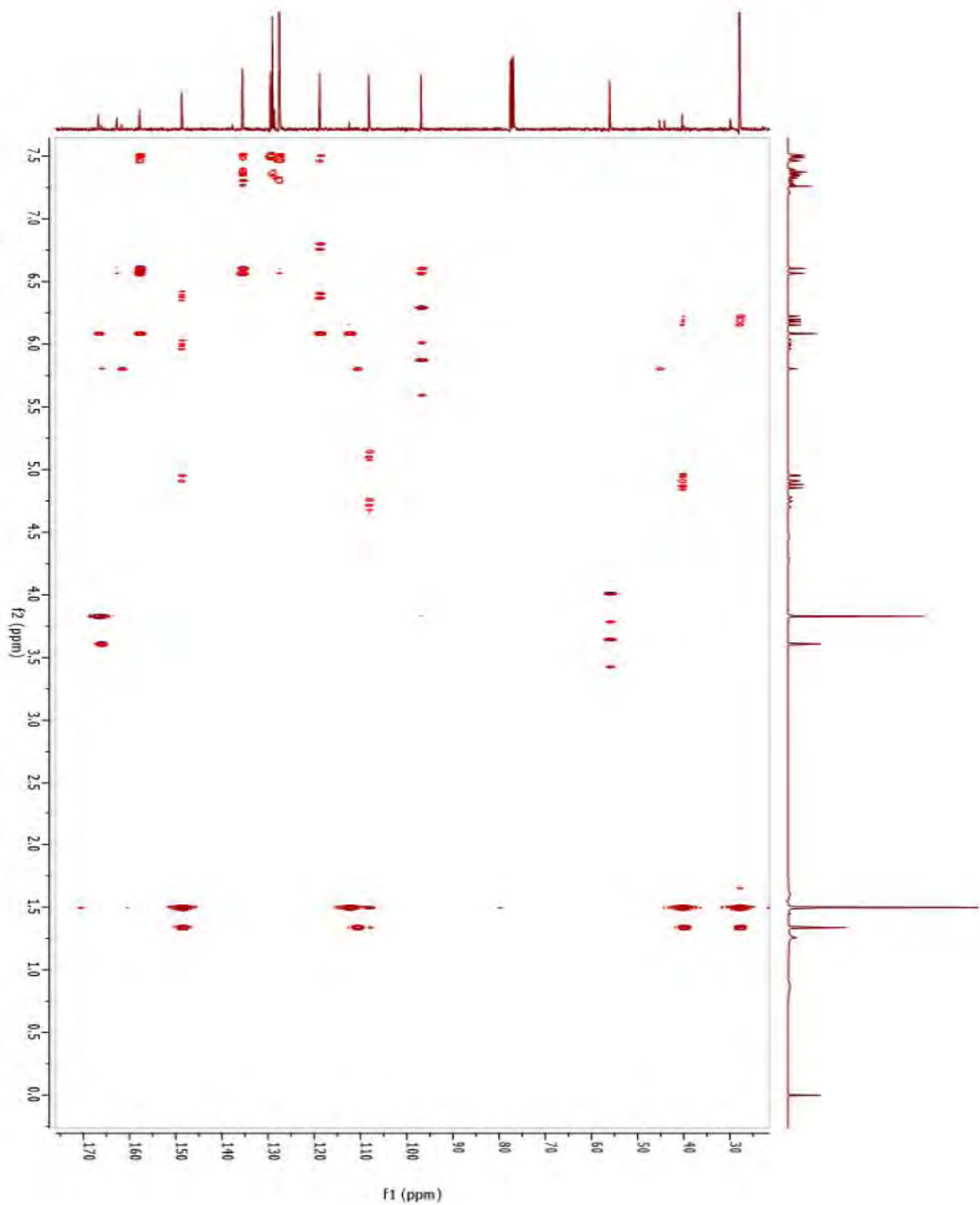


Figura 15. Espectro de HMBC de 3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I).

7.1.2 Fracción 19-21.

Identificación de (E)-6-(2,4-dimetoxiestiril)-4-metoxi-2H-piran-2-ona (II).

En la fracción 19-21 se observó la formación de unos pequeños cristales alargados de color amarillo brillantes traslúcidos (19.3mg). En la figura 16 se presenta el espectro de RMN ^1H indicando que se trata de una mezcla de estilipironas, donde el compuesto mayoritario fue la (E)-6-(2,4-dimetoxiestiril)-4-metoxi-2H-piran-2-ona (II) (Fig. 17).

A continuación se describen los datos espectroscópicos de RMN de protón del compuesto (II). ^1H RMN, 300 MHz/ CDCl_3 , δ , ppm): 7.60 *d*, $J=18$ Hz, 1H, H-8; 7.42 *m*, 4H; 7.26 *s*, CHCl_3 ; 6.80 *d*, $J=15$ Hz, 1H (H-7); 5.30 *s*, 2H, CH_2Cl_2 ; 3.78 *s*, 3H, OMe; 3.76 *s*, 3H, OMe; 3.72 *s*, 3H, OMe. (Fig. 19)

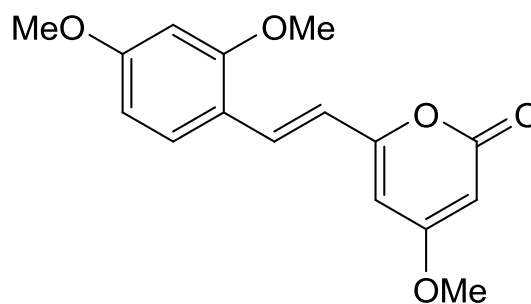


Figura 17. Estructura propuesta para la fracción 19-21 (II)

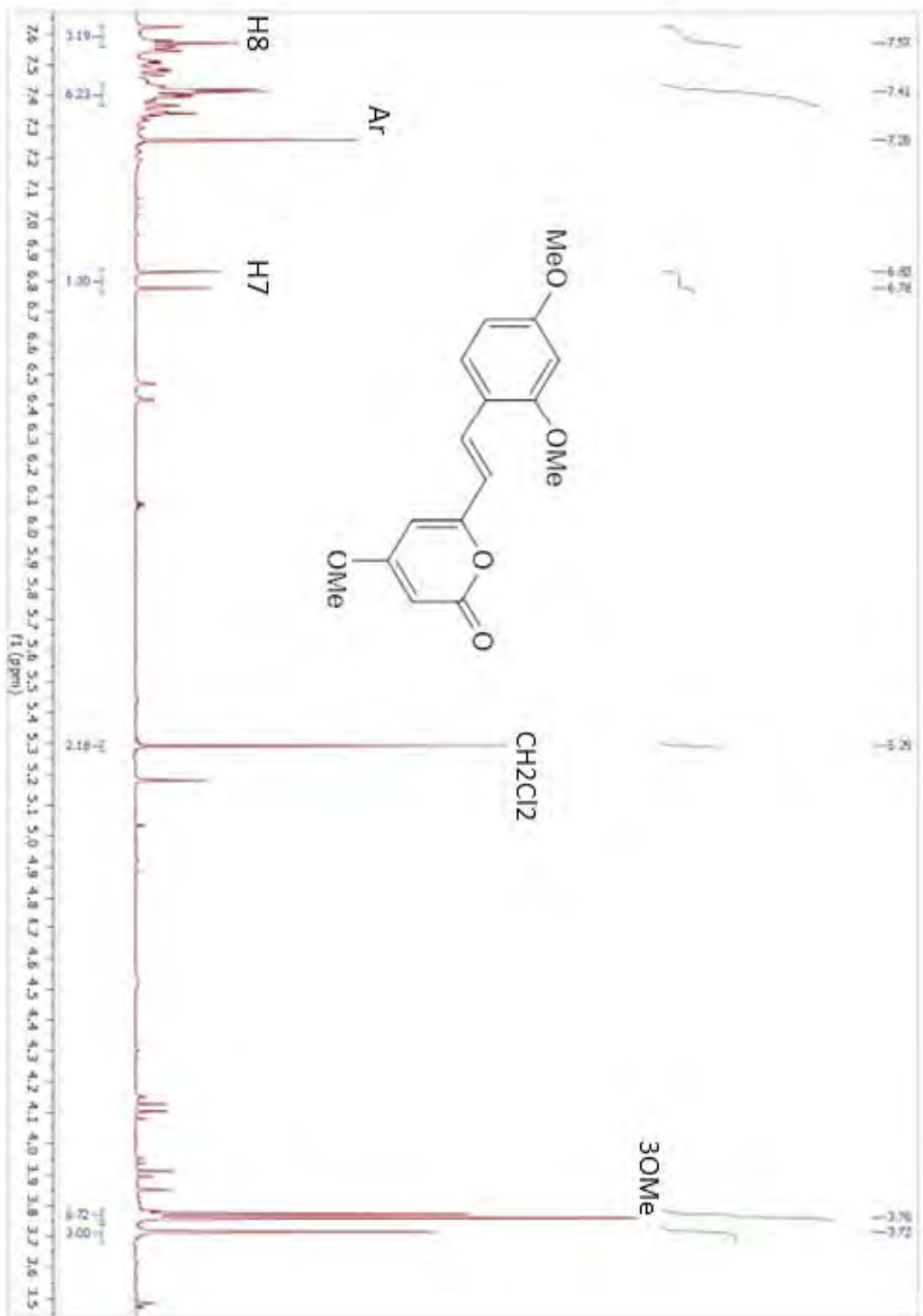


Figura 16. Espectro de Resonancia Magnética Nuclear de Protón de la fracción 19-21 (II).

7.1.3 Fracción 81-117.

Identificación de (E)-6-(4-hidroxiestiril)-4-metoxi-3-3-metilbut-2-en-1-il)-2H-piran-2-ona (III).

El espectro de Resonancia Magnética Nuclear de Protón (Fig.18) mostró la presencia de un grupo metilo en 3.81 ppm (3H) y un anillo aromático en 7.32 ppm, así como dos hidrógenos vinílicos en 6.63 ppm (1H) y en 6.26 ppm (1H) ambas con $J = 15\text{Hz}$, indicando que se encuentran en posición trans, así como una señal simple para un hidrogeno vinílico en 6.11 ppm característico del H-5 del anillo de una pirona. También se observan las señales para un grupo γ,γ -dimetilalilo en 5,08 ddd (1H), 2.62 ppm, d (2H) y 1.72 s y 1.63 s, ambas para 3H cada una, indicativas de 2 grupos metilos. El espectro de ^{13}C (Fig. 19) mostró señales para 19 carbonos; la presencia de un anillo aromático entre 115 y 140 ppm; y grupos metilo entre 15 y 25 ppm. En la figura 20 se observa el espectro de DEPT 90, el cual muestra señales para CH, correspondientes al anillo aromático. El espectro de DEPT 135 (Fig. 21), presenta 11 señales en fase positiva, tres de ellas para CH_3 y una en fase negativa para grupo CH_2 . Los datos anteriores permitieron proponer que este compuesto es una estirilpirona cuya estructura probable es III $\text{C}_{19}\text{H}_{20}\text{O}_4$ (pm=312) (Fig. 22). Además en el espectro de masas por técnica DART^+ se observa un pico base de 253 (Fig.23). En los espectros de resonancia magnética nuclear de H y C, además se observaron señales para un compuesto minoritario, de tipo alcano o ester de un ácido graso. El nombre dado por el programa ChemDraw corresponde a (E)-6-(4-hidroxiestiril)-4-metoxi-3-3-metilbut-2-en-1-il)-2H-piran-2-ona (III).

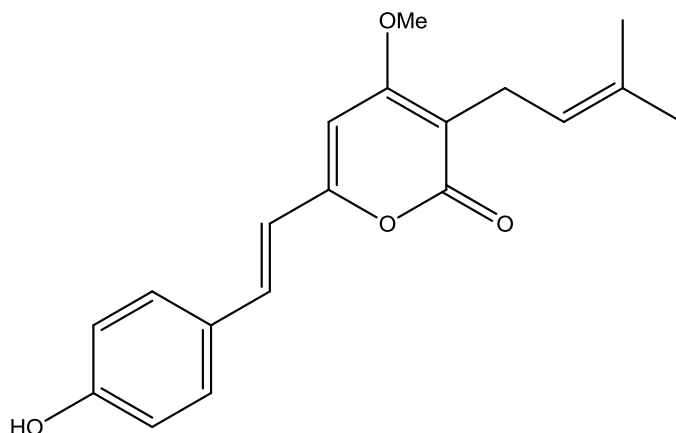


Figura 22. Estructura propuesta para la fracción 81-117 (III)

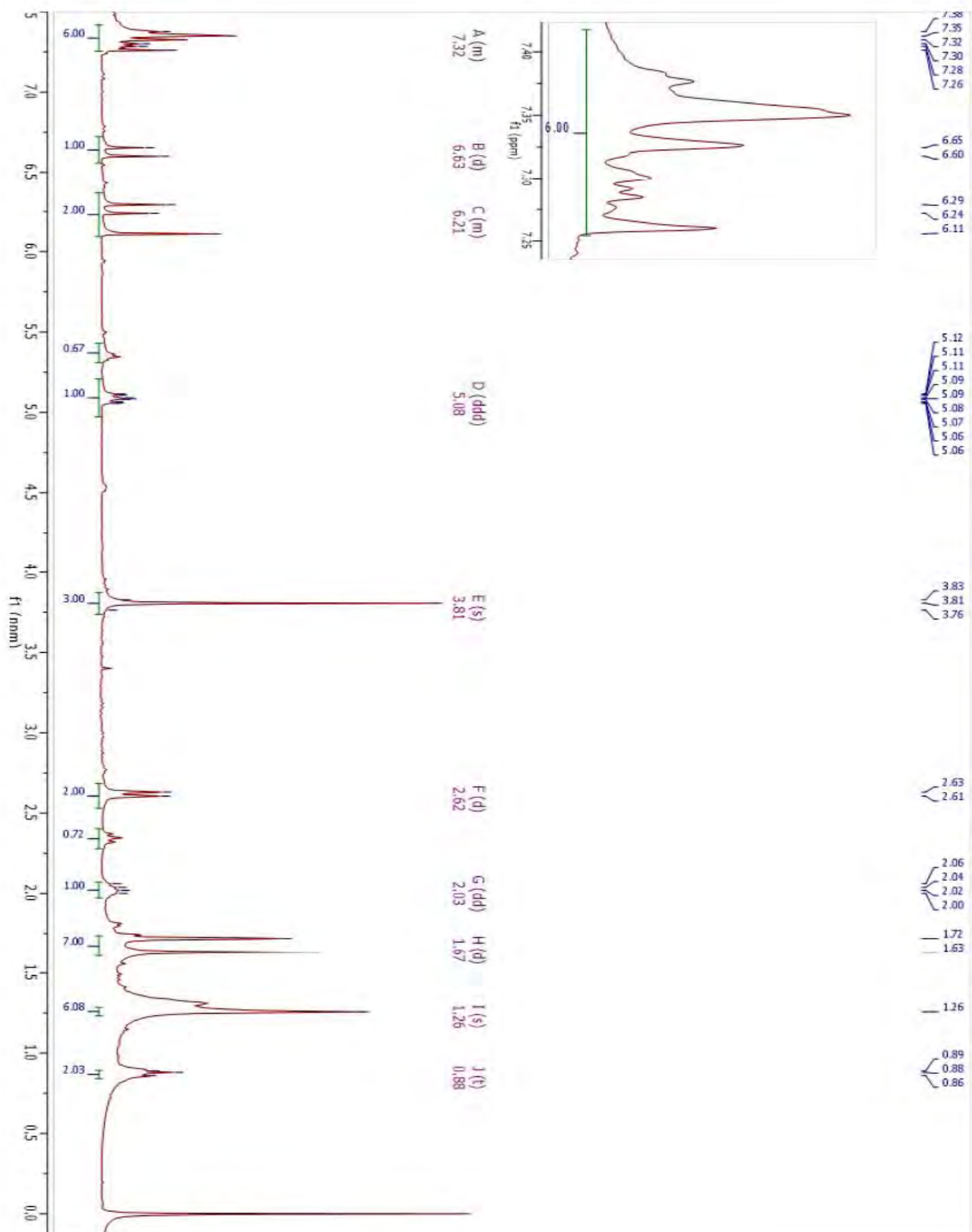


Figura 18. Espectro de protón de la fracción 81-117 (III).

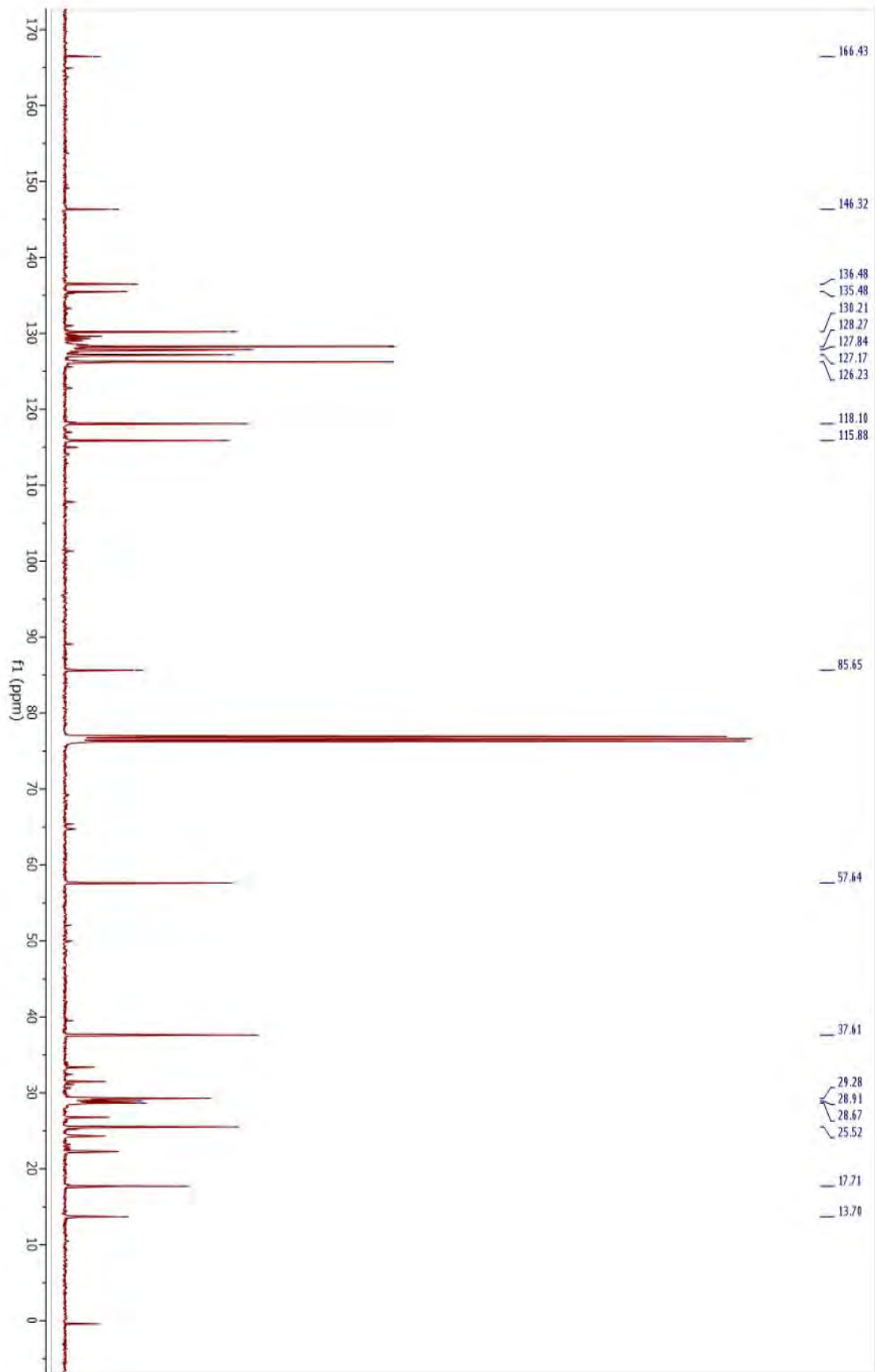


Figura 19. Espectro RMN ^{13}C de la fracción 81-117 (III).

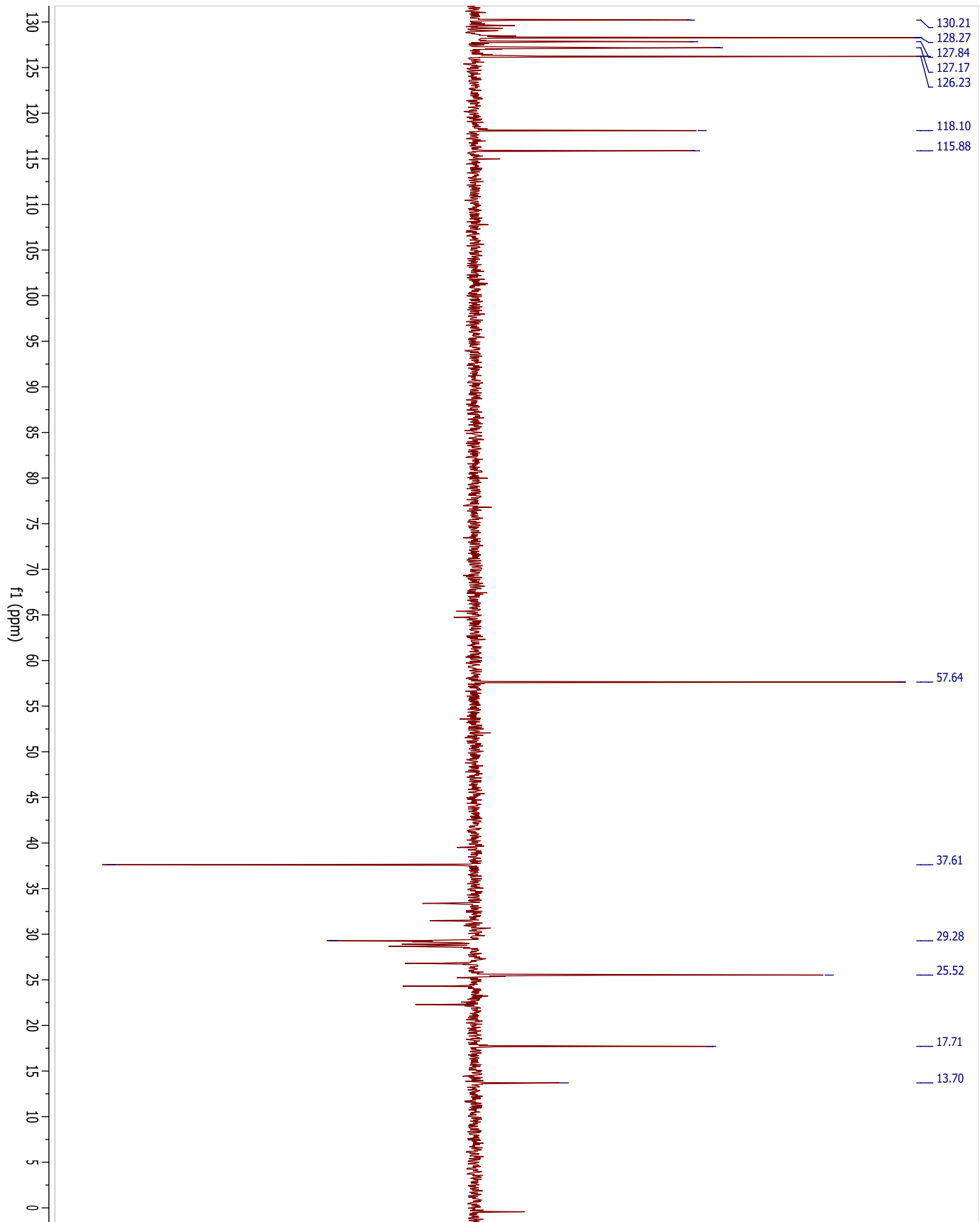


Figura 20. Espectro DEPT 90 de la fracción 81-117 (III).

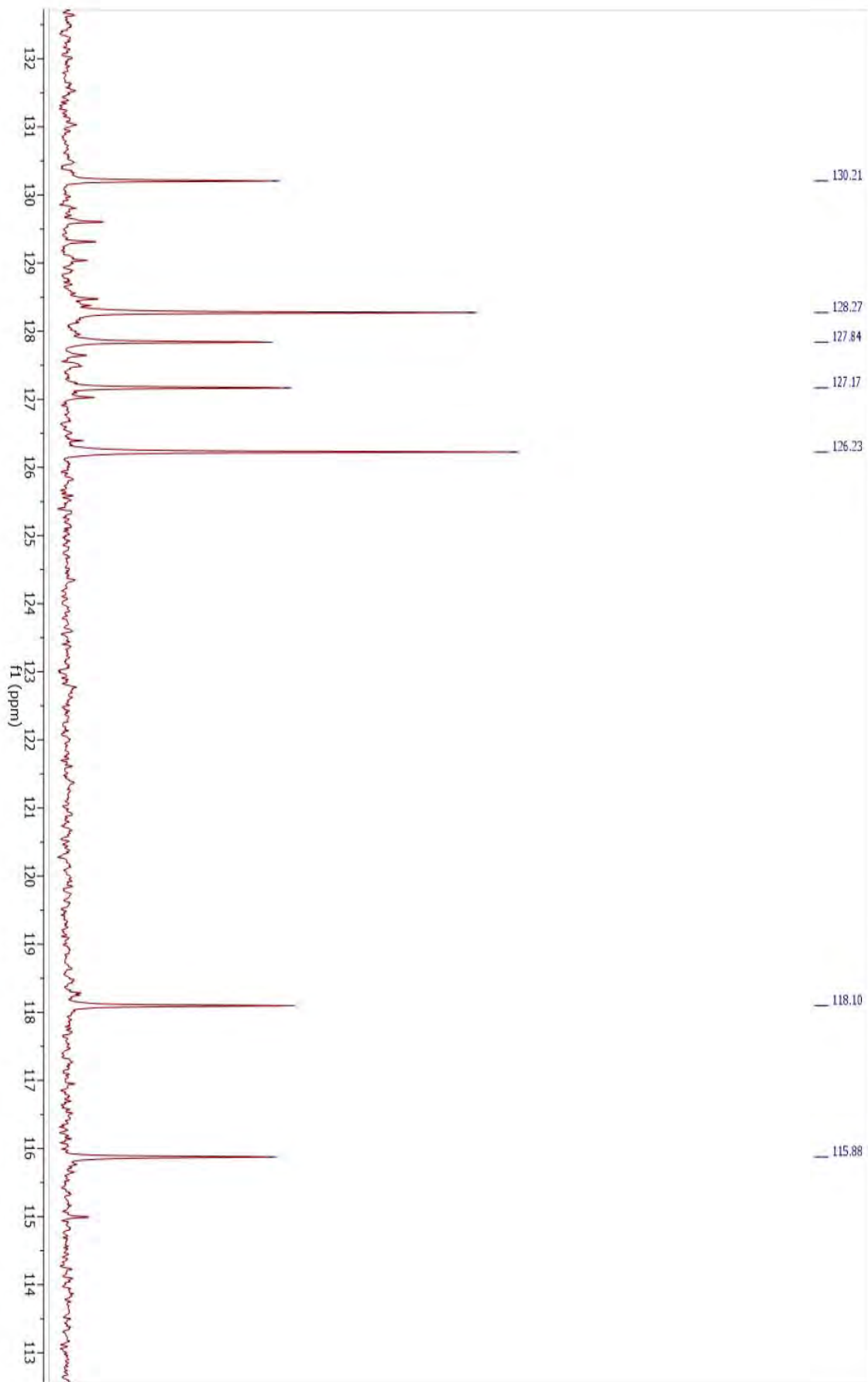


Figura 21. Espectro DEPT 135 de la fracción 81-117(III)

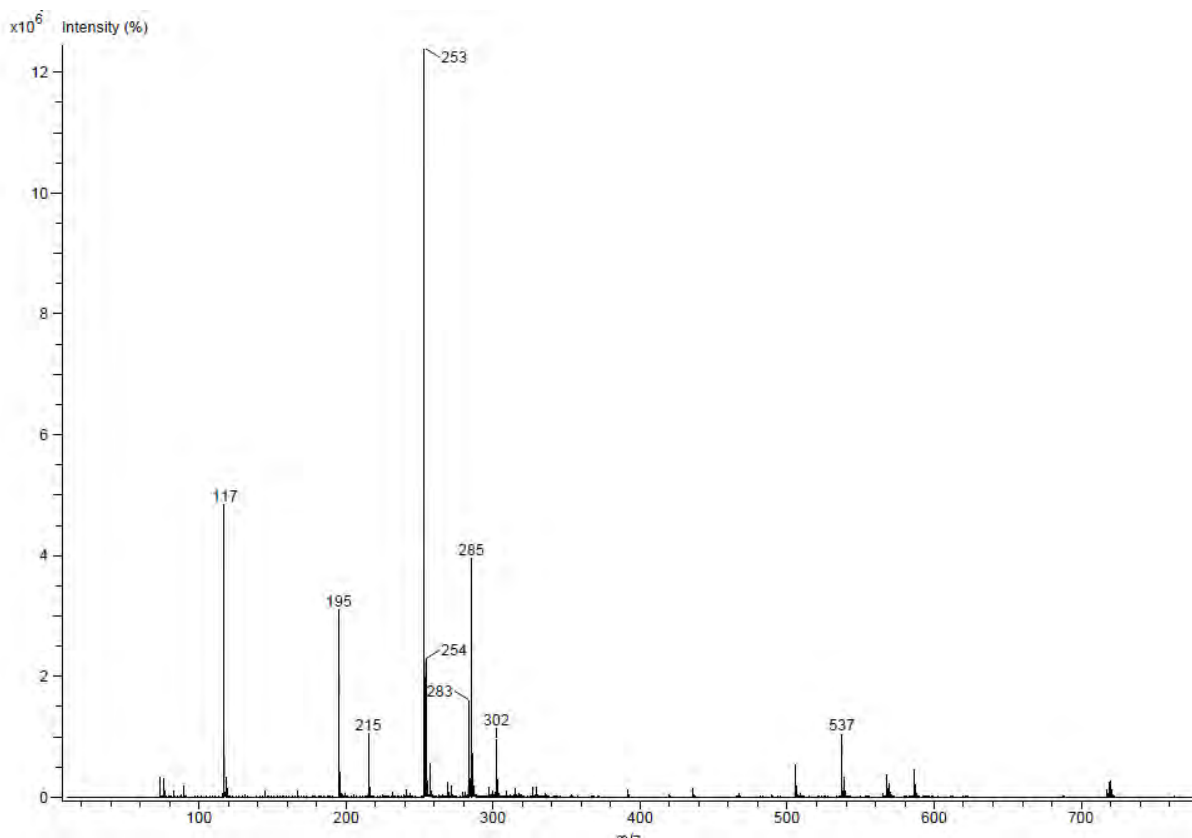


Figura 23. Cromatografía de Masas por DART⁺ de la fracción 81-117 (III).

7.2 Muestra 1b de corteza de “Guayacán”.

La MUESTRA 1b de corteza de “guayacán” adquirida en el mercado de Sonora en 2010, se extrajo con hexano y se obtuvo un sólido de color amarillo brillante. Este sólido fue analizado por Cromatografía en Capa Fina usando como fase móvil Hexano/Acetato de Etilo 8.2, bajo luz UV se observó fluorescencia a 365 nm y una mancha oscura 254 nm (Fig.24) .

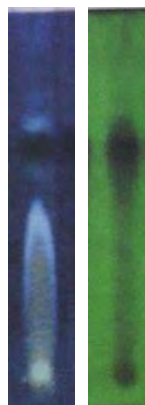
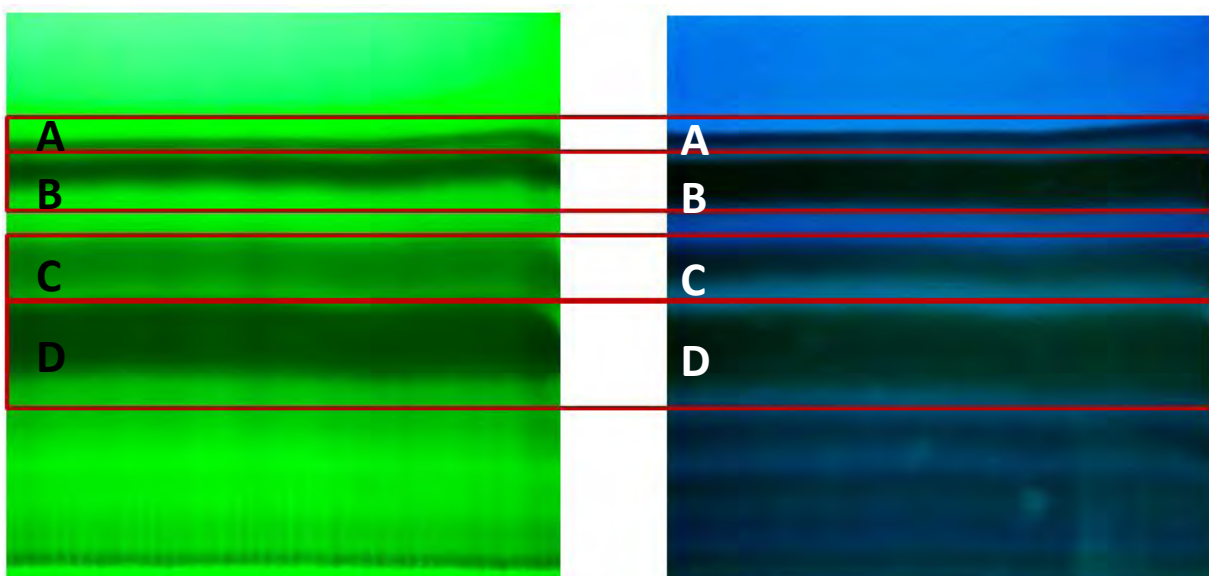


Figura 24. CCF de muestra 1b de corteza de guayacán observado bajo luz UV a 365 y 254 nm. F. M.: Hx/AcOEt 8:2

A continuación, se separaron los constituyentes del sobrenadante del extracto hexánico mediante una Cromatografía en Capa Fina Preparativa, para ello se usó como fase móvil Hexano/Acetato de Etilo 8.5:1.5. La placa bajo luz UV permitió observar fácilmente la presencia de 4 bandas mayoritarias, a las cuales se les nombró A, B, C y D (Fig. 25a). Cada una de estas 4 bandas se rasparon de la placa, se analizaron por CCF y se observaron bajo luz UV (Fig.25b).

De las cuatro bandas observadas, la banda D se analizó por métodos espectroscópicos. En el espectro de infrarrojo se puede observar señales para un grupo carbonilo en 1713.13 (Fig. 26). En espectro masas por impacto electrónico mostró un ion molecular $[M^+]$ 296 y un pico base de 253 (Fig. 27), indicando que posee la fórmula mínima $C_{18}H_{14}O_4$ con un peso molecular de 296. Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear de H y ^{13}C fueron similares a los de la chaktépirona (I) previamente aislada de la muestra 1 de corteza, lo cual permitió determinar que ambas muestras poseen el mismo compuesto químico (Fig. 28 y 29). Sin embargo, es posible que esta molécula no haya estado ya que se puede observar en el espectro de IR y de RMN 1H varias señales en menor cantidad, por lo cual fue complicado determinar su estructura química correspondiente.

a.



b.

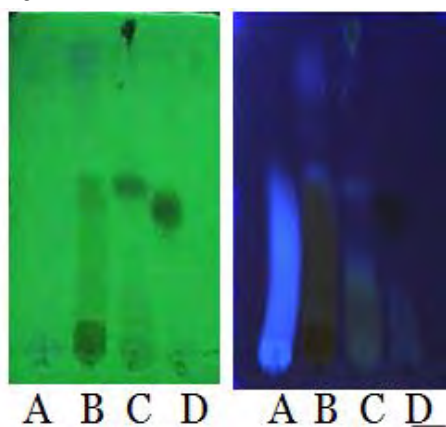


Figura 25. Cromatografía en placa preparativa de muestra 1b de corteza bajo luz UV. Fase móvil Hx/AcOEt 8.5: 1.5. **a.** CCF-P se señalan en rojo la presencia de cuatro bandas (A-D). **b.** CCF de las cuatro bandas presentes en la CCF-P

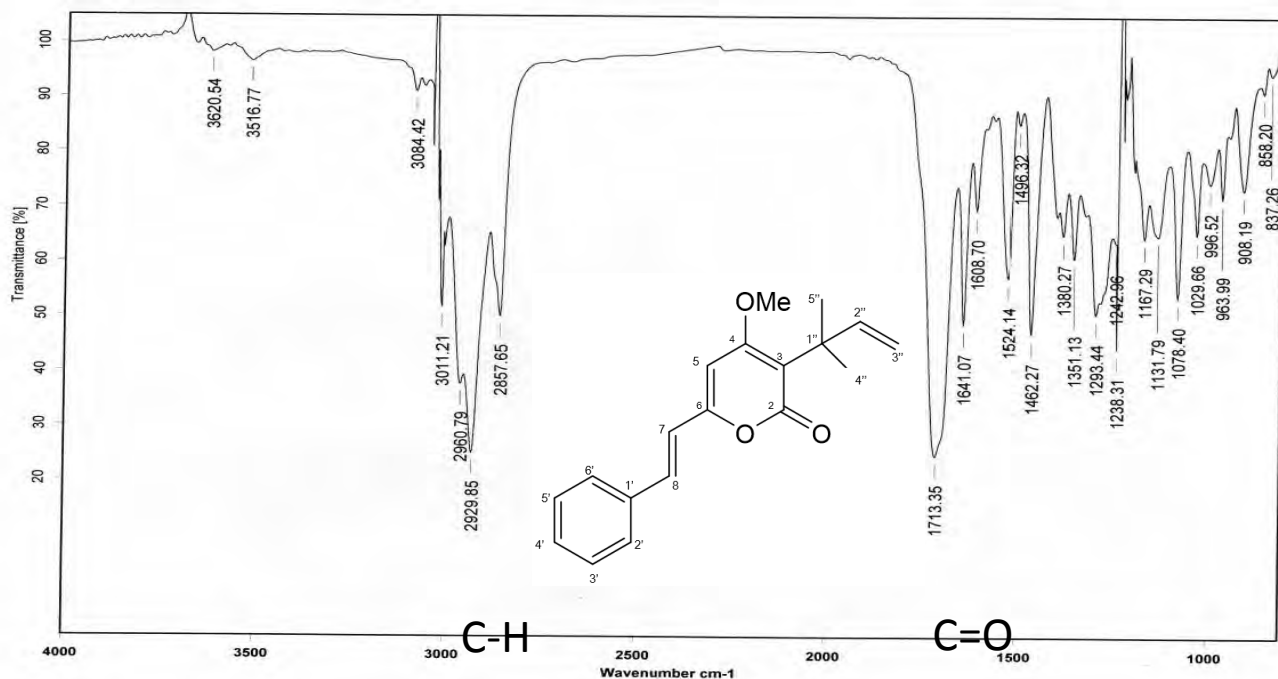


Figura 26. Espectro de Infrarrojo de la banda D del extracto hexánico de Guayacán de mercado Sonora. Se señala el grupo carboxilo y los grupos CH

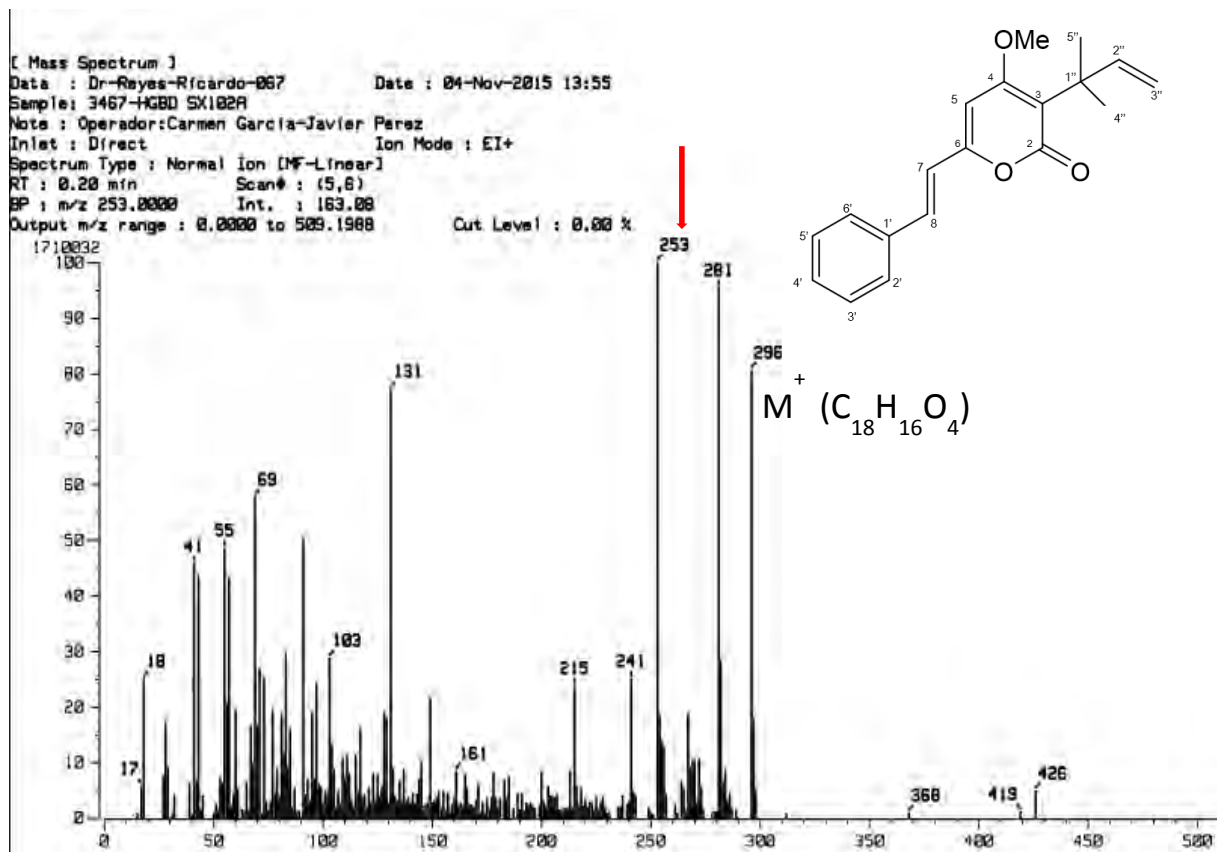


Figura 27. Cromatografía de masas por impacto electrónico de banda D de corteza de Guayacán. $[M]^+$ 296 y pico base de 253

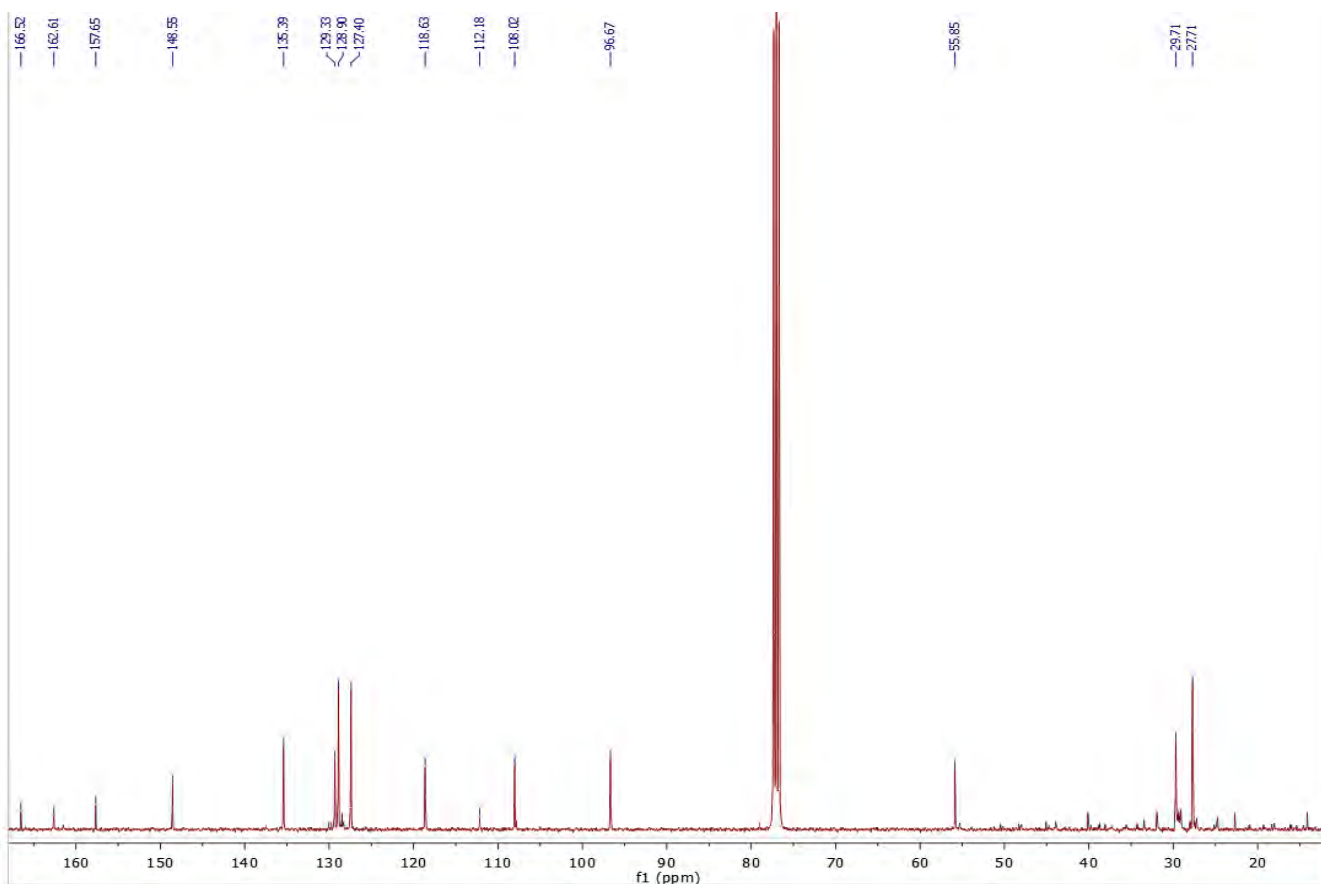


Figura 28. Espectro de RMN ^{13}C de banda D de corteza 1b.

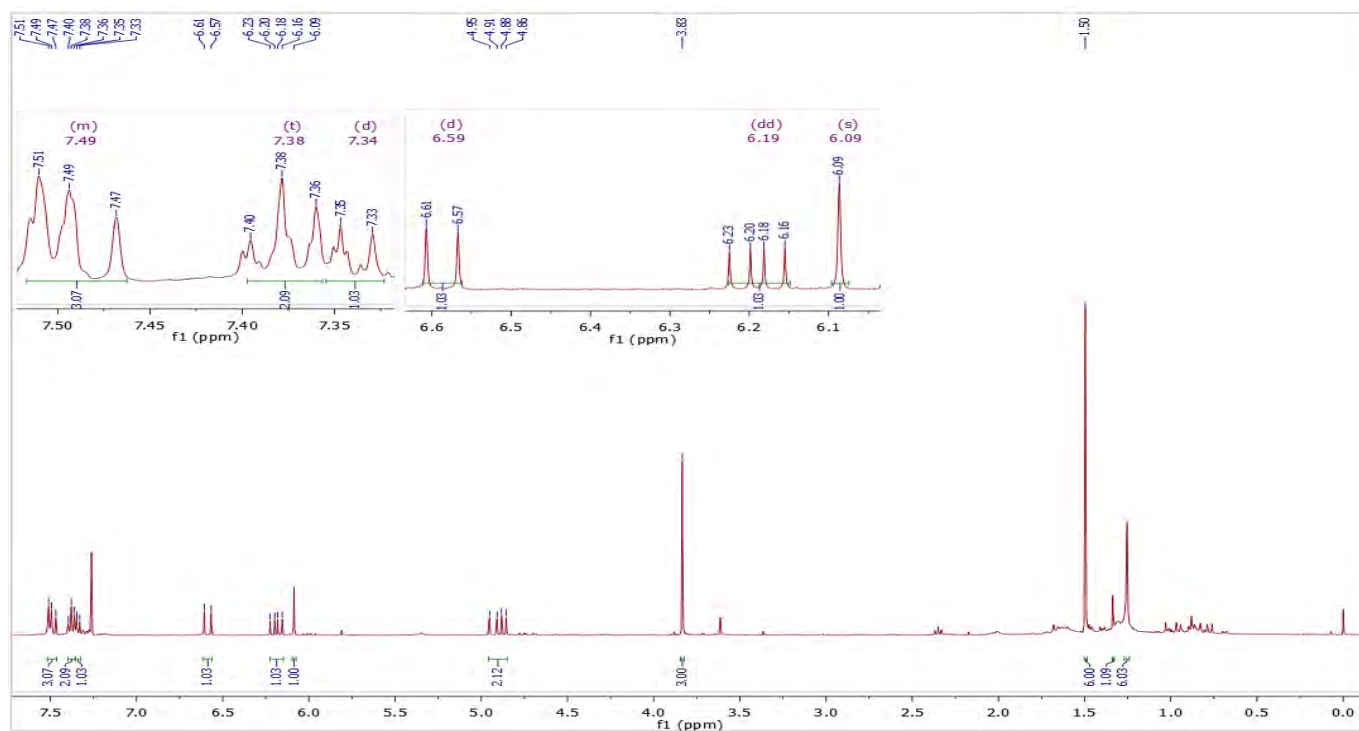
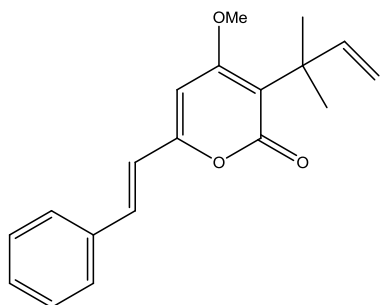


Figura 29. Espectro de protón de banda D de corteza 1b.

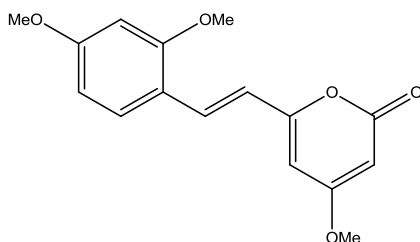
8. Discusión

8.1 Análisis químico de metabolitos obtenidos por RMN

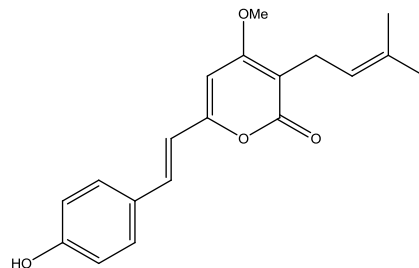
Los resultados de este estudio químico indicaron que la muestra contiene metabolitos secundarios de la familia de las estilpironas. Este tipo de compuestos han sido previamente aislados de *Sweetia panamensis* (sin. *Acosmium panamense*) especie de la familia Leguminosae, conocida popularmente como “guayacán” (vease Introducción), por lo cual se propone que esta muestra de corteza comprada en el mercado de Sonora pertenece a esta especie. La Chaktépirona (I) fue aislada de las muestras 1a (fracción 42-51) y 1b (Banda D); se le asignó este nombre trivial, ya que el guayacán se conoce en el estado de Yucatán como “Chakté”. Esta molécula no ha sido reportada en la literatura, por lo que se describe por primera vez en este estudio. Adicionalmente de la muestra 1a se obtuvo una mezcla de estilpironas, donde el compuesto mayoritario fue la (E)-6-(2,4-dimetoxiestiril)-4-metoxi-2H-piran-2-ona (II) y se propuso la estructura tentativa de otra estilpirona (III).



3-(1'',1''-dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína o chaktépirona (I)



(E)-6-(2,4-dimetoxiestiril)-4-metoxi-2H-piran-2-ona (II)



(E)-6-(4-hidroxiestiril)-4-metoxi-3-(3-metilbut-2-en-1-il)-2H-piran-2-ona (III)

Acosmium panamense se encuentra dentro de la lista de la principales especies botánicas que se venden en los mercados populares bajo el nombre de “guayacán” para tratar distintos padecimientos, principalmente la diabetes (Centeno, 2007).

La división taxonómica es:

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Orden Fabales

Familia Leguminosae

Género *Acosmium*

Especie *Acosmium panamense*

Sinonimias: *Sweetia panamensis*,
Dalbergia laevigata, *Leptolobium*
panamense

Nombres Populares: Carboncillo, chakté,
chichipate, guayacán, huesito, quina
silvestre, rejo, mal vecino, palo chile.

Fuente: CICY, 2010; CONABIO, 2010; Roskov *et. al.*, 2017; Tropicos.

Esta especie se caracteriza por ser un árbol perennifolio de hasta 40m de alto, tronco derecho, ramas ascendentes y copa piramidal. La madera presenta albura de color amarillo crema a amarillo y de sabor amargo. Se pueden observar numerosos radios muy finos en el parénquima. La corteza puede ser lisa a escamosa de color pardo grisácea, por la parte interna puede ser de color amarilla, fibrosa y de sabor amargo; puede presentar grosor entre 5 y 16mm. Las hojas de color verde brillante, dispuestas en espiral, imparipinnadas, de 9-22cm de largo incluyendo el peciolo. Compuestas por 9 a 12 folíolos opuestos o alternos de 2x1.1 a 10x 3.5cm, elípticos o lanceolados, margen entero, ápice agudo y base cuneada a redondeada. Flores perfumadas, amarillas, con pétalos de 6 a 7 mm de largo; ligeramente zigomorfas, cáliz pardo verdoso, presenta 5 sépalos lanceolados unidos por la base (Fig. 30). Presenta floración durante los meses de septiembre a noviembre. Los frutos se presentan en forma de vainas aplanadas de 5 a 10 cm de largo y 1.5 a 2 de ancho, de color verde a verde grisáceo, contienen de 1 a 3 semillas de 1 cm de largo. El periodo de maduración es de noviembre a marzo. Se distribuye a lo largo de la vertiente del Golfo en la Huasteca hidalguense y desde el centro de Veracruz hasta el norte de Oaxaca hasta Tabasco, sur de la península de Yucatán y de la selva Lacandona en Chiapas. En el Pacífico se presenta en selvas medianas caducifolias (Pennington, & Sarukhán, 1998; 2005).



Figura 30. Ejemplar de herbario MEXU de *A. panamense*. Detalle de flores y hoja. (Colector: Martínez, E.) Foto: Cortés, H.

Etnobotánica

En el estado de Oaxaca se utiliza la corteza para dolores estomacales, problemas respiratorios, diarrea, sífilis, malaria, fiebre amarilla, enfermedades crónicas de la piel, anemia y resfriados. Con la corteza se realiza una infusión, la cual se toma de una a dos veces al día. En Veracruz y otras partes de México, también se hace una infusión para el tratamiento de la diabetes (Hernández, *et. al*, 2002; Leonti, 2002; Andrade-Cetto, 2004). Se ha reportado el uso de la madera para la elaboración de chapa para muebles y vistas de madera terciada (triplay); en la construcción para pisos de parquet, lambrin y duela, así como para postes y durmientes en zonas rurales (Pennington, & Sarukhán, 2005).

Química de *A. panamense*

Romo, J., *et. al*. (1972) aislaron un glucósido de una estilpirona que denominaron panamina **(2)** del extracto metanólico de la corteza de *A. panamense*. La cual, por hidrólisis ácida produjo el 6-(4-hidroxiestiril)-4-metoxi-2-pirona **(1)**. Paulino F^o *et. al*. (1977) aislaron la 4-metoxi-6-(p-hidroxiestiril)- α -pirona de la corteza de la raíz de *Acosmium subelegans*, nombre con el cual también se le conoce al compuesto **(1)**.

Poteriamente, Wiedenfield & Andrade-Cetto (2003) reportaron la presencia de tres compuestos pertenecientes a las estilpironas del extracto acuoso de la corteza de *A.*

panamense.: desmetil-yangonina (6[E-2-(4-hidroxi-fenil)vinil]-4-metoxi-2H-piron-2ona) **(1)**, desmetil-yangonina-4'-glucósido ó β -D-O-glucósido **(2)** y desmetil-yangonina-4'-diglucósido ó β -D-O-di (1-6) glucósido **(3)**.

Además de estiril pironas, otros autores han reportado el aislamiento de alcaloides (tabla 5), el primero fue la (-)-4 α -hidroxi-espartaína de extractos metanólicos de corteza de *A. panamense*. Así también, se aislaron los siguientes alcaloides: la acosmina **(12)**, acetato de acosmina **(13)**, panacosmina **(14)**, lupanina **(8)** y multiflorina **(9)** a partir de extractos de acetato de etilo de las semillas; además se han identificado los alcaloides quinolizidínicos 4 α -Dihidroxi-13 β -metoxilupanina **(5)**, 4 α -angeloxi-3 β -hidroxi-13 β -metoxilupanina,3 β **(6)** y 4 α -Hidroxi-13 β -metoxilupanina **(10)** de extractos metanólicos de la corteza (Balandrin, 1982; Veitch, *et. al.*, 1997; Nuzillard, *et. al.*, 1999). Por otra parte, Maldini *et. al.* (2009) aislaron por primera vez los compuestos ácido 5-O-cafeoilquinico (ácido clorogénico), ácido 4-O-cafeoilquinico, ácido 3-O-cafeoilquinico y el isoflavonoide 5-O-metilgenistein 7-O- β -D-glucopiranosido. Las estructuras mencionadas en esta sección se pueden ver en la figura 31.

Tabla 5. Compuestos aislados del género <i>Acosmium</i> (Sosa Junior, 2009).	
Compuestos aislados	Referencias
6-(4-hidroxiestiril)-4-metoxi-2-pirona ó desmetil-yangonina (1) desmetil-yangonina-4'-glucósido (2) desmetil-yangonina-4'-diglucósido (3) Ácido cafeíco (4)	Romo <i>et. al.</i> 1972 Paulino <i>et. al.</i> , 1977 Andrade-Cetto, <i>et. al.</i> 2004
4 α -hidroxi-13 β -metoxilupanina (5) 3 β ,4 α -dihidroxi-13 β -metoxilupanina (6) 13 β -metoxilupanina (7) Lupanina (8) Multiflorina (9) Angustifolina (11)	Veitch, <i>et. al.</i> , 1997
4 α -hidroxiesparteína (15) Homo-sweetinina ó (+/-)homo-6-epipodopetalina (18) Sweetinina ó (+/-)6-epipodopetalina (21) Homopodopetalina (22)	Balandrin, 1982
Acosmina (12) Acetato de acosmina (13) Panacosmina (14) Acosminina (20) 4 α -angeloilóxi-3 β -hidroxi-13 β -metoxilupanina (10)	Nuzillard, <i>et. al.</i> , 1999
Lupeol (20) Pterocarpanos (38-40) Ácido betulínico (41) Éster etílico de ácido cafeíco (42) 4-metoxi-6-(p-hidrofenil)-transestirilpirona (43) β -D-glicopiranosil- β -sitosterol (44)	Silva <i>et. al.</i> 2001
Alcaloides quinilizidínicos (23-28) Isoflavona (29) Esparteína (16) Afilina (17) 5,6-dehidro esparteína (30) Tetrahidro rombifolina (31) Aloperina (32) (+/-)-18-epiptantina (33) Homo-18-epiptantina (34) Podopetalina (35) Ormosanina (36)	Sousa, 2008 Parizzoto, 2003 Afiatpour, 1990; Oliveira, <i>et. al.</i> , 1994

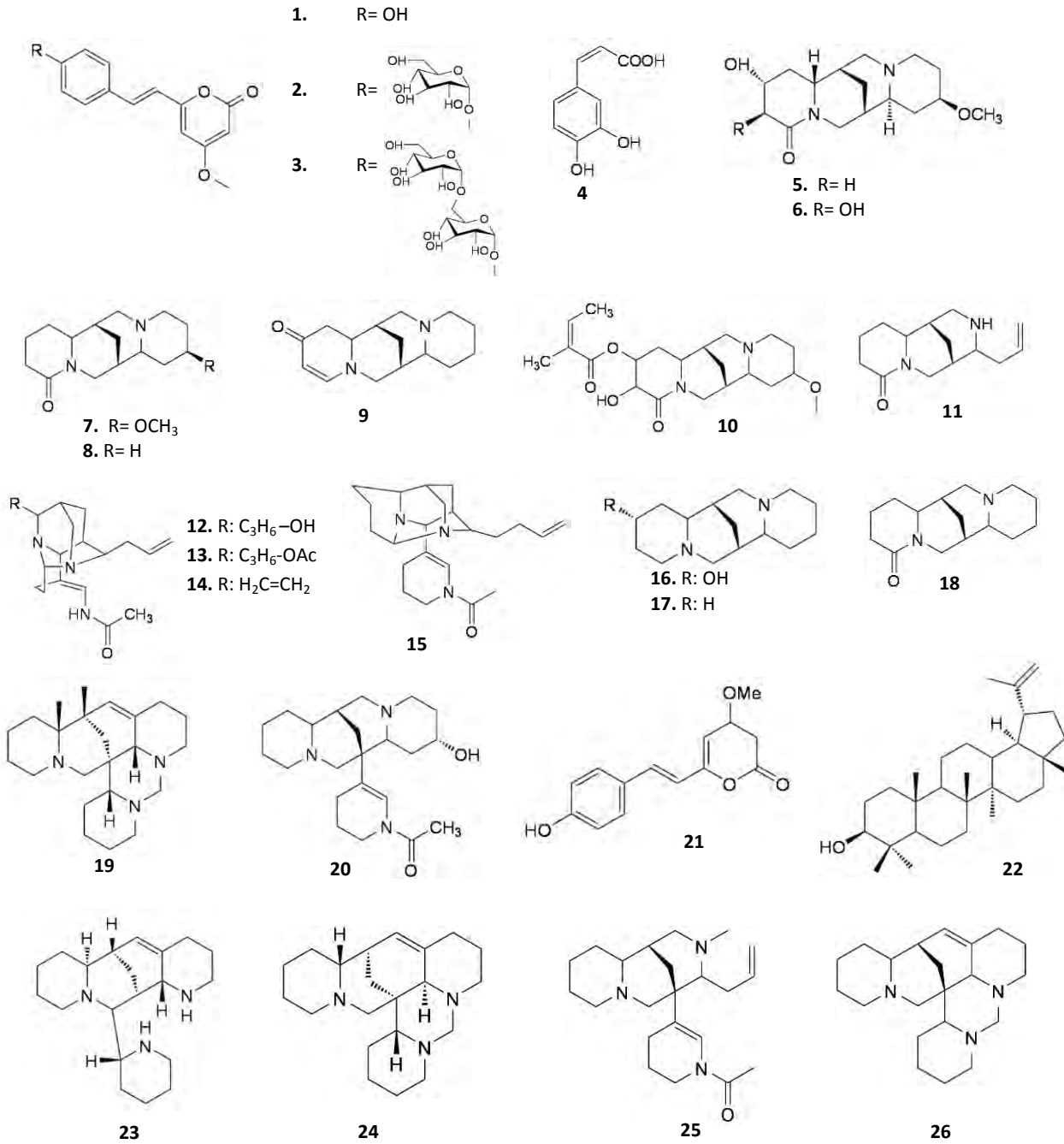


Figura 31. Compuestos aislados del género *Acosmium* (Sosa Junior, 2009).

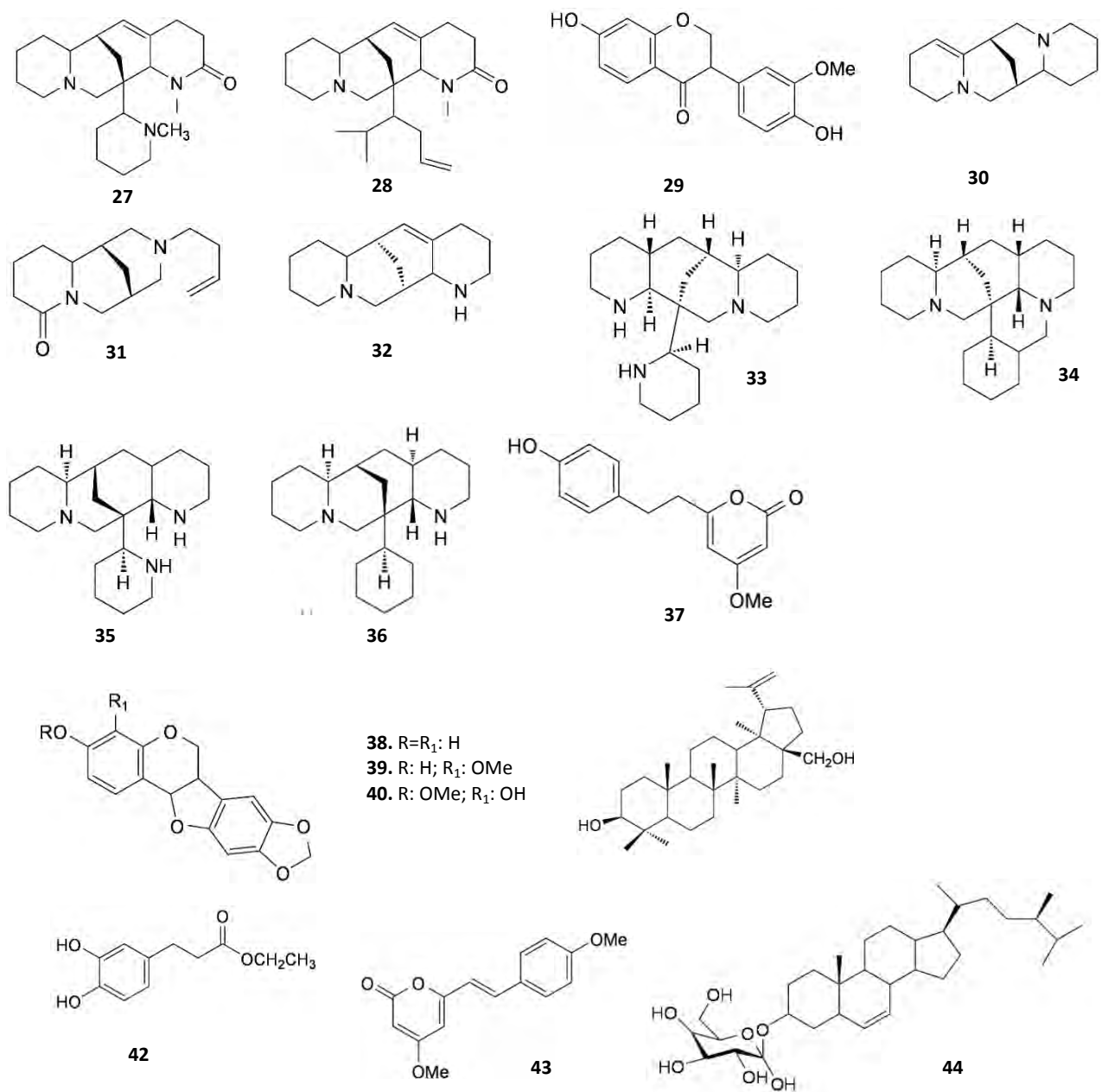


Figura 31. Compuestos aislados del género *Acosmium* (Cont.) (Sosa Junior, 2009).

8.2 El complejo medicinal “guayacán”.

Bye y Linares (1987), propusieron que las plantas medicinales que se venden en los principales mercados de México, se pueden clasificar en complejos. Dichos complejos están compuestos por diferentes especies botánicas que comparten el nombre común, la morfología, características aromáticas, así como sus propiedades medicinales u otros usos. Algunos de los complejos que podemos encontrar en México, son: “matarique”, “cachani”, “chuchupate”, “hierba anís”. En este estudio se propone el complejo “guayacán”, el cual se compondría de 24 especies botánicas diferentes que comparten el mismo nombre común, las cuales en su mayoría se recomiendan para la diabetes; la similitud de la morfología de la corteza podría ser la característica de este conjunto, o bien el sabor, olor, u otra característica; sin embargo, para establecerlo habría que realizar un estudio de comparación morfológico, u organoléptico, de todas las cortezas.

Cada complejo puede ser etiquetado por una especie líder de planta, la cual es la más valiosa en cada grupo. Esta planta “etiqueta” tiende a comercializarse bien mientras esté cerca de su ambiente natural, donde las plantas locales pueden ser usadas como sustitutas de ella (Bye y Linares, 1987). El estudio anatómico realizado por Centeno (2007) sugiere que en el mercado de Sonora se está vendiendo corteza correspondiente a *L. sericeus*, mientras que en el presente estudio se propone a *A. panamense*. Ambas especies pueden ser sustitutos del guayacán (*Guaiacum coulteri*) que reportó Legorreta (1989) en venta en el mercado de Sonora de la Cd. De México.

De acuerdo a Bye y Linares (1987) existen varias explicaciones para que la dominancia de una planta “etiqueta” sea factible; la primera es que dicha planta y sus usos hayan sido introducidos por el comercio nativo, actividades misioneras, o por la difusión comercial a través de vendedores. Otras de las razones por las cuales el material vegetal adquirido en el mercado puede ser intercambiado por otras especies diferentes es que los vendedores generalmente complementan la producción de ciertas plantas con la recolección de otras con características organolépticas similares (morfología, aroma, etc.) para compensar la demanda cuando ésta no está disponible. Una planta local puede haber sido valuada como un remedio. Cuando la planta “etiqueta” fue introducida y aceptada como más efectiva, la planta local pasó a tener una importancia secundaria. Una última explicación tiene que ver con la dinámica de

comercialización dentro del mercado. Tanto los colectores como los vendedores deben manejar mejor su tiempo para mejorar su economía. Esto debido a que las plantas no siempre están disponibles en el sitio de colecta y no siempre es sencillo transportarlas al lugar de venta es que se elegirá la materia prima disponible en ese momento. Esto posiblemente se debe a que *G. sanctum* y *G. coulteri* han sido sobreexplotadas principalmente por la dureza de su madera y ser valiosa en la construcción. La CONABIO ha catalogado a *G. sanctum* como especie en peligro de extinción, y la CYTES a *G. coulteri* como especie amenazada, por lo cual cada se encuentra cada vez menos disponible para los colectores y los vendedores. Así mismo los consumidores buscan que la planta sea efectiva para dicha enfermedad o padecimiento, por lo que tendrán mayor preferencia a ciertas plantas o grupo de plantas que ya sean conocidas (Bye y Linares, 1983, 1987 y 2009).

9. Conclusiones

-Se logró aislar e identificar una nueva estilipirona, la 3-(1", 1"- dimetil-alil)-5,6-dehidrokawaína, a la que se le asignó el nombre trivial de chaktépirona (I).

-Moléculas de la familia de las estilil pironas relacionadas con la chaktépirona han sido aisladas previamente de la corteza y raíz de *Acosmium panamense*, por lo cual se propone que las muestras de mercados que se compraron, corresponden probablemente a dicha especie, a la cual también se conoce popularmente como "guayacán".

-Se propone el complejo "guayacán", dentro de la cual se encuentra *Acosmium panamense* y que se encuentra a la venta en el mercado de Sonora, pero probablemente sea sustituto de la planta "etiqueta" de este complejo.

-Es necesario realizar estudios anatómicos y moleculares a las muestras estudiadas químicamente para corroborar su identidad biológica.

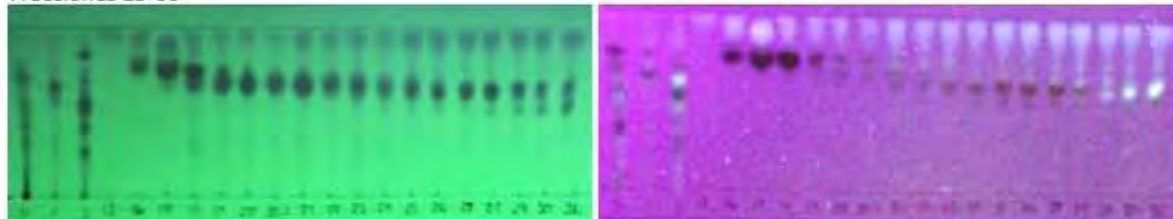
-Es necesaria la certificación de los productos que se encuentran en venta en los principales mercados, ya que esto permite aprovechar de manera más óptima los recursos vegetales con uso medicinal y tener un control de calidad que garantice la efectividad de dicho producto.

- Se propone evaluar los extractos y la chaktépirona en un modelo enzimático para evaluar sus posibles propiedades antidiabéticas.

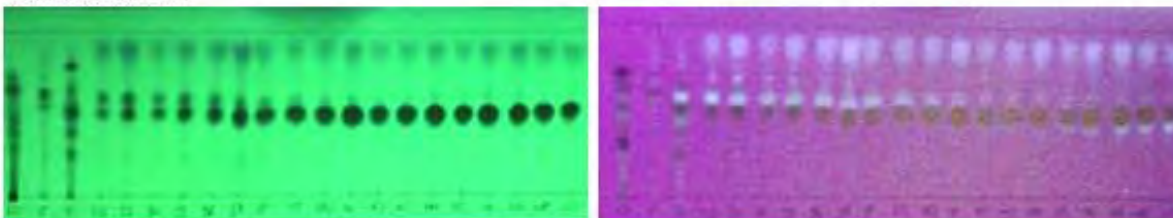
10. Anexos

Anexo 1. CCF de las 237 Fracciones de 15ml cada uno del extracto Diclorometánico de la corteza de Guayacán Muestra 1a colectada en 2010.

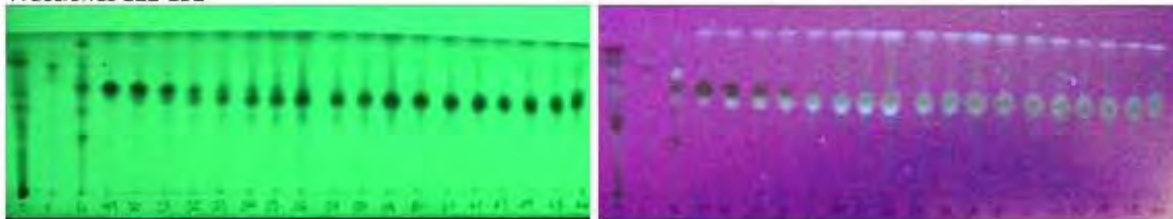
Fracciones 15-66



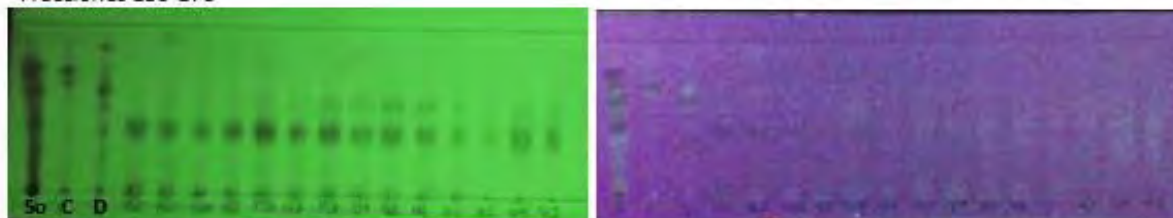
Fracciones 67-121



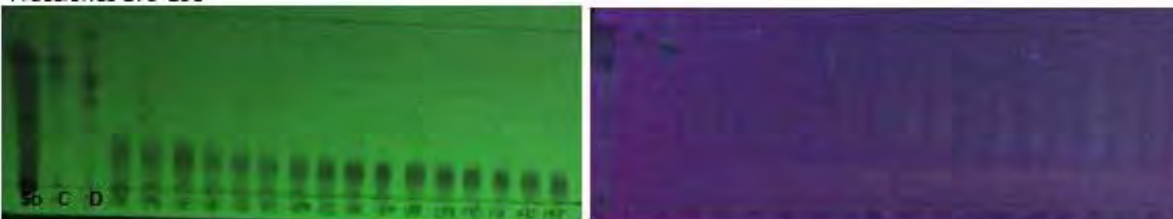
Fracciones 122-152



Fracciones 153-178



Fracciones 179-193

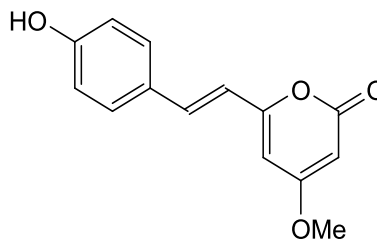
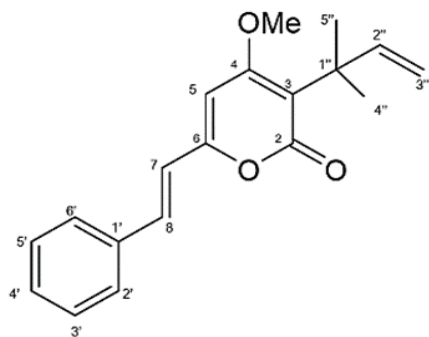


Anexo 2. Datos del cristal de la fracción 42.51 chaktépirona (I) .

Formula General	$C_{19}H_{20}O_3$	
Peso molecular	296.35	
Temperatura	100(2) K	
Longitud de onda	0.71073 Å	
Sistema del cristal	Orthorhombic	
Unit cell dimensions	$a = 16.276(2)$ Å	$\alpha = 90^\circ$.
	$b = 7.0166(10)$ Å	$\beta = 90^\circ$.
	$c = 13.716(2)$ Å	$\gamma = 90^\circ$.
Volumen	$1566.5(4)$ Å ³	
Z	4	
Densidad (calculada)	1.257 Mg/m ³	
Coefficiente de absorción	0.084 mm ⁻¹	
F(000)	632	
Tamaño del Cristal	0.286 x 0.257 x 0.198 mm ³	
Rango Theta	1.942 to 25.329°.	
Rangos índice	$-19 \leq h \leq 19$, $-6 \leq k \leq 8$, $-16 \leq l \leq 15$	
Reflección colectada	8360	
Reflección independiente	1563 [R(int) = 0.0971]	
Completeness to theta = 25.242°	99.9 %	
Refinement method	Full-matrix least-squares on F ²	
Data / restraints / parameters	1563 / 54 / 157	
Goodness-of-fit on F ²	1.133	
Final R indices [I>2sigma(I)]	R1 = 0.1016, wR2 = 0.2792	
R indices (all data)	R1 = 0.1182, wR2 = 0.2918	
Extinction coefficient	0.023(6)	
Largest diff. peak and hole	0.360 and -0.350 e.Å ⁻³	

Comparación de los desplazamientos químicos de la Chaktepirona (I) (Muestra 1a, fracciones 42-51) con estructuras similares reportadas en la literatura y con la simulación en el programa ChemDraw.

Posición	Fracción 42-51 (I)		Simulación ChemDraw		Dehidro kawaína (Salinas, 1998)	Desmetil-yangonina Cetto, 2004	
	¹³ H	¹³ C	¹³ H	¹³ C	¹³ H	¹³ H	¹³ C
1							
2		166.71		164.2			159.1
3		112.4		100.7	5.43 d 1H	5.59 d 1H	88.3
4		162.76		161.3	3.77 s 3H	3.81 s 3H	171.2
5	6.09 s, 1H	96.89	6.45	98.6	6.01 d 1H	6.21 d 1H	100.3
6		135.55		158.1			163
7	6.58 d 1H (16Hz)	157.84	6.85	116.6	7.21 d 1H	7.23 d 1H	116.3
8	7.48 m, 1H	118.86	6.81	134.4	6.52 d 1H	6.78d 1H	134.8
1'		137.7		135.2			126.4
2'	7.48 m, 1H	127.58	7.6	128.5	7.33 d 1H	7.47 d 1H	129.5
3'	7.37 m, 1H	129.08	7.4	128.6	6.74 d 2H	6.81 d 1H	116
4'	7.33 m, 1H	129.50	7.33	127.9	9.55 s 1H	6.3 OH	158.2
5'	7.37 m, 1H	129.08	7.4	128.6	6.74 d 2H	6.81 d 1H	116
6'	7.48 m, 1H	127.58	7.6	128.5	7.33 d 1H	7.47 d 1H	129.5
1''		29.89		30.9			
2''	6.13 dd 1H (8 y 16Hz)	148.64	5.71	145.6			
3''a	4.93 dd H (1 y 16 Hz)	108.21	4.99	112.6			
3''b	4.86dd 2H (1 y 12 Hz)	108.21	4.97				
4''	1.50s 3H	27.91	1.31	26.5			
5''	1.50s 3H	27.91	1.31	26.5			
OMe	3.83 s 3H	56.04	3.80	56.2			56.5



11. Referencias

- Abdullahi, S. M., Musa, A. M., Abdullahi M. I., Sule, M. I. y Sani, Y. M. 2013. Isolation of Lupeol from the Stem-Bark of *Lonchocarpus cruentus* (Papilionaceae). *Scholars Academic Journal of Biosciences* 1(1):18-19
- Afiastpour, P. 1990. Alcaloides quinolizídnicos aislados de *Acosmium dasycarpum* (Vog) Yaklolev: estructuras químicas e actividades farmacológicas. Sao Paulo. Tese de Doutorado- Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de Sao Paulo. 125p.
- Aguilar, A., Camacho, J., Chino, S., Jacquez, P. y López, M. 1994. Herbario medicinal del IMSS. Información etnobotánica. Edit. Redacta, S.A. 1ra. Edición. México. D.F.
- Aguilar, A. 2009. Atlas de la Medicina Tradicional Mexicana. UNAM. Disponible en: http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/intro_atlas.html
- Alarcón, F.; Banderas, T., Gutiérrez, A.; Vásquez, L.; Flores, J. y Román, R. 2003. Study of the Anti-Hyperglycemic Effect of Anti-Diabetic Plants in Rabbits with Impaired Glucose Tolerance. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* 46: 148-152
- Alavez, D. 2010. Estudio Quimiotaxonómico del género *Lonchocarpus* y actividad biológica de sus metabolitos aislados. Tesis Doctorado. UNAM. 142 p.
- Andrade-Cetto, A. y Wiedenfeld, H. 2004. Hypoglycemic effect of *Acosmium panamense* bark on streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 90(2-3): 217-220
- Andrade-Cetto, A., Becerra, J. y Cárdenas, R. 2008. Alfa-glucosidase-inhibiting activity of some Mexican plants used in the treatment of type 2 Diabetes. *Journal of Ethnopharmacology* 116(1):27-32
- Balandrin, M. y Douglas, a. 1981. Characterization os Sweetinine, a constituent os *Sweetia elegans*, as the ormosia alkaloid, (=)-6-epipodopetaline. *Journal of Natural Products* 44(5):619-622
- Balandrin, M. y Douglas, a. 1982. (-)-4 α -Hydroxysparteine, a new Natural Product from *Acosmium panamense*. *Heterocycles* 19(10):1931-1934
- Bell, A. 1991. *Plant Form: An illustrated guide to Flowering Plant Morphology*. Oxford University Press, Nueva York.
- Betancourt A. S. y Gutiérrez D. M. A. 1999. Proyecto Mercados Verdes Herbolarios. Informe técnico final. Fondo de América del Norte para la Cooperación Ambiental, México DF, México
- Bold, H. 1980. *Morphology Plants*. Harper and Row. Nueva York, EE. UU.
- Bye, R. y Linares, E., 1983. "The role of plants found in the mexican markets and their importance in ethnobotanical studies." *Journal of Ethnobiology*. 3(1):1-13
- Bye, R. y Linares, E. 1987. "Usos Pasados y Presentes de Algunas plantas medicinales encontradas en los mercados mexicanos". *América Indígena* 47 (2): 200-230.

- Bye, R. y Linares, E. 2009. "La dinámica de un mercado periférico de plantas medicinales de México: El tianguis de Ozumba, Estado de México, como centro acopiador para el Mercado Sonora (mercado central)" p. 631-664. En: Long, T. y Attolini, A. (Coords). *Caminos y Mercados de México*. UNAM, Instituto de Investigaciones Históricas. INAH. México 690 p. Disponible en: <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/caminosymercados/cm031.pdf>
- Bye, R. y Linares, E., 2016. "Traditional Markets in Mesoamerica: A mosaic of History and Traditions. Chapter 7" En: Lira, R., Casas, A. y Blancas, J. (Eds.), *Ethnobotany of México* (pp.151-178). Nueva York: Springer.
- Carmona, M. 1992. Estudio Anatómico, Morfológico y Etnobotánico de algunas maderas de Importancia Medicinal en México. Tesis Licenciatura. UNAM 185 p.
- Castillo-Juárez, I., González, V., Jaime-Aguilar, H. Martínez, G., Linares, E., Bye, R. y Romero, I. 2009. Anti-*Helicobacter pylori* activity of plants used in Mexican traditional medicine for gastrointestinal disorders. *Journal of Ethnopharmacology*. Vol. 122 (2) p. 402-405
- Centeno, L. 2007. Comparación Anatómica e Histoquímica de Corteza y Madera del Guayacán de Mercado de uso Medicinal con *Guaicum coulteri* (Zigophyllaceae) de la Xiloteca Mexuw. Tesis. UNAM.
- Centeno-Betanzos, Lucía Yoscelina, Brechú-Franco, Alicia Enriqueta, Osuna-Fernández, Helia Reyna, Laguna-Hernández, Guillermo, y León-Gómez, Calixto. (2013). Comparative anatomy and histochemistry between the wood of medicinal market samples of guayacan and of *Guaicum coulteri* A. Gray. *Acta botánica mexicana*, (105), 31-44.
- Chávez, K., Feng, X., Flanders, J., Rodriguez, E. y Schroeder, F. 2011. Spyrocyclic Lignans from *Guaicum* (Zygophyllaceae) Induce Apoptosis in Human Breast Cancer Cell Lines. *J. Nat. Prod.* 74: 1293-1297.
- CICY, 2010. *Flora Digital: Península de Yucatán*. Herbario CICY, Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., México. Disponible en: www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/index.php
- CITES. Examen de las propuestas de Enmienda a los Apéndice I y II. Prop 12.54 Disponible en: <https://cites.org/esp/cop/12/prop/S12-P54.pdf>
- CONABIO, 2010. *Acosmium panamense (chichipate)*. Datos obtenidos a partir del SNIB, registros comprendidos entre los años 1947-2006. México Disponible en : www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/acpa_dcgw.xml?_httpcache=yes&xsl=/db/metadatos
- Corbin, L. y Kroll, D. 1998. *Herb as Medicines*. *Arch Inter Med.* 158:2192-2199
- Cook, Suzanne. 2016. *The forest of the Lacandon Mayan. An Ethnobotanical Guide*. Springer. Nueva York. 379p.
- Dávila Aranda, Patricia y Schippmann, Uwe. 2006. Lista de especies, nomenclatura y distribución en el género *Guaicum*. *Medicinal Plant Conservation*. Vol 12 p. 50
- Delle Monache, F., Cuca Suárez, L. E. y Marini-Betto, G. B. 1978. Flavonoids of the seeds of six *Lonchocarpus* species. *Phytochemistry* 12: 1812-1813

- Dewick, P. M. 1988. *Isoflavonoids*. In: The Flavonoids. Advances in research since 1980. J. B. Harbone (ed) Chapman & Hall. London & New York, p. 125-210
- Dixon, R. A. 1999. Isoflavonoids: Biochemistry, molecular biology and biological functions in *Comprehensive Natural Products Chemistry*, Barton, D., Nakanishi, K. and Cohn, O. (eds) Elsevier, Amsterdam.
- Domínguez, Xorge Alejandro. 1988. "Métodos de Investigación Fitoquímica". Ed. Limusa 4° reimpresión. México. 281 p.
- Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos. 2ª. Ed. 2013. Secretaria de Salud: Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. México. 372p.
- Fukami, H. y Nakajima, M. 1971. Rotenone and Rotenoids in naturally occurring insecticide. M Jacobsons y D. G. Crosby (eds.), Dekker, New York. pp 71-97.
- Gallo, B. y Sarachine, M. 2009. Biological Activities of Lupeol. *International Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*. Global Science Book. USA
- Garay, E. 1997. Estudio etnobotánico de Plantas Medicinales del Mercado Sonora. Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM. México. D.F. 180 p.
- García, B. 1992. Estudio etnobotánico de las cortezas medicinales del estado de Morelos y zonas limítrofes con Puebla y Guerrero. Tesis. Facultad de Ciencias Biológicas. UAEM. México.
- Gonçalves de Lima, O., De Mello, J. F., D'Albuquerque, I. L., Delle Monache, F., Marini-Bettollo, G. B. and Sousa, M. 1977. Contribution to the Knowledge of the Mayan ritual Wine: Balché. *Loydia* 40(2): 195-200
- Gordon, J. E., González, M. A., Vázquez H., J., Ortega L., Roberto and Reyes-García, A. 2005. Short Communication *Guaiacum coulteri*: an over-logged dry forest tree of Oaxaca, México. *Oryx* vol 39(1) p. 82-85
- Grow, S. y Schwartzman, E. (2001a) The status of *Guaiacum* species in trade. *Medicinal Plant Conservation (Newsletter of the Medicinal Plant Specialist Group of IUCN/SSC)*, 7, 19–21
- Harbone, J. B. 1968. The use of secondary chemical character. In: *The Systematics of higher plants in chemotaxonomy and serotaxonomy*. Hawkes (ed.), Academic Press, London.
- Harbone, J. B. y Turner, B. L. 1984. Plant pigments. *Plants Chemosystematics*. Academic Press, London, pp. 128-179
- Hernández, E., Aguilar, A., Aguilar, L., Roma, R., Chávez, A., García, L., Flores, J. y Alarcón, F. 2002. Studies on Hypoglycemic Activity of Mexican Medicinal Plants. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* 45:118-124
- King, F. E., y Wilson, J. G. 1964. The chemistry of extractives from hardwoods. Part XXXVI. The lignans of *guaiacum officinale* L. *Journal of the Chemical Society*. p 4008-4011
- Legorreta, I. 1989. Estudio comparativo de plantas usadas para el tratamiento de la Diabetes en algunos mercados de la Ciudad de México. Tesis, Facultad de Ciencias. México.

- Leonti, M., Sticher, O. y Heinrich, M. 2002. Medicinal plants of the Popoluca, México: Organoleptic properties as indigenous selection criteria. *Journal of Ethnopharmacology* 81(3): 307-315
- López-Toledo, L., Gonzalez-Salazar, C., Burslem, D. F.R.P. and Martinez-Ramos, M. (2011), Conservation Assessment of *Guaiaacum sanctum* and *Guaiaacum coulteri*: Historic Distribution and Future Trends in Mexico. *Biotropica*, 43: 246–255
- Mabberley, D.J. (1997) *The Plant Book*. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Machado, L. 2000. *Control de calisas de productos fitoterapéuticos*. En: N. Sharapin y R., Pinzón (Eds). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. CAB/ CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:157-178
- Magalhaes, A., Tozzi, A., Magalhaes, E., Sannomiya, M., Soriano, M. y Pérez, M. 2007. Flavonoids of *Lonchocarpus montanus* A. M. G. Azevedo and Biological Activity. *Anais de Academia Brasileira de Ciencias*. 79(3): 351- 367
- Maldini, M., Sosa, S., Montoro, P., Giangaspero, A., Balick, M., Pizza, C. y Della loggoia, R. 2009. Screening of the Topical anti-inflammatory activity of the Bark of *Acacia cornigera* Willdenow, *Byrsonima crassifolia* Kunth, *Sweetia panamensis* Yakovlev and the leaves of *Sphagneticola trilobata* Hitchcock. *Journal of Ethnopharmacology* 122: 430-433
- Maldini, M., Montoro, P. Kapusta, I., Oleszek, W., Piacente, S. y Pizza, C. 2009. Quantitative Analysis of Caffeoylquinic Acids and Styrylpyrones in *Sweetia panamensis* Bark by UPLC. *Chromatographia* 70(11/12): 1621-1626
- Meckes, M. 1993. Introducción. Investigación de las Plantas Medicinales de México. Avances y Perspectivas. En: *La Investigación Científica de la Herbolaria Medicinal Mexicana*. Secretaria de Salud. México. pp. 69-74.
- Muñoz, O., Montes, M. y Wilkomirsky, T. 1999. *Plantas Medicinales de uso en Chile. Química y Farmacología*. Editorial Universitaria 2° ed. 833p.
- Nuzillard, J., Conolly, J., Delaude, C., Richard, B., Zèches, M. y Le Men, L. 1999. Computer-assisted Structural Elucidation. Alkaloids with a Novel Diaza-adamantane Skeleton from the Seeds of *Acosmium panamense* (Fabaceae). *Tetrahedron* 55:11511-11518
- Ocegueda, S., Moreno, E. y Koleff, P. 2005. Plantas usadas en la medicina tradicional y su identificación científica. *CONABIO. Biodiversitas* 62:12-15.
- Olmedo, D., Marrone, M., Espinosa, A., Guerra, C. y Prashad, M. 2016. Evaluación de la Actividad Antiproliferativa de Extractos Metanólicos de Plantas de la Familia *Leguminosae*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 21(3).
- Oliveira, F., Saito, L., Furukawa, C.. 1994. Caracterizacao Farmacognóstica da droga e do extrato fluido de perobinha do campo- *Acosmium subelegans*. XIII Simposio de Plantas Mediciniais do Brasil. Fortaleza, Brasil.
- OMS 1979. The selection of essential drugs. WHO Technical Report Series 641: 1-44.

- Oyedeki, O., Azeez, L., Adewuyi, S., Osinfade, B. y Bamimore, M. 2015. Flavonoid profile, anthocyanin, carotenoid, sugar and vitamin compositions of *Lonchocarpus sericeus* seed. African Journal of Food Science and Technology. Vol 6(5) pp 131-135
- Parizzotto, C. 2003. Contribuicao ao estudo quimico do cerne das raizes da *Acosmium dasycarpum* (Vog) Yaklolev. Cuiabá. 86 p. Disertacao de Mestrado-Programma de Pos-Graduacao em Saude coletiva, Universidade Federal de Mato Grosso.
- Paulino F^o, H., Muradian, J. y Mors, W. 1977. Estudio Fitoquímico de *Acosmium subelegans* y Síntesis del 4-Metoxi-6-(p-Hidroxi-estiril)- α -Pirona. Revista Latinoamericana de Química 8: 78-81.
- Pennington, T. y Sarukhán. 1998. *Árboles tropicales de México. Manual para la Identificación de las principales especies*. 2da. Edición. Fondo de Cultura Económica. UNAM. México.
- Pennington, T. y Sarukhán. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la Identificación de las principales especies*. 3a. Edición. Fondo de Cultura Económica. UNAM. México. 523p.
- Porter, D.M. 1972. The genera of Zygophyllaceae in the southeastern United States, Guaiacum, pp. 547-552, J. Arnold Arbor, 53: 531-552.
- Pribitkin, E. D. 2005. Herbal medicine and surgery. Semin Integr Med 3(1): 17-23.
- Quattrochi, U. 2012. World Dictionary of Medicinal and Poisonous Plants: Common names, scientific names, eponyms, synonyms and etymology. CRC Press Taylor & Francis group. Massachussets. 3960 p.
- Ramos-Hernández, M., Ávila, C. y Morales, J. 2007. Etnobotánica y Ecología de Plantas utilizadas por tres curanderos contra la Mordedura de serpiente en la Región de Acayucan, Veracruz, México. Bol. Soc. Bot. Méx. 81: 89-100
- Record, S. 1921. Lignum-vitae A Study of the woods of the Zygophyllaceae with reference to the true Lignum-vitae of commerce -its sources, properties, uses and substitutes. Yale University Press. 57p.
- Román, R., Lara, A., Alarcón, F., Flores, J. 1992. Hypoglycemic Activity of some Antidiabetic Plants. Archives of Medical Research 23(3):105-109
- Romo, J., Mundo, H y Cariño M. A. 1972. Aislamiento y estructura de la panamina, un componente de *Sweetia panamensis*. Revista Latinoamericana de Química 3:46
- Roskov Y., Zarucchi J., Novoselova M. y Bisby F.(†) (eds) (2017). ILDIS World Database of Legumes (version 12, May 2014). In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2016 Annual Checklist (Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Flann C., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A., eds). Digital resource at www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2016. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.
- Saba, N., Khatoon, R., Ali, Z. y Ahmad, V. 2012. A new Bidesmoside Saponin from the Bark of *Guaiacum officinale*. J. Chem. Social. Pak., Vol. 34, No. 2
- Secretaria de Desarrollo Económico. (2015, 15 de abril). Administración Pública del Distrito Federal. En: Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 71 [En línea]. Disponible en:

http://www.sedecodf.gob.mx/archivos/Menu_Horizontal/2015/InformacionRelevante/GODF_Aviso_listado_Mercados_Publicos_CDMX_16042015.pdf

Silva, V., Oliveira, F., Conserva, L. 2001. Phenolic derivatives and triterpenes from *Acosmium bijugum*. *Biochem. Syst. Ecol.* 29: 1189-1192

Soto, J. 1987. Las plantas medicinales y su uso tradicional en la cuenca del Rio Balsas, estados de Michoacán y Guerrero, México. Tesis, Facultad de Ciencias, UNAM. México

Sousa, M. 2005. *Las especies del Género Lonchocarpus sect. Lonchocarpus (Fabaceae, Papilionoideae: Millettieae) para Bolivia*. *Novon* 15:590-598

Sousa, F., Melo, C., Citó, M., Félix, F., Vasconcelos, S., Fonteles, M., Barbosa-Fº, J. y Viana, G. 2008. Plantas medicinais e seus constituintes bioativos: Uma revisao da bioatividade e potenciais beneficios nos disturbios da ansiedade em modelos animais. *Rev. Bras. Farmacogn.* 18:642-654

Sousa Junior, P.T., Dall'Oglio, E. L., Silva, L., Figueredo, U., Vieira, P., Machado, H. y dos Santos, L. 2009. *Género Acosmium: composición química y potencial farmacológico*. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 19(1A): 150-157

Sousa, M., Soyuto, S. y Pedraza-Ortega, E. 2014. *Sistemática de Lonchocarpus sección Punctati (Fabaceae: Millettieae, basada en datos Morfológicos y Moleculares, con la descripción de nueve especies nuevas*. *Acta Botánica Mexicana* 109:79-131

Trease, G. y Evans, W. 1987. *Tratado de Farmacognosia*. Nueva Editorial Interamericana. España. 847p.

Tropicos, 2017. Missouri Botanical Garden. Saint Louis, Missouri. Disponible en www.tropicos.org/Name/3001998

Valencia Ortíz, Silvia. 1995. "Fundamentos de Fitoquímica". Ed. Trillas. 1º ed. México. 235 p.

Veitch, N., Goodwin, B., Kite, G y Simmonds, M. 1997. Methoxylates Quinolizidine Alkaloids from *Acosmium panamense*. *Phytochemistry* 45(4): 847-850.

Whitaker, T. W., y Cutler, H. C. (1966). Food plants in a Mexican market. *Economic Botany*, 20(1), 6-16.

Wiedenfeld, H. y Andrade-Cetto, A. 2003. Pyrone Glycosides from *Acosmium panamense* (Benth.) Yacovlev. *Z. Naturforsch.* 58: 637-639

Zarate, R. 2006. *Estudio etnobotánico, Histológico y Químico en el control de calidad del complejo medicinal "matarique" (Pscacalium spp., Asteracea)*. Tesis. Instituto de Biología. UNAM. México.