



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES

**“Geoquímica orgánica de la madera del género fósil
Agathoxylon (Araucariaceae) del Cretácico Superior,
Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua (México)”.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO AMBIENTAL**

Presenta:

Cristal Méndez Díaz

Directores:

Dr. Kinardo Flores Castro (UAEH)

Dr. Emilio Estrada Ruiz (IPN)

Mineral de la Reforma, Pachuca Hgo.

Diciembre 2018.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
 Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
 School of Engineering and Applied Sciences
 Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales
 Department of Materials and Earth Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., 23 de noviembre del 2018

Número de control: ICBI-D/1139/2018

Asunto: Autorización de tesis

M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado a la pasante de la Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental **Cristal Méndez Díaz**, quien presenta el trabajo de "Geoquímica orgánica de la madera del género fósil **Agathoxylon (Araucariaceae) del Cretácico Superior, Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua (México)**", después de revisar el trabajo ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE: Dr. Fidel Pérez Moreno

PRIMER VOCAL: Dr. Kinardo Flores Castro

SEGUNDO VOCAL: Emilio Estrada Ruiz

TERCER VOCAL: Dr. Jesús Martín Torres Valencia

SECRETARIO: Dr. Carlos Esquivel Macías

PRIMER SUPLENTE: M. en C. Jorge Alberto Santiago Bautista

SEGUNDO SUPLENTE: Ing. Ysis Rebeca Vázquez Camacho

Sin otro particular, le reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
 "Amor, Orden y Progreso"

 Dr. Oscar Rogelio Suárez Castillo
 Director del ICBI

ORSC/IVL



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca-Tuancingo km 4.5 Colonia
 Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
 México C.P. 42184
 Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 2270, 2280
 Fax 2109
 asactym_icbi@uash.edu.mx

www.uash.edu.mx

Mineral de la Reforma, Hidalgo, 05 de Diciembre de 2018
Asunto: CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

CERTIFICADO DE DIRECTORES DE TESIS

Los catedráticos abajo firmantes certificamos que la tesis titulada "**Geoquímica orgánica de la madera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) del Cretácico Superior, Potrero El Llano, Aldama, Chihuahua (México)**" presentada por **Cristal Méndez Díaz**, ha sido realizada por ella durante el periodo Julio 2017 a Diciembre 2018 bajo nuestra dirección; además informamos que este trabajo es original y no forma parte de otra tesis o trabajo previo.

Dr. Kinardo Flores Castro
Profesor Investigador Titular C
Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales
Laboratorio de Geoquímica
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



UAEH
BIBLIOTECA

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Emilio Estrada Ruiz".

Dr. Emilio Estrada Ruiz
Profesor Investigador Titular C
Laboratorio de Ecología
Departamento de Zoología
Instituto Politécnico Nacional



Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres, el Ing. Leonardo Méndez Gallardo y la Profra. Guadalupe Díaz Chávez por apoyarme siempre y sin medida para realizar este proyecto y cualquier cosa en mi vida, darme el consejo ideal, el abrazo preciso, y por creer en mi incluso más de lo que yo lo hago. Ustedes son las personas que más amo, respeto y admiro en el mundo.

Gracias por mis valores, por incitarme a crecer y aunque no tengo modo de agradecerles su existencia hare todo lo posible porque se sientan orgullosos de ser mis papás.

Agradecimientos

A mis hermanos

M. en C. Daniela Méndez Díaz gracias por ser un buen ejemplo para nosotros, por siempre tener tiempo para hablar y apoyarme, te quiero hermana eres un orgullo.

Leonardo Méndez Díaz, mi casi Ing, gracias por quererme, por los desvelos para acompañarme, por comprarme dulces, por confiar en mí, por ser mi hermano y amigo. Te adoro.

A Jorge Luis Picazo Moreno

Por tu cariño inmenso, por tus abrazos, escucharme, apoyarme y ser la más auténtica chispa de alegría en mi vida. Gracias por ser mi amor y mi mejor amigo, te amo.

A Don Álvaro y la Sra. Laura

Gracias por permitirme estudiar este ejemplar fósil, ha sido para mí una experiencia excepcional, agradezco también; su hospitalidad, las risas, sus siempre buenos deseos y por ser tan bellas personas conmigo, estoy para servirles. Este trabajo es también para ustedes.

Agradecimientos especiales

Al proyecto CONACYT 240241 de Ciencia Básica denominado: "Sistemática, ecología y climatología de las primeras selvas tropicales y subtropicales cretácicas del Norte de México y centro-sur de E.U.A." del cual este proyecto contó con financiamiento y beca para tesis de licenciatura.

Dr. Kinardo Flores Castro

Le agradezco su tiempo, la forma desprendida de enseñarme un poco de todo lo que sabe, y que ni un solo minuto me hiciera dudar de lo bien que elegí mi asesor de tesis. Es excepcional como profesionalista y como persona.

Gracias por su apoyo, por su amistad y por creer en mí, lo aprecio mucho y estoy para servirle.

Dr. Emilio Estrada Ruiz

Gracias por su experta e invaluable ayuda en este trabajo, por compartirme un poco de sus conocimientos y sobre todo por ser amable y paciente conmigo. Es un absoluto placer conocerlo y llevar a cabo esta investigación en conjunto.

Les admiro y respeto, gracias por ayudarme a sacar adelante este estudio, lo hacerme disfrutarlo muchísimo.

A mis sinodales y maestros

Dr. Fidel Pérez Moreno, J. Jesús Martín Torres Valencia, Dr. Carlos Esquivel Macías, M. en C. Jorge Alberto Santiago Bautista, Ing. Ysis Vázquez Camacho e Ing. José Alfredo Meneses Lugo, agradezco su tiempo y experto apoyo al para que este sea un mejor trabajo, y por darme la oportunidad de tenerles cerca, son profesionalistas y personas increíbles.

ABREVIATURAS

AcOEt: acetato de etilo.

cf: conferido a la familia vegetal.

DCLM: diclorometano.

et al.: expresión latina et alii, que significa 'y otros'

Fig: figura.

Fm: Formación Litológica.

m: metro.

mg: miligramos.

MHz: megahercio.

MOS: Materia Orgánica Sedimentaria.

m/z: relación masa carga.

N: Norte.

NE: Noreste.

PM: parte media.

Ph: Fitano.

ppm: partes por millón.

ppmv: concentración de dióxido de carbono en ppm.

Pr: Pristano.

SE: Sureste.

TU: todo a uno.

°C: Grados Celsius.

µm: micrómetro.

Contenido

	páginas
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Regiones aledañas con yacimientos fósiles de plantas	6
2.2 Madera fósil de conífera del género <i>Agathoxylon</i> (Auracareacea).	8
2.3.1 Paleobotánica sistemática	9
2.3.2 Afinidad	10
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. OBJETIVOS	12
4.1 General	12
4.2 Específicos	12
5. ÁREA DE ESTUDIO	13
5.1 Localización y vías de acceso	13
5.2 Geología regional	14
5.3 Geología local	16
5.3.1 Fisiografía	20
6. MÉTODOS	21
6.1 Trabajo de campo	21
6.1.1 Muestreo	21
6.2 Trabajo de laboratorio	22
6.2.1 Preparación de muestras para Geoquímica orgánica	22
6.2.2 Método de extracción de bitumen contenido en el material fósil	23

6.3 Procedimientos analíticos para la identificación de compuestos orgánicos preservados en la madera fósil Agathoxylon (cf. Araucariaceae)	26
6.3.1 Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear de Protón (RMN ¹ H)	26
6.3.2 Análisis por Cromatografía de Gases-Masa	27
7. RESULTADOS	29
7.1 Geológicos	29
7.1.1 Mapa Geológico	34
7.1.2 Columna estratigráfica	35
7.2 Geoquímicos	36
7.2.2 Análisis por resonancia Magnética Nuclear	36
7.2.2 Cromatografía de Gases-Masa	37
7.3 Paleobotánica sistemática	52
8 DISCUSIÓN	56
9. CONCLUSIONES	59
GLOSARIO	61
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXO I ESPECTROS DE RMN ¹H	73
ANEXO II CROMATOGRAMAS OBTENIDOS CON ACETATO DE ETILO EN CG-MS	84

Índice de figuras

Figura 1 Mapa paleogeográfico mostrando las localidades fosilíferas del Campaniano-Maastrichtiano (modificado de Flores-Espinosa, 1989).	8
Figura 2 Cortes convencionales en una pieza de madera (Castañeda, 2007).	9
Figura 3 Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.	14
Figura 4 Afloramiento de madera del género fósil <i>Agathoxylon</i> (Araucariaceae).	22
Figura 5 Preparación de submuestras en laboratorio para obtención de bitumen.	24
Figura 6 Técnicas analíticas empleadas para identificación de compuestos orgánicos.	26
Figura 7 Material fósil en el levantamiento estratigráfico.	29
Figura 8 Litologías y estructuras halladas en levantamiento estratigráfico.	31
Figura 9 Migración hacia el mar de los ambientes deposicionales del delta.	33
Figura 10 Mapa geológico del Rancho “Don Chuy” (versión sintética).	34
Figura 11 Columna estratigráfica (versión sintética)	35
Figura 12 Caracteres anatómicos más importantes de <i>Agathoxylon</i> .	53

Índice de tablas

Tabla 1	Temperaturas de ebullición de los disolventes utilizados.	25
Tabla 2	Cantidad de MOS obtenida en gramos (g) en cada disolvente para RMN ¹ H.	36
Tabla 3	Cantidad de MOS obtenida en miligramos en AcOEt para CG-Ms.	37
Tabla 4	Compuestos de la muestra “Todo a Uno” en AcOEt, para CG-Ms.	38
Tabla 5	Compuestos de la muestra “Corteza” en AcOEt, CG-Ms.	40
Tabla 6	Compuestos de la muestra “Parte Media” en AcOEt, CG-Ms.	42
Tabla 7	Compuestos de la muestra “Núcleo” en AcOEt, CG-Ms.	45
Tabla 8	Comparación de caracteres anatómicos de los géneros fósiles.	55

RESUMEN

Actualmente los trabajos multidisciplinarios en el campo de las Geociencias que persiguen objetivos comunes son los que aportan argumentos de mayor peso para tratar de comprender la evolución de nuestro Planeta. En este caso particular se conjuntan la Geoquímica, Geología y Biología con el objetivo de identificar características paleoambientales prevalecientes durante el Cretácico Superior en el Desierto Chihuahuense mediante la aplicación de herramientas geoquímicas orientadas al reconocimiento paleobotánico de una paleoflora, en cuyo caso coadyuvan para conocer la composición y naturaleza de la materia orgánica preservada, esto de la mano con el análisis de su existencia en el entorno geológico con el levantamiento de una columna estratigráfica y métodos geológicos cartográficos.

El presente trabajo aborda principalmente el uso de técnicas analíticas, para esto, se muestreo el ejemplar de madera fósil correspondiente a una conífera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) que yace en sedimentos siliciclásticos de la Formación San Carlos (Cretácico Superior), del cual se extrajeron submuestras correspondientes a sus estructuras internas y externas a las que posteriormente se les aplicaron procedimientos de geoquímica orgánica conducentes, primero para la extracción y concentración de la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria (bitumen) preservada en cada una de las estructuras, para posteriormente caracterizarlas químicamente mediante la aplicación de la Cromatografía de Gases – Masa (CG-Ms) y Resonancia Magnética Nuclear ^1H (RMN ^1H), con el fin de encontrar compuestos y biomarcadores que aporten información específica sobre el ejemplar de madera fósil, sus características paleoambientales y paleoclimáticas

Como principal interpretación se obtiene que, en el Desierto Chihuahuense la Formación San Carlos se encontraba en un ambiente transicional tipo fluvio-deltaico, con clima paratropical a tropical congruente con la existencia de un mar epicontinental en el Cretácico Superior.

Palabras clave: Madera fósil, Cretácico Superior, Geoquímica Orgánica, Biomarcadores, RMN ^1H , CG-Ms.

ABSTRACT

Currently multidisciplinary work in the field of Geosciences that follow common objectives are those that provide arguments to try to understand the evolution of our planet. In this particular case Geology, Biology and Geochemistry are combined with the objective of identifying paleoenvironmental characteristics prevalent during the Upper Cretaceous in the Chihuahuan Desert through the application of geochemical tools oriented to paleobotanical recognition of paleofloras, in which case they contribute to know the composition and nature of the organic matter preserved in them. This work deals with geological - cartographic methods, sampling of a specimen of fossil wood corresponding to a conifer of the fossil genus *Agathoxylon* (Araucariaceae) that lies in siliciclastic sediments of the San Carlos Formation (Upper Cretaceous), from which subsamples of the corresponding wood were extracted to their internal and external structures to which they were subsequently subjected to organic geochemistry conducive procedures, first for the extraction and concentration of the soluble fraction of the organic sedimentary matter (bitumen) preserved in each of the structures, to subsequently characterize them chemically by the application of Gas Chromatography - Mass (CG-MS) and Nuclear Magnetic Resonance - ^1H (NMR), in order to find biomarkers that provide specific information on the fossil wood specimen, its paleoenvironmental and paleoclimatic characteristics of the basin where it is finally deposited.

The main interpretation is that, in the Chihuahuan Desert, in the San Carlos Formation, it is in a transitional environment, the deltaic fluvium, with the tropical and tropical climate congruent with the existence of an epicontinental in the Upper Cretaceous.

Key words: Fossil wood, Upper Cretaceous, Organic Geochemistry, Biomarkers, NMR ^1H , CG-MS.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema Cretácico se caracterizó por presentar una temperatura global elevada debido a las altas concentraciones de CO₂ atmosférico siendo 3 o 4 veces mayor que en la actualidad (380 ppmv), el mar fue superior a los 300 m, lo que causo transgresiones hacia las costas y tierras bajas interiores, propiciando un clima de carácter marítimo y cálido que conlleva a una baja variación estacional (Graham, 2011).

Específicamente en el Cretácico Superior (99-65 m.a.) de América del Norte (paleolatitudes 30° a 85° N), se distinguió por la presencia de un Mar Epicontinental (Western Interior Seaway - Mar Interior del Oeste) que se extendía a lo largo de la costa que dividía a América del Norte, en la frontera Coahuila - Tamaulipas/Nuevo México-Texas-Luisiana en el noreste de México, hasta el Océano Ártico (Robinson y Kirschbaum, 1995). Dicho brazo de mar cubría gran parte del Este de México y es a partir de este periodo que se da la regresión de los mares con un desplazamiento hacia el Este y Sureste, continuándose hasta el Cenozoico (65-1.8 m.a). Las porciones continentales dominantes formaban una península conformada por algunas porciones de los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Baja California (Graham, 2011). Los estados de Chihuahua y Coahuila presentaban diferentes hábitats: sistemas fluviales y deltaicos como planicies de inundación, lagunas, pantanos etc. (Estrada-Ruiz *et al.*, 2013). Este origen le confiere complejidad y necesidad de estudios específicos y multidisciplinarios que apoyen la reconstrucción paleoambiental, con esta idea en mente este trabajo hace uso principalmente de técnicas Geoquímicas con un sustento Paleobotánico y Geológico.

La Geoquímica es una especialidad de la Geología y la Química que estudia el dinamismo de los elementos químicos en nuestro Planeta. Una de las áreas de la Geoquímica es la Geoquímica Orgánica o Biogeoquímica, la cual con la ayuda de ciertas técnicas analíticas permiten la identificación de compuestos orgánicos en materiales geológicos, entre ellos los considerados como biomarcadores, útiles en las reconstrucciones paleoambientales, dado que son productos biológicos; son instrumentos geoquímicos, en parte porque la

mayoría de ellos son altamente resistentes a la biodegradación y por ende proporcionan información acerca de la naturaleza de la materia orgánica alojada y finalmente preservada, que revela la historia de los procesos de su deposición y sepultamiento hasta el proceso diagenético de fosilización donde puede presentarse alteración fisicoquímica y biológica (Peters y Moldowan, 1993).

Este trabajo es considerado multidisciplinario, involucra la Geoquímica Orgánica Paleambiental y técnicas analíticas conducentes a la recuperación, identificación e interpretación de la composición química de la fracción soluble (bitumen) de la materia orgánica preservada en el ejemplar de madera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae), cuya Sistemática Paleobotánica estudió inicialmente García-Hernández *et al.*, (2016), así como los trabajos geológico-cartográficos que permiten una mejor comprensión y enriquecen el conocimiento sobre su presencia y la relación con los regímenes climáticos imperantes para el Cretácico Superior en esta parte del Desierto Chihuahuense.

Es pertinente mencionar que la preservación de fósiles es un hecho por demás afortunado, y que en general son distinguibles por su modo de ocurrencia geológica-estratigráfica, tomando en cuenta aspectos tafonómicos. La adecuada interpretación Geológica, Paleobotánica y Geoquímica redunda en el enriquecimiento del conocimiento sobre el organismo, hábitat y proceso de fosilización. Este tipo de trabajos multidisciplinarios son pioneros en nuestro país y escasos en la literatura mundial.

2. ANTECEDENTES

Algunos de los estudios realizados que involucran la composición molecular y los biomarcadores de plantas terrestres, han señalado la importancia que tiene la quimiotaxonomía en particular los bioterpenoides (Aplin *et al.*, 1963; Smith, 1976; Castro *et al.*, 1996; Mongrand *et al.*, 2001). Esto significa que estas biomoléculas se sintetizan mediante un número restringido de taxa de plantas y pueden usarse como marcadores específicos. Si bien la mayoría de los bioterpenoides se degradan y sus constituyentes atómicos se reciclan en los procesos superficiales de la Tierra, una parte menor se incorpora a los sedimentos, uniéndose así al ciclo geológico. Durante este proceso los bioterpenoides se transforman por diagénesis, lo que lleva a la formación de productos de reacción llamados geoterpenoides. Su valor quimiotaxonómico inicial puede conservarse parcial o totalmente (Simoneit, 1986; Otto y Simoneit, 2001). Los geoterpenoides de sedimentos antiguos pueden proporcionar información paleoquimiotaxonómica heredada de sus precursores biológicos y que tiene algunos atributos específicos en comparación con la paleobotánica y la palinología en la reconstrucción de evoluciones palaeoflorales y paleoclimáticas a través de tiempos geológicos (Vliex *et al.*, 1994; van Aarssen *et al.*, 2000; Hautevelle *et al.*, 2006).

Respecto al área de estudio son pocas las investigaciones científicas, aquí afloran rocas sedimentarias eminentemente siliciclásticas alternantes con carbonatos de facies marinas, transicionales y continentales con abundancia de material fósil que han sido motivo de algunos estudios previos de interés cartográfico, botánico, geoquímico y tectónico entre los que podemos citar una carta topográfica 1:50000, Trancas H13C58 (Chihuahua). 1999. INEGI, los de Oviedo-Padrón (2008 y 2010), quien describe la geología regional que involucra la Sierra Cuesta del Infierno; posteriormente, Flores-Castro (2011), Montaño-Ruiz (2012), González-Moreno (2012), estudiaron sedimentos cretácicos con material fosilífero que afloran al pie de monte de esta sierra.

Los trabajos paleobotánicos realizados en la región son escasos, entre los cuales se puede citar el de Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera (2011), quienes describieron una especie del género fósil *Javelinoxylon*; esta planta fue descrita por vez primera en sedimentos de la Formación Javelina (Maastrichtiano temprano) en el Big Bend National Park, Texas (Wheeler *et al.*, 1994) y más tarde en la Formación Olmos (Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2010), posteriormente García-Hernández y colaboradores (2016) describen un nuevo registro de una dicotiledónea conocida como *Paraphyllanthoxylon*, además de una conífera con caracteres que recuerda al género fósil *Agathoxylon* (motivo de estudio en este trabajo), siendo éste el primer registro para el Cretácico de México.

Recientemente y con base en trabajos de Geoquímica Orgánica, Lugo-Rodríguez *et al.*, (2013 y 2017), revelan la composición de materia orgánica preservada en madera del género fósil *Paraphyllanthoxylon*; y el de Mendoza-Ostria (2012 y 2016) caracteriza compuestos orgánicos en una malvácea del género fósil *Javelinoxylon*, identificada y referida previamente al Cretácico Superior por Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera (2011).

2.1 Regiones aledañas con yacimientos fósiles de plantas

Investigaciones paleobotánicas sugieren que las selvas tropicales y paratropicales dominadas por angiospermas tuvieron una distribución importante en América del Norte durante el Cenozoico temprano (Paleoceno-Eoceno) e indican que floras bajo condiciones megatermales podrían haber estado presentes en el Norte de México y centro-sur de Estados Unidos de América desde el Cretácico Superior (Ca. 73 m.a).

Las maderas fósiles en la República Mexicana han sido reportadas en varias ocasiones debido a su abundancia (Weber, 1972, Cevallos-Ferriz, 1983; Cevallos-Ferriz y Weber, 1992; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007, 2009, 2010; Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011), aportando información valiosa para la reconstrucción de las taofloras mexicanas. Se señaló una serie de localidades con interés paleobotánico y mencionó por primera vez a las localidades con maderas permineralizadas del NE de México (Fig.1). En la Formación Olmos también se han recolectado dos morfotipos de los sedimentos, los cuales se relacionan con Podocarpaceae y Taxodiaceae (Estrada-Ruiz *et al.*, 2013).

Respecto al registro de dicotiledóneas, Cevallos-Ferriz (1992) describió una madera del Cretácico Superior de Sonora con caracteres que recuerdan a *Canarioxylon* (cf. Burseraceae). En un trabajo de Gryc *et al.* (2009) relacionaron el registro anterior con el género fósil *Paraphyllanthoxylon* Bailey. En el área de Lampazos del Cretácico Inferior, también en Sonora se recolectó una madera con características que la relacionan con Araucariaceae (Cevallos-Ferriz, 1992). En la Formación San Carlos (Conaciario-Maastrichtiano) en el estado de Chihuahua, se describió una especie de dicotiledónea, *Javelinoxylon deca* (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011; Estrada-Ruiz *et al.*, 2013).

En afloramientos de la Formación San Carlos del Cretácico Superior (Coniaciano-Maastrichtiano), Chihuahua, en el municipio de Aldama, se han recolectado varias maderas permineralizadas de angiospermas y gimnospermas.

Hasta el momento, estudios paleobotánicos han identificado a los géneros fósiles de *Paraphyllanthoxylon*, *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.) y *Agathoxylon*.

Javelinoxylon y *Paraphyllanthoxylon* se han recolectado con anterioridad en localidades fosilíferas de Texas y Coahuila (Wheeler *et al.*, 1998; Estrada-Ruiz *et al.*, 2007). La ausencia de anillos de crecimiento en los leños de dicotiledóneas y su escaso desarrollo de coníferas, además de la presencia de palmeras, sugiere que la flora de esta formación creció bajo un clima tropical (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011). También se han recolectado fósiles de bivalvos, gasterópodos, amonitas y una gran cantidad de huesos de dinosaurios pertenecientes a los llamados pico de pato (hadrosaurios) (García-Hernández *et al.*, 2016), entre otros.

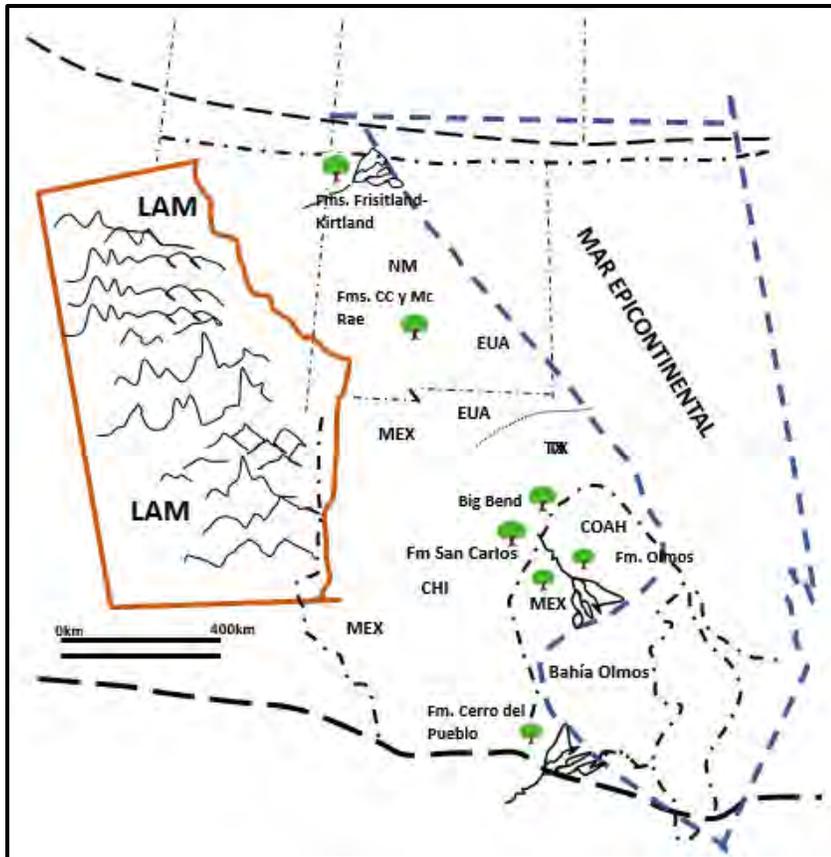


Figura 1 Mapa paleogeográfico mostrando las localidades fosilíferas del Campaniano-Maastrichtiano (modificado de Flores-Espinosa, 1989).

MEX = México, COAH = Coahuila, CHI = Chihuahua; EU = Estados Unidos, NM = Nuevo México, TX = Texas, CC = Crevasse Canyon, LAM = Laramidia.

2.2 Madera fósil de conífera del género *Agathoxylon* (Auracareacea).

Este trabajo se basa en el estudio de Sistemática Paleobotánica realizado por García-Hernández *et al.*, (2016) en el Instituto Politécnico Nacional en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Zoología. Esta madera fósil corresponde al grupo de las gimnospermas, el cual es más simple y homogéneo en cuanto a estructuras anatómicas que las angiospermas, dotando de dificultad su descripción taxonómica.

Para su estudio y descripción anatómica de las maderas fósiles se realizaron cortes delgados, siguiendo la técnica propuesta por Hass y Rowe (1999), según los planos tradicionales de observación (sección transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial) (Fig. 2), que permiten el reconocimiento de los elementos diagnósticos que la

componen, a su vez que de forma particular se reconocen caracteres específicos que son propios de una familia, género y hasta especie. En el caso del grupo de las gimnospermas la identificación a nivel de especie es difícil debido a su poca variabilidad (Wheeler y Baas, 1998).

Para la descripción de la conífera se siguieron las recomendaciones del comité de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA Committee, 2004). Para la clasificación se optó la propuesta por Christenhusz *et al.* (2011) y para la identificación se siguió la de Philippe y Bamford (2008).

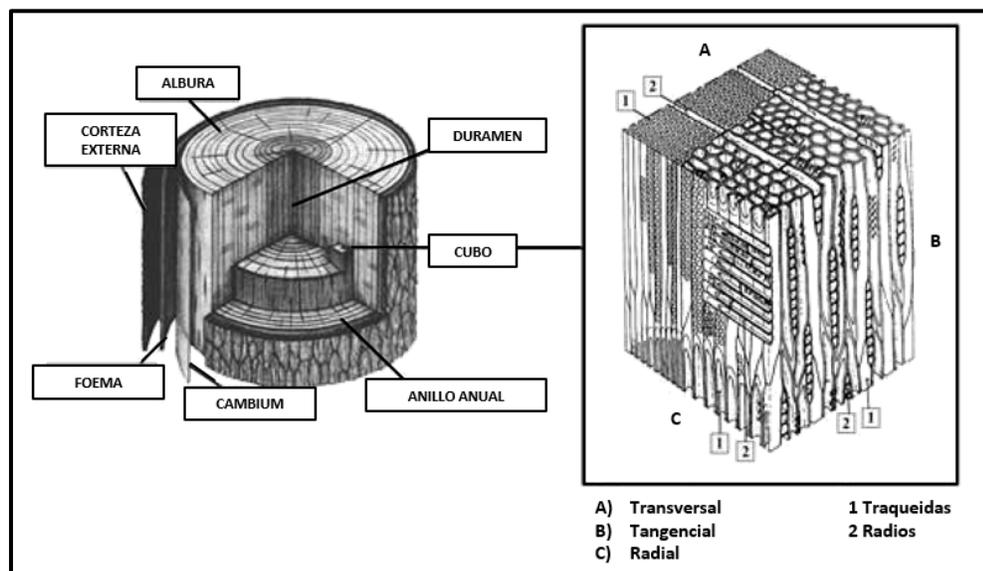


Figura 2 Cortes convencionales en una pieza de madera (Castañeda, 2007).

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

2.3.1 Paleobotánica sistemática

- Clase: Equisetopsida Agardh (1825)
- Subclase: Pinidae Cronquist *et al.* (1966)
- Género tipo: *Agathoxylon* Harting (1848)
- Horizonte estratigráfico: Formación San Carlos, Chihuahua.
- Localidad: Rancho Don Chuy, 28° 46' 17.0" N y 105° 27' 25.6" O.
- Edad: Coniaciano-Maastrichtiano.

2.3.2 Afinidad

De acuerdo al trabajo de Philippe y Bamford (2008) la madera descrita en este trabajo corresponde al género fósil *Agathoxylon* Hartig, 1848. La presencia de punteaduras (tipo oculiporo) cupresoides permitió relacionarla con este género fósil. Según Philippe (1993), los campos de cruzamiento araucarioides se caracterizan por presentar: punteaduras (tipo oculiporos) cupresoides a podocarpoides relativamente pequeñas, un poco deformadas en los contactos y generalmente más de cuatro por campo, aunque en la muestra de la Formación San Carlos sólo se observaron hasta tres (generalmente dos) punteaduras por campo. Asimismo, los siguientes caracteres como:

- 1) Contorno de las traqueidas de angular a rectangular.
- 2) Anillos de crecimiento indistinguibles.
- 3) Radios principalmente uniseriados, ocasionalmente biseriados.

Se hizo también la identificación sobre el tipo de fosilización; existen 4 tipos de fosilización según Schopf, (1975) la compresión carbonizada, preservación autigénica (cementación), preservación duripártica y permineralización celular. Esta última es la que presenta el ejemplar fósil.

La permineralización y petrificación ocurren por el relleno y precipitación de minerales disueltos en solución en los espacios intercelulares de los tejidos vegetales, provocando así una transformación química de los restos de plantas, con poco o nada de la materia orgánica original. La mineralización temprana de los tejidos evita la compactación de los mismos y por lo tanto, permite la preservación de las plantas en tres dimensiones. La mineralización de los restos vegetales (cavidades intracelulares e intercelulares de las estructuras histológicas de los restos orgánicos) es dependiente del tipo de ambiente sedimentario y de la presencia de depósitos existentes (Schopf, 1975; Fernández-López, 2000).

3. JUSTIFICACIÓN

Son escasos los estudios con órganos vegetativos fósiles referidos al Norte de México (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011; García-Hernández *et al.*, 2016) que proporcionan información evolutiva y ecológica de las plantas a través del tiempo geológico y aun en menor proporción los estudios que emplean *Sproxies* geoquímicos de estos, que están limitados al grupo de trabajo en el que se puede citar dos trabajos anteriores que corresponden a angiospermas, el de Mendoza-Ostria *et al.*, (2012) de la familia Malvácea (*Javeloxylon* deca) y una Laurácea por Lugo-Rodríguez *et al.*, (2017) (*Paraphyllanthoxylon* anazasi).

Dado el complejo cambio de entorno ecológico-ambiental del sitio, se necesitan estudios puntuales y de carácter multidisciplinar que coadyuven al entendimiento de su evolución en el tiempo geológico, en este caso particular, del Cretácico Superior.

En la presente investigación se usa por primera vez como material de estudio un gimnosperma del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) al cual se le hacen observaciones paleobotánicas, se le aplican técnicas de Geoquímica Orgánica con el fin de obtener información específica (compuestos y biomarcadores) sobre la existencia del ejemplar fósil, describiendo también su modo de ocurrencia geológica.

Este estudio ampliará la erudición para el entendimiento y comprensión de la presencia del ejemplar fósil y su relación con el entorno geológico, ecológico y climático en la que tuvo su fosilización; es decir, una interpretación del paleoambiente prevaleciente del Desierto Chihuahuense durante el Cretácico Superior.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Caracterizar la materia orgánica alojada y preservada en un ejemplar del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) asignado al Cretácico Superior aplicando técnicas de geoquímica orgánica, así como su modo de ocurrencia geológica en búsqueda de una interpretación paleoambiental.

4.2 Específicos

- Obtener la fracción soluble de la MOS (bitumen) alojada y preservada en la conífera fósil, mediante la extracción secuencial termorregulada para su posterior identificación en RMN ¹H y de CG-Ms.
- Interpretar los espectros y cromatogramas para caracterizar los compuestos orgánicos de la conífera y compararlos con los reportados en la literatura actual.
- Elaborar el mapa geológico y estratigráfico del afloramiento donde se preserve el ejemplar fósil.
- Interpretar paleoambientalmente usando la ocurrencia del fósil.

5. ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Localización y vías de acceso

El ejemplar de madera fósil, motivo de estudio, se descubrió en las inmediaciones del desierto en los terrenos pertenecientes al *Museo de Sitio Paleontológico y Ecológico Rancho Don Chuy*, el cual está situado en la ribera del río Conchos en el poblado de Potrero El Llano, municipio de Aldama al NE del estado de Chihuahua (México).

Se tiene acceso a la zona de estudio partiendo de la capital del estado de Chihuahua, conduciendo por la carretera federal n. 16 (Chihuahua–Ojinaga) hasta Ciudad Aldama, realizando un recorrido aproximado de 30 km, se continua por otros 34 km hasta encontrar el entronque que comunica a la comunidad de Potrero El Llano-Chorreras que dista 32 km por camino de terracería, el cual es transitable durante todo el año y se continua por otros 5 km hasta llegar a la entrada de la propiedad del museo de sitio (Fig. 3)

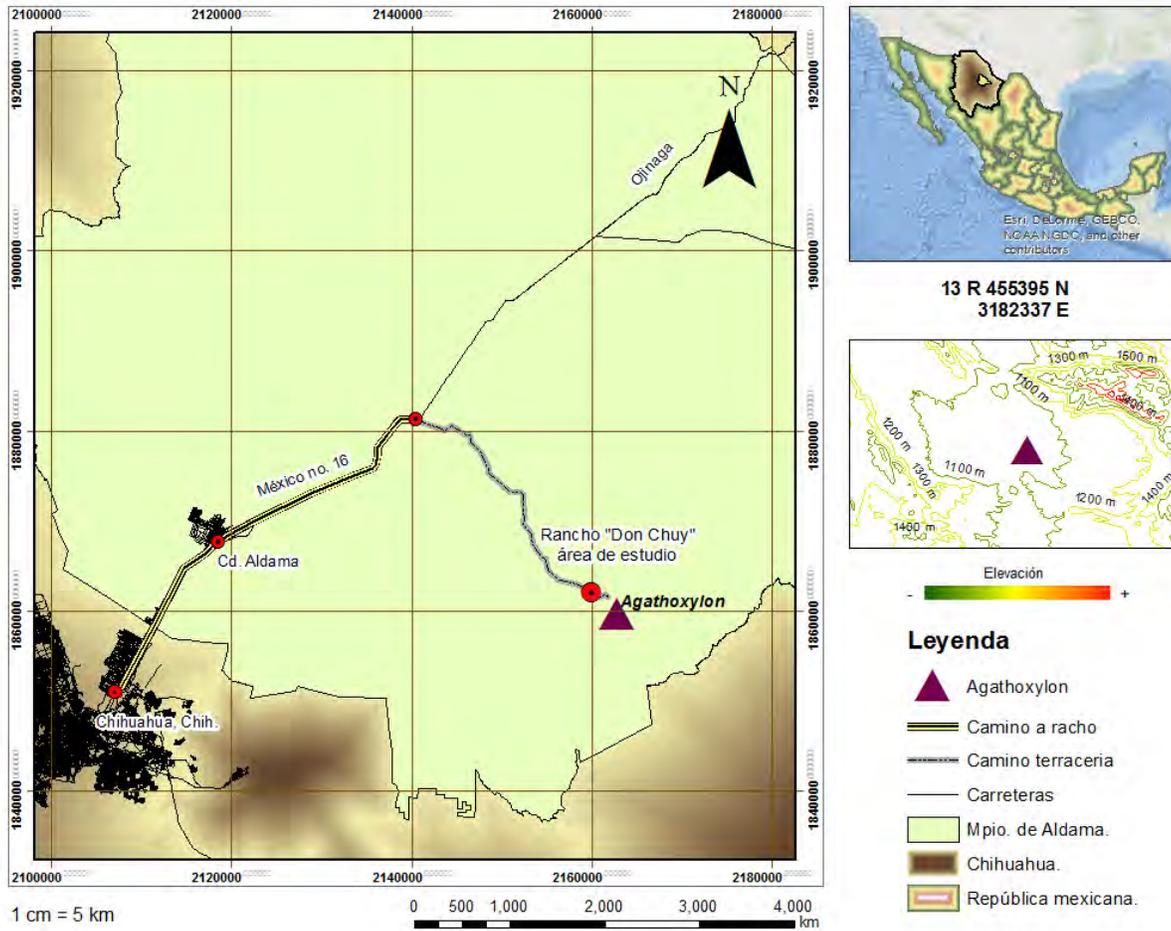


Figura 3 Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.

5.2 Geología regional

El basamento cristalino Precámbrico de esta parte del norte del país se asoman ventanas estructurales dispersas y poco numerosas que forman bloques alóctonos incrustados en niveles superiores de la corteza principalmente de edad paleozoica y mesozoica. Están compuestas principalmente por rocas metamórficas de alto grado (facies anfibolita y granulita), referidas al Cratón Norteamericano. En el área de Carrizalillo y en la sierra El Cuervo (que se encuentran próximas al área de estudio), la litología está conformada por metagranitos, anfibolitas, metagabros y gneises cuarzofeldespáticos que están intrusionados por diques pegmatíticos (Quintero y Guerrero, 1985).

La secuencia estratigráfica durante el Paleozoico registra la invasión de los mares a partir del Cámbrico-Ordovícico, sobre una superficie llana en la que sobresalen arcos de poco relieve. Durante el Paleozoico Inferior las condiciones ambientales fueron muy uniformes y la columna está constituida principalmente por carbonatos de plataforma. En el Paleozoico Superior los intensos disturbios orogénicos culminan con el cierre final de Pangea, provocando el hundimiento de fosas tectónicas. A partir del Pérmico Superior se inicia una larga etapa de emersión total, bajo el influjo de un medio ambiente árido y el predominio absoluto de los procesos erosivos.

En el Mesozoico, los procesos de expansión oceánica en el Atlántico provocan la transgresión de los mares desde el este. En tanto que en el Pacífico se establece un régimen de subducción que genera un arco volcánico en el margen del continente. Durante el Triásico las tierras permanecen emergidas y continúa el proceso de erosión de las rocas paleozoicas plegadas. A partir del Jurásico Superior se inicia el avance paulatino de los mares desde el este, que inundaron depresiones someras bordeadas por elementos positivos estables, cuya influencia fue determinante en las pautas de distribución de las facies sedimentarias. La transgresión dio inicio durante el Calloviano y probablemente alcanzó el borde sur del estado durante el Oxfordiano, invadiendo la cuenca durante el Kimmeridgiano. A fines del periodo se inicia una etapa regresiva y la cuenca cambia a un ambiente lagunar de circulación restringida a cerrada, donde la intensa evaporación provocó el depósito de grandes espesores de sal y yeso que persistieron durante el inicio del siguiente periodo (COREMI, 1994).

Durante el Cretácico Inferior la provincia de Cuencas y Sierras heredó los elementos paleogeográficos jurásicos y en un principio persistió la regresión y las zonas lagunares fueron sustituidas por una llanura fluvial costera. Posteriormente, en el Neocomiano Superior se inició un nuevo ciclo transgresivo que en pasos sucesivos cambio de llanura fluvial a cuenca lagunar y culminó como una extensa plataforma de mar abierto a semi-restringida. Posteriormente las tierras emergidas se redujeron gradualmente y la plataforma se amplió hasta cubrir por completo los elementos positivos y alcanzar su máxima extensión durante el Albiano temprano.

En el Cretácico Superior el depósito de las rocas carbonatadas del Cretácico Inferior fueron sustituidas por el depósito de terrígenos derivados de los terrenos volcánicos emergidos del oeste, mismos que fueron transportados por corrientes fluviales cientos de kilómetros al este, finalmente depositados en ambientes fluviales, deltaicos y marinos. El continuo levantamiento regional acompañado por el plegamiento de la carpeta sedimentaria y la progradación de los deltas, produjo el movimiento de las líneas de costa hacia el Este, de manera que el territorio estatal emergió totalmente a finales del periodo.

En la Sierra Madre Occidental la actividad magmática post-Laramide se prolongó hasta el Eoceno Superior en que tuvo lugar la primera etapa de elevación del altiplano en el país y el suroeste de América del Norte. Se inició entonces un nuevo estilo de volcanismo tras un intervalo de aparente quietud en un tiempo relativamente corto caracterizada por la emisión explosiva y casi sincrónica de la voluminosa cubierta de ignimbritas que componen la mesa volcánica de la Sierra Madre Occidental. A partir del Mioceno prosiguió la emisión menguada e intermitente de basaltos provenientes de campos volcánicos aislados. A partir del Mioceno se inició una etapa tectónica extensional que da su sello a la morfología actual, caracterizada por la alternancia de sierras constituidas por bloques tectónicos levantados y bolsones en las depresiones estructurales.

Los productos de erosión de las sierras se acumularon en abanicos aluviales que se fusionaron con el tiempo y rellenaron los bolsones. Los sedimentos de bolsón se intercalaron con derrames basálticos alcalinos. Esta actividad volcánica se inició en el Mioceno y prosiguió hasta el reciente, en que está representada por emisiones de basaltos locales de poca extensión (COREMI, 1994).

5.3 Geología local

Respecto a la geología local se mencionan las formaciones más cercanas al área de estudio en congruencia con las edades que este trabajo abarca.

- **Mesozoico**

Formación Navarrete (Berriasiano): descrita por primera vez por Haenggi (1966) a 1.3 km al noreste del Rancho La Aguja, en la Sierra Pinosa, Chihuahua, donde se considera su localidad tipo. Se distinguen en esta formación tres miembros: el inferior caracterizado por caliza arenosa con intercalaciones de lutita calcárea; la parte media consiste de arenisca, arenisca calcárea y hacia la cima por caliza arenosa con intercalaciones de lutita calcárea que presenta niveles de evaporitas. Se le observa al noreste de Placer de Guadalupe, en una franja delgada de orientación noroeste-sureste y también en las inmediaciones del rancho El Tascate y al oeste de cerro Verde y La Aguja, en donde presenta sus mejores afloramientos.

Formación Las Vigas (Valanginiano-Hauteriviano): definida por Burrows (1910) en la localidad de Chorreras, Chihuahua. Se compone de una alternancia de arenisca roja, verde y gris con limolita verde y roja y esporádicos horizontes de caliza. La arenisca presenta estratos de 1 a 4 m y se caracteriza por presentar estratificación cruzada. Se distribuye ampliamente en la parte centro-oriente, sureste y noreste del estado de Chihuahua; principalmente en el flanco norte de la sierra Chorreras y en las inmediaciones del arroyo Agua de Enmedio y La Cristina.

Formación La Virgen (Barremiano): el término de Formación La Virgen fue propuesto por Humphrey y Díaz (1956), para una secuencia alternante de yeso, anhidrita y caliza, con localidad tipo en el Potrero de la Virgen, en la sierra Las Ovejas, al noreste de Cuatro Ciénegas (Coahuila). Consiste de estratos gruesos a medios de caliza con intercalaciones de lutita y yeso en estratos medios a gruesos. Se encuentra en el sector noreste sobre la loma “El Güero”, siguiendo una franja orientada al noroeste hasta la localidad San Francisco, donde se flexiona al noreste. Aflora en el flanco este de la sierra El Bronce donde tiene una orientación norte-sur; también aflora en la sierra La Encantada, así como también se distribuye en el flanco noroeste de la sierra de Chorreras.

Formación Glen Rose (Albiano Inferior-Medio): Nichols (1958) describe a la Formación Glen Rose como una secuencia que se distribuye ampliamente en la porción centro-oriente del estado de Chihuahua, formada por caliza nodular gris que lateralmente cambia a caliza masiva. Se encuentra constituida hacia la base por caliza en estratos gruesos intercalada con caliza arcillosa de estratos medios a gruesos con horizontes de lutita negra. Los estratos de caliza presentan con frecuencia bancos de orbitolinas. Se ha localizado en las sierras El Morrión, El Bronce y La Encantada.

Formación Aurora (Albiano Inferior-Superior): Burrows (1910) la define como una secuencia de capas gruesas de calizas, expuestas en la sierra de Cuchillo Parado Chihuahua; su nombre fue tomado de la mina Aurora al noreste de Cuchillo Parado. La litología de esta formación consiste de calizas de textura carbonatada color gris claro de estratificación gruesa a masiva que contiene nódulos de pedernal color gris que intemperiza a color café; en ocasiones se presentan vetillas de calcita color blanco. Se reconoce a ambos flancos y en la parte alta de la sierra Chorreras.

Formación Benigno (Albiano): Haenggi (1966) propone esta formación para la caliza que se encuentra entre las formaciones Cuchillo y Lágrima. El nombre lo tomó del arroyo Benigno que se encuentra al noreste del área del Cuervo (Aldama, Chihuahua). Consiste de estratos de caliza café claro en superficie fresca y gris al intemperizar que muestra textura afanítica y escaso pedernal. Aflora en el extremo sureste de la sierra San José del Carrizo.

Formación Coyame (Albiano Inferior): descrita por Guzmán (1977). Está constituida hacia la base por una intercalación de estratos medios a gruesos de caliza gris oscuro en roca fresca y crema al intemperismo, con estratos delgados a medios de lutita gris y café oscuro que presenta horizontes aislados de pedernal. Incluye fauna de amonitas, gasterópodos y abundante microfauna. Aflora en el flanco oriente de la sierra El Morrión y en la sierra El Bronce.

Formación Buda (Cenomaniano): Vaughan (1900) propone el nombre de Formación Buda a un paquete de caliza nodular clara, lutita y ocasionales horizontes de margas que afloran a 30 km al norte de Shoal Creek en Austin, Texas, EUA. Aflora en las sierras El Morrión, El Gatún, Chorreras, San José del Carrizo, San Diego y Roque.

Formación Ojinaga (Cenomaniano-Turoniano): Burrows (1909) define como Formación Ojinaga a los afloramientos que se encuentran en las cercanías de Ojinaga (Chihuahua) y que consisten de un potente espesor de caliza negra laminar, lutita, limonita y arenisca que ocasionalmente presentan horizontes de yeso. Se puede observar al sur de la sierra San José del Carrizo y en el sector noreste sobre el arroyo El Venadito.

Formación San Carlos (Coniaciano-Maastrichtiano): Vaughan (1900) aplicó este término para una alternancia de arenisca y lutita con alto contenido de carbón que aflora en la mina San Carlos, en las cercanías de Presidio, Texas, EUA. Se observa en la cuenca de Chihuahua, en la porción centro-norte del estado. Consiste de una secuencia terrígena representada por arenisca feldespática que alterna con lutita laminar y margas hacia la cima. La lutita presenta alto contenido de material carbonoso con algunos fragmentos de maderas fósiles, además de *Hedbergella* sp., *Rotalipora* sp., *Inoceramus* sp. y amonites, radiolarios y globigerínidos. Los espesores varían de 300 a 400 m. Su contacto inferior es concordante y transicional con la Formación Ojinaga. El superior es discordante con rocas volcánicas y sedimentos recientes. Wolleben (1966) propone que el miembro superior de la Formación San Carlos corresponde a la Formación El Picacho. El depósito fue en ambiente litoral, probablemente con influencia deltaica. Aflora en el cerro El Huérfano, la sierra El Bronce y en el Bajío del Muerto, así como al sur de la sierra San José del Carrizo y en el DECA-Parque Cretácico, próxima al área de estudio.

- **Cenozoico**

Cubierta Volcánica: la columna está compuesta por una amplia variedad de rocas volcánicas, representada principalmente por derrames de diferente composición: andesíticos (tobas de ceniza, ignimbrita e intercalaciones de conglomerados polimícticos),

basálticos (coronando de forma transicional a los derrames andesíticos), de composición bimodal (riolita, toba riolítica y basalto), entre otros. De igual manera hay presencia de riolitas asociadas a vulcanismo de origen fisural (emisiones lávicas, vidrios y flujos piroclásticos), así como de granitos y granodioritas (COREMI, 1994). En el área de la Sierra Cuesta El Infierno están presentes rocas volcánicas divididas según Oviedo-Padrón (2008) en dos secuencias: secuencia inferior, compuesta por flujos piroclásticos félsicos, y secuencia superior, compuesta por derrames andesítico-basálticos.

5.3.1 Fisiografía

El estado Chihuahua se encuentra entre dos provincias fisiográficas: Sierras y Llanuras del Norte y Sierra Madre Occidental. El Área de estudio se encuentra dentro de la primera. El origen de esta provincia se relaciona con el plegamiento de las secuencias marinas del Mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, así como con el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, dando lugar a la formación de cuencas endorreicas.

Dominan los depósitos recientes del Cuaternario, seguidos por las rocas sedimentarias tanto del Cretácico como del Terciario y las ígneas extrusivas básicas del Cuaternario. En esta provincia, también se reportan afloramientos de rocas metamórficas del Precámbrico y sedimentarias del Paleozoico, pero en el área de estudio no se encuentran aflorando.

La provincia se subdivide a su vez en cinco subprovincias denominadas: Llanuras y Médanos del Norte, Llanuras y Sierras Volcánicas, Sierras Plegadas del Norte y del Bolsón de Mapimí; el área de estudio se encuentra en la Sierras Plegadas del Norte, que ocupa casi toda la parte noroeste del río Conchos, consiste de una bajada amplia que tiene asociada lomeríos bajos y su continuidad está parcialmente interrumpida por pequeñas sierras alargadas y dispersas y orientadas NW-SE, tal es el caso de La Sierra del Morrión y La Sierra La Gloria, al norte y noreste respectivamente.

6. MÉTODOS

6.1 Trabajo de campo

Se llevaron a cabo dos visitas al campo para reconocimiento del área de estudio (junio 2016; junio 2018) la primera con el fin de la obtención de las submuestras del ejemplar de madera fósil y la segunda para el levantamiento de datos geológicos en la que se describieron aproximadamente 700 m de sedimentos.

6.1.1 Muestreo

El muestreo en campo consistió en la recuperación de fracciones independientes de la porción exterior (Corteza) (Fig. 4 B), parte media (Anillos) (Fig. 4 C) y parte central (Núcleo) (Fig. 4 C), además de otra que incorporó las tres fracciones a la que se le denominó "Todo a Uno", con un tamaño de muestra aproximada a 1000 g, mismas que se tomaron mediante la utilización de un cincel y un martillo en la base del tronco. Cada una de las submuestras fueron cubiertas con papel aluminio antes de ser embaladas en bolsa de polietileno previamente etiquetadas, evitando en todo momento que las muestras tuviesen contacto con las manos (Fig. 4 E).

También se llevó a cabo el muestreo de los sedimentos que le cubre y subyace al ejemplar de madera fósil los cuales corresponden a capas intercaladas de conglomerado, arenisca conglomerática y arenisca, las cuales fueron medidas y descritas (Fig. 4 D).

Estas muestras fueron posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Geoquímica del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.



Figura 4 Afloramiento de madera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae).

A) vista general de la madera B) corteza C) parte media correspondiente a los anillos D) vista hacia la copa E) muestreo de las estructuras leñosas.

6.2 Trabajo de laboratorio

6.2.1 Preparación de muestras para Geoquímica orgánica

Para RMN ^1H las muestras que fueron recuperadas de las tres fracciones de esta conífera fueron trituradas, molidas y pulverizadas a malla 100 utilizando un mortero de ágata, evitando en todo momento que la muestra fuese contaminada (Fig. 5 A), este procedimiento se hizo hasta obtener 300 g de muestra en polvo de cada submuestra, más 100 g adicionales para la muestra denominada “Todo a Uno”.

Posteriormente para el análisis de CG-MS se realizó el mismo método de preparación de muestra con la única diferencia de la cantidad de muestra en este caso fueron 100 g con excepción de la muestra de la parte media de la que solo se tenían 50 g.

Estas fueron pesadas, etiquetadas y guardadas en papel aluminio para su posterior sometimiento de extracción secuencial de bitumen.

6.2.2 Método de extracción de bitumen contenido en el material fósil

La extracción de bitumen se llevó a cabo mediante el proceso de reflujo continuo termoregulado; las fracciones polvo (Fig. 5 A) fueron introducidas en matraces Florencia de 1000 ml, a los que se le adicionaron disolventes orgánicos que abarcan un amplio rango de polaridad, iniciando con hexano (C_6H_{14}), diclorometano (CH_2Cl_2), acetato de etilo ($CH_3-COO-CH_2-CH_3$) y se terminó con metanol (CH_3-OH), todos de grado HPLC en una porción 1:3 (peso/volumen), en el caso particular de las muestras que fueron analizadas por RMN 1H se introdujeron 300 g de muestra y 900 ml de cada uno de los disolventes (Fig. 5 B).

Para el análisis de CG-Ms se sometieron las cuatro fracciones (todo a uno, corteza, parte media, núcleo) con un disolvente de polaridad de intermedia-alta y que según los cromatogramas de RMN 1H es representable de la gama de compuestos encontrados, este es el Acetato de Etilo ($CH_3-COO-CH_2-CH_3$). Las fracciones fueron sometidas al mismo proceso de obtención de bitumen, la única diferencia fue la cantidad de muestra en este caso fueron 100 g con excepción de la muestra de la parte media de la que solo se tenían 50 g, y de igual forma se le hizo una adición de disolvente 1:3.



Figura 5 Preparación de submuestras en laboratorio para obtención de bitumen.

A) tritutación y molienda de las submuestras de las estructuras leñosas B) extracción secuencial termoregulada C) filtración D) concentración de extracto en rotavapor E) secado y almacenamiento de los extractos.

La obtención de bitumen con disolventes de alta pureza se llevó a cabo mediante el método de extracción secuencial termoregulada (Fig. 5 B) la cual consiste en conectar los matraces a un sistema de refrigerantes por los cuales debe circular un refrigerante a baja temperatura (-4 a -2 °C), se colocaron los matraces dentro de las mantillas de calentamiento las cuales fueron cubiertas con una capa de algodón que a su vez era cubierta por aluminio con el fin de homogenizar y conservar la temperatura, después de 10 a 30 min aprox. (dependiendo del disolvente) el disolvente alcanza su punto de ebullición (Tabla 1) y comienza la evaporación y condensación en el matraz (reflujo), a partir de este momento empiezan a contarse las 50 horas en las que se mantienen las mismas condiciones.

Tabla 1 Temperaturas de ebullición de los disolventes utilizados

Disolvente	Formula	Temperatura
Hexano (Hex)	C ₆ H ₁₄	68.8°C
Diclorometano (DLCM)	CH ₂ Cl ₂	77°C
Acetato de Etilo (AcOEt)	C ₄ H ₈ O ₂	77°C
Metanol	CH ₃ OH	64.7°C

Pasado este tiempo se desconecta el experimento, se retiran las mantillas y se deja enfriar a temperatura ambiente para después hacer una filtración por gravedad (Fig. 5 C), dejando de a la muestra pulverizada que se dejara secar para el siguiente disolvente y en otro matraz el disolvente donde se encuentran inmersos los compuestos que pudo asimilar el disolvente. Se procede a una recuperación de disolvente, con una pipeta Pasteur desechable se recuperan los últimos ml (2-3 ml) del disolvente (Fig. 5 D).

Los extractos resultantes fueron guardados en un vial previamente pesado y etiquetado para dejar secar en la oscuridad y a temperatura ambiente, se esperó a que el exceso de disolvente se evaporara y se obtuvo el peso real de la MOS (bitumen) (Fig. 5 E), (Flores-Castro *et al.*, 2011).

6.3 Procedimientos analíticos para la identificación de compuestos orgánicos preservados en la madera fósil *Agathoxylon* (cf. Araucariaceae)

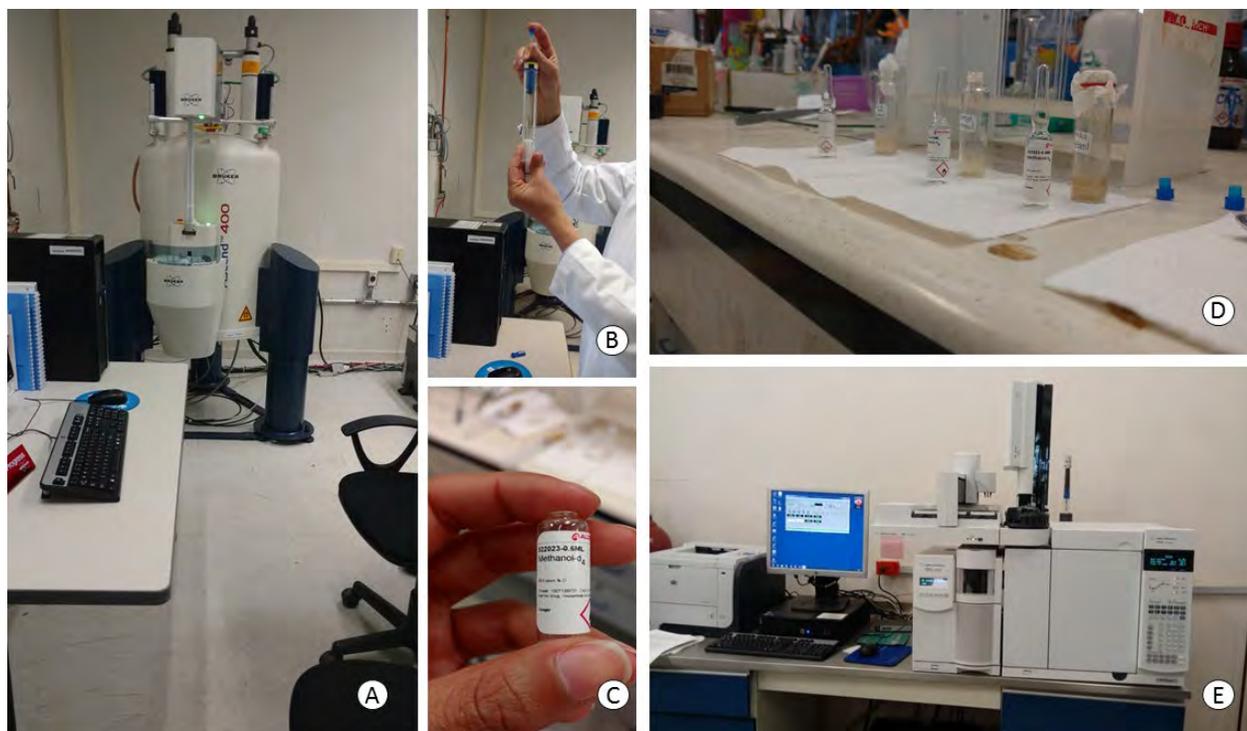


Figura 6 Técnicas analíticas empleadas para identificación de compuestos orgánicos.

A) RMN ^1H Bruker AscendTM de 400 MHz B) porta muestras para RMN ^1H C) Ampolleta de Metanol d_4 D) disolución de muestras en metanol E) cromatógrafo de gases - masa Agilent Technologies 7890.

6.3.1 Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear de Protón (RMN ^1H)

Las partes principales de un instrumento de RMN ^1H , consisten en una fuente de radiofrecuencia que es extremadamente estable en frecuencia y potencia, un receptor de radiofrecuencia altamente sensible, un imán magnético que produce un campo magnético fuerte y constante y un sistema de grabación de datos

Los extractos obtenidos por cada una de las submuestras en cada disolvente, se analizaron utilizando un espectrometro Bruker, modelo *Ascend*TM 400 MHz (Fig. 6 A), del Centro de Investigaciones Químicas de la UAEH con asesoría del Dr. Jesús Martin Torres Valencia.

En esta técnica se utilizan por lo general disolventes que no contienen hidrogeno (por ejemplo, CCl_4) o disolventes deuterados (por ejemplo, D_2O). Si no la absorción de RMN ^1H de protón del disolvente podría superponerse a la de la muestra. La señal del disolvente se podría suprimir, pero entonces se perdería información. Con esta idea en mente, los extractos fueron disueltos en cloroformo deuterado (extractos hechos de hexano, diclorometano, acetato de etilo, y el extracto correspondiente a la parte del núcleo en metanol) las demás fracciones de metanol se hicieron con metanol deuterado (todo a uno, corteza, parte media) (Fig. 6 C). Para cada muestra se obtuvieron los espectros con 64 scans (acumulaciones).

Posteriormente los espectros de RMN ^1H se editaron en el programa MestReNova para su análisis de compuestos orgánicos, usando como referencia las señales del CDCl_3 remanente en 7.26 ppm o la del metanol- d_4 en 4.87 ppm. Se hicieron las lecturas de los picos y las ampliaciones pertinentes.

6.3.2 Análisis por Cromatografía de Gases-Masa

La cromatografía de gases-espectrometría de masa (GC/Ms, por sus siglas en inglés) (Fig. 6 E) es un método que combina las características de cromatografía de gases y espectrometría de masa para la identificación de sustancias diferentes dentro de una muestra. Es muy utilizada para la identificación de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles. Además, es capaz de identificar trazas en materiales que se creían que pasaban desapercibidos por otras tecnologías.

La composición química de los extractos se determinó por medio de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas en un cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890, acoplado a un espectrómetro de masas con cuadrupolo simple Agilent 5975C. Con una fuente de ionización de impacto electrónico a 70 eV de DICTUS de la Universidad Autónoma de Sonora con el apoyo de la Dra. María Magdalena Ortega Niebla.

Se utilizó una columna capilar HP-5MS UI de 30 m. de longitud, 0.25 mm. de diámetro interno y 0.25 μm de espesor de película, usando He como gas acarreador, con un flujo de 1 mL/min. El modo de inyección fue en modo Split en una relación de 100:1. El volumen de

inyección fue de 1µL, al extracto de bitumen a analizar se diluyó en una proporción 1:10 con metanol grado HPLC ≥ 99.9 %. El software de adquisición de datos fue MSD ChemStation E.02.02.1431 y el programa fue 5975TAD. Las temperaturas de la interface y de la fuente fueron 150 °C y 200 °C respectivamente. El programa de temperatura inició a 50 °C por 5 min., seguidos de una rampa de calentamiento a razón de 8 °C/min hasta 300 °C, manteniendo esta temperatura por 5 min., el tiempo total de corrida fue de 41.25 min. La adquisición de los datos se llevó a cabo en modo *scan* en un rango de masas de 40-450 m/z. Los cromatogramas obtenidos fueron procesados, mediante el software HPChemistry remarcando el fragmento de interés y utilizando la base de datos Wiley 138 para la identificación de compuestos, los fragmentogramas se editaron en CorelDraw para su mejor presentación.

7. RESULTADOS

7.1 Geológicos

En el levantamiento estratigráfico se describió arena fina evaporítica con respaldo de calacarenita en contacto con areniscas con contenido de bioclastos de gasterópodos y pelecípodos de tipo *boundstone* (Fig. 7 F), regresando a arena fina evaporítica de material pobremente compactado con contenido de conchas y dientes posiblemente de tiburón (Fig. 7 D), posteriormente arenas margosas donde se encontraron restos de fósiles de amonites y gasterópodos (Fig. 7 E, G), seguido por arenas evaporíticas en las que también había amonites, transicionalmente se pasa a una secuencia margosa con delgados estratos de caliza, esto antes mencionado lo encontramos en un transecto de 104 m.



Figura 7 Material fósil en el levantamiento estratigráfico.

- A) madera fósil no estudiada B) huesos de grandes vertebrados C) bivalvos
D) dientes de tiburón E) gasterópodos F) pelecípodos G) amonites

Posteriormente de los 104 m a los 146 m se encuentra una intercalación de pelecípodos fragmentados entre los cuales se puede observar material margoso de tono amarillento, seguido por calcarenitas concrecional respaldada por arena fina limosa, continuamente arenisca de grano fino y compacta, concreciones calcáreas y septarias (Fig. 8 F) en material limoso color ocre amarillento en transición con arena fina limosa suprayacida por areniscas de grano medio con estratificación cruzada (Fig. 8 B).

De los 146 m a los 166 m hay una terraza aluvial cubierta por lutitas ocre en contacto con calcarenitas, seguidas por arena limosa de grano fino hasta un estrato delgado de calcarenitas, se vuelve a cubrir hasta areniscas blancas, de los 166 m a los 201 m se continua con concreciones con calcarenitas, marga, arena fina limosa, arenisca conglomerática oxidada y compacta gradada a arenisca conglomerática deleznable, conglomerado, arena tipo playa con estratificación cruzada, arena fina limosa, marga morado claro disgregada, arena limosa con alto contenido de yesos regresando a arena fina limosa (Fig. 8 F).

Subsecuentemente en arena limosa de grano fino con pequeños estratos de calcarenita hay huesos de grandes vertebrados (Fig. 7 B), se hallaron clastos centimétricos a decimétricos de origen volcánico, areniscas de grano medio bien clasificada color pardo-rojizo posteriormente cubierto, seguido por una intercalación de arena fina bien clasificada de grano fino con marga de color morado claro por un transecto que va de los 201 m a los 226.56 m.

Continuamente de los 226.56 a los 283.56 arena sílica que pasa transicionalmente a arenisca de grano fino oxidada, arena fina limosa en la que se encuentra preservada una madera no estudiada en tonos amarillentos (Fig. 7 A), esto es seguido por la alternancia de arena limosa de grano fino con arenisca compacta de grano fino bien clasificada de color rojizo (oxidada) que pasa a arenisca conglomerática que grada arenisca regresando a arena fina limosa seguido por arenisca de grano media con estratificación cruzada y bien clasificada.

Ulteriormente se encuentra el material cubierto por una terraza aluvial al que le continúa material margoso, calcarenita concrecional, arenas disgregadas de grano

medio, arenas limosas, areniscas compactas de grano fino y oxidadas hasta los 373.16 m. hasta encontrar nuevamente terraza aluvial a la que le sigue un intercalación arena de grano fino con arenisca compacta por un transecto que va de los 373 m a los 498.16 m regresando a arenas siliciclásticas seguido por concreciones ovoides de hasta 30 cm de diámetro que fradan de arenas gruesas a finas hacia el exterior.

Se presenta marga con carbonato evaporítica, arenisca de grano medio de moderada clasificación que pasa a arenisca conglomerática de grano grueso soportada por arena de grano medio alternante con arenisca conglomerática de grano grueso en contacto con material margoso hipersalino de color morado claro con lentes de calcarenita, transicionalmente pasa a arenas arcillo-limosas con presencia incipiente de polígonos de desecación, esto describe de los 498.16 m a los 548.41 m.

Se pudieron observar areniscas moderadamente clasificadas que pasan a arenas de grano medio bien clasificadas en contacto con arenas conglomeráticas rojizas que marcan el inicio del arroyo, transicionalmente hay arenas de grano fino color gris verdoso con respaldo de calcarenita nodular con evaporitas y cuerpos lenticulares incrustados en la arena limo-arcillosa donde hay presencia de sulfatos y carbonatos (Fig. 8 E) infrayacido por el mismo conglomerado que cubre la madera fósil motivo de estudio hasta los 598 m.



Figura 8 Litologías y estructuras halladas en levantamiento estratigráfico.

- A) arenisca conglomerática deleznable B) estratificación cruzada C) profusa alteración hidrotermal D) caliza con diaclasas secundarias E) carbonatos, evaporitas y yesos F) margas y arenas que incluyen abundantes septarias.

De los 598.41 m a los 640 m se presenta lo siguiente: sedimentos que cubren al ejemplar fósil que consisten en alternancias de conglomerado mal clasificado con clastos de origen volcánico soportado por arenas medias y que pasan transicionalmente a arenisca conglomerática (Fig. 8 A) con estratificación cruzada los cuales son relacionados con transporte fluvial y la predisposición de los clastos al NE nos da indicios del paleoflujo. Esta alternancia está presente por 2.11 m.

Le suprayace arena media deleznable bien clasificada de color gris claro con estratificación centimétrica, pasando a intercalaciones de calizas calcáreas (Fig. 8 A) color morado claro con calizas concrecionales inmersas en arenisca de grano medio. Después de esta intercalación el terreno se encuentra cubierto por suelo.

Posterior a esto se observa calcarenitas, arena disgregada, caliza concrecional, y arena hidrotermalizada con apariencia rojiza por oxidación (Fig. 8 C), marcado por una fractura se presenta una repetición a calcarenita y arena con espesor total de 9.10 m. En el respaldo del arroyo afloran areniscas de grano medio deleznable que incluyen calcarenitas en forma de parches.

Se pueden observar eventos volcánicos de los 640 m a los 646.3 m, estos son de tipo efusivo, explosivo y nuevamente efusivo, correspondiente de un depósito de 3 m de riolita, 2.3 m de material tobáceo y 1 m de andesita respectivamente.

Finalizado por una cubierta cuaternaria reciente que cubre el mesozoico en una terraza de sedimentos aluviales.

El levantamiento estratigráfico revela un ambiente marino a uno transicional hacia el acercamiento al horizonte de la conífera. Se interpreta como el frente deltaico, en acuerdo con la interpretación de Mc. Bride respecto a la Formación San Carlos (Fig. 9).

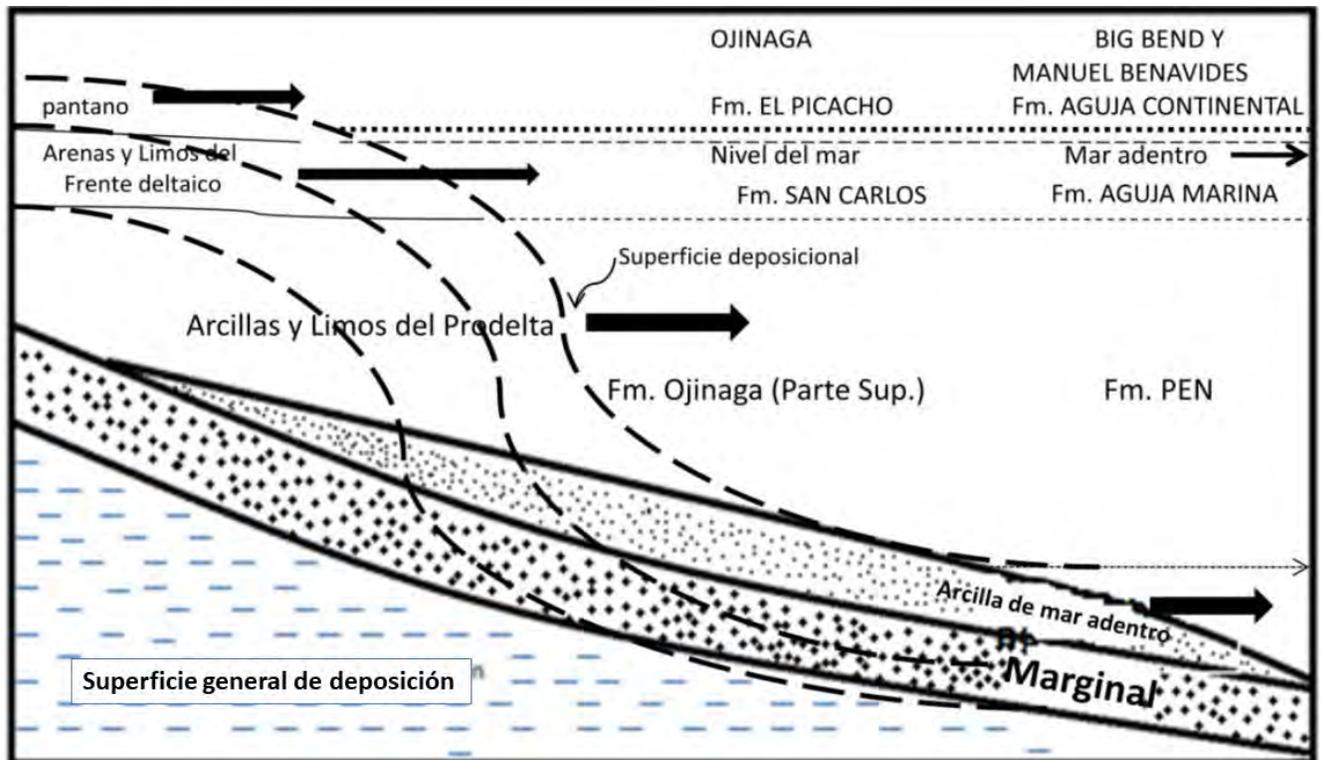
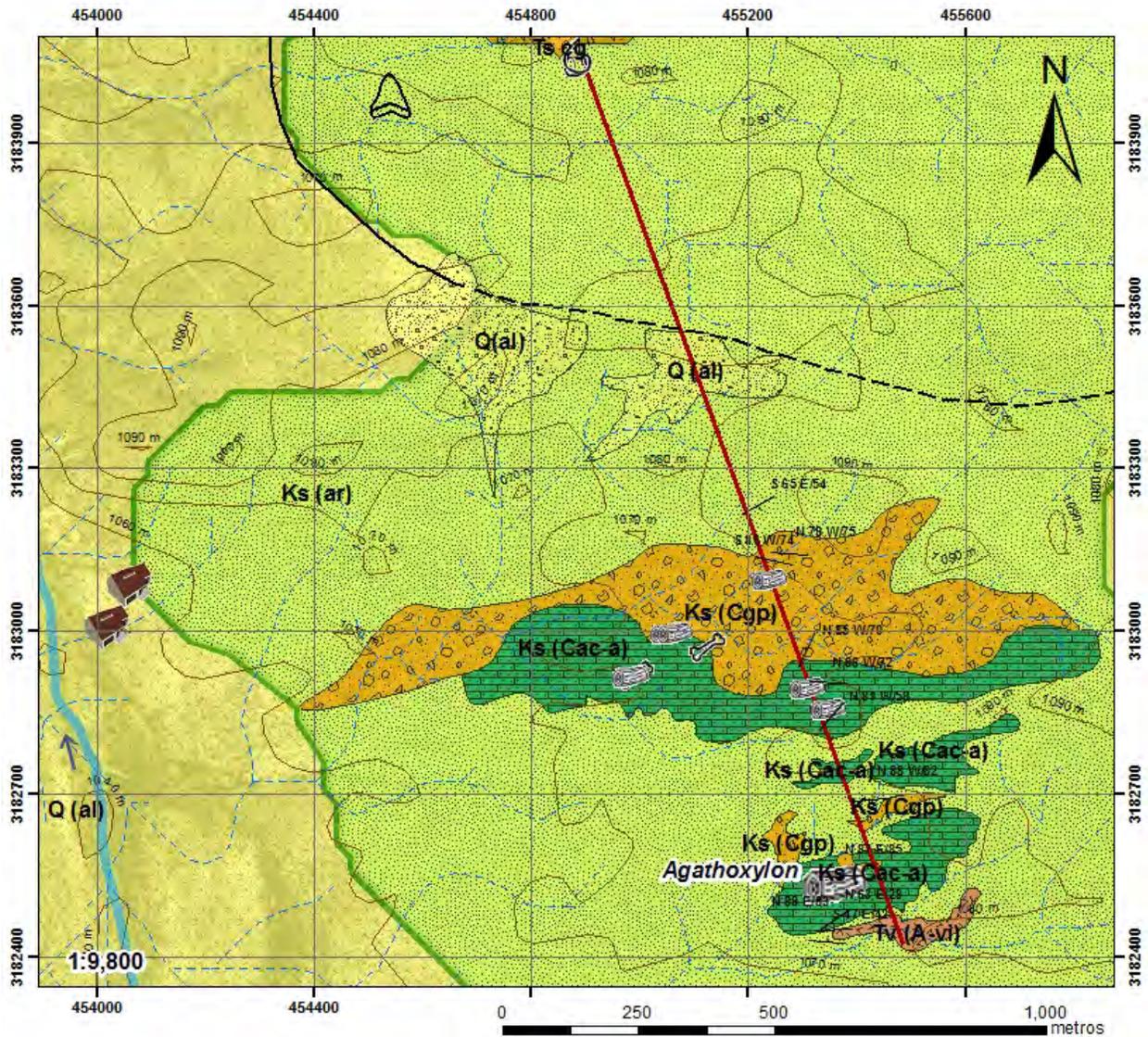


Figura 9 Migración hacia el mar de los ambientes deposicionales del delta (modificado de Mc. Bride, 1979).

De los datos de campo antes descritos se obtuvieron dos productos de índole geológica las cuales son; mapa geológico (Fig. 10) y columna estratigráfica (Fig.11) del sitio, elaborados en ArcMap 10.3 y SEDLOG respectivamente los cuales se muestran a continuación en su versión sintética.

7.1.1 Mapa Geológico



LITOLOGÍA

- Q (al): Aluvión
- Ks (ar): Arenisca
- Q (al): Terraza aluvial que cubre rocas del Mesozoico
- Ks (Cgp): Conglomerado polimítico
- Tv (A-vi): Riolita ácida
- Ks-Cac-a: Marga

FÓSILES

- AMONITE Y BIVALVOS
- HUESOS
- DIENTES DE TIBURÓN
- MADERA
- GASTERÓPODOS

DATOS ESTRUCTURALES

- FALLA COMPROBADA
- FALLA INFERIDA
- RBO/E CHADO

ELEMENTOS TOPOGRÁFICOS

- SECCIÓN: Columna medida
- CURVAS DE NIVEL
- DRENAJE PERMANENTE: Río Conchos
- DRENAJE INTERMITENTE
- MUSEO DE SITIO

Figura 10 Mapa geológico del “Rancho Don Chuy” (versión sintética).

7.1.2 Columna estratigráfica

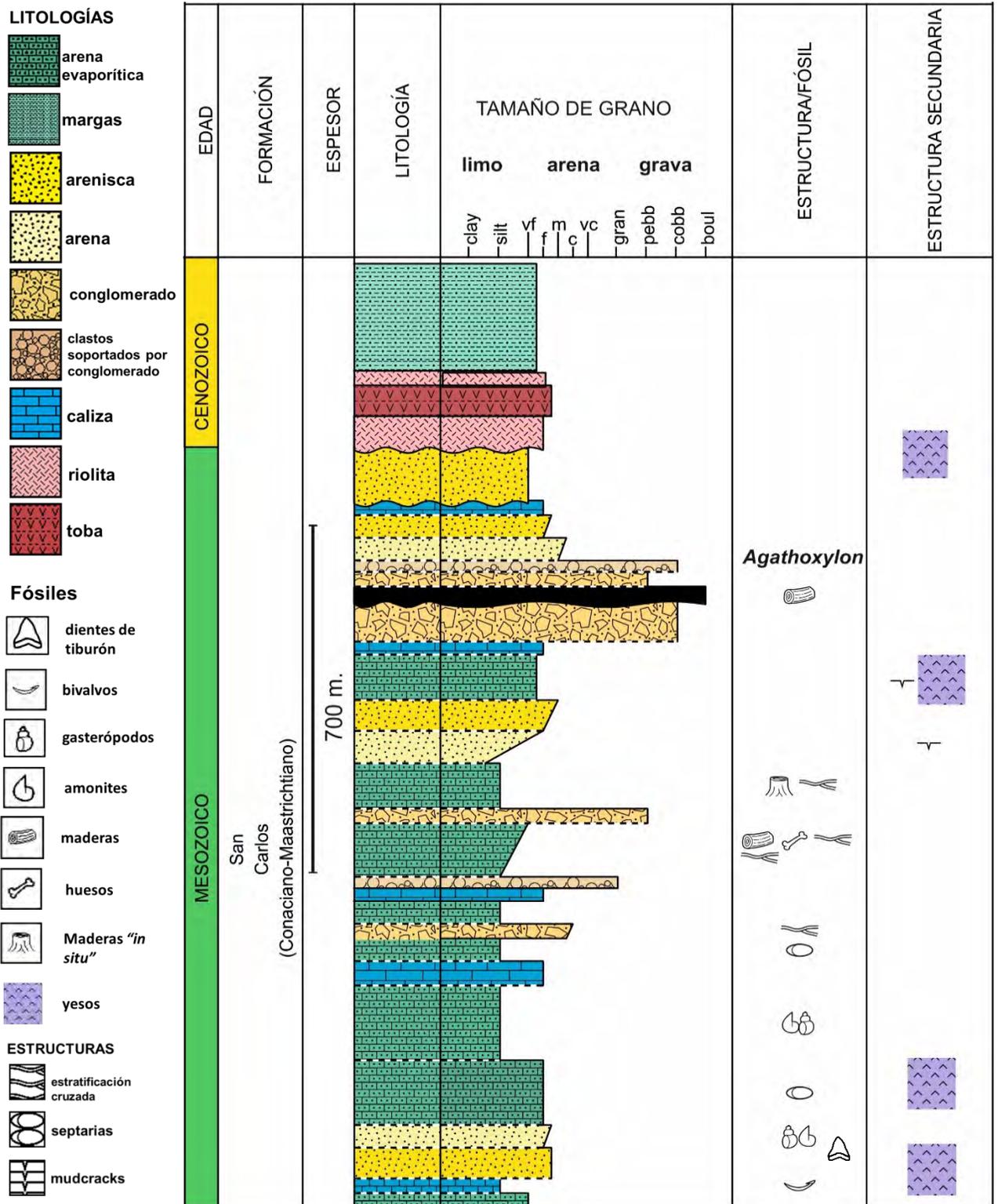


Figura 11 Columna estratigráfica (versión sintética).

7.2 Geoquímicos

7.2.2 Análisis por resonancia Magnética Nuclear

Tabla 2 Cantidad de MOS obtenida en gramos (g) en cada disolvente para RMN ¹H.

Submuestra	Hexano	Diclorometano	Acetato de Etilo	Metanol
Todo a Uno	2.0 mg	4.2 mg	4.1 mg	4.6 mg
Corteza	2.3 mg	1.3 mg	2.8 mg	3.3 mg
Parte Media	3.7 mg	3.0 mg	3.2 g	4.1 g
Núcleo	5.1 mg	5.0 g	6.8 g	7.0 g

Cada uno de los extractos de bitumen obtenidos (Tabla 2) se analizó por RMN ¹H (400 MHz). En los espectros de los extractos hexánicos (*Anexo I*) se apreciaron principalmente señales de alcanos, pero también se observaron señales características de ácidos grasos, por ejemplo, la señal múltiple en 5.30 ppm debida a los protones H-9 y 10 de ácidos grasos insaturados, la cual se puede apreciar mejor cuando se hace una ampliación de esta zona (*Anexo I. I.II*). Asimismo, se observaron señales cercanas a 4 ppm de protones base de oxígeno de posibles ésteres de ácidos grasos y señales típicas de la cadena hidrocarbonada de ácidos grasos entre 2.4 y 2.0 ppm.

Por su parte, los espectros de diclorometano (*Anexo I.VI-I.XI*) evidenciaron la presencia de los compuestos mayoritarios, los alcanos, y de los componentes minoritarios como ácidos grasos insaturados y alcoholes grasos. Por ejemplo, las señales en 5.35, 3.64 y 2.37–1.70 ppm. Fue evidente que las muestras de los extractos de hexano y de diclorometano contenían la misma clase de compuestos orgánicos, alcanos, ácidos grasos y alcoholes grasos.

Los espectros de acetato de etilo (*Anexo I. XII-I.XVII*) fueron muy similares a los de hexano y diclorometano en cuanto a la composición de sustancias orgánicas, pero éstos mostraron de manera sobresaliente la presencia de ácidos grasos saturados. Lo anterior fue evidenciado por la señal triple en 2.35 ppm, correspondiente a los protones en carbono alfa (H-2) y las señales en 0.92 del metilo terminal de la cadena hidrocarbonada.

En los espectros de hexano, diclorometano y de acetato de etilo, también se observaron de manera constante las señales de una impureza de los disolventes empleados para las extracciones, los ftalatos (ej. *Anexo I.IX*).

Finalmente, los espectros de metanol mostraron una composición distinta con respecto a los de hexano y diclorometano. En ellos, aparte de alcanos, fue evidente la presencia de carbohidratos (azúcares), por ejemplo en 6.69 ppm se observó la señal doble, característica del protón anomérico de una unidad de glucosa (*Anexo I.XVIII - I.XXIII*).

7.2.2 Cromatografía de Gases-Masa

Tabla 3 Cantidad de MOS obtenida en miligramos en AcOEt para CG-Ms. (*Anexo II. II.I-II.III*)

submuestra	disolvente	mg obtenidos
Todo a Uno	Acetato de Etilo	1.0
Corteza		0.3
Parte Media		0.9
Núcleo		5.5

Tabla 4 Compuestos de la muestra “Todo a Uno” en AcOEt, CG-Ms (Anexo II. II.IV-II.V)

TODO A UNO				
COMPUESTO	TIEMPO	ABUNDANCIA	CITAS	RELACIONADA CON:
ION 57				
ácido tetradecanoico	25:85	35500	(Li, 1978)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:03	34000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993), (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido ciclopropanoico	32:08	31000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:54	10000	(Jalal y Read, 1983), (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ácido hexadecanoico	20:91	8000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido 1,2-bencenodicarboxílico	20:82	8000	(Uddin <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
hexadecano nC_{16}	24:70, 23:79	7000, 3000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Paleoambiente
ácido benzoico	23:85	6000	(Jalal y Read, 1983), (Neumüller, 1988)	Madera fósil
ácido propanoico	28:14	4200	(Mejía <i>et al.</i> , 2011)	Madera fósil
ION 73				
ácido hexadecanoico	25:91	65000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:03	50000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:55	19000	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ácido 1,2-bencenodicarboxílico	20:91	15000	(Uddin <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ácido decanoico	17:22	8000	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
ácido tetradecanoico	23:11	6000	(Li, 1978)	Madera fósil
ION 85				
ácido octadecanoico	28:03	16000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y	Madera fósil

			Coronel Niveló, 2016)	
tetradecano nC_{14}	24:71	3000	(Han y Calvin, 1969)	Madera fósil
ácido ciclopropanoico	32:08	2100	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993	Madera fósil
ácido dodecanoico	20:32	2000	(Li, 1978)	Madera fósil
3-iso-octadecano nC_{18}	27:16	2000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
docosil dimetoxigliceril éter	24:95	1900	(Kalimuthu <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ácido hexadecanoico	25:69	1600	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido tetradecanoico	23:11	1300	(Li, 1978)	Madera fósil
ION 191				
3-iso octadecano nC_{18}	28:03	69000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
ácido tetradecanoico	25:69	36000	(Li, 1978)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:03	35000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993), (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:55	11000	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ácido hexadecanoico	20:81	8000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
hexadecano nC_{16}	24:70	6200	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Paleoambiente
tetradecano nC_{14}	24:71	6200	(Han y Calvin, 1969), (Mogollón <i>et al.</i> , 2012), (Díaz <i>et al.</i> , 2017) (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Madera fósil
ácido benzoico	23:84, 24:94	5000, 600	(Jalal y Read, 1983), (Neumüller, 1988)	Madera fósil
hexadecano nC_{16}	19:03	3000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Paleoambiente
ácido decanoico	17:22, 17:21	2800,2100	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
clivorina	21:61	2000	(Kuhara <i>et al.</i> , 1980)	Madera fósil

ION 215				
ácido octadecanoico	28:00	600	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
3,6-anhidro- α -l-galactopiranososa	23:04	590	(Ondarza, 2007)	Madera fósil
pipericalosina	22:44	300	(López, 2016)	Madera fósil
ION 370				
3-iso-octadecano nC_{18}	27:16	69000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
ácido octadecanoico	28:03	35000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido 1,2-bencenodicarboxílico	25:79, 24:62, 20:91	25000, 4200, 4000	(Uddin <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:55	11000	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
hexadecano nC_{16}	24:70, 19:03	6200, 3000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Paleoambiente
tetradecano nC_{14}	24:71	6200	(Han y Calvin, 1969), (Mogollón <i>et al.</i> , 2012) (Díaz <i>et al.</i> , 2017) (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Madera fósil
ácido propanoico	28:04	6000	(Mejía <i>et al.</i> , 2011)	Madera fósil
ácido benzoico	23:84	5000	(Jalal y Read, 1983), (Neumüller, 1988)	Madera fósil

Tabla 5 Compuestos de la muestra “Corteza” en AcOEt, CG-Ms (Anexo II. II.IV-II.VII)

CORTEZA				
COMPUESTO	TIEMPO	ABUNDANCIA	CITAS	RELACIONADA CON:
ION 57				
ácido hexadecanoico	25:70	40000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil

ácido 1,2-bencenodicarboxílico	32:08, 25:79 20:92	36000, 31000, 3600	(Uddin <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:02	17500	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
3-iso-octadecano nC_{18}	27:16, 23:67	14000 6300	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
Tetradecano nC_{14}	24:71	9600	(Han y Calvin, 1969), (Mogollón <i>et al.</i> , 2012) (Díaz <i>et al.</i> , 2017) (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Madera fósil
ácido benzoico	23:86	6300	(Jalal y Read, 1983), (Neumüller, 1988)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:53	6000	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
heptadecano nC_{17}	22:33	6000	(Blumer <i>et al.</i> , 1971), (Li, 1978), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014), (Han, 1970), (Gelpi <i>et al.</i> , 1970)	Paleoambiente
eicosano nC_{20}	23:81	6000	(Han y Calvin, 1969) (Dembitsky <i>et al.</i> , 2001), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
quercetin 7, 3, 4 trimetoxi	20:81	5300	(Taleb <i>et al.</i> , 2007)	Madera fosil
ácido dodecanoico	20:33	4800	(Li, 1978)	Madera fósil
ácido tetradecanoico	23:12	4000	(Li, 1978)	Madera fósil
tetracosano nC_{24}	22:42	3600	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Madera fósil
ácido decanoico	17:21	2000	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
ION 73				
ácido hexadecanoico	25:69	72000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido tetradecanoico	25:70	39900	(Li, 1978)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:53, 20:32	12000, 11000	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil

ácido decanoico	17:21	5000	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
ION 85				
ácido hexadecanoico	25:70	20000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:02	8600	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
3-iso octadecano nC_{18}	23:68	5000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
heptadecano nC_{17}	22:33	4600	(Blumer <i>et al.</i> , 1971), (Li, 1978), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014), (Han, 1970), (Gelpi <i>et al.</i> , 1970)	Paleoambiente
hexadecano nC_{16}	27:15	4500	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Paleoambiente
ácido metoxi-cinámico	28:16	4000	(Vandenburg y Wilder, 1967).	Madera fósil
ácido nonanoico	20:32	3900	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ION 191				
dimetil sulfuro	26:85, 26:83	3000, 400	(Roden y Tuttle, 1972)	Paleoambiente
ácido hexadecanoico	25:72	1000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ION 215				
ácido tetradecanoico	23:12	500	(Li, 1978)	Madera fósil
ácido dodecanoico	20:30	330	(Li, 1978)	Madera fósil

Tabla 6 Compuestos de la muestra “Parte Media” en AcOEt, CG-Ms (Anexo II. II.VIII-II.XIII)

PARTE MEDIA				
COMPUESTO	TIEMPO	ABUNDANCIA	CITAS	RELACIONADA CON:
ION 57				
ácido hexadecanoico	25:70	70000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil

ácido octadecanoico	28:04	50000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido ciclopropanoico	32:07	32000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
3-iso octadecano nC_{18}	31:54	20000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
isoquinole	21:01	19000	(Rengifo, 2018)	Madera fósil
nonadecano nC_{19}	30:55, 29:53	19000,10000	(Han y Calvin, 1969) (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
ácido 1,2- bencenodicarboxílico	24:61	12000	(Uddin <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:54	12000	(Jalal y Read, 1983) , (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
galato de hexadecilo	27:16	10000	(Díaz <i>et al.</i> , 2017)	Madera fósil
eicosano nC_{20}	23:81	2900	(Han y Calvin, 1969) , (Dembitsky <i>et al.</i> , 2001), (Li, 1978), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
ION 73				
ácido hexadecanoico	25:70	130000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:04	70000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido decanoico	16:30	24000	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
ácido nonanoico	15:56	23000	(Jalal y Read, 1983), (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ácido tetradecanoico	23:12	10000	(Li, 1978)	Madera fósil
ácido dodecanoico	20:32	11050	(Li, 1978)	Madera fósil
ION 85				
ácido hexadecanoico	25:70	40000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido octadecanoico	28:04, 28:45	24000, 6000	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993) , (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
nonadecano nC_{19}	28:51	10000	(Han y Calvin, 1969)	Paleoambiente

			Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	
9-octyl eicosano nC_{20}	30:53	13000	(Han y Calvin, 1969) (Dembitsky <i>et al.</i> , 2001), (Li, 1978), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
21-nor -5(H) alfa-24-colesteno	28:46	6000	(Wyllie and Djerassi, 1968).	Paleoambiente
hexadecano nC_{16}	24:71	5000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Paleoambiente
ácido decanoico	20:33	3900	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
3-iso octadecano nC_{18}	23:67	3000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
ácido tetradecanoico	23:12	3000	(Li, 1978)	Madera fósil
ION 191				
ácido benzoico	22:12	5500	(Jalal y Read, 1983) (Neumüller, 1988)	Madera fósil
perpercalosina	22:44	1550	(Cristiane, 2013)	Madera fósil
ácido acético	16:65	1000	(Díaz <i>et al.</i> , 2017)	Madera fósil
dimetil sulfuro	25:83	1000	(Roden y Tuttle, 1972)	Paleoambiente
ION 215				
ácido hexadecanoico	25:71	1500	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
clivorina	27:19	590	(Kuhara <i>et al.</i> , 1980)	Madera fósil
galactosa	23:04	450	(Brunetto <i>et al.</i> , 2014)	Madera fósil
pipericalosina	22:42	350	(López, 2016)	Madera fósil
heptadecano nC_{17}	27:75	300	(Blumer <i>et al.</i> , 1971), (Li, 1978), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014), (Han, 1970), (Gelpi <i>et al.</i> , 1970)	Paleoambiente
docosil dimetoxiglicerín éter	22:40	200	(Kalimuthu <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ION 313				
ácido octadecanoico	28:02	1100	(Gaydou <i>et al.</i> , 1993), (Li, 1978), (Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
anilino fenil tiazol	16:37	720	(Zi <i>et al.</i> , 2016)	Paleoambiente

ácido tetradecanoico	23:12	700	(Li, 1978)	Madera fósil
beta d-galactopiranosido	22:00	600	(Teichberg, 1975)	Paleoambiente
chamazulano	26:12	510	(Lu <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
docosil dimetoxiglicerín éter	20:45	400	(Kalimuthu <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
pipercalosina	21:34	380	(López, 2016)	Madera fósil
ION 370				
ácido benzoico	24:94	600	(Jalal y Read, 1983) (Neumüller, 1988)	Madera fósil
ácido para-metoxicinámico	29:80	255	(Vandenburg y Wilder, 1967).	Madera fósil

Tabla 7 Compuestos de la muestra “Núcleo” en AcOEt, CG-Ms (*Anexo II. II.XIV-II.XV*)

NÚCLEO				
COMPUESTO	TIEMPO	ABUNDANCIA	CITAS	RELACIONADA CON:
ION 57				
eicosano nC_{20}	30:54, 28:46	14000, 9000	(Han y Calvin, 1969), (Dembitsky <i>et al.</i> , 2001), (Li, 1978), Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
nonadecano nC_{19}	29:52	13000	(Han y Calvin, 1969) (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
3-iso octadecano nC_{18}	28:45	87800	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente
ciclopropano nonanoico	32:08	9000	Jalal y Read, 1983), (Gaydou <i>et al.</i> , 1993	Madera fósil
ácido nonanoico	32:08	9000	(Jalal y Read, 1983), (Gaydou <i>et al.</i> , 1993)	Madera fósil
ácido 1,2-bencendicarboxílico	25:79, 25:80	6400, 6450	(Uddin <i>et al.</i> , 2013)	Madera fósil
ácido tetradecanoico	25:67, 15:53	6400, 2000	(Li, 1978)	Madera fósil
tetradecano nC_{14}	24:70	3900	(Han y Calvin, 1969), (Mogollón <i>et al.</i> , 2012) (Díaz <i>et al.</i> , 2017)	Madera fósil

			(Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	
ácido decanoico	15:51	2600	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
ION 73				
ácido hexadecanoico	25:67, 25:69	10000, 2000	(Castro-Jara y Coronel Niveló, 2016)	Madera fósil
ácido decanoico	15:51, 15:52	7000, 7000	(Jalal y Read, 1983)	Madera fósil
ION 85				
eicosano nC_{20}	30:55, 28:46	20000, 7000	(Han y Calvin, 1969), (Dembitsky <i>et al.</i> , 2001), (Li, 1978), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Paleoambiente
Tricosano nC_{23}	29:53	9000	(Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)	Madera fósil
3-isooctadecano nC_{18}	28:45	7000	(Giger y Schaffner, 1971)	Paleoambiente

Los compuestos orgánicos referidos a la madera fósil (Tablas 4-7) aquí identificados y que la bibliografía consultada reporta para plantas actuales se enlistan a continuación:

1. **3,6-anhidro- α -L-galactopiranosas:** *Gracilaria verrucosa* es un alga con propagación en aguas marinas costeras y contiene este compuesto (Ondarza, 2007).
2. **ácido 1,2 bencenodicarboxílico:** tal compuesto ha sido encontrado en *Crostichum Aureum* L. (Pteridaceae) que es un helecho de manglar, utilizado como medicina tradicional en Bangladesh. (Uddin *et al.*, 2013).
3. **ácido acético, galato de hexadecilo:** guatepecha se refiere a los árboles del género *Palaquium* así como a su savia de látex, este compuesto ha sido encontrado específicamente en *Palaquium gutta*, *Isonandra gutta* y *Dichopsis gutta* árboles originarios del archipiélago malayo formado por las islas de Malasia, Indonesia, Borneo, Timor, Java y Papúa (Díaz *et al.*, 2017).

4. **ácido benzoico**: compuesto descubierto en el siglo XVI en la goma de benjuí que es una resina extraída de la corteza de varias especies de árboles del género *Styrax* y crece en zonas templadas y regiones tropicales de Asia y Suramérica. (Neumüller, 1988) y en *Calluna vulgaris* del Noreste de Europa (Jalal y ReaD, 1983).
5. **ácido ciclopropanoico**: está presente en la semilla del Litchi, el cual es un fruto tropical (Gaydou *et al.*, 1993).
6. **ácido decanoico**: evidenciado en *Calluna vulgaris* del Noreste de Europa (Jalal y Read).
7. **ácido dodecanoico**: ha sido reportado para suelos de coníferas actuales de las costas de Oregón, EU. (Li, 1978).
8. **ácido hexadecanoico**: este compuesto está presente en *Manilkara bidentata*, es una especie nativa de una gran área del norte de Sudamérica, América Central y el Caribe (Castro y Coronel, 2016).
9. **ácido metoxi-cinámico y para-metoxicinámico**: Carnauba Wax es la cera producida por *Copernicia prunifera* la cual es una palma endémica del noreste de Brasil, para evitar que la palma pierda agua durante la época de sequía, que en la región noreste de Brasil dura hasta seis meses, la planta se cubre de una espesa capa de cera compuesta de ésteres, alcoholes y ácidos grasos de alto peso molecular. (Vandenburg y Wilder, 1967).
10. **ácido nonanoico**: ha sido evidenciado en *Calluna vulgaris* del Noreste de Europa (Jalal y Read), también presente en la semilla del Litchi, el cual es un fruto tropical (Gaydou *et al.*, 1993).

11. **ácido nonanoico**: está presente en la semilla del Litchi, el cual es un fruto tropical (Gaydou *et al.*, 1993), también ha sido reportado para suelos de coníferas actuales de las costas de Oregon, EU. (Li, 1978), y en *Manilkara bidentata*, es una especie nativa de una gran área del norte de Sudamérica, América Central y el Caribe (Castro y Coronel, 2016).
12. **Ácido propanoico**: visualizado en *Guadua angustifolia*, gramíneas Bambusoideae, que tiene su hábitat en la selva tropical húmeda a orillas de los ríos, Propia de las selvas sudestes venezolanas, y se extiende por las selvas de las Guyanas y en Brasil, Ecuador, Colombia, Guyana, Perú, Surinam. (Mejía *et al.*, 2011).
13. **ácido tetradecanoico**: ha sido reportado para suelos de coníferas actuales de las costas de Oregon, EU. (Li, 1978).
14. **chamazulano**: compuesto característico de las Araucarias, producto de la degradación de una lactona sesquiterpénica pro-azulénica (Lu *et al.*, 2013).
15. **ciclopropano nonanoico**: ha sido evidenciado en *Calluna vulgaris* del Noreste de Europa (Jalal y Read, 1983).
16. **clivorina**: documentado para la *Lingularia dentata* una especie de planta con flores del género *Lingularia* y la familia Asteraceae nativa de China y Japón. (Fu *et al.*, 2002).
17. **docosil dimetoxigliceril éter**: *Caralluma truncato-coronata* es un género xerofítico, con una amplia distribución principalmente en África Oriental e India y se ha evidenciado este compuesto (Kalimuthu *et al.*, 2013).
18. **galactosa**: *Theobroma cacao L.*, es una planta nativa de la selva tropical amazónica en el que ha sido encontrado este compuesto (Brunetto *et al.*, 2014).

19. **quercetin 7, 3, 4 trimetoxi**: flavonoide está presente en *Chromolaena* que tiene como hábitat el sur de EU hasta América del sur (sobre todo Brasil) (Taleb *et al.*, 2007).
20. **pipericalosina**: presente en coníferas y otras gimnospermas, producida por sus reacciones metabólicas, así como en especie *Piperaceae* la cual se encuentra presente en todo el mundo en áreas tropicales y subtropicales (López *et al.*, 2013).
21. **tetradecano**: Biomarcador comúnmente encontrado en combustibles fósiles (Han y Calvin, 1969), evidenciado en *Xylaria* que es un género de hongos ascomicetos que comúnmente se encuentran en la madera muerta conocido por los nombres de hongo de asta de ciervo y candela de vela (Mogollón *et al.*, 2012), y en la guatepercha la savia de látex de los árboles del género *Palaquium* de clima tropical (Díaz *et al.*, 2017), se reportó también en *Muehlenbeckia tamnifolia* (Kunth) en es un género al hemisferio sur de clima cálido y templado muy húmedos (Rodríguez, 2014).
22. **tetracosano**: Biomarcador comúnmente encontrado en combustibles fósiles (Han y Calvin, 1969), presente en *Manilkara bidentata*, es una especie nativa de una gran área del norte de Sudamérica, América Central y el Caribe (Castro y Coronel, 2016).
23. **tricosano**: *Muehlenbeckia tamnifolia* (Kunth) en es un género al hemisferio sur, sobre todo a Sudamérica, Papúa Nueva Guinea, Australia y Nueva Zelanda. Algunas son diminutas plantas alpinas tapizantes, mientras que otras son vigorosas enredaderas con masas de tallos oscuros y pequeñas hojas teñidas de bronce de clima cálido y templado muy húmedos (Rodríguez, 2014).

Con respecto a las condiciones paleoambientales prevalecientes en la cuenca de depósito donde se preservó el ejemplar de madera del género fósil *Agathoxylon*, podemos inferir las siguientes consideraciones al interpretar los compuestos orgánicos recuperados (Tablas 4-7) que forman parte del bitumen:

1. **21-nor-5(H) alfa-24-colesteno**: producido por la aromatización rápida de triterpenoides en ambientes sedimentarios, por precursores como el lupeol. (Wyllie y Djerassi, 1968).
2. **anilinio fenil tiazol**: descrito para hifas, que son estructuras de los hongos, en caso específico de *Phytophthora infestans* es un protista fungoide de la clase Oomicetes, parásito de las plantas que produce una enfermedad conocida como tizón tardío y se propaga en clima cálido-húmedo. (Zi *et al.*, 2016).
3. **beta d-galactopiranosido**: hallado en el tejido orgánico animal de *Electrophorus electricus* que es una especie de pez de la familia Gymnotidae nativas de Sudamérica, donde se encuentran en estado natural en las cuencas del río Amazonas y el Orinoco; habitan zonas de aguas tranquilas, prefiriendo los lechos limosos, arroyos y zonas pantanosas. (Teichberg *et al.*, 1975)
4. **eicosano**: este isoprenoide es un Biomarcador comúnmente inmerso en combustibles fósiles (Han y Calvin, 1969), reportado para suelos de coníferas actuales de las costas de Oregón, EU. (Li, 1978) por otro lado, se revelado este compuesto en la cianobacteria *Microcoleus vaginatus* y su distribución es en casi todos los ambientes, principalmente en los subaéreos su presencia en América del Norte no parece depender de la deriva continental, porque la diferenciación de los genotipos se produjo después de la división de Euroasia y América, que ocurrió durante el Cretácico (Dembitsky *et al.*, 2001), se reportó también en *Muehlenbeckia tamnifolia* (Kunth) en es un género al hemisferio sur de clima cálido y templado muy húmedos (Rodríguez, 2014).

5. **hexadecano**: este compuesto está presente en *Manilkara bidentata*, es una especie nativa de una gran área del norte de Sudamérica, América Central y el Caribe (Castro y Coronel, 2016).
6. **heptadecano**: Biomarcador de bacterias fotosintéticas y no fotosintéticas (Han, 1970), cianobacterias pelágicas (Blumer *et al.*, 1971), algas acuáticas pelágicas (Gelpi *et al.*, 1970) predomina en *Bacillariophyceae*, *Dinophyceae*, *Cryptophyceae*, *Haptophyceae* y *Euglenophyceae*. *Rhizosolenia setigera*, que son algas planctónicas (Blumer *et al.*, 1971), también documentado para suelos de coníferas actuales de las costas de Oregón, EU. (Li, 1978), se reportó también en *Muehlenbeckia tamnifolia* (Kunth) en es un género al hemisferio sur de clima cálido y templado muy húmedos (Rodríguez, 2014).
7. **nonadecano**: Biomarcador comúnmente encontrado en combustibles fósiles (Han y Calvin, 1969), se reportó también en *Muehlenbeckia tamnifolia* (Kunth) en es un género al hemisferio sur de clima cálido y templado muy húmedos (Rodríguez, 2014).
8. **octadecano**: este compuesto ha sido hallado en sistemas acuáticos pelágicos, referidos al Zooplanctón como Biomarcador (Giger y Schaffner, 1971).
9. **dimetil sulfuro**: indicador de anoxia y presente en zonas pantanosas, deltaicas y/o estuarios (Roden y Tuttle, 1972).

7.3 Paleobotánica sistemática

La madera presenta características anatómicas propias de las coníferas del Cretácico Superior de América del Norte, tales como: anillos de crecimiento poco diferenciados, traqueidas con contorno rectangular y poligonal, radios principalmente uniseriados a rara vez biseriados, punteaduras uniseriadas y ocasionalmente biseriadas alternas haciendo contacto entre ellas, punteaduras por campo de cruzamiento de tipo cupresoides, de 1 a 3 por campo de cruzamiento (Fig.12). Las características encontradas en nuestra madera fósil se encuentran en la familia Araucariaceae (Philippe y Bamford, 2008), además, la presencia de punteaduras (tipo oculiporo) cupresoides permitió relacionarla con el género fósil *Agathoxylon* (García-Hernández *et al.*, 2016) (Tabla 8).

División Pinophyta Meyen, 1984

Clase Pinopsida (Coniferopsida) Burnett, 1833

Orden Pinales (Coniferales) Durmortier, 1829

Familia Araucariaceae Henckel y Hochstetter, 1865

Subclase Pinidae Cronquist *et al.* (1966)

Género fósil *Agathoxylon* Hartig (1848)

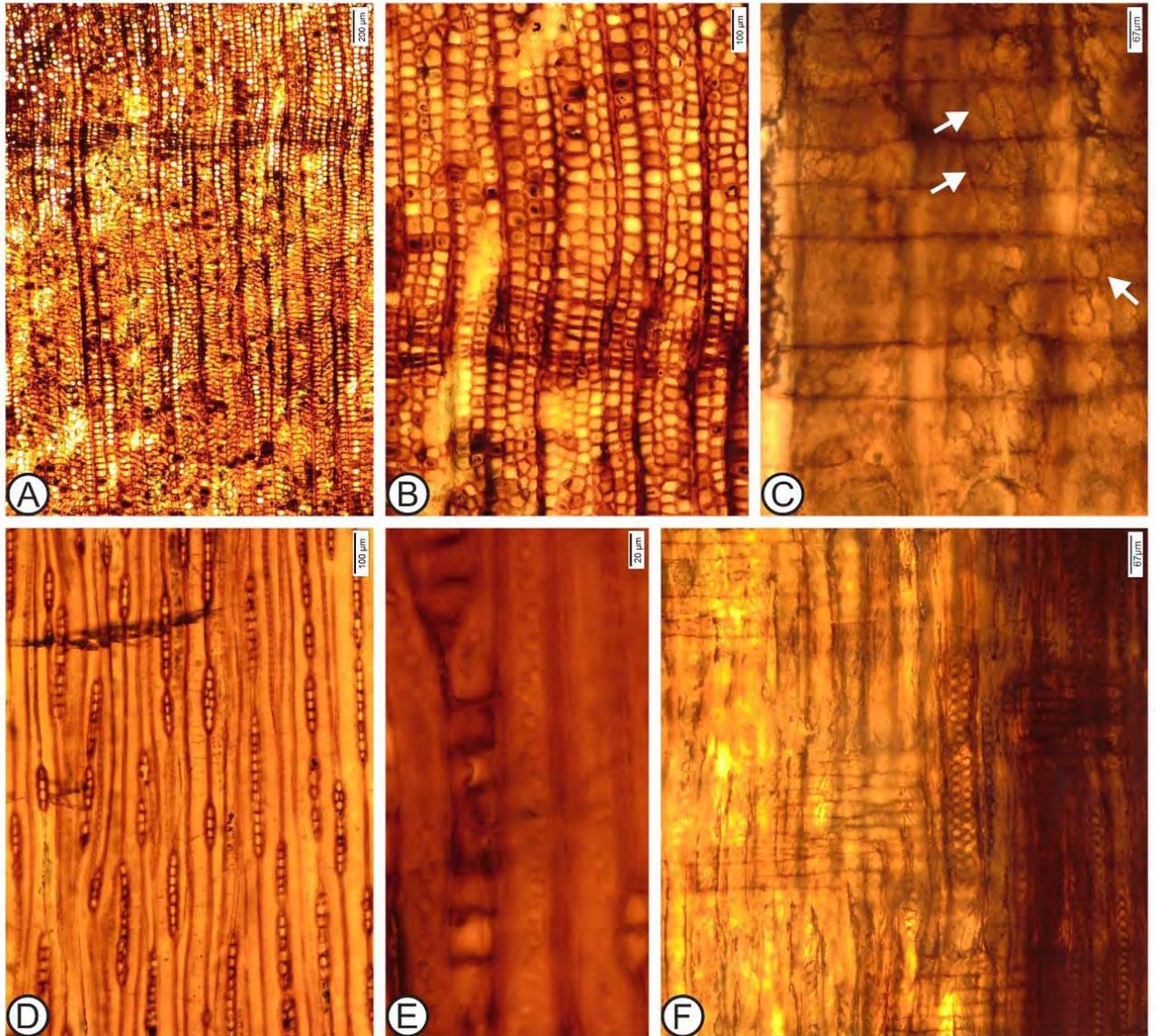


Figura 12 Caracteres anatómicos más importantes de *Agathoxylon*.

- A) Corte transversal (CT). Madera con anillos poco diferenciados. Escala = 200 μm . B) (CT). Traqueidas de forma poligonal y cuadrada con pared delgada. Escala = 100 μm . C) Corte Radial (CR). Punteaduras de campo de cruzamiento de tipo cupresoide (flechas), de 1 a 3 por campo de cruce. Escala = 67 μm . D) Corte tangencial (CTA). Radios uniseriados, altos y parcialmente biseriados. Escala = 100 μm . E) (CTA). Punteaduras areoladas de forma circular. Escala = 20 μm . F) (CR). Punteaduras areoladas alternas de forma circular. Escala = 67 μm .

Corte Transversal

- Madera-con anillos poco diferenciados (Fig.12 A, B).
- Traqueidas de forma poligonal y cuadrada (Fig. 12 B).
- Presencia de torus
- Ausencia de parénquima

Corte Tangencial

- Radios uniseriados y parcialmente biseriados (Fig.12 D).
- Punteaduras areoladas presentes en las paredes tangenciales de las traqueidas longitudinales.

Corte Radial

- Punteaduras de las traqueidas en las paredes radiales predominantemente uniseriadas (Fig.12 E, F), ocasionalmente biseriadas (Fig. 12 F), ordenadas en hileras y con punteaduras areoladas de forma circular en disposición alterna, espaciadas entre sí, y algunas haciendo contacto entre ellas.
- Punteaduras tipo cupresoide, de 1 a 3 por campo de cruce, haciendo contacto entre ellas (Fig.12 C).
- Radios de tipo homogéneos (Fig.12 D).
- Parénquima radial de paredes axiales y horizontales lisas.

Wheeler y Lehman (2005) propusieron Cupressoide/Podocarpoide para una gradación en la sucesión estratigráfica en las formaciones Aguja y Javelina por lo que se retoma el comparativo de García-Hernández., (2015). Identificando parámetros que pudieron observarse en esta nueva descripción (Tabla 8), tales como anillos de crecimiento evidentes así como una observación más clara del tipo de punteadura cupresoide y el número de estas (2-3 por campo).

Tabla 8 Comparación de caracteres anatómicos de los géneros fósiles *Cupressinoxylon*, *Podocarpoxyton* y *Agathoxyton* con la muestra de madera de la Formación San Carlos. (modificado de García-Hernández, 2015)

	<i>Cupressinoxylon</i>	<i>Podocarpoxyton</i>	<i>Agathoxyton</i>	Madera de la Fm. San Carlos
Anillos de crecimiento	Ausentes	Verdaderos	Evidentes	Evidentes
Contorno traqueidas	Rectangulares a poligonales	Rectangular	Rectangular	Rectangular
Punteaduras en la pared tangencial de las traqueidas	-----	Muy escasas, circulares, en 1 o 2 hileras	-----	-----
Punteaduras en la pared radial de las traqueidas	-----	Circulares, libres unas de otras	Circulares del tipo araucarioide uniseriadas y biseriadas, alternas y opuestas	Circulares del tipo araucarioide uniseriadas, parcialmente biseriadas
Punteaduras en la pared radial de las traqueidas	1	1 (2)	1 (2)	1 (2)
Altura de los radios	1 a 8	2 (29) 56	1 (30) 56	2 (12) 24
Pared tangencial y radial de las células de los radios	-----	Lisas o dentadas?	-----	-----
Parénquima axial	Presente	< 10 células/mm ²	No observado	No observado
Pared horizontal de las células de parénquima	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas
Tipo de punteaduras por campo de cruzamiento	Cupresoides	Cupresoides y podocarpoides	Cupresoides	Cupresoides
Número de punteaduras en campo de cruzamiento	2 a 4	1 a 4	1 a 3	1 a 3

8. DISCUSIÓN

En las inmediaciones del Desierto Chihuahuense se han llevado a cabo estudios de carácter geológico (Oviedo-Padrón, 2008), (Flores-Castro *et al.*, 2011), (Montaño *et al.*, 2012), (Martínez-Juarico 2017), paleobotánicos (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011; García-Hernández *et al.*, 2016), y remitidos al equipo de trabajo, geoquímicos (Mendoza-Ostria *et al.*, 2012), (Lugo Rodríguez *et al.*, 2017); sin embargo, el presente trabajo usa como material de estudio por primera vez un gimnosperma alóctono preservado en un delta.

Esta madera fósil corresponde a una conífera del género fósil *Agathoxylon* (Araucariaceae) se ubica dentro de la Formación San Carlos del Cretácico Superior, se describió su entorno geológico, fue muestreado tomando en cuenta sus estructuras internas obteniendo fracciones que se sometieron a reflujo continuo termoregulado con disolventes que abarcan un amplio rango de polaridad. A pesar de que esta técnica requiere de mucho tiempo y reactivos de alto costo, ha resultado ser efectiva para separación y concentración de la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria, correspondiente al bitumen. Posteriormente los extractos resultantes fueron analizados por las técnicas de RMN ¹H y CG-Ms en la búsqueda y caracterización de compuestos orgánicos preservados en los que se incluyen los biomarcadores, los cuales relatan su historia de deposición, sepultamiento y procesos diagenéticos de litificación, aportando no solo información propia de la madera fósil, sino también de sus condiciones paleoambientales.

Este es el primer registro de *Agathoxylon* en el Norte de México, por lo que es aceptable tener incertidumbre sobre la Sistemática Paleobotánica asignada, aunado a esto los caracteres de las gimnospermas son menos y más homogéneos que los angiospermas haciendo la tarea aún más complicada. Sin embargo, algunos de los compuestos orgánicos identificados en el ejemplar de madera fósil corresponden a coníferas y sus suelos, así como de araucarias (*ácido dodecanoico*, *ácido octadecanoico*, *ácido tetradecanoico*, *chamazulano*, *pipercalosina*) nos hace apoyar lo ya dicho en la sistemática llevada a cabo por García-Hernández *et al.*, (2016).

Esta madera presenta anillos difusos de crecimiento que apoyan la hipótesis de que el ejemplar creció en un clima tropical con poca variación estacional; sin embargo, una inferencia paleoclimática con este aspecto no es muy factible ya que también es un carácter que presenta la familia por su hábito perennifolio (Pujana *et al.*, 2007). Con base en trabajos anteriores (Estrada-Ruiz *et al.*, 2008; 2013; Graham, 2011), el material descrito para la Formación San Carlos se encontraba bajo un régimen de condiciones megatermales ($TMA > 20^\circ \text{C}$) y una paleolatitud entre los 45°N a 35°N con la existencia de un Mar Epicontinental (*3,6-anhidro- α -L-galactopiranososa, alga marina*). Los elementos que sugieren un clima húmedo y cálido a tropical para el norte de México y Centro-Sur de EUA.

Los compuestos orgánicos identificados, así como los biomarcadores, ocupan como base la información preexistente, por lo que se hace con especies florísticas actuales, que concuerdan con plantas de clima paratropical a tropical (*ácido acético, galato de hexadecilo, ácido benzoico, ácido ciclopropanoico, ácido hexadecanoico, ácido propanoico, etc.*); así como plantas que crecen en ambiente de zonas salobres, pantanosas y deltaicas (*1,2-bencenodicarboxílico, tricosano*), hacen referencia también a zooplancton, algas planctónicas y cianobacterias pelágicas (*eicosano, heptadecano, octadecano*), condiciones anóxicas posiblemente porque en zonas deltaicas la tasa de oxidación de la materia orgánica por bacterias es mayor que el suministro de oxígeno (*dimetil sulfuro*) y un compuesto documentado específicamente para tejido orgánico animal de *Electrophorus electricus*, pez nativo del Río Amazonas en áreas pantanosas (*beta d-galactopiranósido*).

Adicionalmente una secuencia sedimentaria que indica aporte de sedimento en el que está incrustado y sepultado el ejemplar fósil, hacia la parte más interna material fino constituido principalmente por arena limosa y laminación cruzada la cual nos indica el prodelta, hacia la periferia encontramos yesos y terrazas que marcan la llanura deltaica.

Si bien, este delta ha captado múltiples sedimentos regionales y locales, este ejemplar alóctono no ha recorrido exorbitantes distancias ya que tenemos un tronco de grandes dimensiones que sufrió su putrefacción en el delta y se hallaron compuestos que lo indican (*anilino fenil tiazol, tetradecano*).

Este trabajo ayuda a ampliar el conocimiento que se tiene actualmente de las floras extintas en México y su entorno paleoambiental ya que tienen la capacidad de proporcionar una de las mejores estimaciones en cuanto al medio ambiente que les rodeo en su tiempo de vida. Y este caso particular de su fosilización.

9. CONCLUSIONES

Aunque las características morfológicas son de mucha importancia para la determinación de especies, los compuestos químicos pueden usarse para establecer relaciones entre especies, géneros, familia y su paleoambiente haciendo conclusiones quimiotaxonómicas.

- Este trabajo permitió detallar la geología del afloramiento donde se encuentra el ejemplar de madera fósil definiendo los sedimentos en los que yace, como lo son areniscas conglomeráticas de facies de playa y una cubierta parcial, hacia la parte media por conglomerados polimícticos y arenas fluvio-deltaicas.
- La RMN ^1H reveló en el extracto obtenido con hexano la existencia de alcanos, ácidos grasos y ácidos grasos insaturados al igual que en diclorometano, y acetato de etilo con la excepción de que se hicieron más evidentes los alcoholes grasos y los ácidos grasos insaturados, respectivamente. Por su parte el metanol mostro señales de carbohidratos como la glucosa.

La “Parte Media” corresponde a la porción de los anillos de crecimiento donde se identificaron la mayor parte de los compuestos que aportaron información diagnóstica. Se descartó la existencia de estos compuestos en el disolvente empleado.

- La CG-MS nos brindó la siguiente información:
 - a) Se pudo corroborar la información Sistemática Paleobotánica ya que se observaron compuestos pertenecientes a coníferas (*chamazulano*) y sus sueltos (*ácido dodecanoico*, *ácido octadecanoico*, *ácido tetradecanoico*, *eicosano*), así como de Araucarias (*pipercollosina*), que nos hacen pensar que su caracterización esta direccionada hacia el punto correcto.
 - b) Los biomarcadores y compuestos nos hablan de condiciones de deposición prevaletentes, tales como: anoxia (*sulfuro molecular*), señales de organismos

pelágicos y subaéreos (nC_{17} y nC_{18}), hongos (*Xylaria*, *Phytophthora infestans*) que indican putrefacción (*tetradecano*, *anilino fenil tiazol*), que fungen como indicio para creer en una fosilización (diagénesis) en el delta, además de plantas (*Crostichum Aureum* L., *Muehlenbeckia tamnifolia*) que crecen en zonas pantanosas, deltaicas, manglares (*ácido 1,2 bencenodicarboxílico*, *tricosano*) así como señales (*beta d-galactopiranosido*) referidas a una anguila de género *Electrophorus electricus* con hábitat actual reducida a zonas pantanosas.

- c) Se hicieron evidentes compuestos que permiten una reconstrucción hipotética de un ambiente de clima paratropical a tropical (*ácido acético*, *galato de hexadecilo*, *ácido benzoico*, *ácido ciclopropanoico*, *ácido decanoico*, *ácido dodecanoico*, *ácido hexadecanoico*, *ácido metoxi-cinámico* y *para-metoxicinámico*, *ácido nonanoico*, *ácido octadecanoico*, *ácido propanoico*, *ácido tetradecanoico*, *chamazulano*, *ciclopropano nonanoico*, *clivorina*, *docosil dimetoxigliceril éter*, *galactosa*, *quercetin 7, 3, 4 trimetoxi*, *pipericalosina*, *tetradecano*, *tetracosano*, *tricosano*, *eicosano*, *hexadecano*, *heptadecano*, *nonadecano*) según los compuestos documentados de especies florísticas actuales que crecen en este tipo de condiciones climáticas (*Palaquium Styra* *Litchi Manilkara bidentata Copernicia prunifera Calluna vulgaris* *Guadua angustifolia Lingularia dentata Theobroma cacao* L *Chromolaena Piparaceae Palaquium Muehlenbeckia tamnifolia*)

En esta técnica analítica la "Parte Media" también fue la más útil en la obtención de información de compuestos y Biomarcadores, teniendo congruencia con ser la parte biológicamente más activa en las plantas.

- d) El presente trabajo apoya la hipótesis de un vínculo paleoflorístico y paleoambiental del norte de México y centro-sur de EUA durante el Cretácico Superior.

GLOSARIO

- **Anillos de crecimiento:** cada uno de los círculos concéntricos del leño que forman el tronco de un árbol y que corresponden a períodos de desarrollo del xilema, generalmente anuales. Marcas circulares que indican la posición del cámbium vascular al cese del crecimiento del año previo.
- **Anoxia:** Esta condición se encuentra generalmente en las áreas con un limitado intercambio de agua y con procesos de eutrofización en progreso.
- **Amonita:** son una subclase de moluscos cefalópodos extintos que existieron en los mares desde el Devónico Medio (hace unos 400 millones de años) hasta finales del Cretácico (hace 66 millones de años). Gracias a su rápida evolución y distribución mundial son excelentes fósiles guía para la datación de rocas y han posibilitado la elaboración de sucesiones de biozonas de gran precisión bioestratigráfica.
- **Arena:** La arena es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas minerales de pequeño tamaño. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros.
- **Arenisca:** roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Tras las lutitas son las rocas sedimentarias más comunes en la corteza terrestre.² Las areniscas contienen espacios intersticiales entre sus granos. En rocas de origen reciente estos espacios están sin material sólido mientras que en rocas antiguas se encuentran rellenos de una matriz o de cemento de sílice o carbonato de calcio.
- **Biomarcadores:** útiles en las reconstrucciones paleoambientales, dado que son productos biológicos; éstos proporcionan información acerca de la naturaleza de la materia orgánica alojada en los sedimentos, que revela la historia de los procesos de su deposición y sepultamiento hasta su litificación (diagénesis).
- **Bivalvos:** Los bivalvos pertenecen al filo Mollusca, un grupo que incluye animales como los quitones, gasterópodos, colmillos de mar y cefalópodos, así como la almeja, la ostra, el mejillón y la vieira. El filo tiene seis clases, una de las cuales es la de los Bivalvos. Estos animales están comprimidos lateralmente y las partes blandas del cuerpo están completa o parcialmente recubiertas por la concha, que está formada por dos valvas unidas por una charnela.

- **Boundstone:** Los componentes originales se encuentran ligados durante la sedimentación debido a la acción de organismos bioconstructores (corales, algas rodofíceas, cianobacterias, etc.).
- **Clase:** en biología, la "clase" es un grupo taxonómico que comprende varios órdenes de plantas o animales con muchos caracteres comunes, situada entre el filo o división y el orden.
- **Conglomerado:** es una roca sedimentaria detrítica formada mayoritariamente por clastos redondeados tamaño grava o mayor (>2 mm). Dichos clastos pueden corresponder a cualquier tipo de roca.
- **Delta:** depósito de sedimentos (en forma triangular) formado en la desembocadura de un río, que vierte sus aguas a un lago o al mar. Normalmente sólo se desarrolla donde no existen mareas o corrientes capaces de removilizar y transportar los sedimentos con mayor capacidad de la línea de costa.
- **Diagénesis:** conjunto de procesos de formación de una roca sedimentaria a partir de sedimentos, tales como compactación, recristalización o cementación. La diagénesis se produce en el interior de los primeros 5 o 6 km de la corteza terrestre a temperaturas inferiores a 150-200 °C.
- **Epicontinental:** es una masa de agua salada con una gran extensión pero con escasa profundidad que se extiende sobre una plataforma continental.
- **Familia:** la familia es una unidad sistemática y una categoría taxonómica situada entre el orden y el género, es la categoría taxonómica más importante después de las de género y especie.
- **Fisonómica:** apariencia exterior.
- **Florístico:** flora relacionada a un punto geográfico
- **Gasterópodo:** constituyen la clase más extensa del filo de los Moluscos. Presentan área cefálica (cabeza), un pie muscular ventral y una concha dorsal (que puede reducirse o hasta perderse en los gasterópodos más evolucionados); además, cuando son larvas, sufren el fenómeno de torsión, que es el giro de la masa visceral sobre el pie y la cabeza.
- **Género:** el género es una categoría taxonómica que se ubica entre la familia y la especie; así, un género es un grupo de organismos que a su vez puede dividirse

- en varias especies (existen algunos géneros que son monoespecíficos, es decir, contienen una sola especie).
- **Limo:** es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,0039 mm a 0,0625 mm.
 - **Marga:** es un tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de calcita y arcillas, con predominio, por lo general, de la calcita, lo que le confiere un color blanquecino con tonos que pueden variar bastante de acuerdo con las distintas proporciones y composiciones de los minerales principales.
 - **Multidisciplinario:** es una mezcla no-integradora de varias disciplinas en la que cada disciplina conserva sus métodos y suposiciones sin cambio o desarrollo de otras disciplinas en la relación multidisciplinaria. Los profesionales implicados en una tarea multidisciplinaria adoptan relaciones de colaboración con objetivos comunes.
 - **Orden:** se refiere a un orden taxonómico, en el cual se establecen los organismos. Se encuentra entre la “clase” y la “familia”.
 - **Paleontología:** es la ciencia natural que estudia e interpreta el pasado de la vida sobre la Tierra a través de los fósiles. Se encuadra dentro de las ciencias naturales, posee un cuerpo de doctrina propio y comparte fundamentos y métodos con la geología y la biología con las que se integra estrechamente.
 - **Parénquima:** tejido vegetal esponjoso de las células vivas que rellena los intersticios dejados por los vasos y que puede tener funciones diversas según su ubicación, como reservar sustancias, fotosintetizar o rellenar.
 - **Pelágico:** el ambiente o dominio pelágico es el formado por las aguas libres que no están en contacto con el fondo.
 - **Península:** es una extensión de tierra que está rodeada de agua por todas partes excepto por una zona o istmo que la une al continente. En general, el agua que rodea la tierra es el agua de mar.
 - **Polaridad química:** es una propiedad de las moléculas que representa la separación de las cargas eléctricas en la misma molécula. Esta propiedad está íntimamente

relacionada con otras propiedades como la solubilidad, el punto de fusión, el punto de ebullición, las fuerzas intermoleculares, etc.

- **Punteaduras areoladas:** una punteadura es un sector de la pared celular vegetal secundaria no desarrollada, a través de las cuales se comunican las células entre sí, las punteaduras areoladas se generan cuando las paredes secundarias de las células contiguas forman un reborde o aréola.
- **Tafónomica:** estudio de los procesos de fosilización, es decir, trata de reconocer cómo se ha originado y qué modificaciones ha experimentado el registro fósil.
- **Transgresiones:** es un evento geológico por el cual el mar ocupa un terreno continental, desplazándose la línea costera tierra adentro. Una transgresión siempre va acompañada por el depósito de sedimentos marinos sobre el territorio invadido.
- **Transicionalmente:** Estado intermedio entre el anterior y otro a que se llega en un cambio.
- **Traqueidas:** son células alargadas cuyas extremidades están afiladas en bisel. Al llegar a su diferenciación completa el protoplasto muere. Sus paredes están lignificadas pero no son muy gruesas, en consecuencia el lumen es relativamente grande. Cumplen al mismo tiempo funciones de conducción y sostén.
- **Radios:** cada uno de los pedicelos que forman una umbela simple o compuesta.
- **Reino:** diferencia todas las entidades de la naturaleza en los conocidos reinos animal, vegetal y mineral.
- **Regresiones:** es un retiro durable del mar por debajo de sus límites anteriores, lo que se traduce por una baja de la línea de costa, y un aumento de la superficie de las tierras emergidas.
- **Yeso:** mineral compuesto por sulfato de calcio hidratado y; a su vez, es el nombre con el que se denomina a la roca monominerálica de origen sedimentario evaporítico por precipitación química y compuesta esencialmente por este mineral, y que puede contener pequeñas cantidades de: minerales de la arcilla, óxidos, cloruros, sílice, anhidrita y carbonatos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aplin, T.T., Cambie, R.C., and Rutledge, P.S. 1963. The taxonomic distribution of some diterpene hydrocarbons, *Phytochemistry*, v. 2, p. 205–214.
- Blumer, M., Guillard, R., and Chase, T. 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton, *Mar. Biol.* v. 8, p. 619-630.
- Burrows, H.R. 1910. Geology of Northern México. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, v. 7, p. 85-103.
- Brunetto, M.R., Orozco, W., Delgado, Y., Clavijo, S., Gallignani, M., Ayala, C., Zambrano, A., 2014. Development of an analytical Method for the Determination of Glucose, Fructose and Sucrose in Venezuelan Cocoa Samples. *Revista Cubana de Química*, v. 26, n. 3.
- Castañeda, C. 2007. Modelo paleoclimático basado en los caracteres anatómicos de la madera de las rocas Miocenos de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas. Tesis de Maestría en ciencias biológicas. Inst. de Geología, UNAM. p. 1-3.
- Castro, M. A., Gordaliza, M., Miguel Del Corral, J. M., and Feliciano, A. S. 1996. The distribution of lignanoids in the order coniferae, *Phytochemistry*, v. 41, p. 995–1011.
- Castro-Jara D.M y Coronel-Nivelo J.G. 2016. Estudio farmacognóstico y fitoquímico de las hojas y semillas de *Manilkara bindetata* subesp. *Surimanensis* (Miq), T.D. Penn. Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil, Ecuador, p. 30-39.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1983. Descripción de una madera de angiosperma cretácica de Cananea, Son., México. Los xilitos en el estudio del origen de las Angiospermopsidae. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México* v. 54 p. 97-112.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. 1992. Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 63:111-137. Cevallos-Ferriz, S.R.S. y Weber R. 1992. Dicotyledonous wood from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) of Coahuila. *Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología*, v. 10, p. 65-70.
- Christenhusz, M.J.M., J.L. Reveal, A. Farjon, M.F. Gardner, R.R. Mill y M.W. Chase. 2011. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa* 19, p. 55-70.
- Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico-minera del estado de Chihuahua, pp. 26-30.
- Cronquist, A. Takhtajan, W. Zimmermann. 1966. On the higher taxa of Embryobonta Taxon, v. 15, p. 129-134

- Dembitsky, V., Dor, I., Shkrob I., M. Aki. 2001. Branched Alkanes and Other Apolar Compounds Produced by the Cyanobacterium *Microcoleus vaginatus* from the Negev Desert, v. 27, p. 110-119.
- Díaz, G., Escribano V. K, N., Labajo A., y Perea, B. 2017. Estudio de la composición química de cuatro marcas de gutapercha - parte I. Análisis cualitativo de compuestos orgánicos volátiles. Científica Dental, v. 14, n. 1, p. 35-49.
- Estrada-Ruiz, E., H.I. Martínez-Cabrera y S.R.S. Cevallos-Ferriz. 2007. Fossil woods from the late Campanian-early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. Review of Palaeobotany and Palynology 145: 123-133.
- Estrada-Ruiz, E., G.R. Upchurch y S.R.S. Cevallos-Ferriz. 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (upper Campanian-lower Maastrichtian), Coahuila, Mexico: A preliminary Report. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions v. 58 p. 273-283.
- Estrada-Ruiz, E. y H.I. Martínez-Cabrera. 2011. A new late Cretaceous (ConiacianMaastrichtian) Javelinoxylon wood from Chihuahua, Mexico. IAWA Journal v. 32 (4), p. 521-530.
- Estrada-Ruiz, E., H.I. Martínez-Cabrera, J. Callejas-Moreno y G.R. Upchurch Jr. 2013. Floras tropicales cretácicas del norte de México y su relación con floras del centro-sur de América del Norte. Polibotánica v. 26, p. 115-135.
- Farella, N., Lucotte, M., Louchouart, P., and Roulet, M. 2001. Deforestation modifying terrestrial organic transport in the Rio Tapajos, Brazilian Amazon, Org. Geochem., v. 32, p. 1443–1458.
- Fernández-López, S.R., 2000. Temas de Tafonomía. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. p. 167.
- Flores-Espinoza, E. 1989. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico. Disertación de Doctorado. University of Texas at Austin, p. 315.
- Flores-Castro, K., Montaña-Ruiz S., González., Estrada-Ruiz, E., Esquivel-Macías, C., Torres-Valencia, J. M., Carrillo, E., Derma, J., Angeles, C.A. y Durán-Álvarez, J.C. 2011. Geoquímica orgánica aplicada a madera fósil del género *Javelinoxylon* depositada en sedimentos del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno, Aldama, Chihuahua (MEXICO). *Actas INAGEQ*, v. 17, p. 49-53.
- Fu, P.P., Yang, Y.C., Xia, Q., Chou, M.C., Cui, Y.Y., Lin G., 2002. Pyrrolizidine alkaloids-tumorigenic components in Chinese herbal medicines and dietary supplements, *Journal of Food and Drug Analysis.*, v. 10, p. 198-211.

- García-Hernández, I.P., Estrada-Ruiz, E. 2016. Maderas Fósiles de la Formación San Carlos (Cretácico Superior), Chihuahua México. *Botanical Sciences*, v. 94, n. 2, p. 269-280.
- Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J. and Oro, T. 1970 .Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. *Photochemistry*, v.9, p.603-612.
- González Moreno, Y., Flores, K., Armstrong-Altrin, J. S., Montaña, L. S., Ramírez, M. y Cadena, J. L. 2012. Geoquímica inorgánica de rocas sedimentarias del afloramiento DECA-Parque Cretácico de la sierra Cuesta “El Infierno”, municipio de Aldama, Chihuahua (México): clasificación y análisis de procedencia. *Actas INAGEQ*, v. 18, n. 1, p. 37-42.
- Graham, A. 2011. A natural history of the New World: the ecology and evolution of plants in the Americas. The University of Chicago, USA, p. 173-208.
- Gaydou, E.M., Ralaimanarivo, A., Bianchini, J.P. 1993. Cyclopropanoic Fatty-Acids of Litchi (Litchi-Chinensis) Seed Oil - a Reinvestigation *J. Agr. Food Chem.* v. 41, p. 886-890
- Giger, W. and Schaffner, C. 1971. Aliphatic, olefinic and aromatic hydrocarbons in Recent sediments of a highly eutrophic lake, *Organic Geochemistry*, p. 375-390.
- Gryc V., Vavrcik H. y Sakala J. 2009. Cenomanian angiosperm wood from the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *IAWA Journal* v. 30, p. 319-329.
- Guzmán, G. J. 1977. Informe final del Prospecto Ciudad Delicias, D.F.N.E., Petróleos Mexicanos, Informe inédito.
- Haenggi, W.T. 1966. Geology of El Cuervo Area, Northeastern Chihuahua, México. Univ. Texas.
- Haenggi W.T. 2001. Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part II: Mesozoic and Cenozoic. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, tomo LIV, p. 28-66.
- Haenggi, W. T. 2002. Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part II: Mesozoic and Cenozoic; *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. LV, p. 38-94.
- Han, J J.C. 1969. Ocurrance C22-C25 isoprenoids in Bell Creek crude oil. *Gechim. Cosmochin. Acta* v. 33, p. 733-742.
- Han, J.C. 1970. Chemical studies of terrestrial and extretrestrial life, Ph.D. Thesis, University de California, Berkeley, California U.S.A. p.14
- Hass, H. y N.P. Rowe. 1999. Thin sections and wafering. I: Jones, T.P. y N. P. Rowe (Eds.) *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*. London: Geological Society.

- Hautevelle, Y., Michels, R., Malartre, F., and Trouiller, A. 2006. Vascular plant biomarkers as proxies for palaeoflora and palaeoclimatic changes at the Dogger/Malm transition of the Paris Basin (France), *Org. Geochem.*, v. 37, p. 610–625.
- Heim, A., Hofmann, A., and Schmidt, M.W.I., 2010. Forest-derived lignin biomarkers in an Australian oxisol decrease substantially after 90 years of pasture, *Org. Geochem.*, v. 41, p. 1219–1224.
- Huang, Z.Q., Davis, M.R., Condon, L. M., and Clinton, P. W. 2011. Soil carbon pools, plant biomarkers and mean carbon residence time after afforestation of grassland with three tree species, *Soil Biol. Biochem.*, v. 43, p. 1341–1349.
- Humphrey, W.E. y Díaz, G.T., 1956. Jurassic and Cretaceous Stratigraphy and Tectonics of Northeast México. Informe PEMEX NE-M-799.
- IAWA Committee 2004. List of Microscopic Features for Softwood Identification. *IAWA Journal* 25:1-70. InsideWood 2004–onward InsideWood. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>.
- INEGI. 1999. Carta topográfica 1:50000, Trancas H13C58 (Chihuahua). 2da edición.
- INEGI. 1999. Estudio hidrológico del estado de Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Jalal, M. A. y Read, D.J., 1983. The organic acid composition of *Calluna* heathland soil with special reference to phyto- and fungitoxicity, *Plant and soil*, v. 70, p. 257-272.
- Kalimuthu, K., Kalaiyarasi, K., Sasikala, T., Boopathi, M., Prabakaran, R. 2013. CG-MS analysis of *Caralluma truncato-coronata* (Sedgw.) Gravelly and Mayur,. *Asian Journal of plant Science and Research*, v. 3 (4), p. 42-46
- Kuhara, K., Takanashi, H., Hirono, I., Furuya, T. 1980. Carcinogenic activity of clivorine, a pyrrolizidine alkaloid isolated from *Ligularia dentata*, *ELSEVIER*, p. 117-122.
- Li, C. 1978. Soil fatty acids under alder, conifer, and mixed alderconifer stands of Coastal Oregon. *Soli Science*. v. 125, p. 92-95.
- López, K.S., Marques, A.M., Moreira D.L., Velozo L.S., Sudo R.T., Zapata G., Guimaraes E.F., Kaplan M.A. 2016. Actividad anestésica local de extractos, fracciones y compuestos puros de las raíces de *Ottonia anisum* Spreng. (Piperáceas), p. 114-145.
- Lu, Y., Hautevelle Y., Michels R. 2013. Determination of the molecular signature of fossil conifers, *Biogeosciences*, vol. 10, p. 1943-1962.
- Lugo-Rodríguez, M.J., Flores-Castro, K., Torres-Valencia. J.M. 2017. Identificación de compuestos orgánicos preservados en madera fósil del género *Paraphyllanthoxylon* (cf.

- Lauraceae) del Cretácico Superior del Desierto Chihuahuense. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, p. 25-31.
- Meyen, S. 1984. Basic features of gymnosperm systematics and phylogeny as evidenced by the fossil record. *Bot. Rev.* 50 v. 1, p. 111.
 - Mejía G., Ramírez L., Palacio H. D., López C. 2011. Identificación de compuestos volátiles del vinagre de *Guadua augustifolia* Kunth (guadua), *Revista Cubana de Plantas medicinales*, v. 16, n. 2.
 - Mendoza-Ostria, D., Flores-Castro, K., Estrada-Ruíz, E., Durán-Álvarez, J.C., Torres-Valencia, J.M., Esquivel-Macías, C., 2012. Caracterización de compuestos orgánicos preservados en madera fósil del género *Javelinoxylon* deca (malvaceae s.l.) del afloramiento DECA-Parque Cretácico, municipio de Aldama, Chihuahua (México). *Actas INAGEQ*, v. 18, p. 77-81.
 - Mendoza-Ostria, D. 2016. Compuestos orgánicos preservados en madera fósil del género *Javelinoxylon* del afloramiento deca-parque Cretácico, municipio de Aldama, Chihuahua México. Tesis licenciatura en Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, p. 124.
 - Mogollón, I., Moreno, S., Iturriaga, T., Taddei, A. 2013. Análisis químico preliminar y actividad antimicrobiana de los extractos obtenidos de cuatro especies del género *Xylaria*, v. 4 p. 75-83
 - Mongrand, S., Badoc, A., Patouille, B., Lacomblez, C., Chavent, M., Cassagne, C., and Bessoule, J.-J. 2001. Taxonomy of gymnospermae : multivariate analyses of leaf fatty acid composition, *Phytochemistry*, v. 58, p. 101–115.
 - Montaña-Ruiz, L. S., Flores-Castro, K., González Y., Durán J. C., Torres J. M., Esquivel C., Meneses, A. 2012. Aspectos paleoambientales de las rocas siliciclásticas del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno (municipio de Aldama, Chihuahua), mediante la interpretación de biomarcadores. *Actas INAGEQ*, v. 18, p. 30-36.
 - Neumüller, O. A. 1988. *Römpps Chemie-Lexikon*. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, v. 101(3), p. 365-366.
 - Nichols, J.C., 1958. Stratigraphy of Sierra de los Fresnos, Chihuahua, México. Univ. Texas M.A. Thesis., p. 64.
 - Ondarza, M. 2007. Substituciones en la unidad D-Galactosa de polímeros del agar *Gracilaria verrucosa*: Implicaciones metabólicas, *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, v. 42, n. 2, p. 201-204.
 - Otto, A. and Wilde, V. 2001. Sesqui-, di-, and triterpenoids as chemosystematic markers in extant conifers – A review, *Bot. Rev.*, v. 67, p. 141– 238.

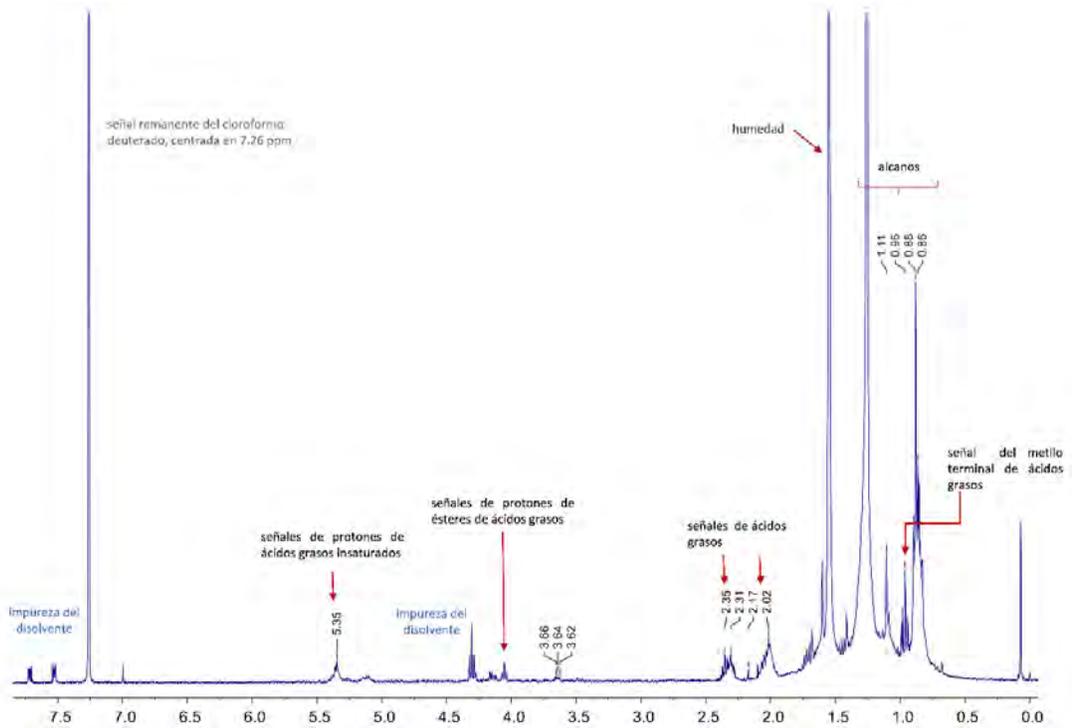
- Otto, A. and Simoneit, B.R.T. 2001 Chemosystematics and diagenesis of terpenoids in fossil conifer species and sediment from the Eocene Zeitz formation, Saxony, Germany, *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 65, p. 3505–3527.
- Otto, A., Simoneit, B.R.T., and Rember, W.C. 2005. Conifer and angiosperm biomarkers in clay sediments and fossil plants from the Miocene Clarkia Formation, Idaho, USA, *Org. Geochem.*, v. 36, p. 907–922.
- Oviedo-Padrón, E.G. 2008. Tectónica de la Sierra Cuesta El Infierno, Chihuahua y su relación con el levantamiento de Plomosas. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Geociencias. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis de Maestría en Ciencias., p. 98.
- Oviedo-Padrón, E.G., Aranda-Gómez, J.J., Chávez-Cabello, G., Molina-Garza, R.S., Iriando, A., González-Becerra, P.C., Cervantes-Corona, J.A. y Solorio-Munguía, J.G. 2010. Tectónica de la sierra Cuesta El Infierno y su posible relación con fallas reactivadas cerca del levantamiento de Plomosas, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. v. 27, (3), p. 389-411.
- Peters, K.E. y Moldowan, J.M., 1993. *The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 363 p.
- Philippe, M. 1993. Nomenclature générique des trachéidoxyles fossiles mésozoïques à champs araucarioïdes. *Taxon* v. 42, p. 74-80.
- Philippe, M. y Bamford, M.K., 2008. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. *Review of Paleobotany and Palynology*, v. 148, p. 184-207.
- Pujana, R.R., A.M. Umazano y E.S. Bellosi. 2007. Maderas fósiles afines a Araucariaceae de la Formación Bajo Barreal, Cretácico Tardío de Patagonia central (Argentina). *Rev. Mus. Argentino Cienc.Nat.* v. 9 (2), p. 161-167.
- Quintero, O. y Guerrero, J.C 1985. Una nueva localidad del basamento precámbrico de Chihuahua, en el área de Carrizalillo. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, *Revista*, v. 6, p. 98-99.
- Rengifo, D. R. 2018. Estudio fitoquímico cualitativo preliminar y cuantificación de flavonoides y taninos del extracto etanólico de hojas de *Desmodium vargasianum* Schubert. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, v. 84 (2).
- Robinson, L.N. y Kirschbaum M.A. 1995. Paleogeography of the Late Cretaceous of the Western Interior of Middle North America-Coal Distribution and Sediment Accumulation, U. S. Geological Survey Professional Paper, p.111.

- Roden, E. y Tuttle, J. 1992. Sulfide release from estuarine sediments underlying anoxic bottom water, *Limnology and Oceanography*, v. 37, p. 725-738.
- Rodriguez, O., Torrenegra, R., Beltran, Stefani., Matulevich, Javier., Castrillon, W. 2014. Metabolitos de baja polaridad en hojas de *Muehlenbeckia tamnifolia* (Kunth) Meisn. *Revista de Tecnología Journal of Technologies*, v. 13, p. 95-108.
- Schopf, J.M. 1975. Modes of fossil preservation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 20, p. 27-53.
- Simoneit, B.R.T., Grimalt, J.O., Wang, T.G., Cox, R.E., Hatcher, P.G., and Nissenbaum, A. 1986. Cyclic terpenoids of contemporary resinous plant detritus and of fossil woods, ambers and coals, *Org. Geochem*, v. 10, p. 877–889.
- Smith, P., 1976. *The chemotaxonomy of plants*, London.
- Taleb, S.E., Batista, F., Schorr, K., Rodrigues, D.C. 2007. Detection of flavonoids in glandular trichomes of *Chromolaena* species (Eupatorieae, Asteraceae) by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Revista Brasileña de Ciencias Farmacéuticas*, v. 42, n. 2.
- Teichberg V.I., Silman, I., Beitsch D. D., Resheff, G. 1975. A beta-D-galactoside binding protein from electric organ tissue of *Electrophorus electricus*, *PNAS*, v.72, n. 4, p. 1383-1387.
- Uddin, S. J., Bettadapura, J., Guillom, P., Grice, D., Mahalingam, S., and Tiralongo, E. 2013. In-vitro Antiviral Activity of a Novel Phthalic Acid Ester Derivative Isolated from the Bangladeshi Mangrove Fern *Acrostichumaureum*. *Antivirals & Antiretrovirals*. v. 5, p. 139-144.
- van Aarssen, B.G.K., Alexander, R., and Kagi, R.I. 2000. Higher plant biomarkers reflect palaeovegetation changes during Jurassic times, *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 64, p. 1417–1424.
- Vanderburg, L.E., Wilde, E.A. 1967. Aromatics acids of *Carnauba Wax*, *Journal of the American oil Chemists Society*. v. 44, (11), p. 659-662.
- Vaughan, T. W. 1900. Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas. *U.S. Geol. Survey Bull*. v. 164, p. 73-88.
- Vliex, M., Hagemann, H. W., and Puttmann, W. 1994. Aromatized arborane/fernane hydrocarbons as molecular indicators of floral changes in Upper Carboniferous/Lower Permian strata of the Saar-Nahe Basin, southwestern Germany, *Geochim. Cosmochim. Ac.*, v. 58, p. 4689–4702.

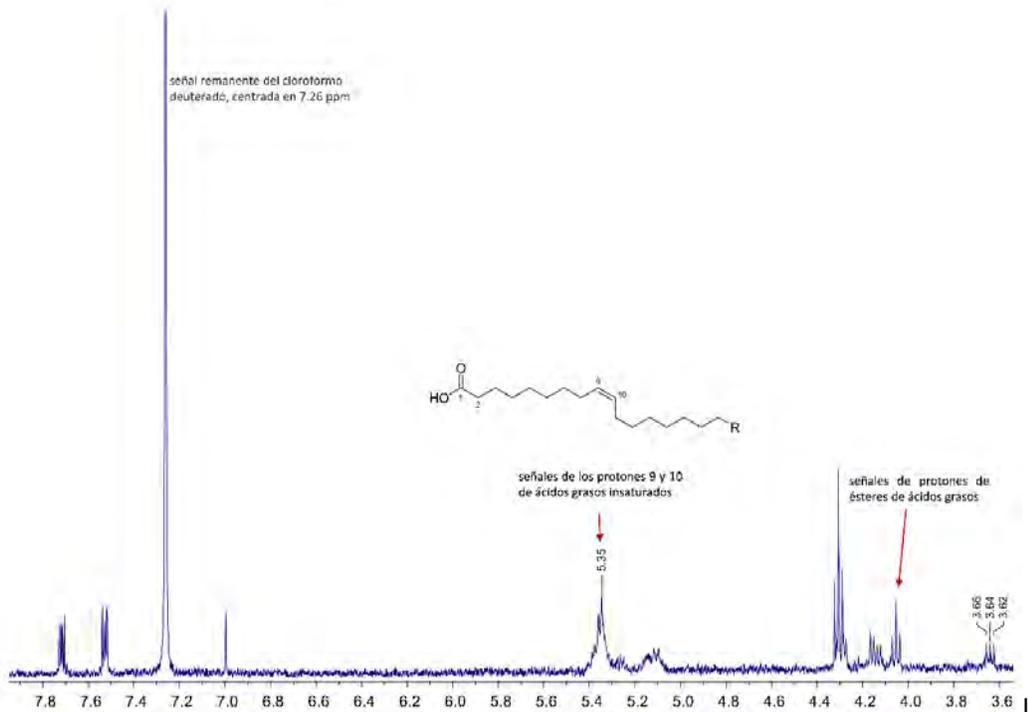
- Weber, R. 1972. La vegetación Maastrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana v. 33, p. 5-19.
- Wheeler, E.A. y P. Baas. 1998. Wood identification: *A review*. International Association Wood Anatomists Bulletin, v.3, p. 241-264.
- Wolleben, J.A. 1966. Biostratigraphy of the Ojinaga and San Carlos formations of west Texas and northeastern Chihuahua. University of Texas at Austin, Ph. D. dissertation, p. 62.
- Wyllie, S.G. and Djerassi, C. 1968. Mass spectrometry in structural and stereochemical problems. Mass spectrometric fragmentations typical of sterols with unsaturated side chains, J. Org. Chem. v. 33, p. 305-313.
- Zi, C., Ya, L., De H., Hao, T., Jia J. 2016. Synthesis and fungicidal activity of novel 2,5-disubstituted-1,3,4- thiadiazole derivatives containing 5-phenyl-2-furan, v. 6, p. 102-114.

ANEXO I ESPECTROS DE RMN ¹H

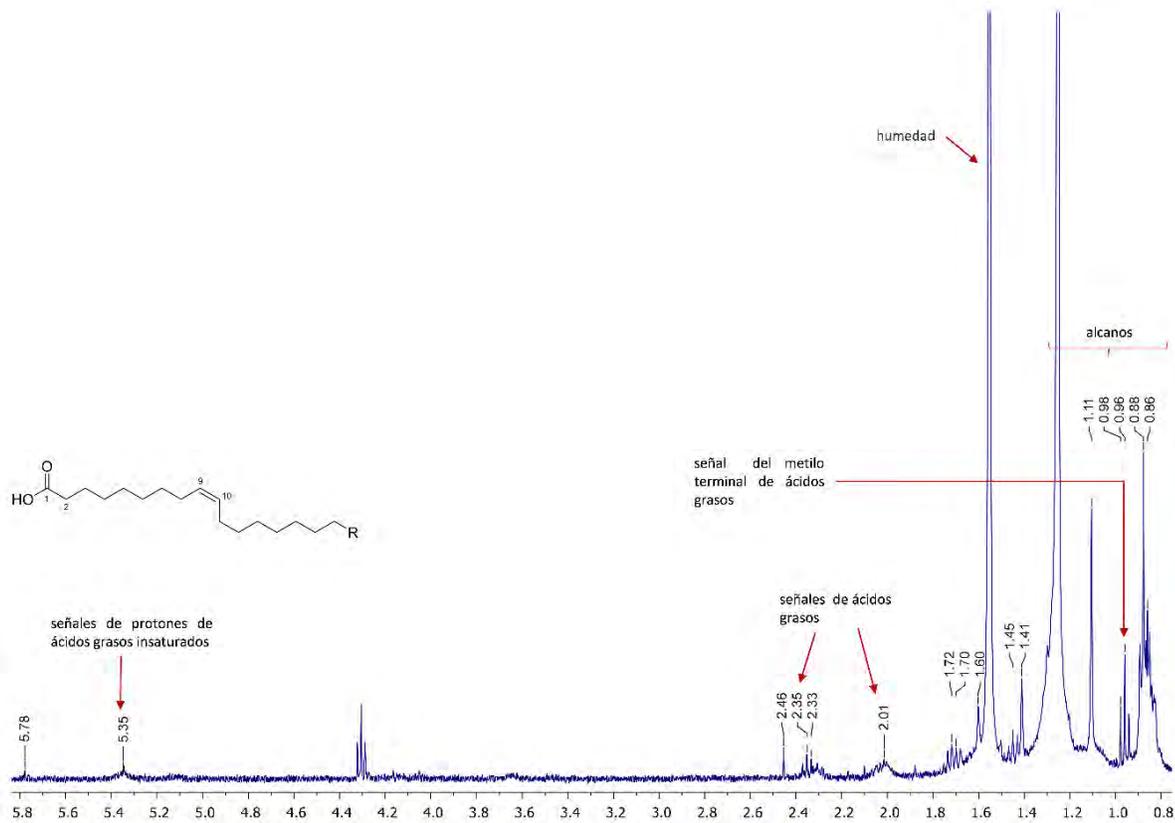
I.I Espectro de RMN ¹H (400 MHz) en CDCl₃ del extracto hexánico de la muestra "TU"



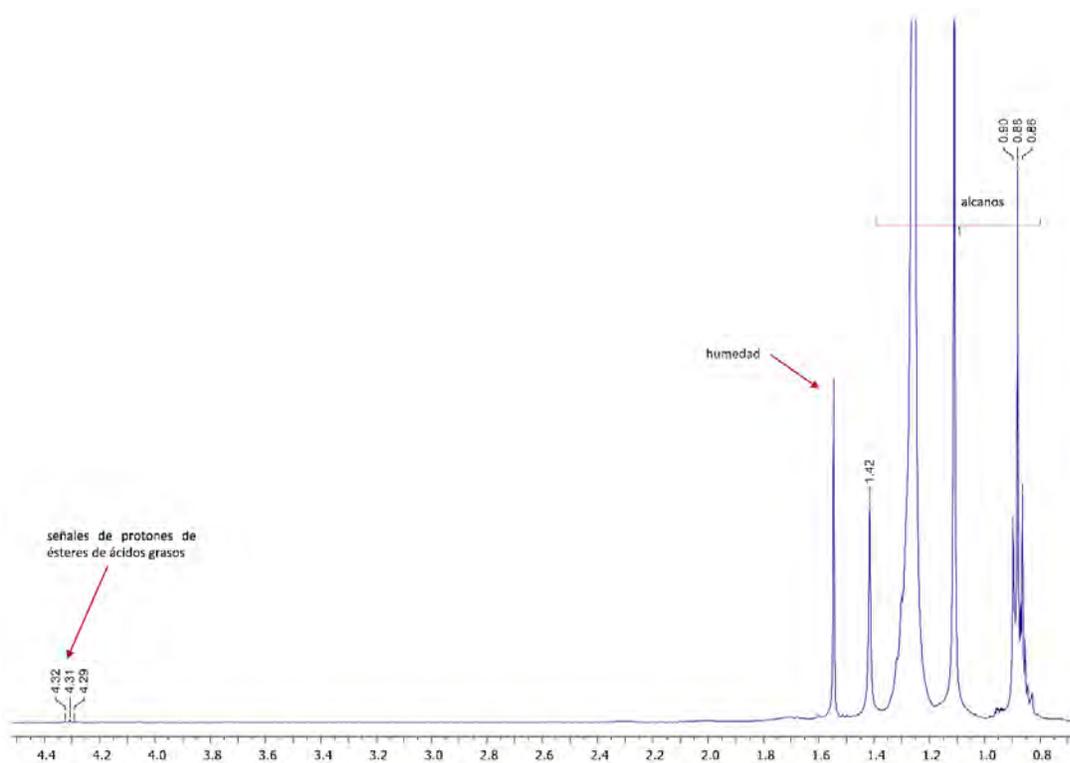
I.II Ampliación de espectro de RMN ¹H (400 MHz) en CDCl₃ del extracto hexánico de la muestra "TU"



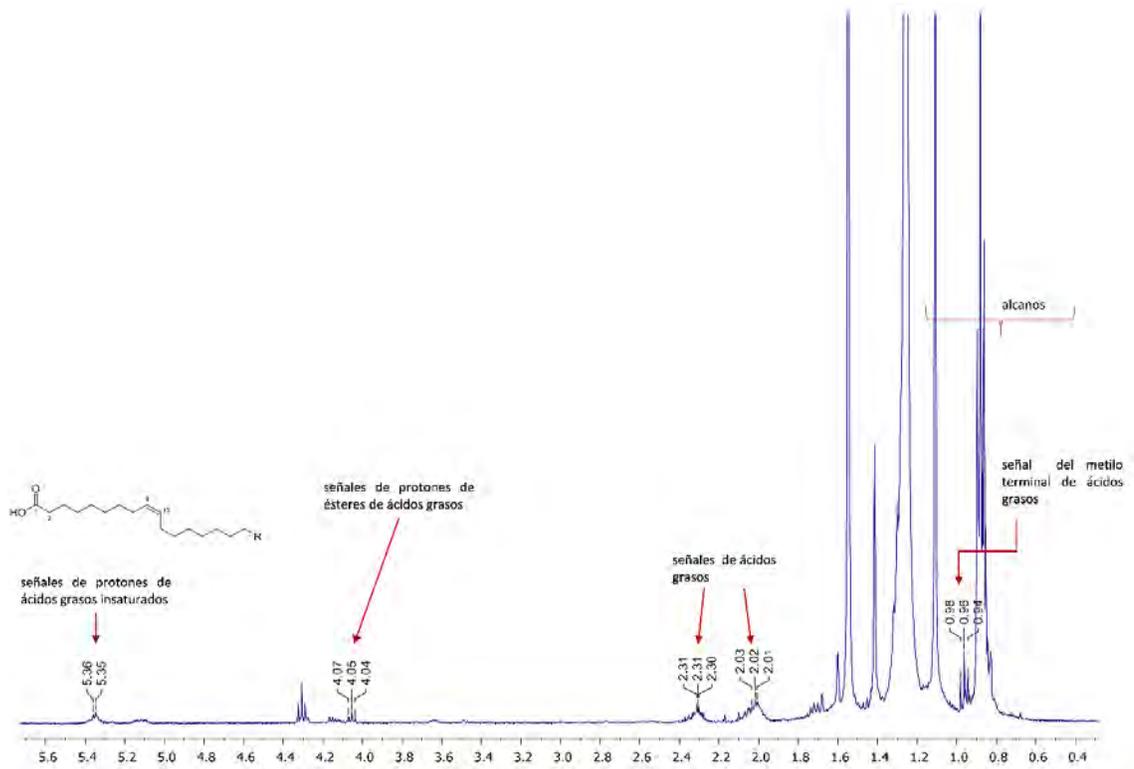
I.III Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto hexánico de la muestra "Corteza".



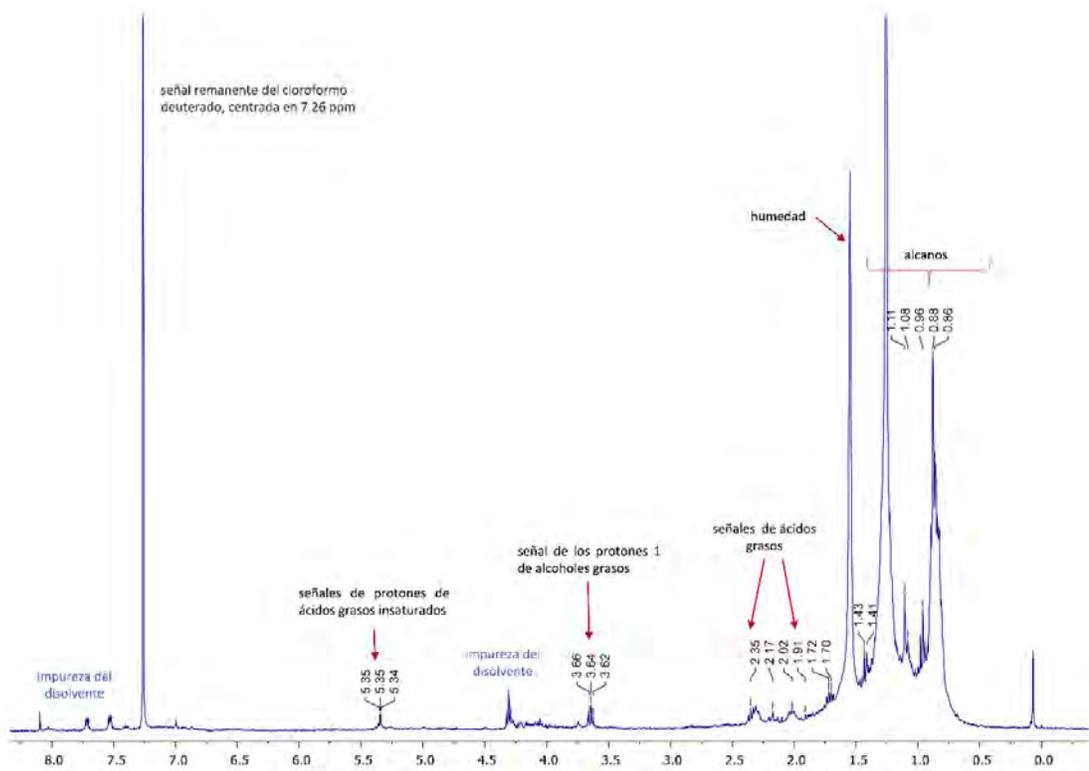
I.IV Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto hexánico de la muestra "PM".



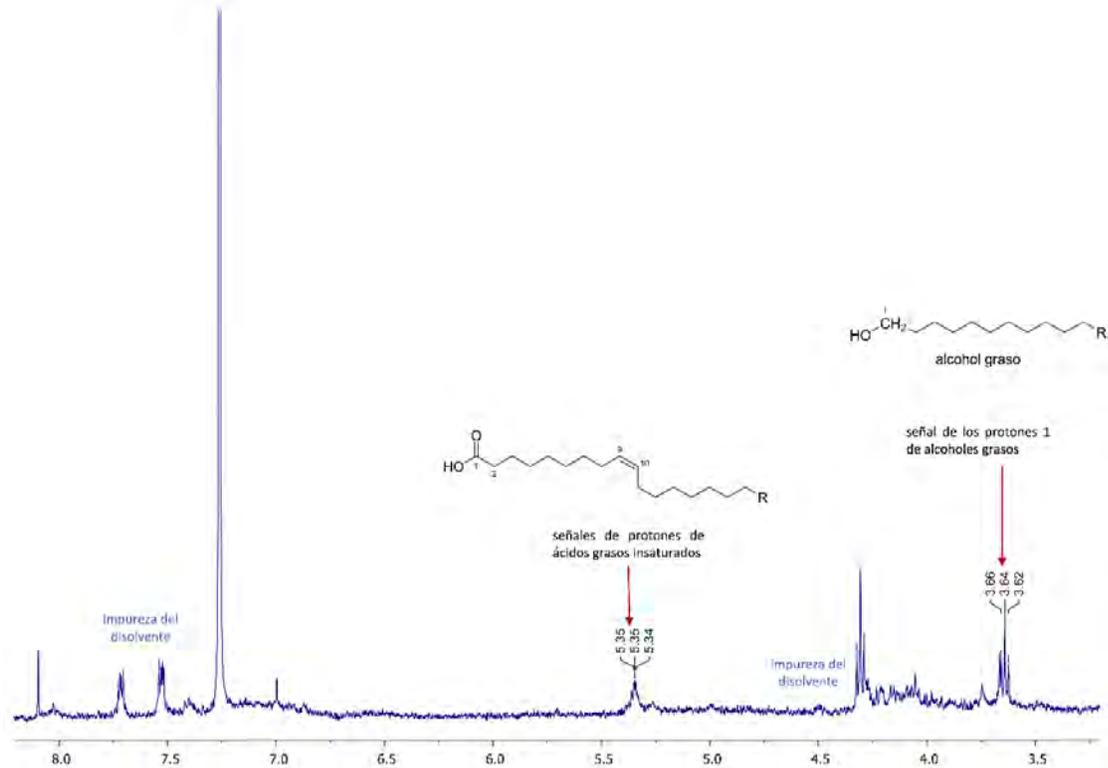
I.V Espectro RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto hexánico de la muestra "Núcleo"



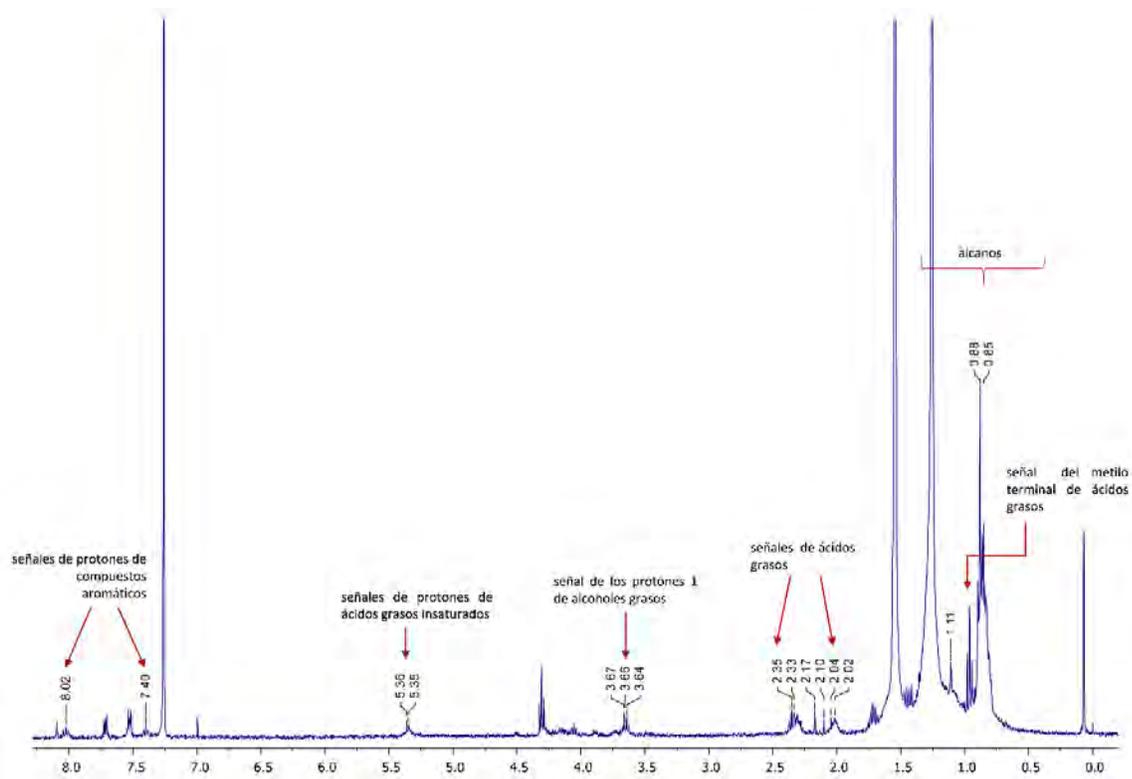
I.VI Espectro RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto en DCLM de la muestra "TU"



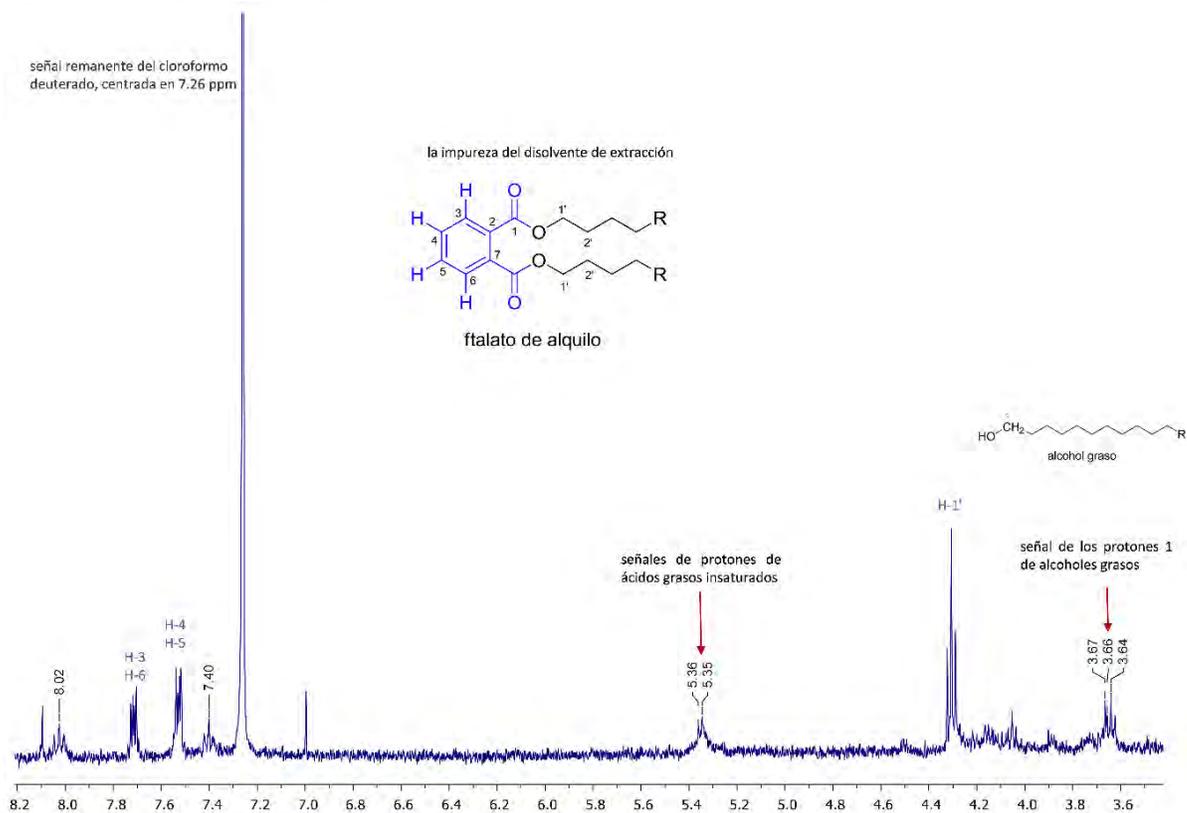
I.VII. Ampliación de espectro RMN ¹H (400 MHz) en CDCl₃ del extracto en DCLM muestra "TU"



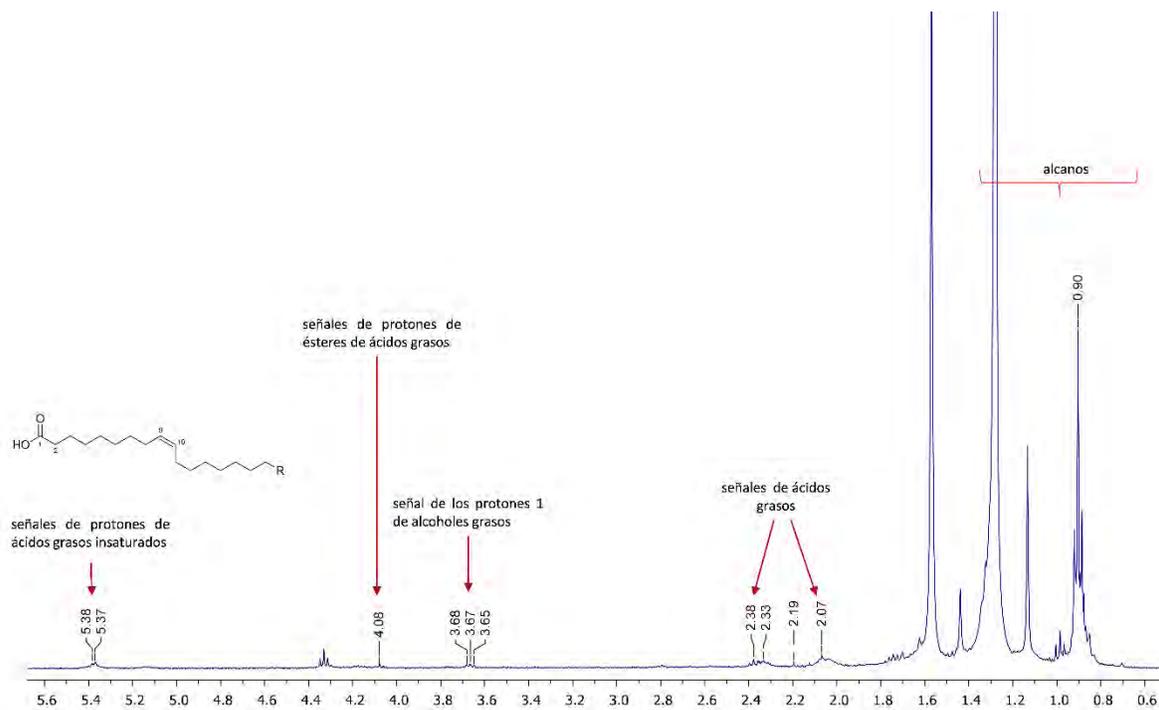
I.VIII Espectro de RMN ¹H (400 MHz) en CDCl₃ del extracto en DCLM de la muestra "Corteza"



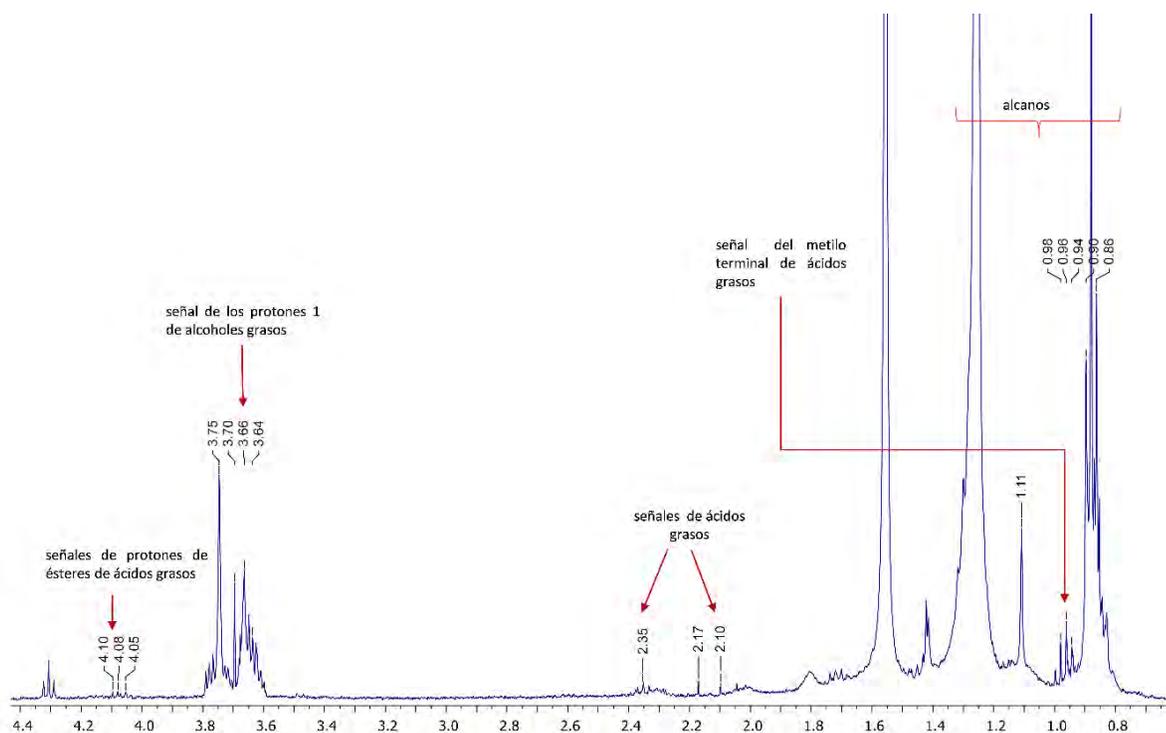
I.IX Ampliación de espectro de RMN ¹H (400 MHz) en CDCl₃ del extracto en DCLM "Corteza"



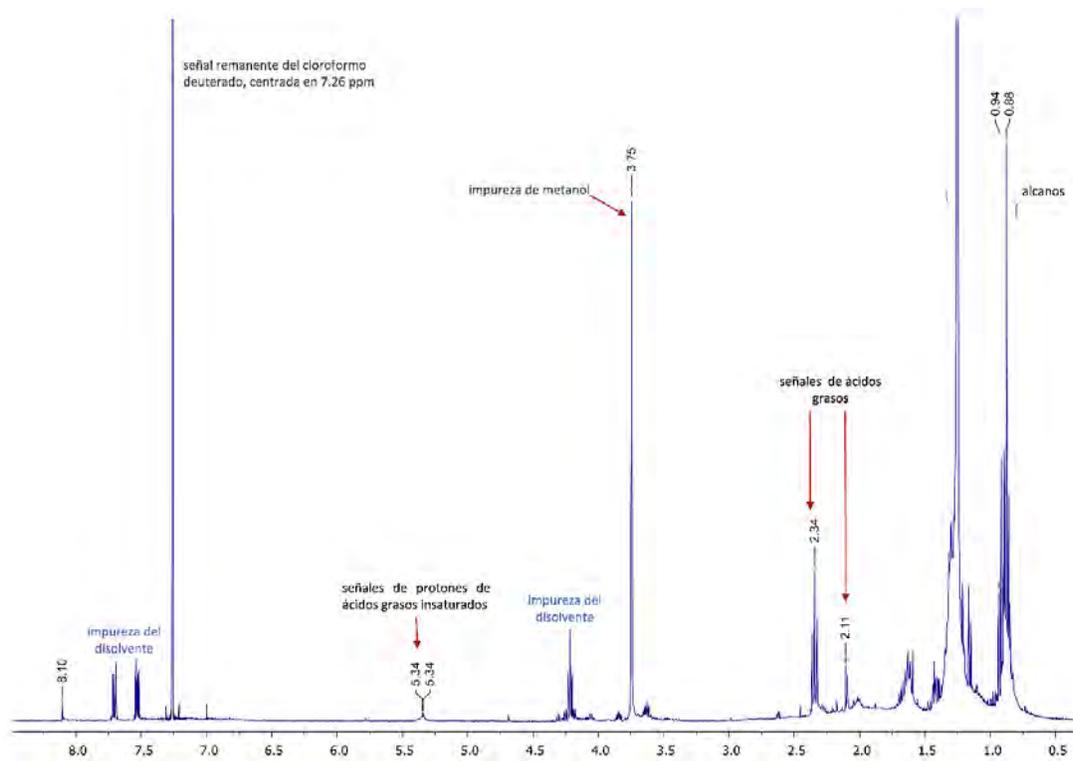
I.X Espectro de RMN ¹H (400 MHz) en CDCl₃ del extracto en DCLM de la muestra "PM"



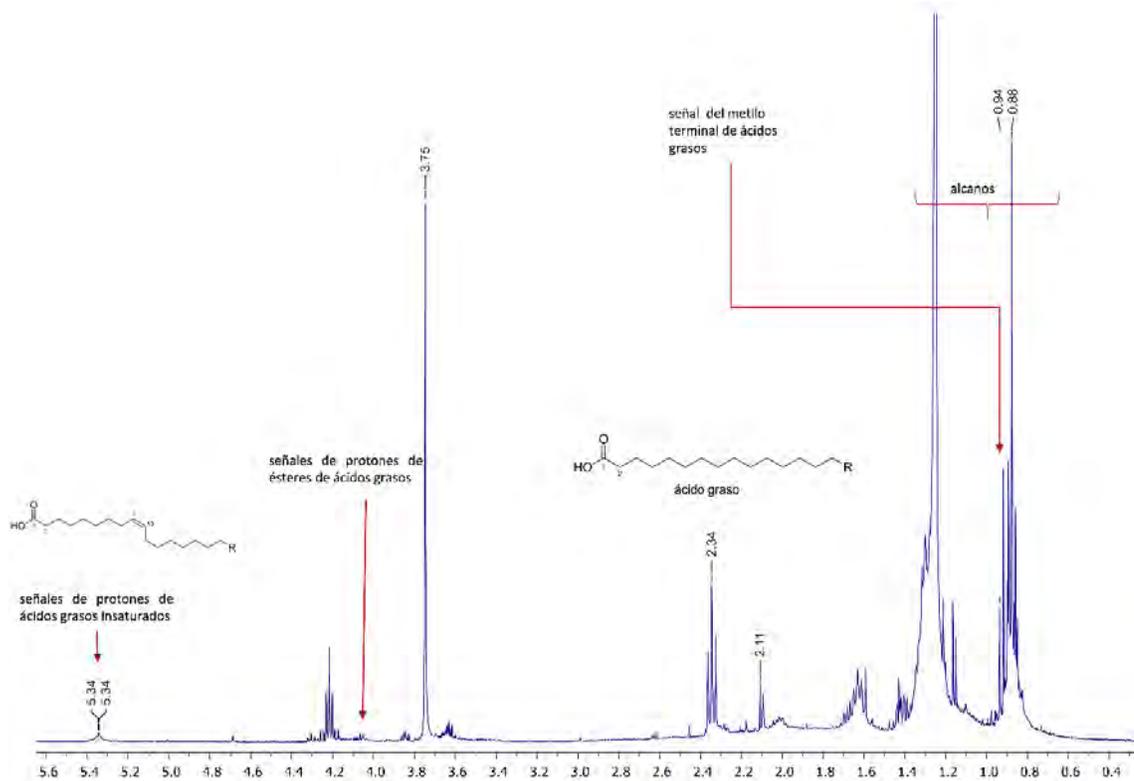
I.XI Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto en DCLM de la muestra "Núcleo"



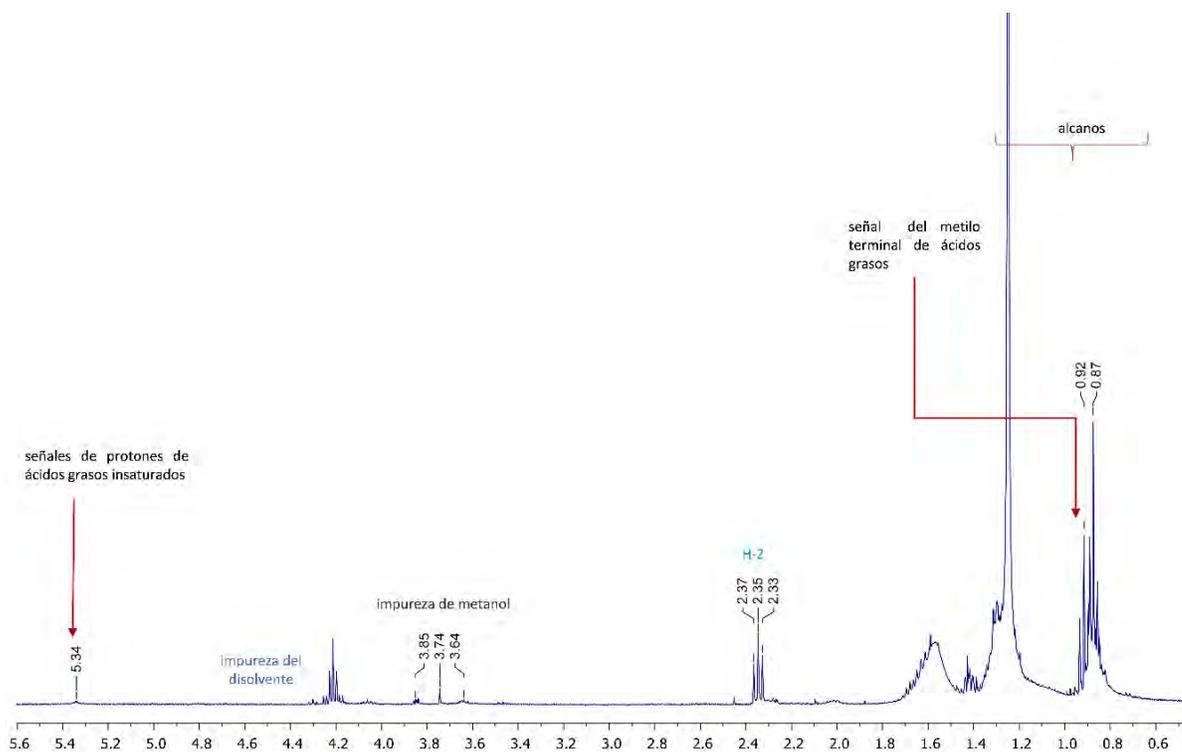
I.XII Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto AcOEt de la muestra "TU"



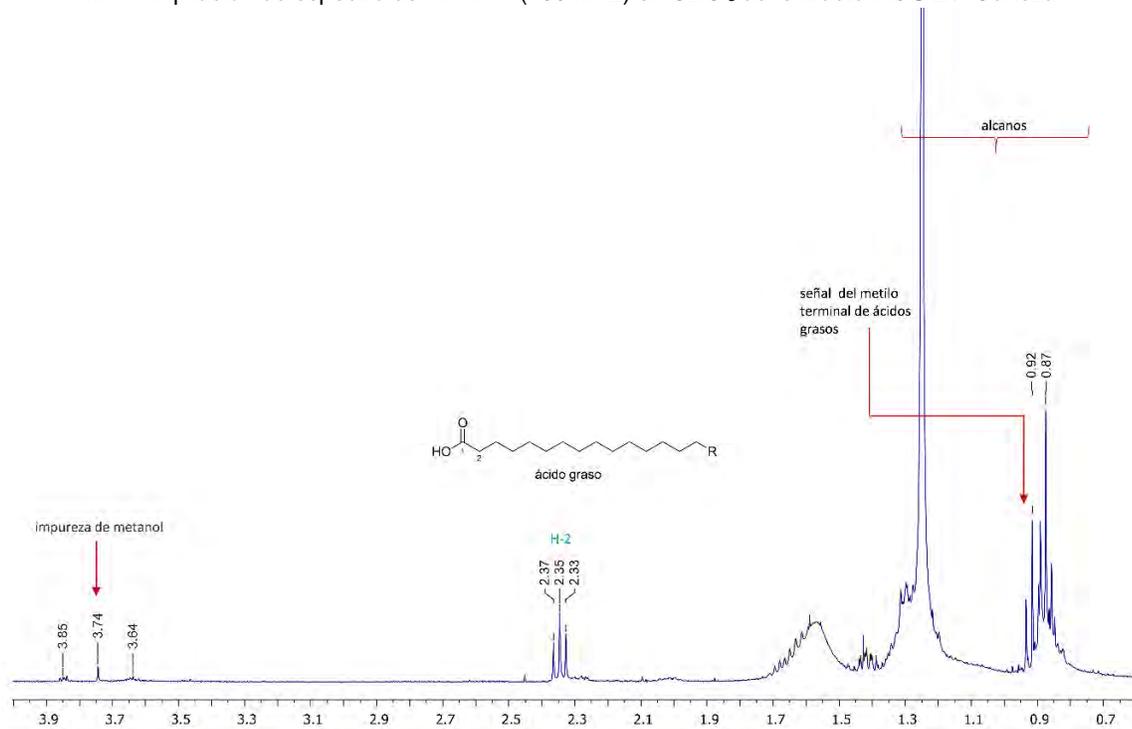
I.XIII Ampliación del espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto ACOEt de la muestra "TU"



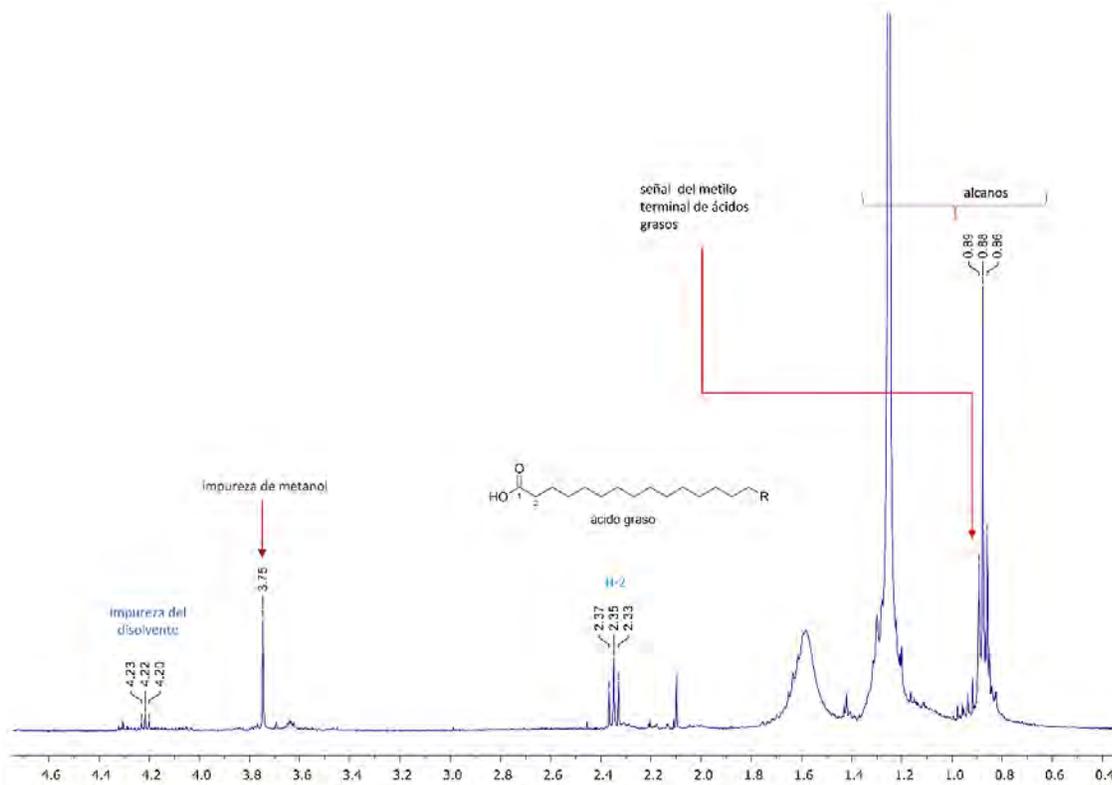
I.XIV Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto ACOEt de la muestra "Corteza"



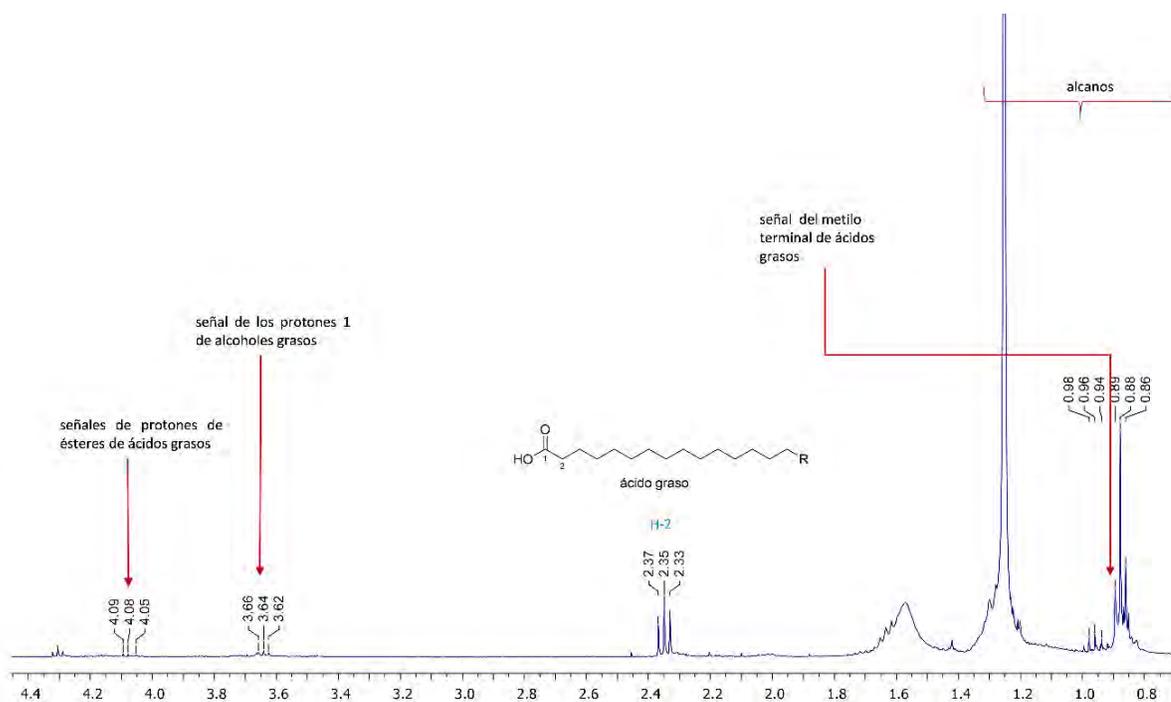
I.XV Ampliación de espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto ACOEt "Corteza"



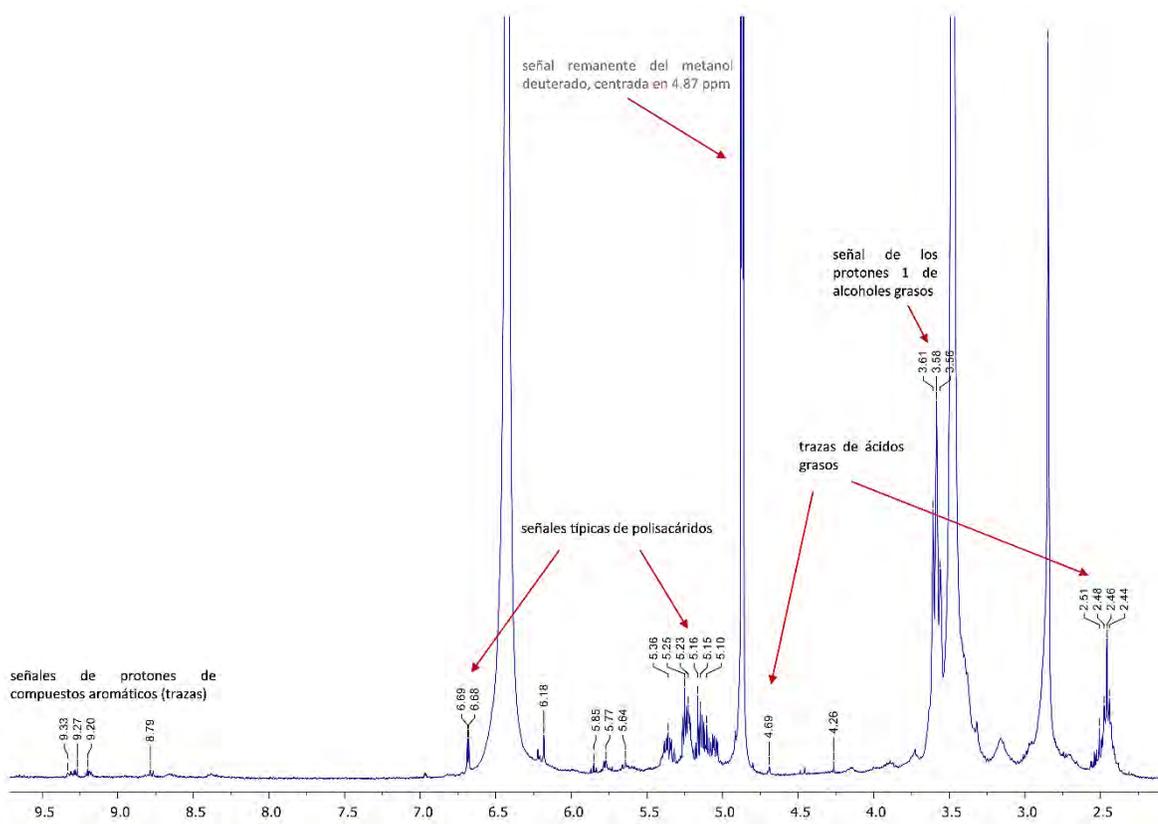
I.XVI Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto ACOEt de la muestra "PM"



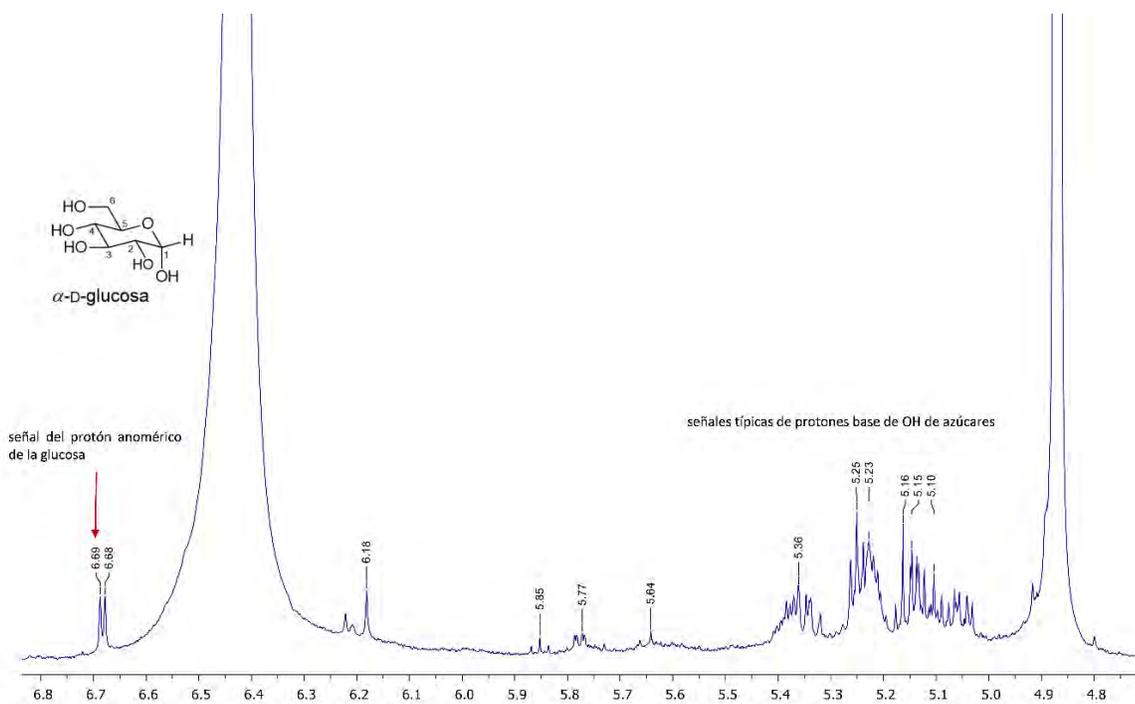
I.XVII Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en CDCl_3 del extracto AcOEt de la muestra "Núcleo"



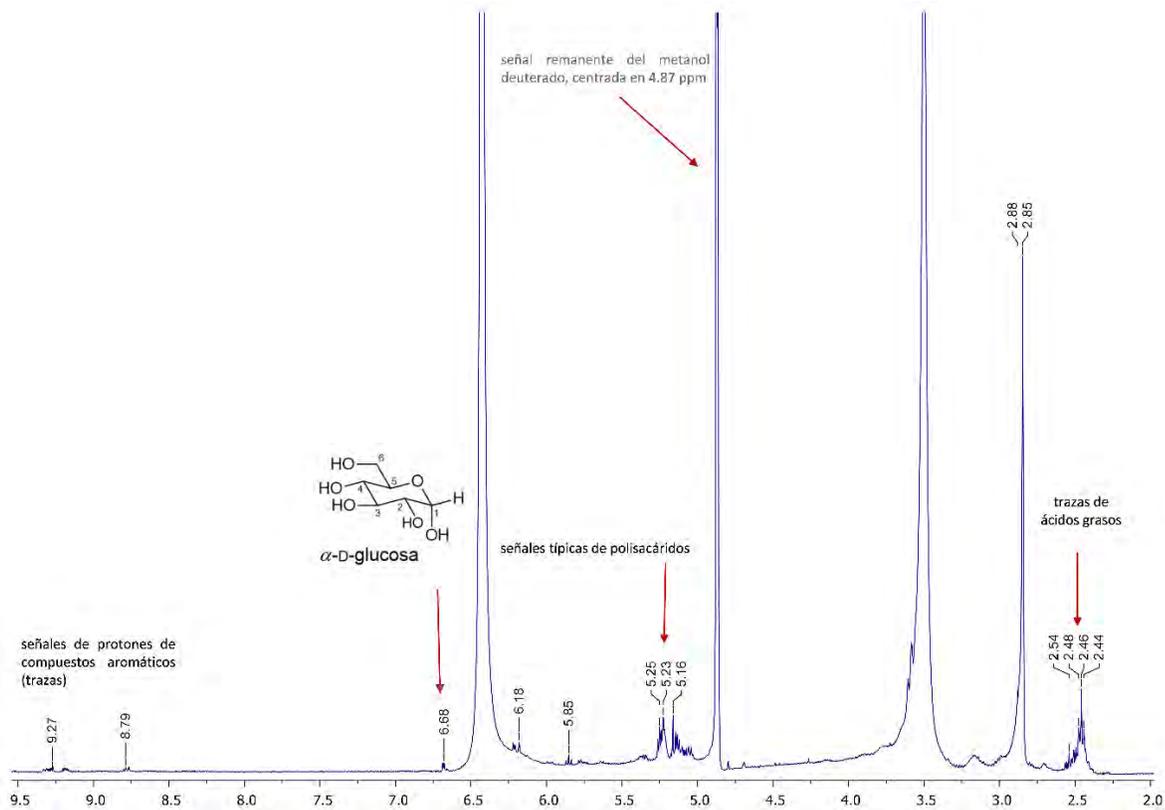
I.XVIII Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en metanol d_4 del extracto metanólico de la muestra "TU"



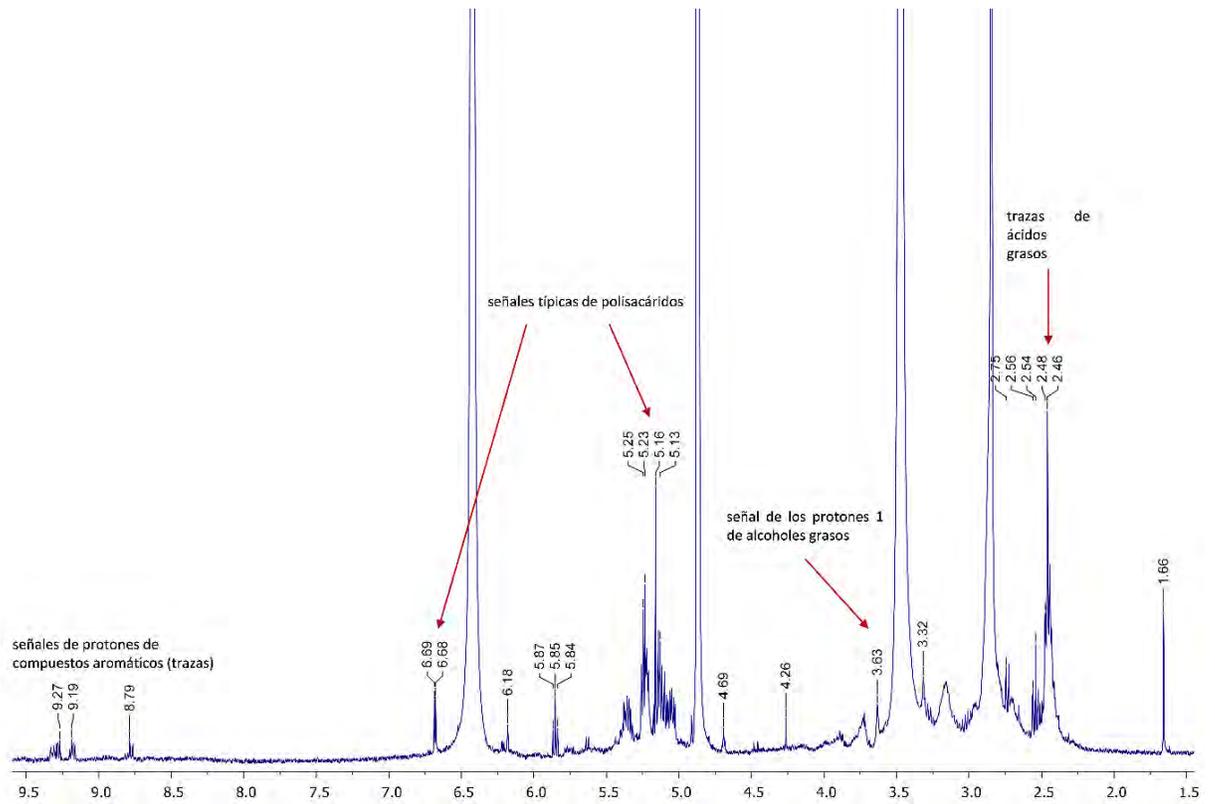
I.IX Ampliación de Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en metanol d_4 del extracto metanolico "TU"



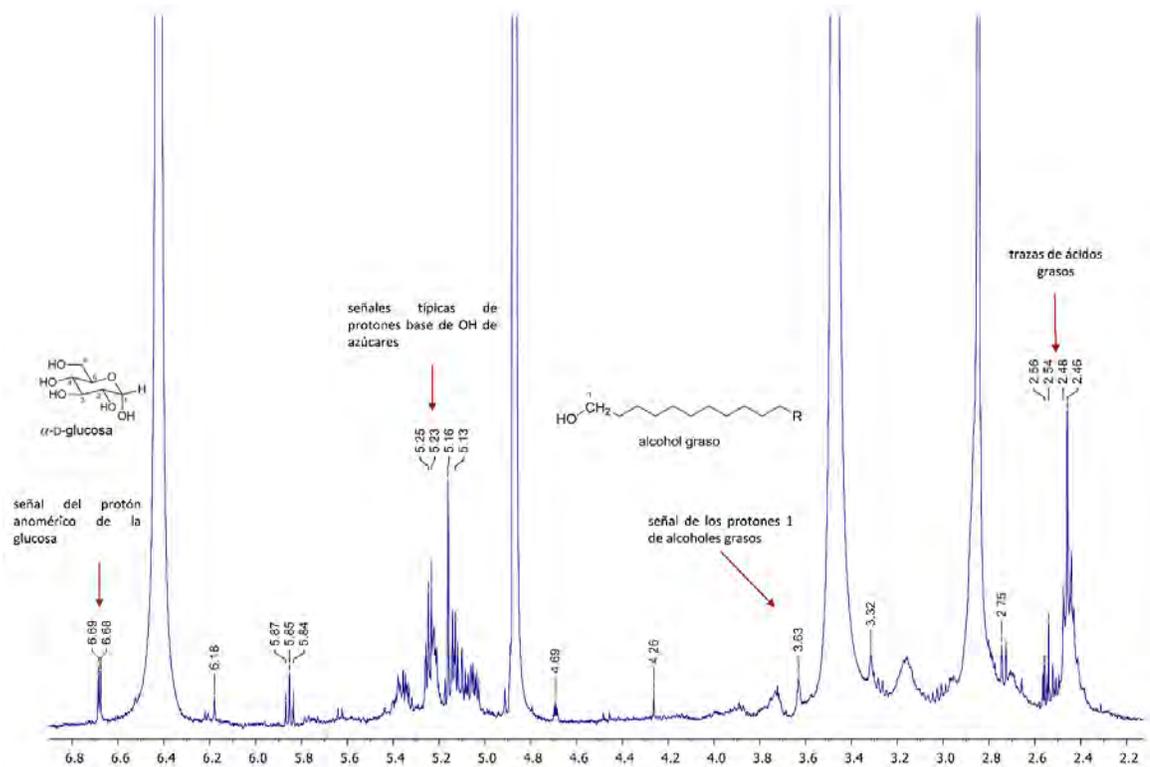
I.XX Espectro de RMN ^1H (400 MHz) en metanol d_4 del extracto metanolico de la muestra "Corteza"



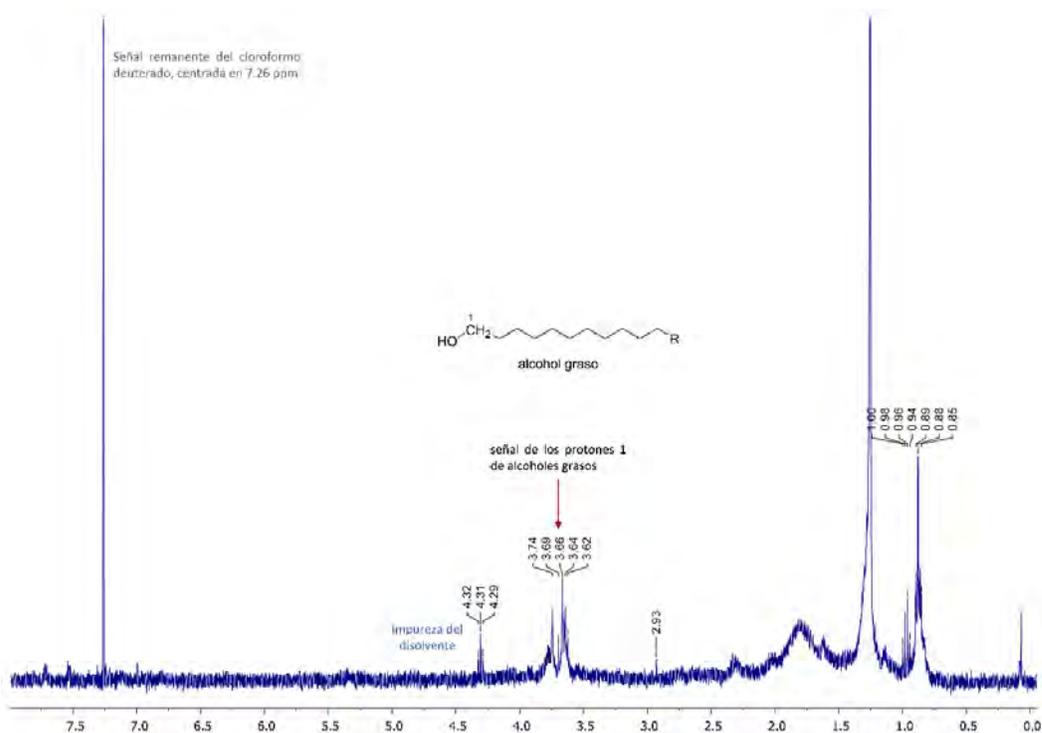
I.XXI Espectro de RMN ¹H (400 MHz) en metanol d₄ del extracto metanolico de la muestra "Parte Media"



I.XXII Ampliación de Espectro de RMN ¹H (400 MHz) en metanol d₄ del extracto metanolico "Parte media"

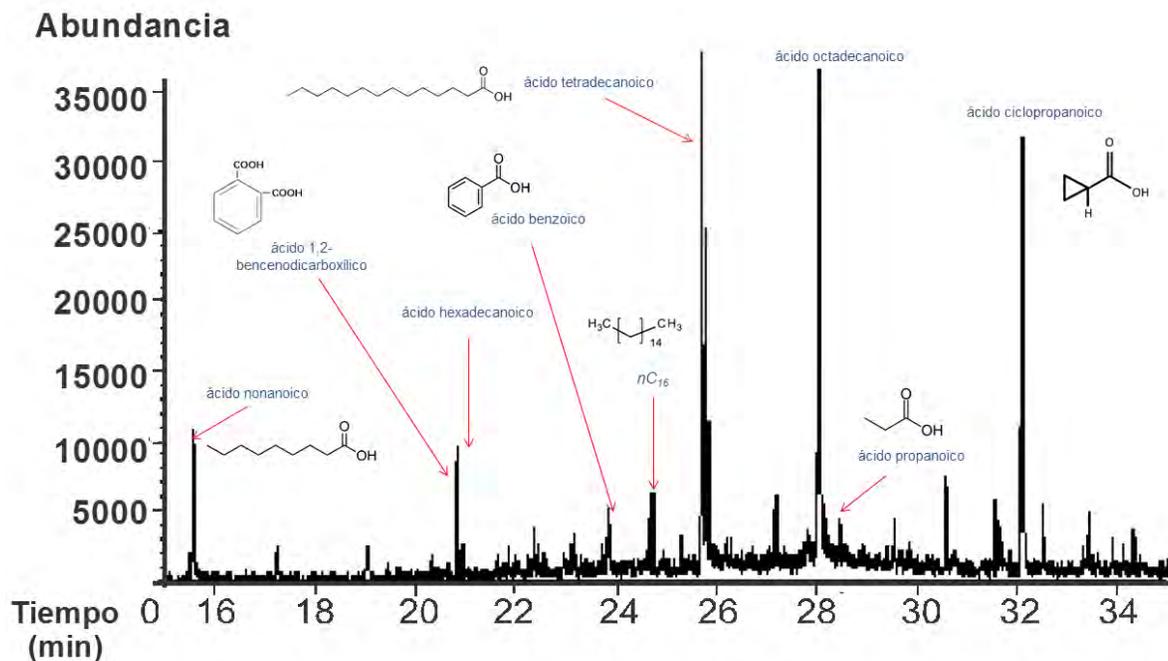


I.XXIII Espectro de RMN ¹H (400 MHz) en metanol d₄ del extracto metanolico de la muestra "Núcleo"

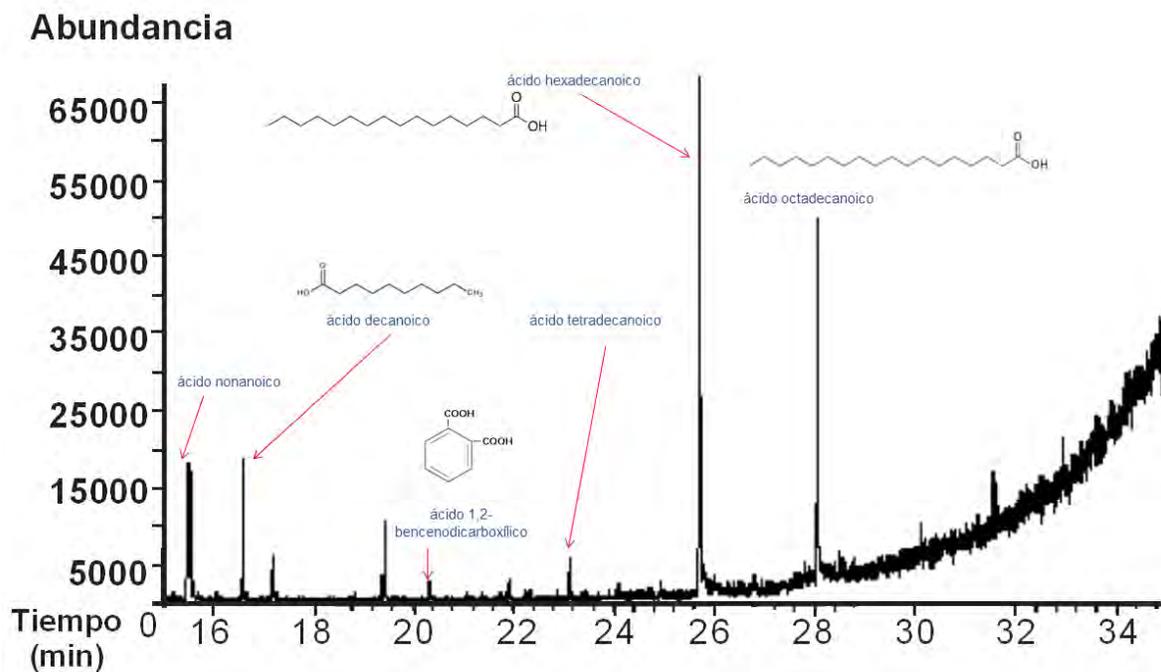


ANEXO II CROMATOGRAMAS OBTENIDOS CON ACETATO DE ETILO EN CG-Ms

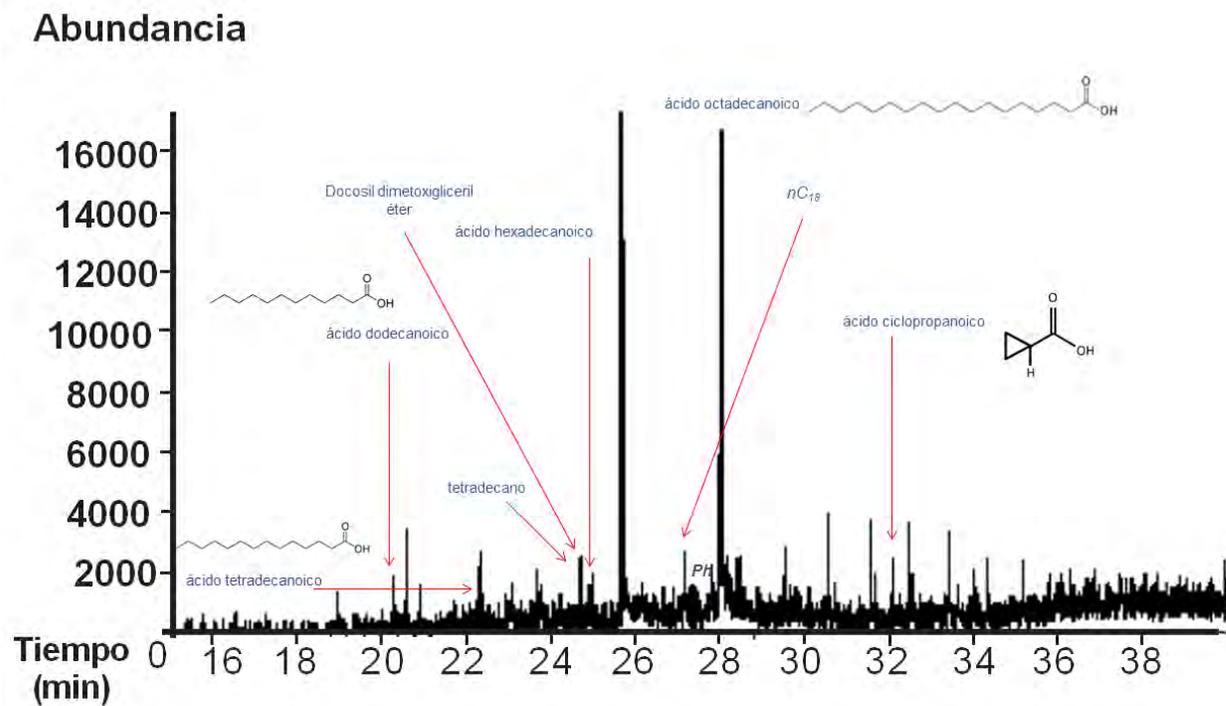
II.I Fragmentograma de CG-Ms en Metanol d₄ del extracto obtenido AcOEt de la muestra "TU", m/z=57



II.II Fragmentograma de CG-MS en Metanol d4 del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "TU", m/z=73

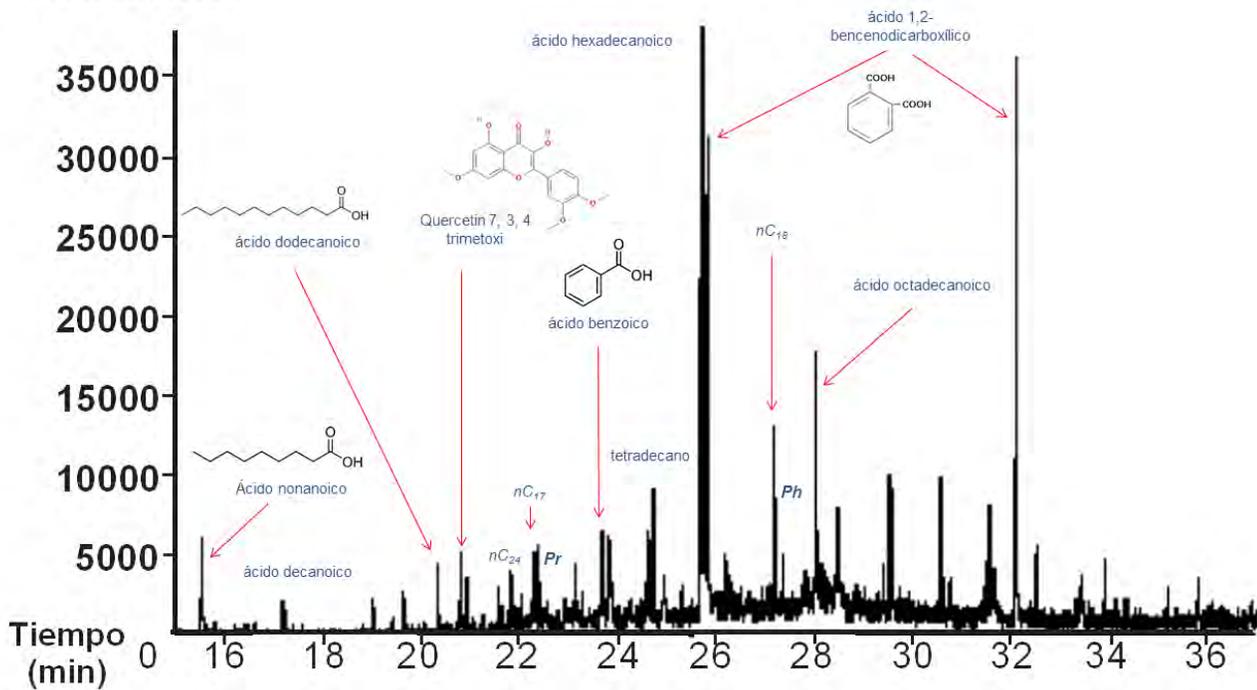


II.III Fragmentograma de CG-MS en Metanol d4 del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "TU", m/z=85



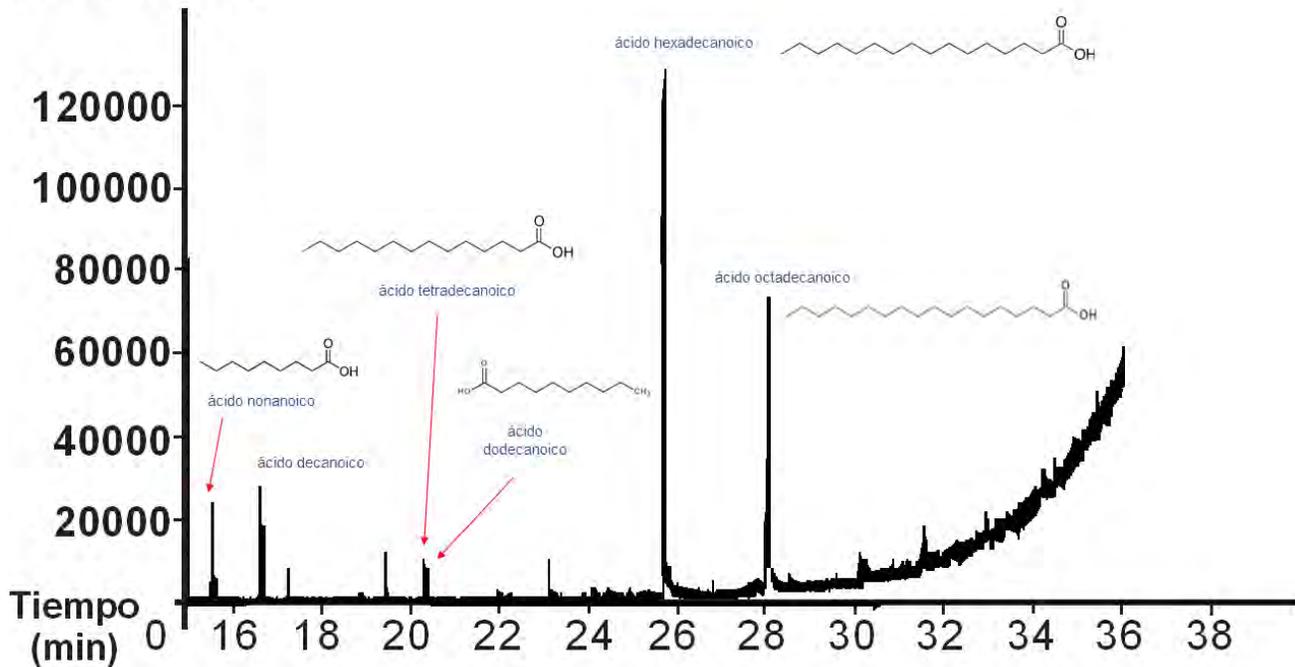
II.IV Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "Corteza", m/z=57

Abundancia

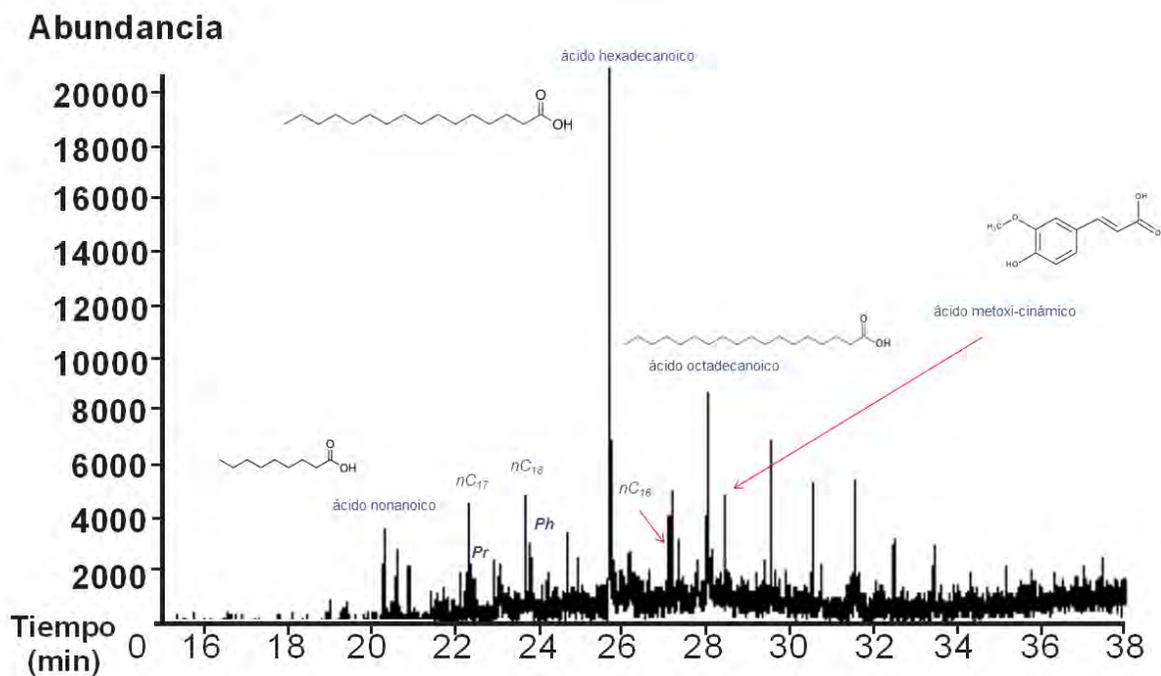


II.V Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "Corteza", m/z=73

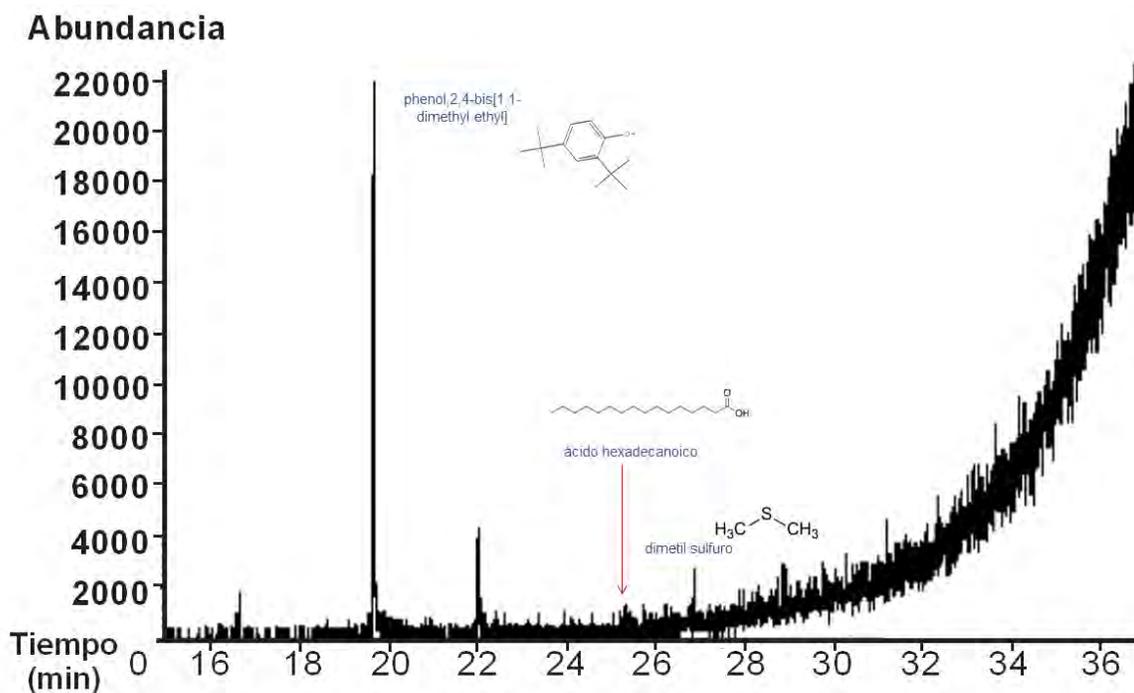
Abundancia



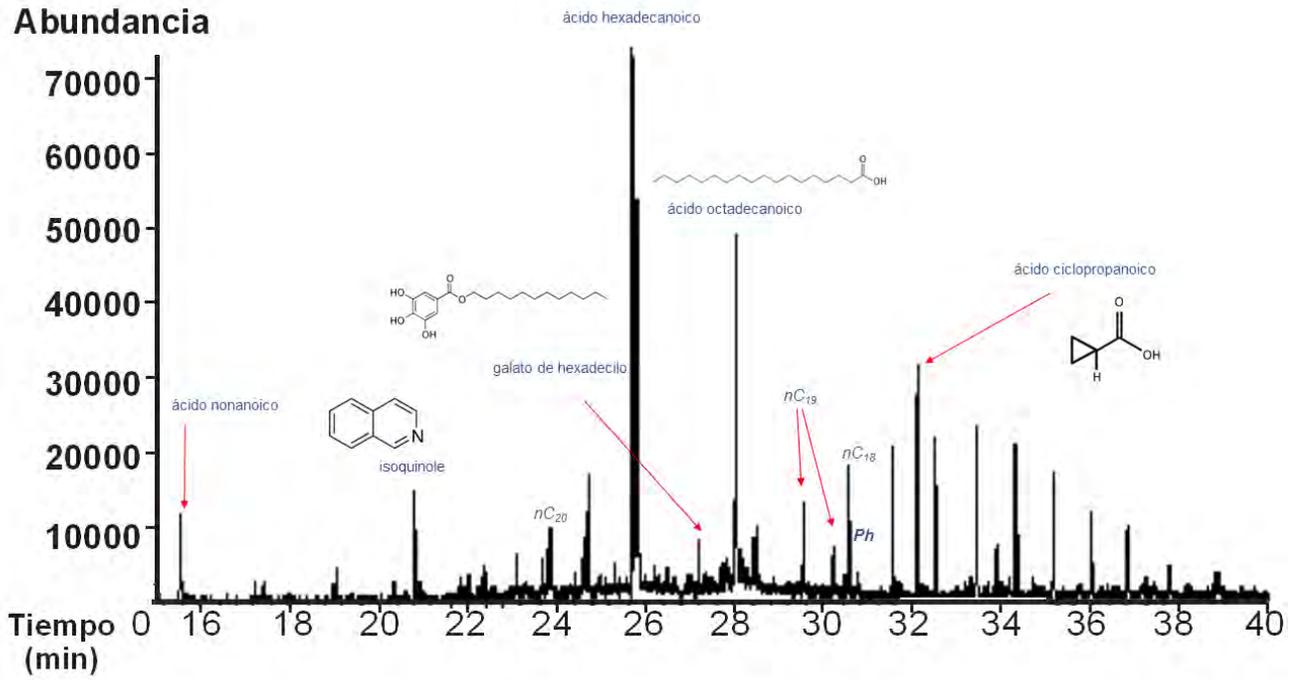
II.VI Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "Corteza", m/z=85



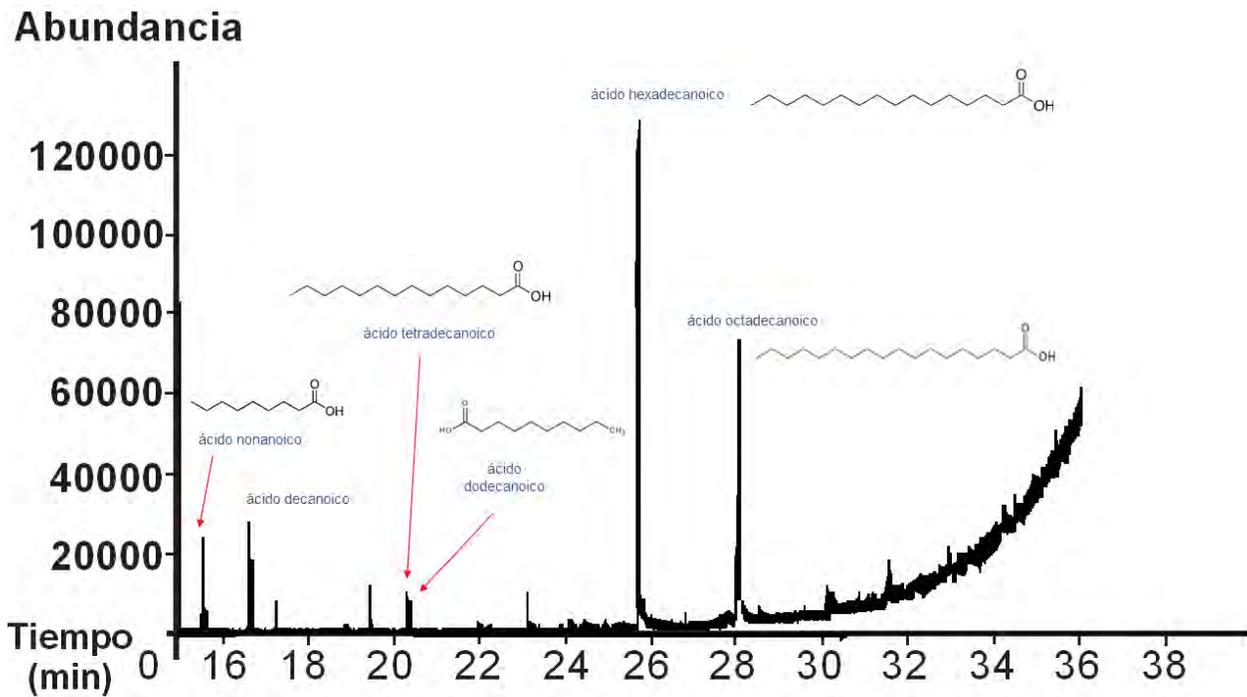
II.VII Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "Corteza", m/z=191



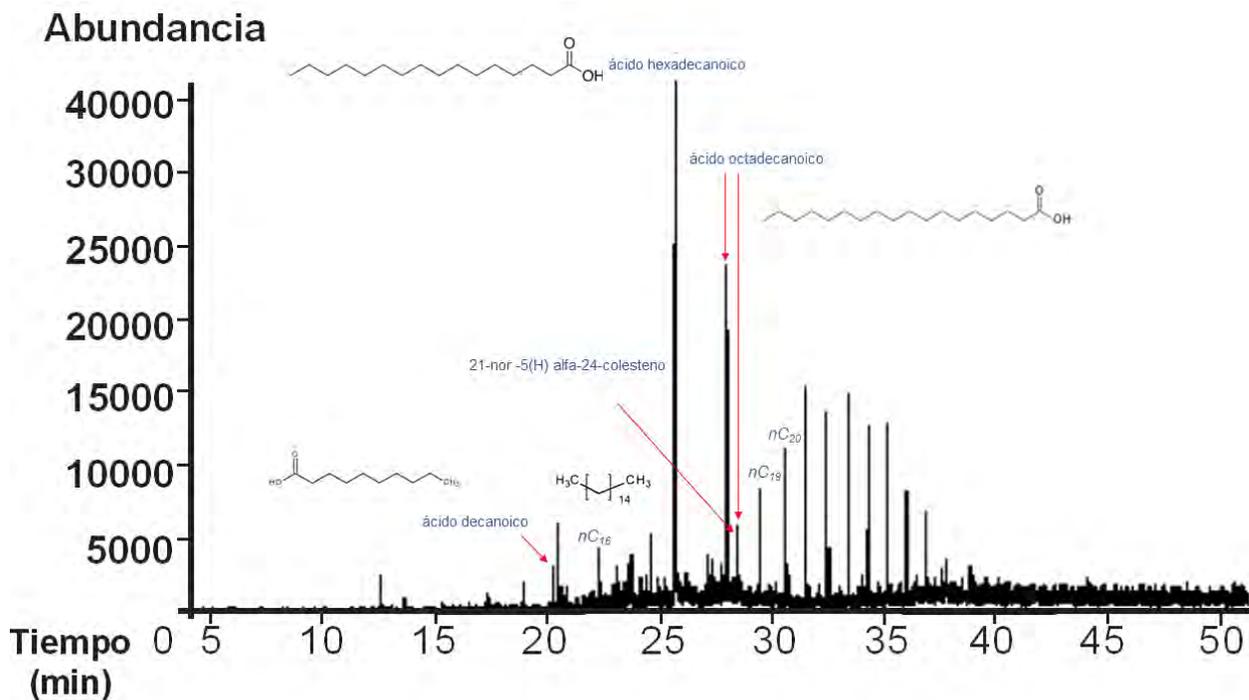
II.VIII Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la "PM", m/z=57



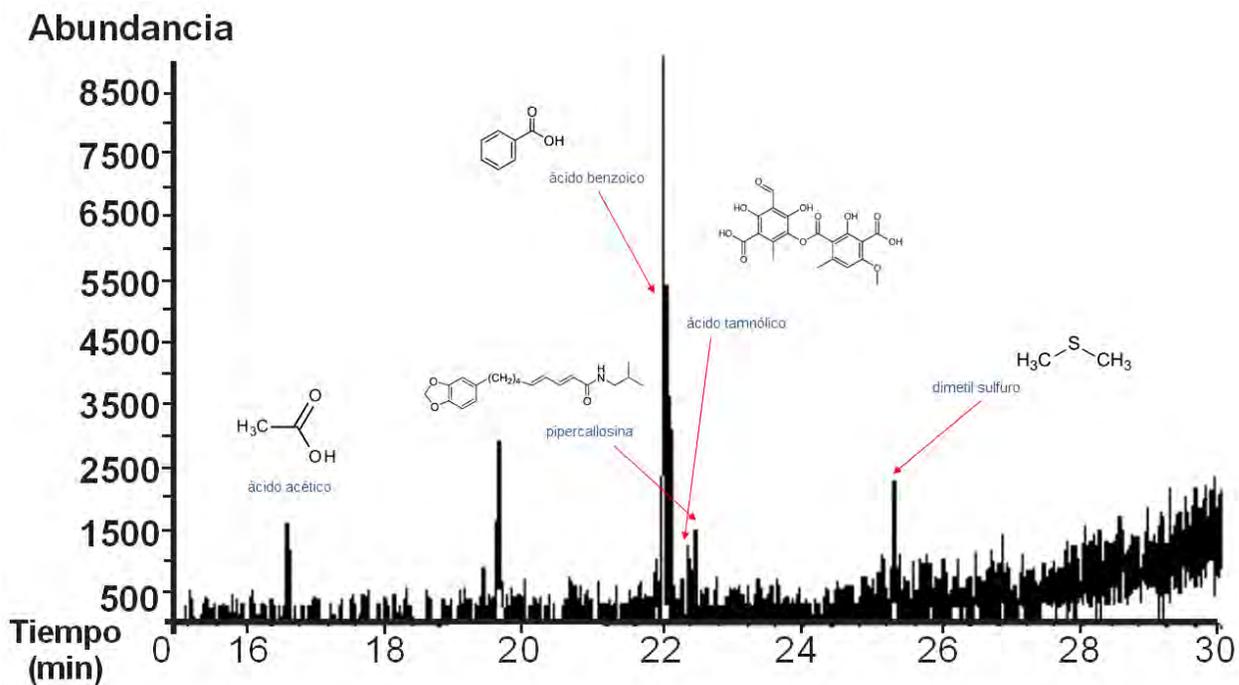
II.IX Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "PM", m/z=73



II.X Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "PM", m/z=85

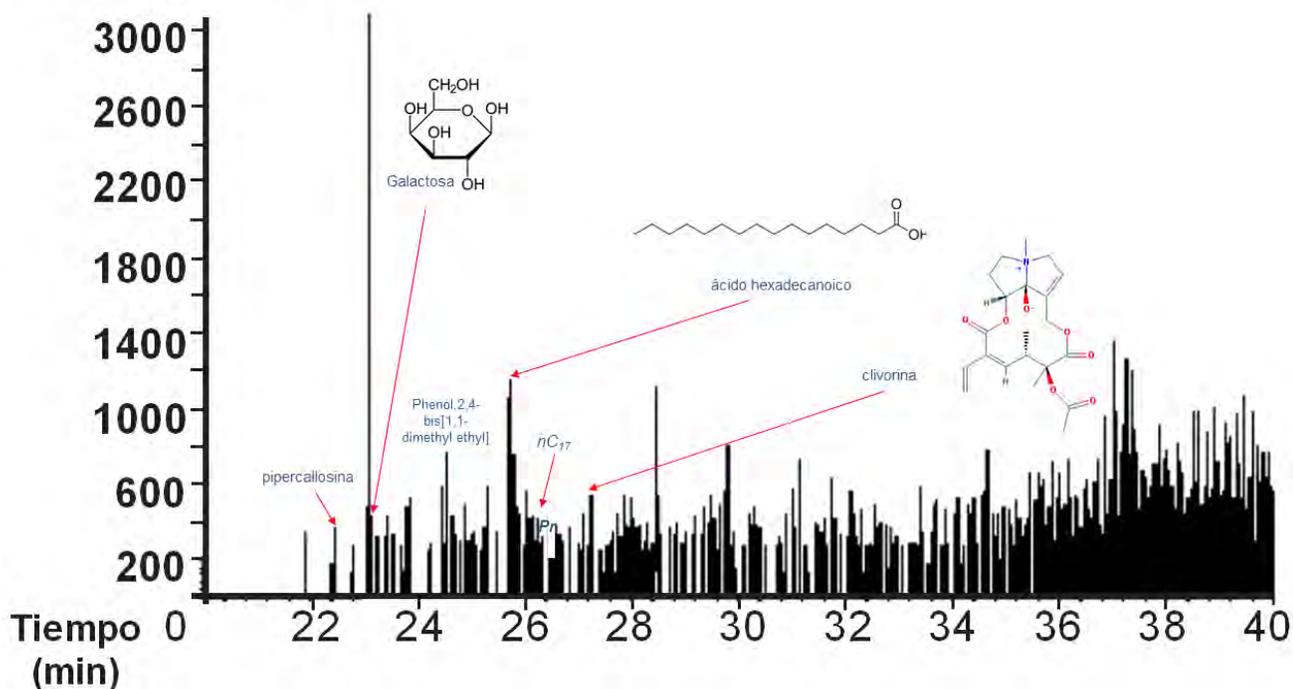


II.XI Fragmentograma de CG-MS en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "PM", m/z=191



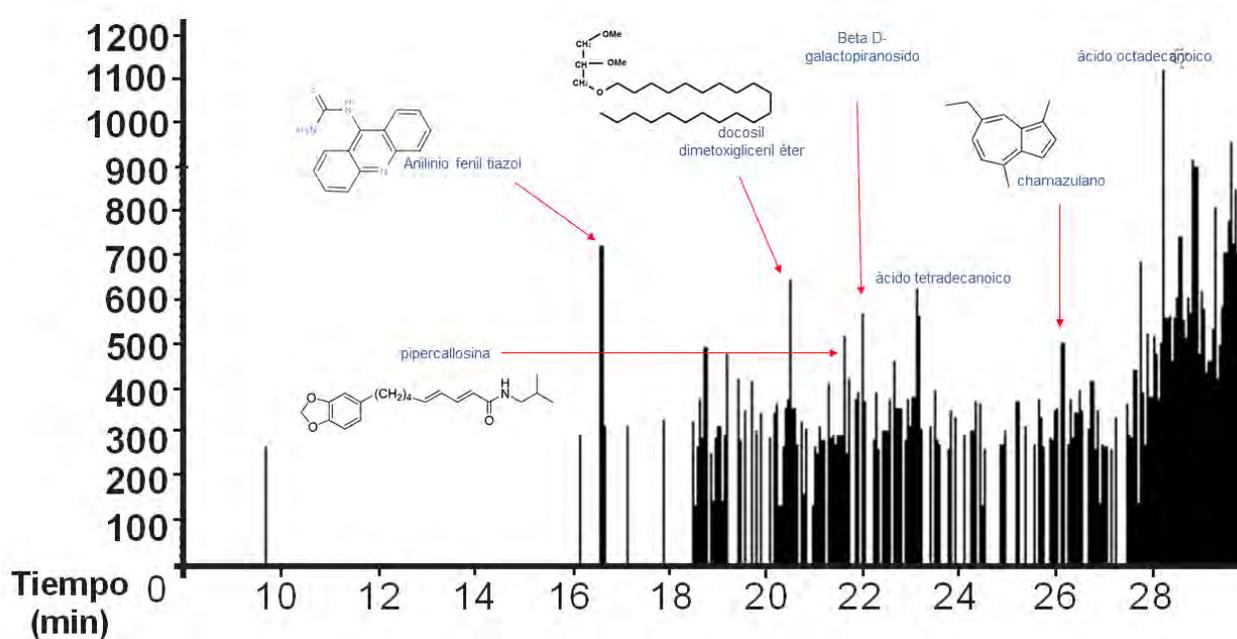
II.XII Fragmentograma de CG-Ms en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "PM", m/z=215

Abundancia

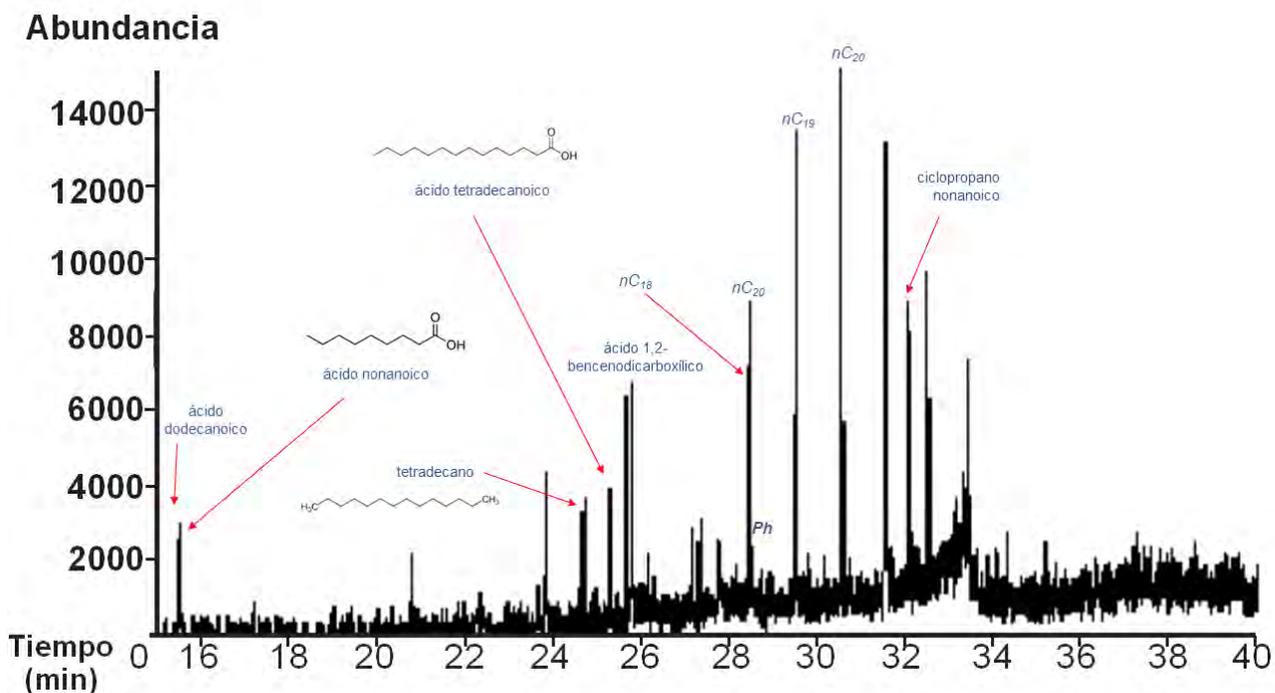


II.XIII Fragmentograma de CG-Ms en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "PM", m/z=313

Abundancia



II.XIV Fragmentograma de CG-Ms en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "Núcleo", m/z=57



II.XV Fragmentograma de CG-Ms en Metanol d₄ del extracto obtenido en AcOEt de la muestra "Núcleo", m/z=85

