



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Área Académica de Química

**“COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESERVADOS EN MADERA FÓSIL DEL
GÉNERO *Javelinoxylon deca* (Malvaceae s.l.) DEL AFLORAMIENTO
DECA-PARQUE CRETÁCICO, MUNICIPIO DE ALDAMA,
CHIHUAHUA (MÉXICO)”**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN QUÍMICA

Presenta:

Delia Monserrat Mendoza Ostria

Director:
Dr. Kinardo Flores Castro

Co- Director
Dr. Emilio Estrada Ruíz.

Mineral de la Reforma, Hidalgo, 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Institute of Basic Sciences and Engineering
Área Académica de Química
Chemistry Department

M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO,
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DE LA U.A.E.H.,
Presente:

Por este medio le comunico que el Jurado asignado a la Pasante de Licenciatura en Química **Delia Monserrat Mendoza Ostría**, quien presenta el trabajo de titulación "**Compuestos Orgánicos Preservados en Madera Fósil del Género *Javeniloxylon deca* (Malvaceae s.l.) del Afloramiento DECA - Parque Cretácico, Municipio de Aldama, Chihuahua (México)**" después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación firman de conformidad los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE:	Dr. Fidel Pérez Moreno
PRIMER VOCAL:	Dr. Kinardo Flores Castro
SEGUNDO VOCAL:	Dr. Emilio Estrada Ruiz
TERCER VOCAL:	Dr. José Roberto Villagómez Ibarra
SECRETARIO:	M. en I. Patricia Montiel García
PRIMER SUPLENTE:	Dr. J. Jesús Martín Torres Valencia
SEGUNDO SUPLENTE:	Dr. José Antonio Rodríguez Avila

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

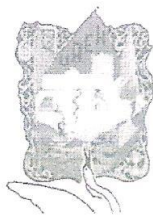
ATENTAMENTE
"Amor, Orden y Progreso"
Mineral de la Reforma, Hidalgo a 19 de mayo de 2016.

Dra. Myriam Meléndez Rodríguez
Coordinadora Adjunta de la Lic. en Química.

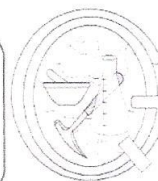


Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
Colonia Carboneras
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
Tel. +52 771 7172000 exts. 2200 y 2201, Fax 6502
aaq_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES
Cuerpo Académico de Ciencias de la Tierra (CA-58)
Laboratorio de Geoquímica



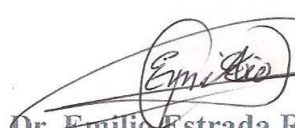
Mineral de la Reforma, Hidalgo, 23 de Mayo de 2016
Asunto: Certificado de Autenticidad

CERTIFICADO DE ASESORES DE TESIS

Certificamos que la tesis intitulada "*Compuestos orgánicos preservados en madera fósil del género Javelinoxylon deca (Malvaceae s.l.) del afloramiento DECA - Parque Cretácico, Municipio de Aldama, Chihuahua (México)*", presentada por la **C. Delia Monserrat Mendoza Ostría**, ha sido realizada por ella 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



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

S. E. P.
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA

Resultados preliminares de esta investigación han sido publicados en:

Mendoza, D., Flores, K., Estrada, E., Durán, J. C., Torres, J. M. y Esquivel, 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, n. 1, p. 77-81.

<http://www.inageq.org.mx/inageq/Actas/ACTAS-INAGEQ-2012-UV-Coatza.pdf>

Publicación indizada en *Latindex* (ISSN 2310-2799) como resultado de los trabajos presentados en él:

XXII Congreso Nacional de Geoquímica



XXII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUIMICA

Del 1 al 3 de Octubre del 2012, Coatzacoalcos, Veracruz

La Facultad de Ciencias Químicas de la
Universidad Veracruzana, Campus Coatzacoalcos y
el Instituto Nacional de Geoquímica A.C

Otorgan en presente reconocimiento a

*Delia Mendoza, Kinardo Flores, Emilio Estrada, Juan Carlos Durán,
Jesús Martín Torres, Carlos Esquivé*

Por la presentación del trabajo:

**CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESERVADOS EN
MADERA FÓSIL DEL GENÉRO Javelinoxylon deca (Malvaceae s.l.)
DEL AFLORAMIENTO DECA-PARQUE CRETÁCICO, MUNICIPIO DE
ALDAMA, CHIHUAHUA (MÉXICO)**


M. en C. Carlos A. González Vicencio
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Campus Coatzacoalcos


Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez
PRESIDENTE DEL INSTITUTO NACIONAL DE GEOQUÍMICA
Centro de Investigación en Energía (CIE), UNAM



 **INAGEQ**
Instituto Nacional de Geoquímica

DEDICATORIA

A Dios

Que me dio fuerza y fe para poder creer lo que me parecía imposible terminar.

A mis Padres

Felipe y Leticia gracias por el apoyo incondicional tanto moral como económico, les agradezco por amarme aún en los momentos más difíciles, aunque no lo demuestre mucho ustedes significan mucho para mí, y espero que algún día se sientan orgullosos de mí, porque eso sería lo máximo.

A mi Hija

Ximena por haberme cedido su tiempo, gracias por el afecto y cariño que son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aún a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida. Fuiste mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de tesis.

A mi Buu

Mario Torres esposo y amigo incondicional, por tu sacrificio y esfuerzo que fue fundamental para culminar este proyecto de tesis, no fue sencillo, sin embargo estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían, me decías que lo lograría perfectamente...promesa cumplida.

Agradecimientos Especiales

A Norma y Felipe

Gracias por todo lo que cada uno me ha dado, por compartir todos estos años así como los buenos y malos momentos, por las discusiones, regaños y cada momento que hemos vivido juntos porque cada uno de ellos ha sido una enseñanza para ambos. Los quiero hermanos.

A mi Director Dr. Kínardo Flores Castro

GRACIAS por su amistad, sus conocimientos, sus orientaciones, su persistencia, su paciencia, su motivación, pero sobre todo por creer en mí, y que ha sido capaz de ganarse mi lealtad y admiración, así como sentirme en deuda por todo lo recibido durante el periodo de tiempo que ha durado esta tesis. Gracias Doc.

A Alberto y Cristina

Por toda la paciencia y empeño que han puesto en mi desarrollo humano y académico, por hacerme saber que siempre que necesite de un consejo, un aliento puedo acudir a ustedes. Gracias padrinos.

A Mariana Zamorano

Gracias por ser parte fundamental para la culminación de esta tesis.

A mis Amigas

Karina, Zaira, Nelly, Marjorieth, Mine. Muchas gracias por su infinita amistad, por sus consejos, por su apoyo, por su comprensión y por tantas palabras de aliento en los buenos y malos momentos. Sé que pase lo que pase estaremos unidas siempre apoyándonos. Gracias por ser como unas hermanas para mí. Las quiero.

A mis Amigos

Jav, Isaac, César, Ángel. A ustedes muchas gracias por su amistad y haber formado parte de mi vida universitaria, por compartir conmigo momentos inolvidables, alegrías, tristezas. Gracias por los consejos que alguna vez me dieron cuando más los necesite y demostrarme su amistad incondicional. Los quiero.

A mi Prima

Fide por tu constante insistencia de terminar mi tesis, por todos los momentos que hemos pasado juntas, juegos, bromas, burlas pero sobre todo risas (jajajajajaja). Sabes que siempre serás una parte importante de mi vida y siempre estaré cuando tú me necesites. Te quiero.

Agradecimientos Formales

A mi Co-director Dr. Emilio Estrada Ruíz

Por su adecuada y constante orientación durante todo el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Dr. J. Jesús Martín Torres Valencia

Por todo su apoyo y tiempo que nos brindó para la realización de esta tesis, es uno de los profesores que más me ha gustado como imparte clases.

M. en C. Patricia Montiel García

Por su tiempo y sus consejos ya que gracias a sus observaciones hicieron de este un mejor trabajo. La estimo mucho y es una de las personas a las cuales no voy a olvidar.

Al Dr. Fidel Pérez Moreno

Por compartir sus conocimientos y el tiempo dedicado a esta tesis.

Al Dr. José Roberto Villagómez Ibarra

Por dedicarle un poco de su tiempo a esta tesis y así apoyarme a que fuera un mejor trabajo. Muchísimas gracias.

Al Dr. José Antonio Rodríguez Ávila

Por ser unos de los profesores que nos impartió clase y haberme apoyado hasta la realización de esta tesis. GRACIAS.

Al Dr. Juan Carlos Durán Álvarez

Por brindarnos un espacio y apoyarnos con el equipo necesario para la realización de los estudios de (CG-Ms).

Al Ing. José Guillermo Vázquez Morgado

Por su apoyo para facilitar la instalación del programa Hpchem.

❖ *Parte del trabajo fue financiado por el proyecto CONACyT (240241) de Dr. Emilio Estrada Ruíz.*

RESUMEN

Este estudio se centra en un ejemplar de madera fósil asociado al género *Javelinoxylon* encontrado en el Desierto Chihuahuense, específicamente en los terrenos del DECA - Parque Cretácico, se encuentra cubierto por sedimentos siliciclásticos de la Formación San Carlos del Cretácico Superior. La localidad tipo se encuentra en Javelina, Texas (USA) y un segundo reporte en la Cuenca Carbonífera de Sabinas, Coahuila (México), siendo este el tercer reporte del género *Javelinoxylon* (Malvaceae, s.l.).

El análisis por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masa muestra la presencia de alcanos lineales, cicloalcanos, isoprenoides acíclicos, ácidos grasos y otros compuestos orgánicos interesantes a nivel traza como: sesquiterpenlactonas, germacranólidos y un diterpeno tetracíclico, extraídos de la fracción soluble o extracto de bitumen de la madera fosilizada mediante reflujo continuo termoregulado usando disolventes orgánicos que cubren un amplio rango de polaridad.

Debido a la presencia de la sesquiterpenlactona (Isochiapin B) se infieren condiciones anóxicas, así como también por la proporción de Pristano/Fitano (Pr/Ph) < 1.0 que muestra hipersalinidad. Así mismo, la relación de las concentraciones de los alcanos alifáticos $n-C_{17}$ y $n-C_{18}$ con la presencia de fitoplancton, algas rojas que son confirmadas por la presencia de los cicloalcanos C_{15} , C_{16} , C_{20} y bacterias. Finalmente, se identificó el diterpeno tetracíclico (Ácido Giberélico), que es una hormona específica de las plantas que realiza varias funciones fundamentales para su desarrollo, entre ellas promover la elongación y crecimiento de las células, germinación, expresión sexual y la floración en las plantas. Esta información permite concluir sobre las condiciones paleoclimáticas asociadas con ambientes tropicales y subtropicales que prevalecieron durante el Cretácico Superior en el Desierto de Chihuahua.

ABSTRACT

This work is focused on a sample of fossilized wood associated to the genre *Javelinoxylon* encountered in the Chihuahua Desert, specifically in DECA-Parque Cretácico terrains, embedded to siliciclastic sediments from Formation San Carlos of Upper Cretaceous age. Besides the type locality in Javelina, Texas (USA) and a second report in Coal Basin of Sabinas, Coahuila (Mexico), this is just the third report on the *Javelinoxylon* genre (Malvaceae s.l.).

Gas chromatography coupled to mass spectrometry showed the occurrence of lineal alkanes, cycloalkanes, acyclic isoprenoids, fat acids and other interesting organic compounds -at trace levels- as sesquiterpenlactones, germacranolides and one tetracyclic diterpene, all within the soluble fraction or bitumen extracted from the fossilized wood by thermoregulated continued reflux using organic solvents covering a wide range of polarities.

From the presence of sesquiterpenlactone (Isochiapine B) we inferred anoxic conditions, as well as the ratio Pristane/Fitane (*Pr/Ph*) < 1.0 shows hypersalinity. Moreover, the ratio resulting from both aliphatic alkanes *n*-C₁₇ and nC₁₈ concentrations is a likely evidence of the occurrence of phytoplankton; and cycloalkanes C₁₅, C₁₆ and C₂₀ confirm the influence of red algae and bacteria. Finally, the tetracyclic diterpene (Gibberellic Acid) is a specific hormone related with the elongating and growth of cells, germination, sexual expression and flowering of plants. Combining all these information, we concluded that paleoclimate conditions associated to tropical and subtropical environments prevailed during Upper Cretaceous age in the present Chihuahua Desert.

ÍNDICE

Página

CAPÍTULO I

I. ANTECEDENTES	1
-----------------	---

CAPÍTULO II

II. INTRODUCCIÓN	4
2.1 Objetivo General	6
2.3 Objetivos Específicos	6
2.3 Justificación	7

CAPÍTULO III

III. GEOLOGÍA REGIONAL	8
------------------------	---

CAPÍTULO IV

IV. MARCO TEÓRICO	16
4.1 Geoquímica	16
4.2 Geoquímica orgánica	17
4.3 Materia Orgánica Sedimentaria	18
4.3.1 Bitumen	19
4.3.2 Kerógeno	19
4.4 Biomarcadores	20
4.5 Procesos de Fosilización	24
4.5.1 Preservación de madera fósil	24
4.5.2 Compresiones carbonosas e impresiones	25
4.5.3 Carbonización	25
4.5.4 Permineralización	25

	Página
4.6 Método de análisis	27
4.6.1 Cromatografía de Gases-Masa (CG-Ms)	27
4.6.2 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)	30
 CAPÍTULO V	
V. METODOLOGÍA	32
5.1 Localización y vías de acceso	32
5.2 Muestreo en Campo	34
5.3 Preparación de muestras	36
5.4 Extracción de la Materia Orgánica (MO)	37
5.5 Análisis por CG-Ms	40
5.6 Condiciones de operación CG-Ms	41
5.7 Identificación de compuestos orgánicos	41
 CAPÍTULO VI	
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 Geológicos	42
4.2 Geoquímicos	45
 COCLUSIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
RECOMENDACIONES	76
GLOSARIO	77
ABREVIATURAS	81
ANEXOS	83
I. Espectrometría de masas de los compuestos identificados	83
II Cromatogramas obtenidos con la presencia de <i>Pr</i> y <i>Ph</i> .	90
III. Cromatogramas obtenidos con diferentes disolventes	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Madera fósil de <i>Javelinoxylon deca</i> . Familia: Malvaceae s.l.	3
Figura 2. Panorámica de la Sierra Cuesta El Infierno.	8
Figura 3. Escala de Tiempo Geológico para el Sistema Mesozoico.	9
Figura 4. Columna estratigráfica a detalle.	12
Figura 5. Migración hacia el mar de los ambientes deposicionales de un delta.	14
Figura 6. Formación de isoprenoides a partir de la clorofila.	21
Figura 7. Diagrama del cromatógrafo de gases-masa.	27
Figura 8. Equipo de RMN.	31
Figura 9. Mapa de localización de la zona de estudio.	32
Figura 10. Localización del área correspondiente del DECA Parque Cretácico A. C.	33
Figura 11. Detalle de localización del afloramiento del género <i>Javelinoxylon</i> .	33
Figura 12. Detalle del afloramiento de <i>Javelinoxylon deca</i> .	34
Figura 13. Detalle de la medición de longitud total y diámetros de las muestras.	35
Figura 14. Detalle del corte transversal de la porción superior del tronco fósil.	36
Figura 15. Detalle de las cuatro submuestras de partes internas del tronco.	37
Figura 16. Equipo de extracción secuencial de MO.	38
Figura 17. Detalle del rotavapor marca <i>BÜCHI</i> .	39
Figura 18. Detalle de los viales con extracto recuperado.	40

	Página
Figura 19. Detalle de meristemo. Escala grafica lápiz.	42
Figura 20. Detalle de los sedimentos. Escala grafica brújula.	44
Figura 21. Isopreno.	47
Figura 22. Detalle de Pr y Ph de la muestra parte central con hexano.	47
Figura 23. Cromatograma de gases de la muestra (parte central) obtenido con CHCl_3 .	53
Figura 24. Cromatograma de gases de la muestra (parte oscura) obtenido con CHCl_3 .	54
Figura 25. Cromatograma de gases de la muestra (parte blanca) obtenido con CHCl_3 .	55
Figura 26. Cromatograma de gases de la muestra (porción periférica) obtenido con CHCl_3 .	56
Figura 27. Cromatograma obtenido con el extracto acetona en la muestra Parte oscura.	57
Figura 28. Cromatograma obtenido con el extracto hexano en la muestra Parte blanca.	57
Figura 29. Cromatograma obtenido con el extracto hexano en la muestra Parte oscura.	58
Figura 30. Cromatograma obtenido con el extracto metanol en la muestra Porción periférica.	58
Figura 31. Cromatograma obtenido con el extracto hexano en la muestra Parte blanca.	59
Figura 32. Cromatograma obtenido con el extracto AcOEt en la muestra Parte oscura.	60
Figura 33. Cromatograma obtenido con el extracto AcOEt en la muestra Porción periférica.	60
Figura 34. 34 Estructura molecular del ácido giberélico A3 (Gibberellin A3).	61
Figura 35. Estructura molecular de los germacranólidos A, B, C.	62

	Página
Figura 36. Cromatograma de la muestra Porción periférica extraída con AcOEt que presenta los germacranólidos A, B, C.	62
Figura 37. Estructura molecular del Isochiapin B.	63
Figura 38. Cromatograma con la señal representativa del Isochiapin B de la parte central con acetona.	63
Figura 39. a) Muestra el espectro de masa del Isochiapin B reportado por la base de datos <i>Wiley</i> , la figura b) muestra el espectro de masa encontrado (Q=76%).	64
Figura 40. Espectro de RMN ^1H a 400 MHz en CHCl_3 de la parte central de la muestra correspondiente al extracto de acetato de etilo.	66

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Ejemplos de biomarcadores (modificado de Peters y Moldowan, 1993).	22
Tabla 2. Iones empleados para la identificación de grupos y/o compuestos específicos.	41
Tabla 3. Cantidad de MO obtenida de la muestra Parte oscura.	45
Tabla 4. Cantidad de MO obtenida de la muestra Parte central.	45
Tabla 5. Cantidad de MO obtenida de la muestra Parte blanca.	46
Tabla 6. Cantidad de MO obtenida de la muestra Porción periférica.	46
Tabla 7. Relación <i>Pr/Ph</i> (Modificado de Didyk, 1978).	48
Tabla 8. Ambiente de depósito de las muestras analizadas.	49
Tabla 9. Relación <i>Pr/n-C₁₇</i> y <i>Ph/n-C₁₈</i> para indicar el grado de madurez de la MO.	50
Tabla 10. Madurez de la materia orgánica en las muestras analizadas.	50
Tabla 11. Relación $(Pr+n-C_{17}) / (Ph+n-C_{18})$ para indicar el origen de la MO.	51
Tabla 12. Origen de la materia orgánica en las muestras.	51
Tabla 13. Alcanos lineales indicativos de fuentes de hidrocarburos (Sailot, 1981).	52
Tabla 14. Alcanos lineales y su significado ambiental.	52

CAPÍTULO I

I. ANTECEDENTES

Son contados los trabajos de investigación existentes que reportan este ejemplar de madera fósil del género *Javelinoxylon* en particular, y que documentan información geoquímica sobre su composición.

En el Norte de México se encuentran varias localidades con sedimentos continentales y marinos del Cretácico Superior los cuales presentan gran abundancia de plantas fósiles y representa una de las regiones de mayor interés paleobotánico, dichos registros, han ayudado a entender el origen de floras tropicales dominadas por angiospermas (Plantas sin semillas) y gimnospermas (Plantas con semillas) con base en maderas del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano).

La localidad donde se encontró el ejemplar de madera fósil, objeto de estudio, ha sido motivo de varias investigaciones geológicas que se citan a continuación y que han aportado valiosa información sobre la litología de la cuenca sedimentaria cretácica y el paleoambiente predominante.

El primer trabajo publicado que aborda la descripción y taxonomía de madera fósil del género *Javelinoxylon* fue publicado por la Dra. Wheeler y colaboradores (1994), en sedimentos del Cretácico Superior (Maastrichtiano) de la Formación Javelina, dentro del Parque Nacional Big Bend en Texas. Los citados autores denominaron al ejemplar de madera fósil como *Javelinoxylon multiporosum* (Malvaceae s.l.), interpretando sus características morfológicas más importantes, como lo son la presencia de elementos de vasos en múltiples radiales (de 2 a 3 principalmente), las placas de perforación exclusivamente simples, radios estratificados, característica de suma importancia para poderlo relacionar con Malvaceae s.l.

Posteriormente, Estrada-Ruiz *et al.*, (2007), encuentran este mismo género fósil en afloramientos de la Formación Olmos (Campaniano tardío) en la Región Carbonífera de la Cuenca de Sabinas (Coahuila), sus resultados arrojaron la descripción de una nueva especie que nombraron como *Javelinoxylon weberi*. Los autores concluyen que éste ejemplar habitaba en las cercanías de cuerpos de agua, posiblemente en planicies de inundación o en riberas de ríos, ocupando estratos arbóreos aislados dentro de la selva paratropical (Wheeler y Lehman, 2000; Lehman y Wheeler, 2001; Estrada-Ruiz *et al.*, 2010, 2013).

Con respecto al ejemplar de madera fósil, motivo de estudio de la presente tesis, Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera (2011) describieron una nueva especie de *Javelinoxylon* al que nombraron ***Javelinoxylon deca***, al cual le atribuyen el registro de angiospermas más temprano en el estado de Chihuahua. Además les permitió realizar inferencias sobre el paleoclima predominante como de tropical a subtropical, así como también argumentan que esta planta llegó a desarrollarse como un árbol de gran altura y que posiblemente llegó a superar los 20 m.

El *Javelinoxylon deca* se caracteriza por la ausencia de anillos de crecimientos con porosidad difusa; tiene vasos solitarios y en múltiplos radiales de dos a siete (Fig.1 A), presentando un diámetro mayor de 100 μm . Los elementos de vaso presentan una longitud promedio de 200 a 500 μm , placas de perforación simple, punteaduras vaso-radio con bordes reducidos; abundante tilides (Fig.1 B); parénquima apotraqueal difuso y escaso paratraqueal; fibras septadas y no septadas; radios heterocelulares y homocelulares con hasta cuatro células de ancho y radios estratificados (Fig.1 B, flechas).

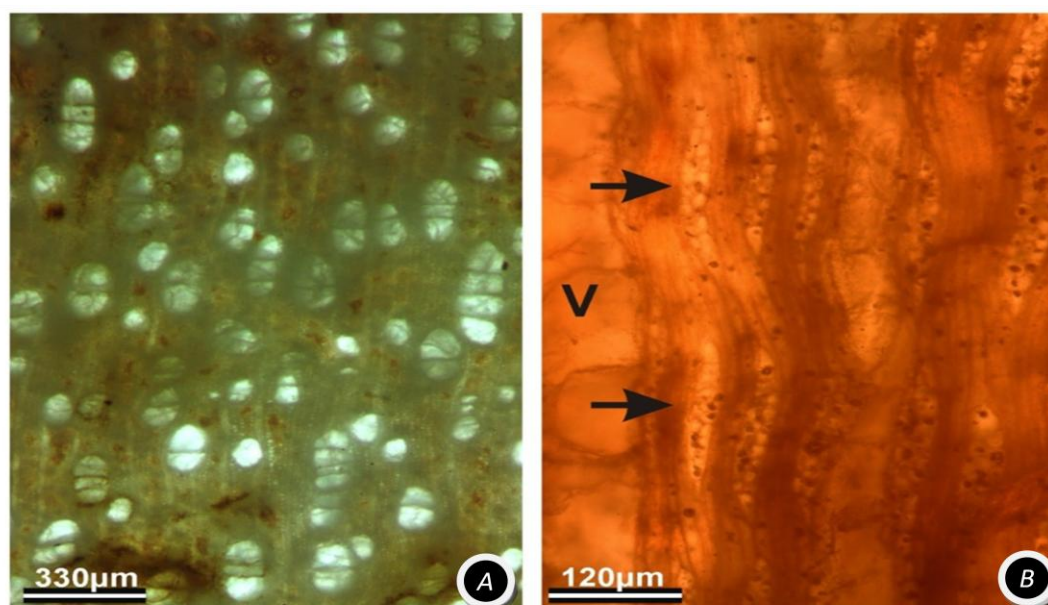


Fig. 1 Madera fósil de *Javelinoxylon deca*. Familia: Malvaceae s.l.

Posteriormente, Oviedo-Padrón (2008) en su tesis de maestría reporta la existencia de aglomerados de maderas fósiles (sin especificar) en afloramientos que forman parte de la zona de este estudio; sin embargo este autor duda sobre la relación de las maderas fósiles con respecto a la litología cretácica aflorante, argumentando su transporte.

Existe sólo un trabajo preliminar de Flores-Castro (2011), sobre el estudio geoquímico realizado en una porción de la madera fósil *Javelinoxylon*, en el cual reporta la presencia de alcanos lineales y otros compuestos a nivel traza que no puede confirmar o descartar debido a su baja concentración en los extractos obtenidos, recomendando darle seguimiento.

CAPÍTULO II

II. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la fusión de varias Ciencias, en este caso de la Geología y la Química, han venido a reforzar el conocimiento que se tenía acerca de las condiciones fisicoquímicas y biológicas propicias de los ambientes sedimentarios antiguos que han formado yacimientos de carbón e hidrocarburos (petróleo y gas). Los geólogos - geoquímicos han venido aplicando distintas herramientas como la Petrología, Geoquímica, Sedimentología, Estratigrafía, Paleontología y Paleobotánica, con el fin de conjuntar esfuerzos de investigación para unir un rompecabezas y de esta manera aportar información multidisciplinar que permita la comprensión de los escenarios sedimentarios antiguos a lo largo de la historia de nuestro Planeta para poder entonces entender contextos actuales y predecir los futuros.

La Geoquímica Orgánica tiene un papel muy importante como herramienta de exploración de hidrocarburos, para lo cual implementa técnicas de Química Analítica con el fin de caracterizar la materia orgánica alojada en las rocas sedimentarias y con ello poder interpretar sus condiciones fisicoquímicas y productos biológicos que se preservaron y que actualmente se utilizan como **biomarcadores** o **fósiles moleculares** que coadyuvan en las reconstrucciones paleoambientales y en este caso particular de la **paleobotánica**, por tratarse de un ejemplar de madera fósil preservada, motivo de este estudio.

Es trascendental en las investigaciones sobre Biomarcadores conocer la composición química de la materia orgánica preservada en las muestras geológicas, ya que son compuestos orgánicos que tienen una relación inequívoca con precursores moleculares específicos que se refieren a los organismos que un día estuvieron vivos y habitaron una determinada cuenca sedimentaria, lo que revela información acerca de su origen y condiciones fisicoquímicas prevalecientes, así

como del nivel de maduración térmica producida por el sepultamiento, gradiente geotérmico y deformación cortical.

La literatura reporta un gran número de compuestos orgánicos como precursores biológicos, entre los cuales figuran: *n*-alcanos, hidrocarburos ramificados, cicloalcanos, isoprenoides, sesquiterpenos, diterpenoides, terpanos tricíclicos, esteranos, hidrocarburos aromáticos y aromáticos policíclicos, porfirinas, etc. (Demaision, 1991), todos ellos provenientes de una inmensa variedad de metabolitos primarios y secundarios de origen vegetal, de hongos, algas, líquenes y bacterias, que han sufrido en el entorno sedimentario de las distintas cuencas: ciclizaciones, fraccionamiento, condensación, reducción, sustituciones químicas, saturaciones y alargamientos estructurales (Nakanishi, 1974).

Para la extracción y caracterización de los compuestos orgánicos preservados (entre ellos los que son biomarcadores), se emplean disolventes orgánicos de menor a mayor polaridad, así como sus mezclas; esto con el fin de arrastrar los que son solubles en ellos, a través de una columna cromatográfica. La separación permite su caracterización por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS), Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear (RMN), Pirólisis, Cromatografía Líquida de Alta Eficacia (HPLC), entre otras.

El presente trabajo se enfoca particularmente a la interpretación de los compuestos orgánicos que conforman la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria (bitumen), extraídos de partes internas de un ejemplar de madera fósil correspondiente a una Malvácea (s.l.) del género *Javelinoxylon deca* (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011), alojada en sedimentos de la Formación San Carlos (Cretácico Superior) que afloran en las inmediaciones del Desierto Chihuahuense.

2.1 Objetivo General

Identificar de los compuestos orgánicos preservados en un ejemplar de madera fósil del género *Javelinoxylon deca* (Malvaceae s.l.) del afloramiento DECA - Parque Cretácico. Municipio de Aldama, Chihuahua (México), con el fin de obtener información biogeoquímica y paleobotánica.

2.2 Objetivos Específicos

-  Describir la muestra de madera fósil con información geológico-estratigráfica y paleobotánica del afloramiento para conocer su distribución geográfica, edad, clima, y su biología (estructura, tamaño, forma, taxonomía, etc.).
-  Aplicar la técnica de extracción secuencial por reflujo continuo termoregulado para recuperar la fracción soluble de la materia orgánica sedimentaria (bitumen), utilizando disolventes orgánicos que cubran un amplio rango de polaridad.
-  Identificar mediante las técnicas de Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masa (GC-Ms) y Resonancia Magnética Nuclear (RMN) los compuestos orgánicos que conforman el bitumen mediante el programa *HpChem* y la base de datos *Wiley138*.
-  Interpretar los compuestos orgánicos preservados en la madera fósil y extrapolarlos para inferir condiciones biogeoquímicas y paleobotánicas prevalecientes en el Cretácico Superior, en esta cuenca sedimentaria.

2.3 Justificación

Respecto a estudios previos realizados en este género fósil, como se mencionó anteriormente sólo existen tres reportes en el mundo relacionados y que han sido descritos en sedimentos del Cretácico Superior de las formaciones Olmos en el estado de Coahuila, San Carlos en Chihuahua y Javelina en Texas. Los géneros descritos en estas localidades comparten similitudes florísticas, pero tienen limitantes en las características de los datos que usan, procedimientos analíticos poco explorados, o que no han sido lo suficientemente estudiados por lo cual se pretende apoyar con más información.

Asimismo la aplicación de técnicas geoquímicas enfocadas a la recuperación y caracterización de la fracción soluble de la materia orgánica (bitumen) preservada en maderas fósiles, son novedosos los trabajos publicados, para el género fósil específico *Javelinoxylon* (Malvaceae s.l.) sólo existe el reporte preliminar de Flores-Castro (2011), en el cual menciona la necesidad de ampliar la investigación en este sentido y que la presente tesis adquiera este reto analítico.

Este trabajo se centra en la identificación de compuestos orgánicos y biomarcadores preservados en madera correspondiente del género fósil *Javelinoxylon*, particularmente en la especie descrita como *Javelinoxylon deca* (Malvaceae s.l.), aplicando la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-MS), con el fin de obtener información biogeoquímica paleoambiental, que coadyuve con la investigación paleobotánica en curso.

CAPÍTULO III

III. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra formando parte de la Cuenca de Ojinaga donde afloran gran cantidad de rocas sedimentarias siliciclásticas correspondientes a la Formación San Carlos, carbonatadas de plataforma en la sierra El Morrión, ígneas intrusivas que afloran en las proximidades de Chorreras y extrusivas que coronan la Sierra Cuesta El Infierno; metamórficas regionales de la Sierra del Cuervo y Carrizalillo, además de contacto relacionadas a intrusión ígnea que forman skarns en el intrusivo de Chorreras con mineralización asociada de hierro, cobre y oro principalmente (Fig. 2).

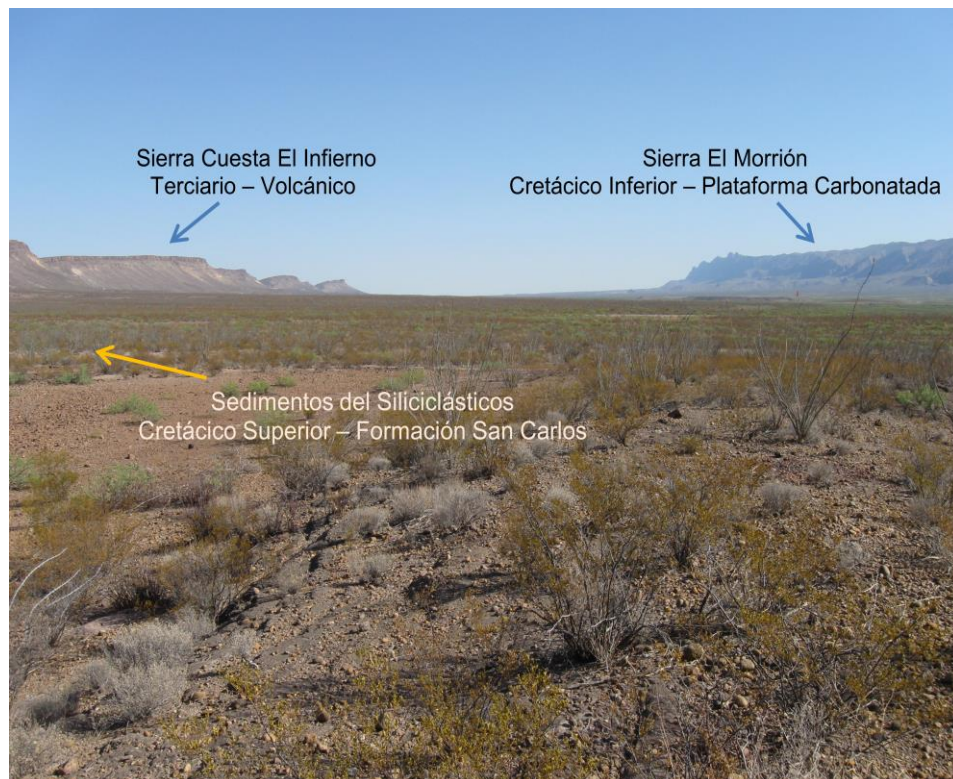


Fig. 2 Panorámica de la Sierra Cuesta El Infierno.

Las rocas sedimentarias forman paquetes calcáreos y clásticos que comprenden todo el Cretácico (Fig. 3) y sobreyacen a las secuencias evaporíticas jurásicas, cuyos afloramientos están restringidos al noroeste. Las rocas del Cretácico Inferior son eminentemente calizas y en menor proporción lutitas y areniscas que en conjunto forman sierras elevadas. Las rocas del Cretácico Superior son de naturaleza clástica con predominio de lutitas y limolitas y en menor cantidad areniscas y conglomerados que hacia el sur de la cuenca, representada por la parte continental las areniscas y los conglomerados se tornan preponderantes y afloran en las partes bajas relacionadas a lomeríos de poca elevación.

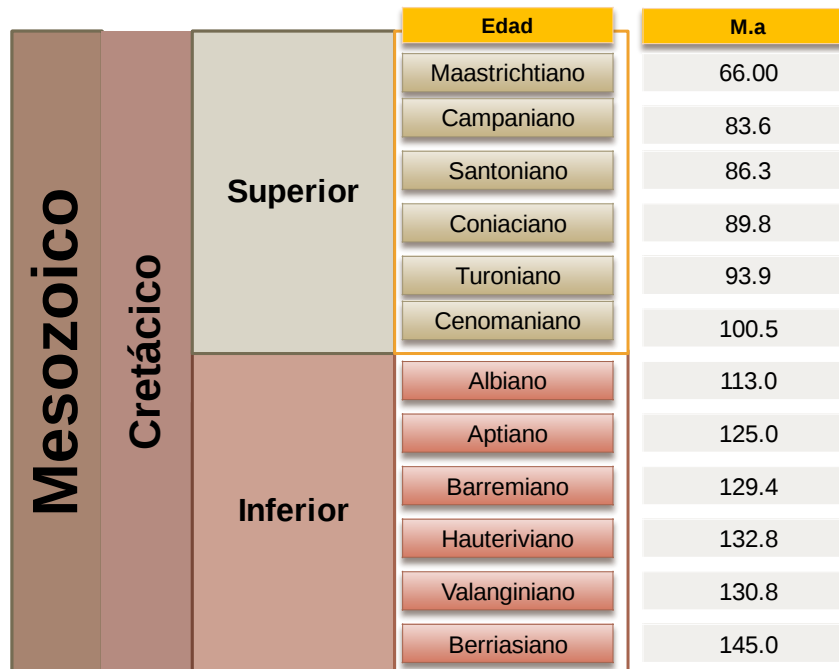


Fig. 3 Escala de Tiempo Geológico para el Sistema Mesozoico.

La Cuenca de Ojinaga está representada por las formaciones Ojinaga, San Carlos y El Picacho que presentan cambios litológicos hacia el suroeste de la cuenca en la región de Manuel Benavides, donde cambia de nombre a Boquillas y Pen, Aguja Marina y Aguja Continental respectivamente. Estas últimas son más afines con las unidades de la región Big Bend, representando la continuidad de sus formaciones hacia el sur.

Las formaciones Ojinaga, San Carlos y El Picacho en el noroeste de la cuenca y Boquillas, Pen y Aguja en el suroeste se consideran como elementos de un sistema deltaico progradante hacia el suroeste, correspondiendo a facies de plataforma la Ojinaga, o Boquillas y a prodelta la Pen, o parte superior de la Ojinaga; en tanto que la de San Carlos o Aguja Marina comprende el frente deltaico, estando representada la planicie deltaica por la Formación El Picacho o Aguja Continental (Cabrera *et al.*, 1989).

Formación Ojinaga (Cenomaniano-Turoniano)

Burrows (1909) define como Formación Ojinaga a los afloramientos que se encuentran cercanos al poblado de Ojinaga (Chihuahua) y que consisten de un potente espesor de caliza negra laminar, lutita, limolita y arenisca que ocasionalmente presenta horizonte de yeso. Se puede observar al sur de la sierra San José del Carrizo y en el sector noroeste sobre el arroyo El Venadito donde yace concordantemente sobre la Formación Buda en forma transicional y subyace de igual manera a la Formación San Carlos. Es correlacionable en su parte media e inferior con la Formación Boquilla del área de Manuel Benavides.

Formación Boquillas (Cenomaniano Superior-Coniaciano)

Maxwell y Dietrich (1965) la describen como una secuencia de calizas, calizas margosas y margas de color gris claro, intercaladas con lutitas laminares, expuestas en el área de Big Bend, Texas y en la de Manuel Benavides. Sus rasgos más notorios son su color claro, prácticamente blanco y su típica estratificación delgada, descansando concordantemente sobre la Formación Buda. Se correlaciona con la Formación Ojinaga (facies de cuenca) en la región de Ojinaga y con la Eagle Ford y Creta Austin en la Cuenca Fuentes - Río Escondido, Coahuila.

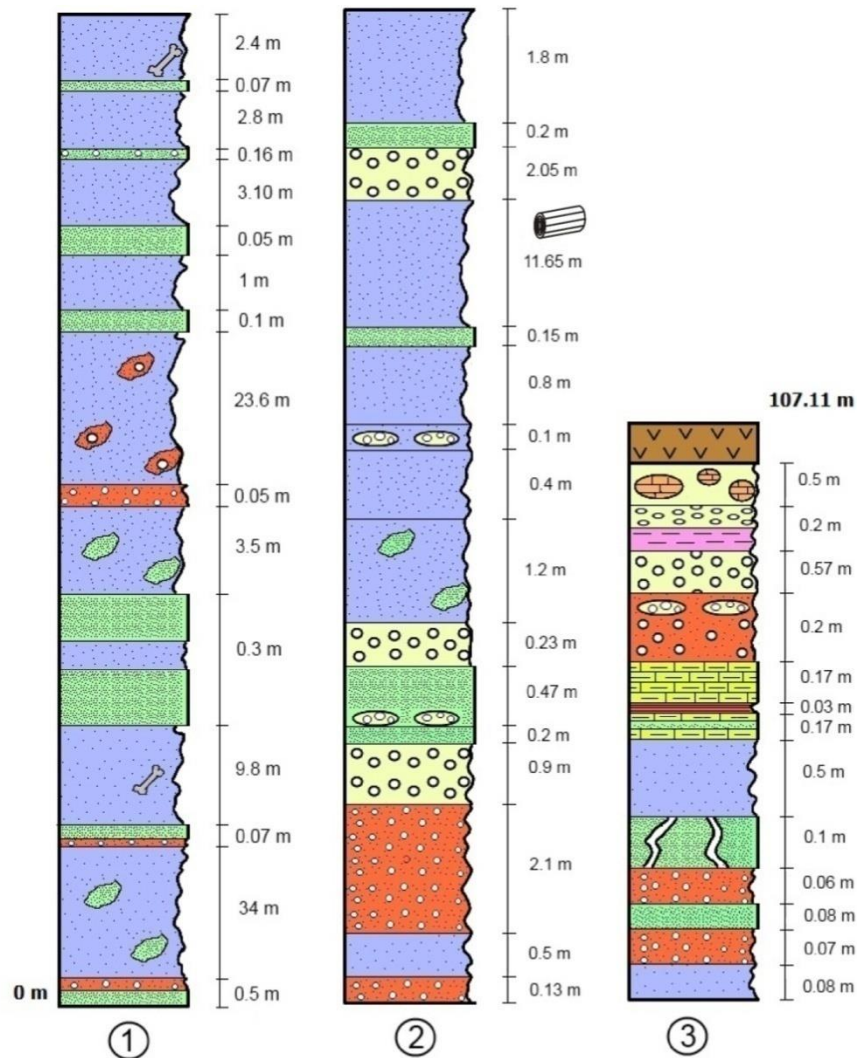
Formación Pen (Conaciano-Santoniano)

Maxwell y Dietrich (1965) describen afloramientos en la porción central de la sierra Santa Elena de la región de Manuel Benavides y en el Big Bend, consistiendo de un fuerte espesor de arcillas de color gris - amarillento con lechos arenosos hacia la cima que incluyen concreciones calcáreas. Subyace en forma gradacional a la Formación Aguja. Las relaciones de arcilla - arena, siendo la más abundante ésta indican un aumento en la granulometría y sugieren un cambio gradual de un ambiente de prodelta (Formación Pen) a un frente deltaico (Formación Aguja, porción marina).

Formación San Carlos (Campaniano-Maastrichtiano)

La Formación San Carlos fue definida por Vaughan (1900) en la mina San Carlos, en las cercanías de Presidio, Texas, EUA, para describir una alternancia de arenisca, lutita y margas hacia la cima de la secuencia con alto contenido de carbón y fragmentos de maderas fósiles, que también aflora en la cuenca de Chihuahua, en la porción centro-norte del estado. Sus contactos, inferior con la Formación Ojinaga y superior con la Formación El Picacho son concordantes. Aflora al oriente de la sierra Vieja (Condado de Presidio, Texas) y en la porción noroeste de la cuenca.

Con respecto a la litología que aflora en el área de estudio, situada al suroeste de la Cuenca de Ojinaga, Flores-Castro (2011, 2013) describe afloramientos que se caracterizan por la presencia de pequeños lomeríos y terrazas espaciadas, están conformadas por secuencias alternantes de arenisca poco consolidada con consolidadas de grano medio a grueso, que cambian al ascender la columna litológica a arenisca conglomerática y conglomerados polimícticos visiblemente oxidados que incluyen maderas fósiles; porción en la que se encuentra el ejemplar motivo de estudio (Fig. 4).



Litología



Fig.4 Columna estratigráfica a detalle, levantada por Montaño (2012).

En conjunto la sección la interpreta como la parte frontal de abanicos aluviales de pie de monte que vierten su caudal y sedimentos fluviales principalmente en un prodelta. Se observan también sedimentos de laguna costera, de ambiente de playa y de facies intermareales poco profundas.

Formación El Picacho (Campaniano Superior)

Vivar (1925) describe una secuencia constituida por delgadas capas de carbón en su base, seguidas por lutitas con materia carbonosa y arenisca que muestra estratificación cruzada. Su contacto inferior con la Formación San Carlos es concordante y el superior con el Conglomerado Consolación es discordante o ausente por erosión

Formación Aguja (Campaniano Inferior a Superior)

Adkins (1932) menciona que ésta formación se divide en dos partes para la zona suroeste de la cuenca o de Manuel Benavides: Aguja Marina, que se correlaciona con la Formación San Carlos de Ojinaga y la Aguja Continental equivalente a la parte media e inferior de la Formación El Picacho de la misma área. Litológicamente consiste de areniscas intercaladas con arcillas. Las areniscas predominan en la porción inferior de la formación, son de color marrón - amarillento que incluyen pelecípodos. Las arcillas son de color blancas a gris verdoso, algunas son orgánicas y piritosas conteniendo horizontes de carbón. Hacia la parte superior de la columna es frecuente encontrar maderas fósiles y huesos de dinosaurios. Los fósiles son indicativos de ambientes marinos y lagunares. Sus variaciones litológicas y fosilíferas implican en su porción inferior un cambio gradacional de un ambiente prodeltaico a una llanura deltaica inferior. La porción superior refleja un ambiente de planicie deltaica, progradante, sugiriendo que la intercalación de lechos fosilíferos marinos puede representar fases destructivas intermitentes durante la progradación.

Formación Javelina (Campaniano Superior-Maastrichtiano)

Maxwell *et al.*, (1965) menciona que aflora en el área vecina del Big Bend en Texas dentro de la zona de Manuel Benavides, correlacionándose con el Conglomerado Consolación del área de Ojinaga (Fig. 5). Aflora en el valle situado al oriente de la sierra Santa Elena y en el faldeo oriental inferior de la sierra Hechiceros donde está constituida por arcillas bentoníticas intercaladas con areniscas de estratificación cruzada. Contiene maderas petrificadas y huesos de dinosaurios. Su contacto inferior con la Formación Aguja es gradual, mientras que el superior es discordante con el material volcánico del Terciario. Su litología sugiere un ambiente de llanura de inundación, representada por las areniscas y porciones conglomeráticas. La carencia de estructura y el gran espesor de las arcillas reflejan facies lacustres.

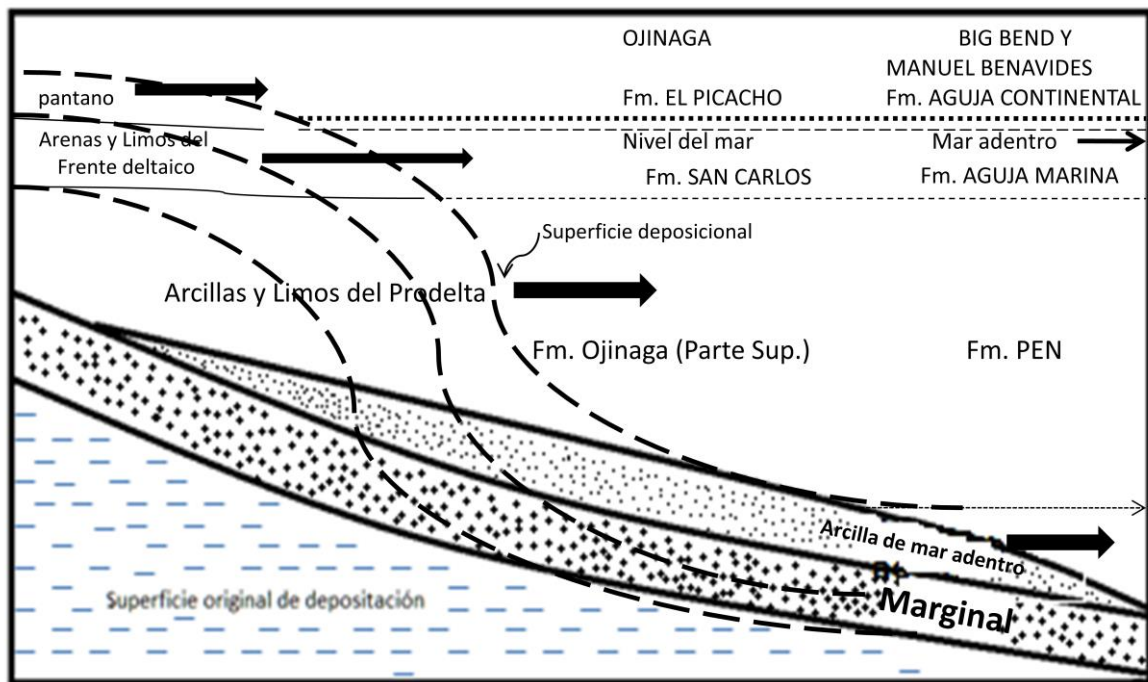


Fig. 5 Migración hacia el mar de los ambientes deposicionales de un delta (Mc. Bride, 1979).

Formación Olmos (Campaniano tardío)

Definida por Stephenson (1927) en la región Carbonífera de Sabinas Coahuila. Consiste de arcilla lutítica gris verdosa y arcilla arenosa fina que se encuentran interestratificadas irregularmente con arenisca gris verdosa, que contiene algunas capas con ondulitas y mantos de carbón y lignito que van desde unos centímetros a varios metros de potencia y que constituyen en algunos lugares dos mantos de carbón de interés económico que se explotan actualmente y que además producen gas metano asociado.

CAPÍTULO IV

VI. MARCO TEÓRICO

4.1. Geoquímica

El término **Geoquímica** fue usado por primera vez en 1838, por el químico suizo C. F. Schönbein, posteriormente en 1909 el investigador F.W. Clarke's publicó el primer trabajo llamado *Los Datos de la Geoquímica*, el cual brindaba la composición de algunas rocas y minerales describiendo datos termodinámicos y obteniendo como resultado promedio de la composición de la corteza terrestre. En 1936, Treibs identificó metaloporfirinas (relacionadas con la clorofila) en petróleos crudos. Esta investigación proporcionó la primera evidencia convincente del origen biológico de algunos constituyentes del petróleo. Desde entonces, este campo se ha extendido e incluye diversas disciplinas para explicar el origen, rutas de transporte, reciclaje, transformación y preservación de materia orgánica en ambientes antiguos y recientes (Volkman, 1999). Posteriormente los trabajos de Hunt, (1979), Tissot y Welte (1978-84), y muchos otros han sentado las bases de la Geoquímica moderna, imprescindible en la búsqueda del petróleo.

En México, a mediados de la década de los 50, Manuel Álvarez promueve tales ideas; sin embargo, es hasta 1966 cuando el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) comienza a crear proyectos que integran parámetros químicos con el contexto geológico. A partir de 1984, y hasta la fecha, IMP y PEMEX trabajan en conjunto para realizar interpretaciones integrales de las cuencas petroleras de México, con el propósito de ser aplicados hacia la exploración y explotación de hidrocarburos (Fuentes-Pacheco, 2004).

La geoquímica ha sido definida como la ciencia que estudia la composición química y la distribución de los elementos en los distintos materiales geológicos que componen nuestro planeta Tierra, tomando como base el espacio y el tiempo (Escobar, 2008); sin embargo el interés por el estudio de la composición química de los materiales

geológicos se ha extrapolado al sistema solar y el universo utilizando para ello técnicas espectrofotométricas modernas. Algunas áreas de especialidad de esta ciencia son: Geoquímica Ambiental, Biogeoquímica, Geoquímica Inorgánica, Geoquímica Orgánica, entre otras. Siendo esta última la que compete y enfoca el presente trabajo de investigación.

4.2 Geoquímica Orgánica

La Geoquímica Orgánica es el campo de la investigación que se encarga del estudio y distribución de las moléculas orgánicas presentes en el ambiente natural (agua, suelo, sedimentos), las rocas y los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas); como también los procesos moleculares implicados en la conservación y transformación de la materia orgánica que no se recicla sino que es conservada en la Geósfera (Van Bergen *et al.*, 1995). Algunos aspectos de la Geoquímica Orgánica están asociados con otras áreas de conocimiento como las biológicas y las Ciencias de la Tierra, incluyendo la Química de Productos Naturales, Oceanografía, Geoquímica Isotópica, Edafología y Biogeoquímica.

Algunas de las aplicaciones de la Geoquímica Orgánica que se utilizan hoy en día son:

-  Conservación de la materia orgánica en sedimentos del mar profundo; con enfoque molecular.
-  Reconstrucciones paleoclimáticas usando análisis de isótopos estables, compuestos de carbono en maderas y fósiles.
-  Reconstrucción de los niveles de CO₂ atmosféricos en épocas pasadas mediante la caracterización química e isotópica de hojas fósiles.
-  Identificación de compuestos orgánicos peligrosos y contaminantes en los ecosistemas.

4.3 Materia Orgánica Sedimentaria

La Materia Orgánica Sedimentaria está compuesta esencialmente por restos vegetales y animales, ricos en carbono con cantidades menores de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre e incluye el componente carbonoso de los sedimentos y rocas sedimentarias (Hedges y Keil, 1995).

Tissot *et al.*, (1984) mencionan que la materia orgánica sedimentaria puede clasificarse de acuerdo a su origen y al ambiente de depósito en fuentes autóctonas (marinas) y alóctonas (continentales):

-  Autóctona: si se deriva de la columna de agua sobre el sedimento que la contiene. Los compuestos orgánicos derivados de fitoplancton marino, zooplancton y bacterias, así como los productos de descomposición generados por acción química y/o heterotrófica en la columna de agua y en los sedimentos.
-  Alóctona: si proviene de un ambiente distinto y ha sido transportada hacia el sitio de depósito. De este modo, la materia orgánica derivada de plantas terrestres y llevada hacia sedimentos marinos, vía fluvial o eólica.

Las moléculas orgánicas más pequeñas contenidas en rocas o sedimentos son usualmente solubles en disolventes orgánicos comunes, este material extraíble es llamado **bitumen** (representa entre 5 y 10% del total de la materia orgánica en rocas sedimentarias), mientras que el material orgánico insoluble se denomina **kerógeno** y está constituido por polímeros aleatorios formados por una amplia variedad de moléculas reactivas de menor tamaño (Peters y Moldowan, 1993).

4.3.1 Bitumen

Se entiende como la fracción soluble extraída en solventes orgánicos de la materia orgánica separada en las rocas sedimentarias; aportando información acerca del origen y la madurez de una roca madre a través del estudio de **biomarcadores** (Durand, 1980; Peters y Moldowan, 1993).

La cantidad de bitumen extraído es la medida de la maduración de la roca generadora. El bitumen se convierte en petróleo durante el proceso de migración (Álvarez, 2010).

Los compuestos orgánicos que constituyen el bitumen pueden clasificarse en cuatro grandes grupos (Hunt, 1996):

-  Hidrocarburos saturados.
-  Hidrocarburos aromáticos.
-  Resinas: moléculas que contienen uno o más heteroátomos, son las moléculas más polares.
-  Asfaltenos: Compuestos de elevado peso molecular que contienen un número significativo de heteroátomos y poseen estructura aromática (generalmente presentan anillos condensados).

4.3.2 Kerógeno

El termino kerógeno se define como el constituyente mayoritario presente en las rocas sedimentarias que es insoluble en disolventes orgánicos ni en disolventes alcalinos acuosos. Su insolubilidad se debe al gran tamaño molecular que presenta. Bajo ciertas condiciones de presión y temperatura el kerógeno comienza a ser inestable generando un reagrupamiento en su estructura con el objetivo de mantener el equilibrio termodinámico precediendo a la generación de hidrocarburos (Tissot y Welte, 1984). Se compone principalmente de materiales macerales procedentes de plantas deshidrogenadas, restos de pólen, esporas, debris en hojas fosilizadas, material leñosos y tejidos conductivos.

4.4 Biomarcadores

Se conoce como biomarcadores, aquellas moléculas constituyentes de la materia orgánica que existe una pequeña fracción cuyo esqueleto carbonatado resiste a los procesos de diagénesis y catagénesis, modificando muy poco su estructura, de forma que puedan ser relacionados a fuentes específicas de materia orgánica (Tissot y Welte, 1984).

Los biomarcadores, marcadores biológicos o fósiles moleculares son una manera más fina y detallada de correlación de aceites crudos dado que estos compuestos permiten (Bertrand, 1997):

- a) Identificar el origen de la materia orgánica fuente de los hidrocarburos
- b) Reconstruir condiciones paleoambientales, puesto que los biomarcadores están influidos para las variaciones oxido-reducción, pH y salinidad del medio ambiente de depósito.
- c) Evaluar el grado de madurez de la roca de la cual los hidrocarburos fueron expulsados.

Los estudios empleando biomarcadores son antiguos, Treibs (1936) descubrió porfirinas en materiales geológicos. Eglinton y Calvin (1964) lo denominaron “*Fósiles Geoquímicos*”. Speers y Whitehead (1969) los llamaron “*Marcadores Biológicos*” y más tarde se acortó a “Biomarcadores” por Seifert y Moldowan en 1980. Una de las herramientas analíticas como lo es la técnica de cromatografía de gases, es posible estudiar una serie de biomarcadores entre los más utilizados en estudios geoquímicos son las parafinas derivadas de los lípidos, el pristano y fitano, isoprenoides originados a partir del fitol presente en la clorofila de los vegetales (Fig. 6), los hopanoides, los terpenoides tricíclicos, los esteroides, algunos compuestos aromáticos (fenantrenos, dibenzotiofenos, carbazoles) y las porfirinas.

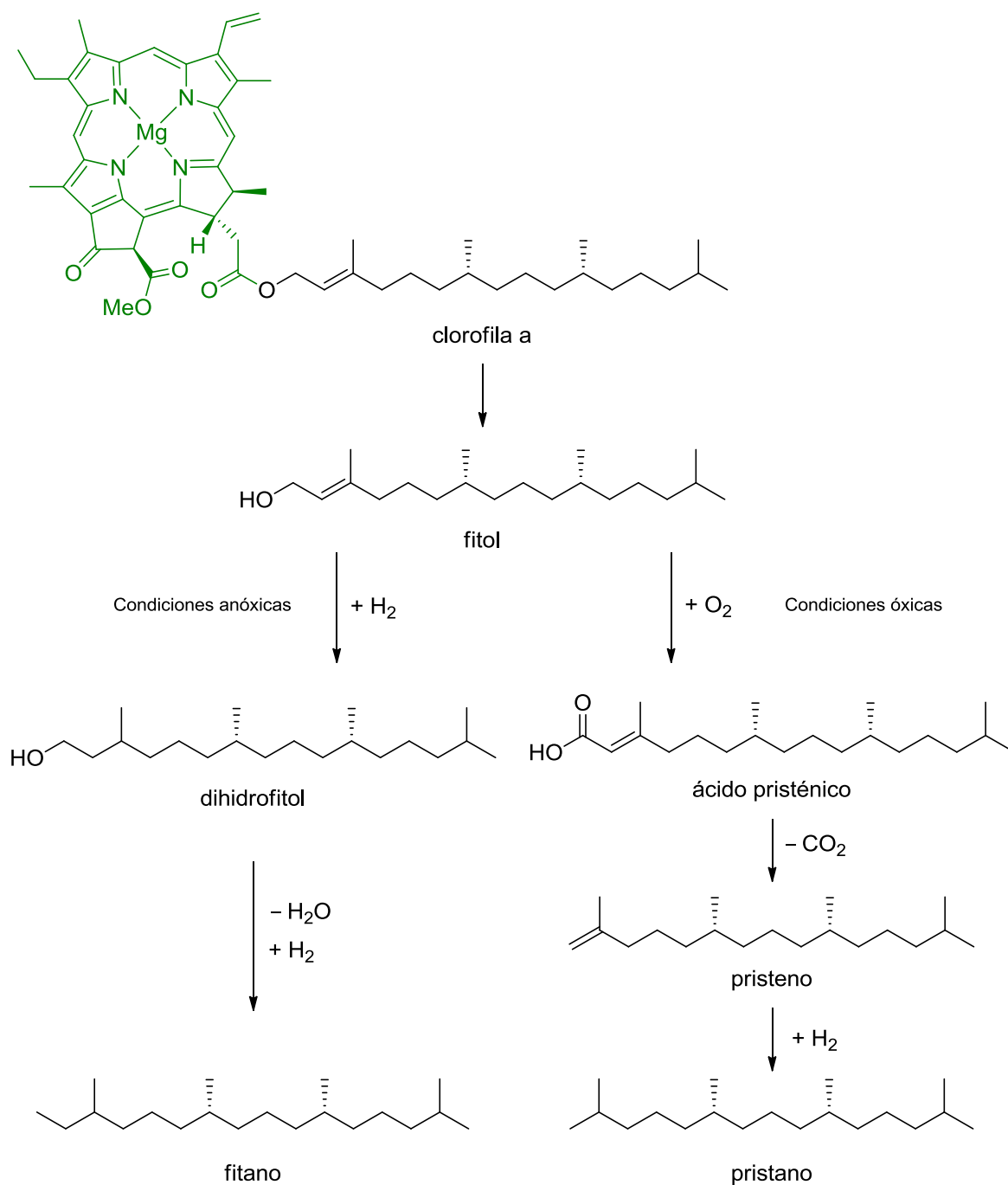


Fig. 6 Formación de isoprenoides a partir de la clorofila.

En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de biomarcadores (Peters y Moldowan, 1993).

Tabla 1. Ejemplos de biomarcadores (modificado de Peters y Moldowan, 1993).

Compuesto	Origen biológico	Ambiente
nC_{15} , nC_{17} , nC_{19}	Algas	Lacustre, marino (Gelpi <i>et al.</i> , 1970; Tissot y Welte, 1984)
nC_{18}	Bacterias	Lacustre, marino
nC_{27} , nC_{29} , nC_{31}	Plantas superiores	Terrestre
nC_{23} - nC_{31} (Impar)	Algas no marinas	Lacustre
nC_{18}	Bacterias	Lacustre, marino
Pristano/Fitano (Pr/Ph)(Bajo)	Fotótrofos Arqueobacterias	Reductor a anóxico, alta salinidad
2,6,10,15,19-penta- metileicosano	Arqueobacterias	Hipersalino
2,6,10, trimetil-7-(3-meti-butyl)- dodecano	Algas verdes	Hipersalino
Botriococcano	Algas verdes (<i>Botriococcus branui</i>)	Lacustre, salobre
16-desmetil-botriococcano	Algas verdes (<i>Botriococcus branui</i>)	Lacustre, salobre
Monometil alcanos de cadena intermedia	Cianobacterias	Aguas termales, marino
Saturados	Bacterias	Árido, hipersalino
β -caroteno	Bacterias	Árido, hipersalino
Filocladanos	Coníferas	Terrestre
C_{27} - C_{29} esteranos	Algas (C_{27}), Algas y plantas superiores (C_{29})	Varios
C_{30} 24- <i>n</i> -propilcolestano (4- desmetil)	Algas crisófitas	Marino
4-metilesteranos	Dinoflagelados/algunas bacterias	Lacustre o marino
Diasterenos	Algas o plantas superiores	Rocas ricas en arcilla
Dinosteranos	Dinoflagelados	Marino, Triásico o menor
25,28,30-trisnorhopano	Bacterias	Marino anóxico, Surgencia
28 30-bisnorhopano	Bacterias	Marino anóxico, Surgencia
C_{35} 17 α , 21 β (H)-hopano	Bacterias	Reductor a anóxico
2-metilhopanos	Bacterias	Rocas carbonatadas
4 β (H)-eudesmano	Plantas superiores	Terrestre
Gammacerano	Bacterias	Hipersalino
18 α (H)-oleanano	Plantas superiores (angiospermas)	Cretácico o menor

Compuesto	Origen biológico	Ambiente
Hexahidrobenzohopanos	Bacterias	Anóxico carbonatos-anhidrita
Pregnano, homopregnano	Desconocido	Hipersalino
C ₂₄ terpenos tetracíclicos	Desconocido	Hipersalino
Escualeno	Arqueobacterias	Hipersalino
Norhopano (C ₂₉ hopano)	Varios	Carbonatos/evaporitas
C ₃₁ -C ₄₀ isoprenoides	Metanógenos	No especificado
Aromáticos Benzotiofenos, alquildibenzotiofenos	Desconocido	Carbonatos/evaporitas
Isoprenoides arilo (1-alquil, 2,3,6, trimetilbenzenos)	Bacterias verdes con azufre	Hipersalino
Trimetilados 2-metil-2-trimetildecilcromanos	Desconocido	Salino

4.5 Procesos de Fosilización

Los fósiles se pueden utilizar para estudiar los cambios en las formas de vida a través del tiempo. Un fósil es cualquier rastro de evidencia de vida preexistente; puede ser restos directos de una parte de un organismo, tales como dientes, huesos o conchas; teniendo mayores probabilidades de fosilizar, dado que las partes duras de la mayoría de organismos invertebrados están compuestas de carbonato de calcio (CaCO_3), sílice (SiO_2), o quitina $(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{O}_5\text{N})_n$, y los huesos de la mayoría de los vertebrados se componen principalmente de fosfato de calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Serrano y Reyes, 2014).

4.5.1 Preservación de madera fósil

Los procesos de envejecimiento y fosilización se consideran generalmente ser excepciones en el ciclo natural, la mayor parte de la materia orgánica generalmente desaparece en el curso del tiempo como materia sólida se transforma en los compuestos que originalmente había sido sintetizada; es decir, dióxido de carbono, agua y amoníaco. En este proceso cíclico los compuestos orgánicos se sintetizan, combinado y organizando a los organismos de forma, para iniciar y mantener los procesos vitales. Con su muerte el organismo ha cumplido su función y ahora sirve como fuente de vida para los microorganismos que descomponen la materia orgánica. Bajo condiciones favorables, los diversos compuestos que forman la estructura de la madera resisten a la degradación de diferentes maneras y esta resistencia a su vez afecta los procesos de envejecimiento y el proceso de fosilización. Los restos de estos procesos son testimonio de las culturas anteriores y vegetaciones en la Tierra. Con cada descubrimiento se hacen nuevos avances en la historia de la humanidad y en la de los seres vivos (Fengel, 1991).

Las maderas fósiles se preservan principalmente en sedimentos clásticos y volcanoclásticos, ya sea en forma de compresiones carbonosas e impresiones, carbonización y también como permineralizaciones o petrificaciones (Schopf, 1975; Scott, 1990; Greenwood, 1991). Estos tipos de fosilización no son mutuamente excluyentes, por lo que un mismo ejemplar puede presentar intergradaciones entre dos o más de estos procesos.

4.5.2 Compresiones carbonosas e impresiones

Las compresiones carbonosas se originan cuando los tejidos vegetales se compactan por el peso de los sedimentos y dan lugar a una fina película de carbón. Las impresiones de plantas por su parte, se forman cuando la roca en la que se encontraba la compresión carbonosa se intemperiza, provocando así la oxidación de la materia orgánica y dejando solamente su impresión (Serrano y Reyes, 2014).

4.5.3 Carbonización

Este tipo de proceso se presenta principalmente en los tejidos vegetales leñosos, en los cuales las paredes celulares se transforman en carbón cuando se ven expuestos a temperaturas muy elevadas ocasionadas ya sea por incendios o cuando son enterrados dentro de flujos piroclásticos (Martin, 1999).

4.5.4 Permineralización

Las permineralizaciones ocurren por el relleno y precipitación de minerales disueltos en solución, en los espacios intercelulares e intracelulares de los tejidos vegetales, provocando así una transformación química de los restos de plantas, con poco o nada de la materia orgánica original (Schopf, 1975).

Existen tres subgrupos de permineralización (Serrano y Reyes, 2014):

- **Silicificación:** Este proceso se presenta por lo general en terrenos volcánicos, en los cuales existen fluidos ricos en sílice que permean los espacios intercelulares e intracelulares de los tejidos vegetales, permitiendo su preservación con un alto grado de detalle.

- **Mineralización por carbonatos:** La mineralización por carbonatos, puede ocurrir tanto en ambientes marinos como continentales durante las etapas tempranas de la diagénesis. Con el inicio del decaimiento de los tejidos, la precipitación del carbonato de calcio se incrementa, por lo que éste tiende a formar núcleos alrededor de la materia orgánica (Raiswell, 1976).

- **Piritización:** Este tipo de proceso es bastante común en el registro de plantas, principalmente en madera y semillas preservadas dentro de sedimentos marinos (Allison, 1988). Por lo general, la pirita se forma como bioproductos resultantes de la acción de bacterias sulfato-reductoras dentro de ambientes anóxicos (Allison, 1988).

4.6 Método de análisis

4.6.1 Cromatografía de Gases-Masa (CG-Ms)

La cromatografía de gases-espectrometría de masa (Gc-Ms, por sus siglas en inglés), es muy utilizada para la identificación de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. Al mismo tiempo, es capaz de identificar trazas en materiales que se creían que pasaban desapercibidos por otras tecnologías. Esta técnica tiene dos componentes básicos: el cromatógrafo de gases y el espectrómetro de masas (Fig.7).

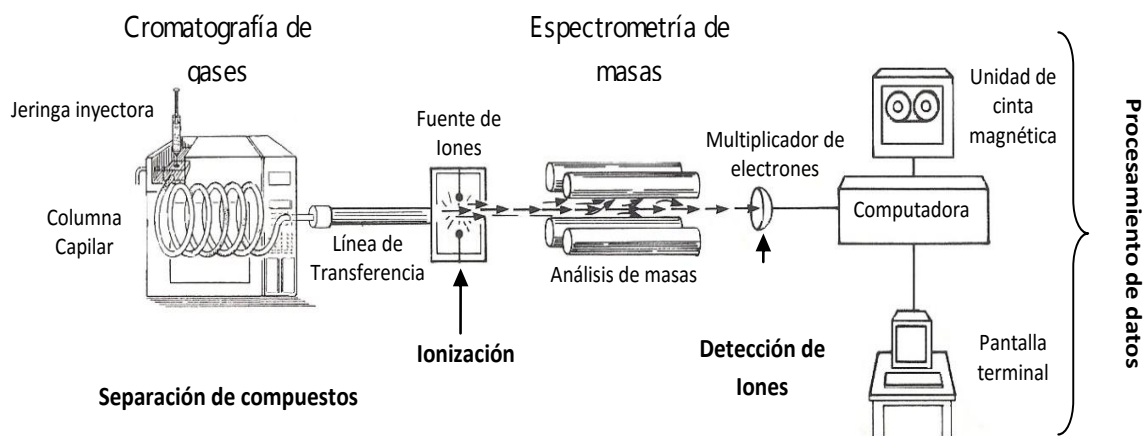


Fig.7 Diagrama del cromatógrafo de gases-masa.

Estos dos componentes aplicados juntos permiten un grado más fino de identificación de sustancias que cada instrumento utilizado por separado. La combinación de los dos procesos reduce la posibilidad de error como es muy poco probable que dos moléculas diferentes se comporten de la misma manera tanto en un cromatógrafo de gases como en un espectrómetro de masa.

❖ La cromatografía de gases, es un método analítico de identificación y cuantificación de componentes presentes en una sustancia orgánica o inorgánica, que se basa en la separación por reparto de uno o más compuestos de una muestra en una fase estacionaria, esta puede ser sólida o líquida contenida sobre un soporte sólido (Schomburg, 1990; Harris, 1991).

Esta técnica es adecuada para separar componentes que son volátiles sin descomposición; permite identificar los componentes individuales de las mezclas gaseosas (Schomburg, 1990). Aplicando normalmente temperaturas que van de la ambiental a los 350-400°C. El método tiene las ventajas de ser sensible, rápido y sencillo, y si se maneja con suficiente cuidado, suministra información cuantitativa exacta con cantidad muy pequeña de muestra.

Los componentes básicos de un instrumento para la cromatografía de gases son (Harris, 1991):

- 🌿 **Gas portador:** Debe ser un gas inerte, para prevenir su reacción con el analito o la columna. Generalmente se emplean gases como helio, argón, nitrógeno y la elección depende del tipo de detector.
- 🌿 **Sistema de inyección de muestra:** Los líquidos se inyectan mediante una microjeringa, a través de un disco (septum) de goma de silicona en una cámara de vaporización instantánea situada en la cabeza de la columna (la cámara está a 50°C por encima del punto de ebullición de los compuestos menos volátil de la muestra).
- 🌿 **Columna termostatada:** se usan dos tipos generales de columnas en cromatografía de gases; las empaquetadas o de relleno y las tubulares abiertas o capilares. Estas últimas se caracterizan por mayor resolución, ser más rápidas, mayor sensibilidad y menor capacidad de muestra. La longitud de estas columnas es variable, de 2 a 50 metros, y están construidas de acero inoxidable, vidrio, sílice fundida. Debido a su longitud y a la necesidad de ser

introducidas en un horno, las columnas suelen enrollarse en forma helicoidal con diámetros de 10 a 30 cm, dependiendo del tamaño del horno.

 **El detector:** Es la parte del cromatógrafo que se encarga de determinar cuándo ha salido el analito por el final de la columna (tiempo de retención) que es único para cada compuesto.

- ❖ Por otra parte, la técnica de espectrometría de masas ioniza las moléculas en un alto vacío, registra abundancia de sus iones y los clasifica de acuerdo a cada una de las masas. Consiste en bombardear una muestra en estado gaseoso con un haz de electrones de alta energía (ionización por impacto electrónico), las colisiones entre los átomos (o moléculas) en estado gaseoso producen iones positivos al liberarse un electrón de cada átomo o molécula. Estos iones positivos (de masa m y de carga z) se aceleran al pasar entre dos placas con cargas opuestas. Los iones acelerados son desviados por un imán, para separarlos en una trayectoria circular. El radio de la trayectoria depende de la relación m/z . Por último los iones son recogidos en un detector que registra la señal producida. Estas señales son digitalizadas y enviadas a un sistema informático que permite estudiar las señales recibidas, manipularlas y compararlas con librerías comerciales de espectros ya registrados. El espectro de mas representa en un sistema de coordenadas indicándose en el eje de las abscisas la relación m/z y en el eje de las ordenadas la abundancia iónica relativa de cada uno de los iones detectados.

4.6.2 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

La espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) es una técnica de análisis no destructiva, particularmente útil para determinar la estructura de una molécula así como la naturaleza de los componentes de una muestra. Consiste en someter una muestra a un campo magnético externo de alta frecuencia que confiere energía al núcleo y éste cambia su orientación (*spín*). La transferencia de energía ocurre a la longitud de onda correspondiente a la radio frecuencia y cuando el *spín* regresa a su estado basal, se emite energía a la misma frecuencia. La señal producida por esta transferencia se procesa y se mide para generar un espectro de RMN para determinados núcleos, la posición y la intensidad de las señales reflejan el entorno químico del núcleo y su posición dentro de una molécula.

Como se observa en la figura 8, el espectro de RMN consta de cuatro partes:

-  Un imán estable, con un controlador que produce un campo magnético preciso.
-  Un transmisor de radiofrecuencias, capaz de emitir frecuencias precisas.
-  Un detector para medir la absorción de energía de radiofrecuencia de la muestra.
-  Un ordenador y un registrador para realizar las gráficas que constituyen el espectro de RMN.

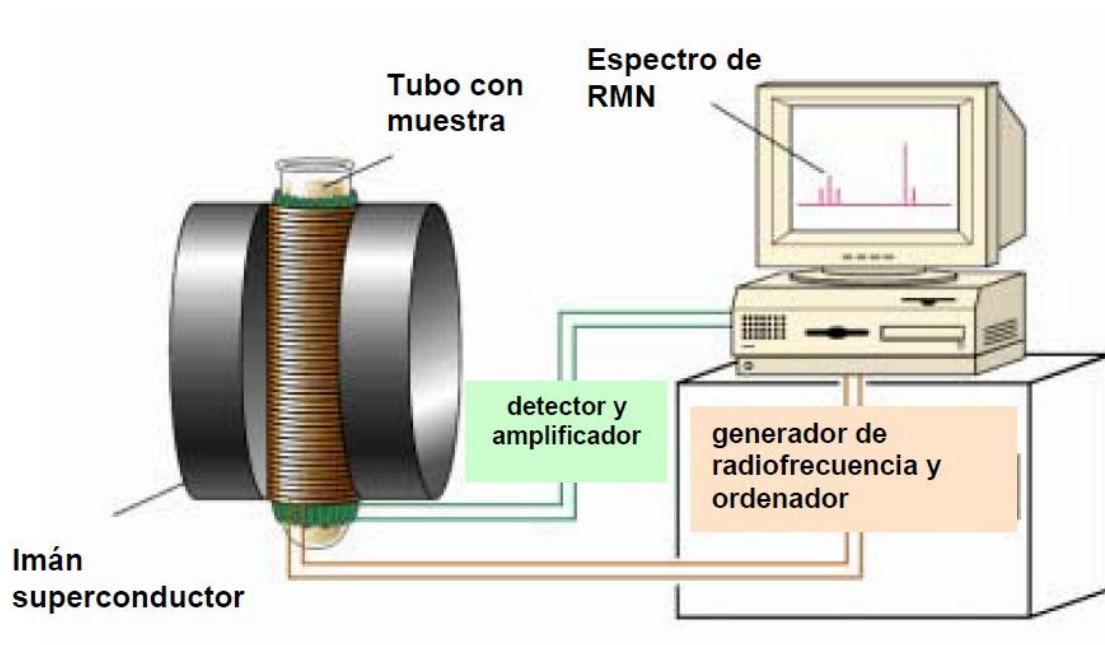


Fig. 8 Equipo de RMN.

Para obtener un espectro de RMN, se coloca una pequeña cantidad del compuesto orgánico disuelto en medio mililitro de disolvente en un tubo de vidrio largo que se sitúa dentro del campo magnético del aparato. El tubo con la muestra se hace girar alrededor de su eje vertical (Joseph-Nathan, 1993).

CAPÍTULO V

V. METODOLOGÍA

5.1 Localización y vías de acceso

Este proyecto de tesis formó parte de actividades científicas de exploración geológica y geoquímica. Este ejemplar de madera fósil motivo de estudio se obtuvo en las inmediaciones del Desierto Chihuahuense al NE del estado de Chihuahua en los terrenos pertenecientes al DECA - Parque Cretácico, A.C., perteneciente al Sr. Jesús Derma (Fig. 9). Se tiene acceso partiendo de la capital del estado de Chihuahua, conduciendo por la carretera federal No.16 (Chihuahua–Ojinaga) hasta Ciudad Aldama, realizando un recorrido aproximado de 27 km. Posteriormente se continúa por la misma carretera con dirección a Ojinaga hasta encontrar el entronque que comunica a la comunidad de Potrero El Llano y Chorreras, aproximadamente a 34 km de recorrido (Fig. 10). Se toma el camino de terracería, el cual es transitable durante todo el año y se continúa por espacio de 23 km hasta llegar a la entrada de la propiedad del DECA-Parque Cretácico (Fig. 11).



Fig.9 Mapa de localización de la zona de estudio.

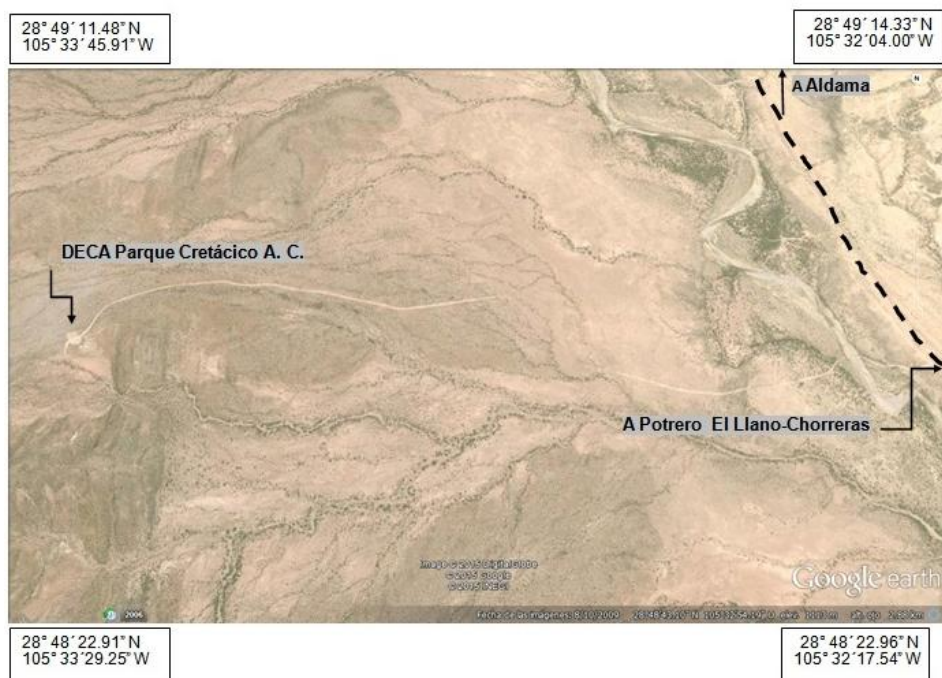


Fig. 10 Localización del área correspondiente del DECA - Parque Cretácico A. C.

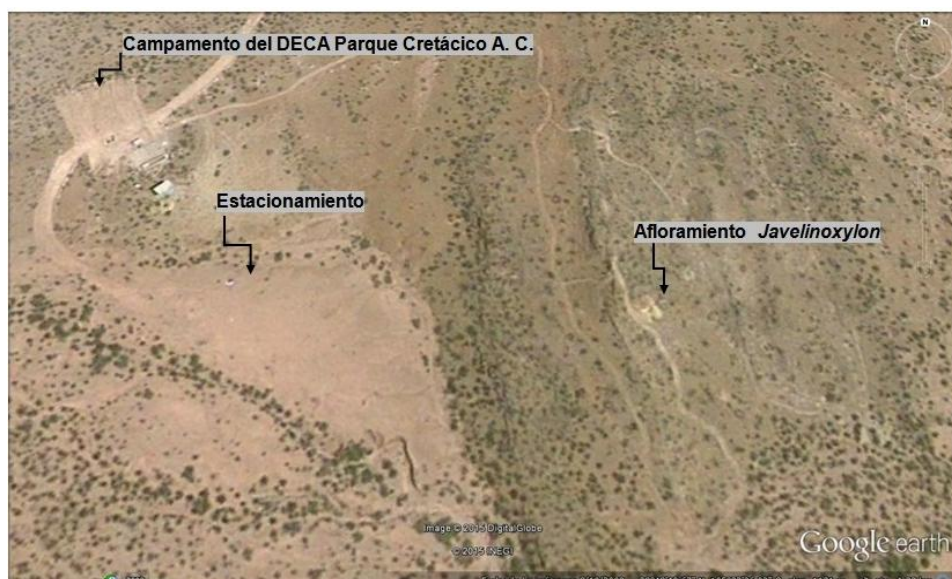


Fig. 11 Detalle de localización del afloramiento del género *Javelinoxylon*.

5.2 Muestreo en campo

La visita de campo se realizó del 24 al 30 de marzo del 2012 tomando como base el reconocimiento preliminar realizado por Flores-Castro (2011). Como primera actividad en el afloramiento donde se encontró el ejemplar de madera fósil, fue georeferenciar su posición, descripción de los sedimentos que lo cubrieron y que permitieron su preservación y final proceso de fosilización. Posteriormente se documentó fotográficamente pasando a la medición de longitud total y diámetros para la toma de muestras ver figura 12.



Fig. 12 Detalle del afloramiento de *Javelinoxylon deca*.

En el afloramiento el muestreo consistió en recuperar una porción del tronco fósil de 24 cm de longitud y que correspondió a la parte superior del tronco (copa) (25 cm de diámetro) que estaba próximo a la superficie con la que forma un ángulo de 15° por su posición inclinada que hacia la base del tronco cambia a 26 a 30° por la curvatura de éste. Su diámetro inferior se estimó en más de 100 cm (continua cubierta la base por sedimentos) y en el superior se midieron 24 cm, que correspondió a la parte muestreada ver figura 13, finalmente se envolvió en papel aluminio para evitar contaminación por el polietileno de las bolsas de plástico y tampoco se rotuló con marcadores.



Fig. 13 Detalle de la medición de longitud total y diámetros de las muestras.

5.3 Preparación de muestras

La madera fósil recolectada fue seccionada con disco de diamante y carburo de tungsteno para obtener dos rodajas de 12 cm de espesor y 25 cm de diámetro. Posteriormente se trasladó al Laboratorio de Geoquímica del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Una de las rodajas se utilizó para obtener las submuestras que posteriormente se trituraron y pulverizaron y la segunda rodaja se guardó para muestra testigo y posteriores investigaciones. Los cortes transversales revelaron estructuras internas y externas que fueron identificadas como submuestras: "*Parte Central*", "*Parte Central Blanca*", "*Parte Central Oscura*" y "*Porción Periférica*". (Fig. 14).

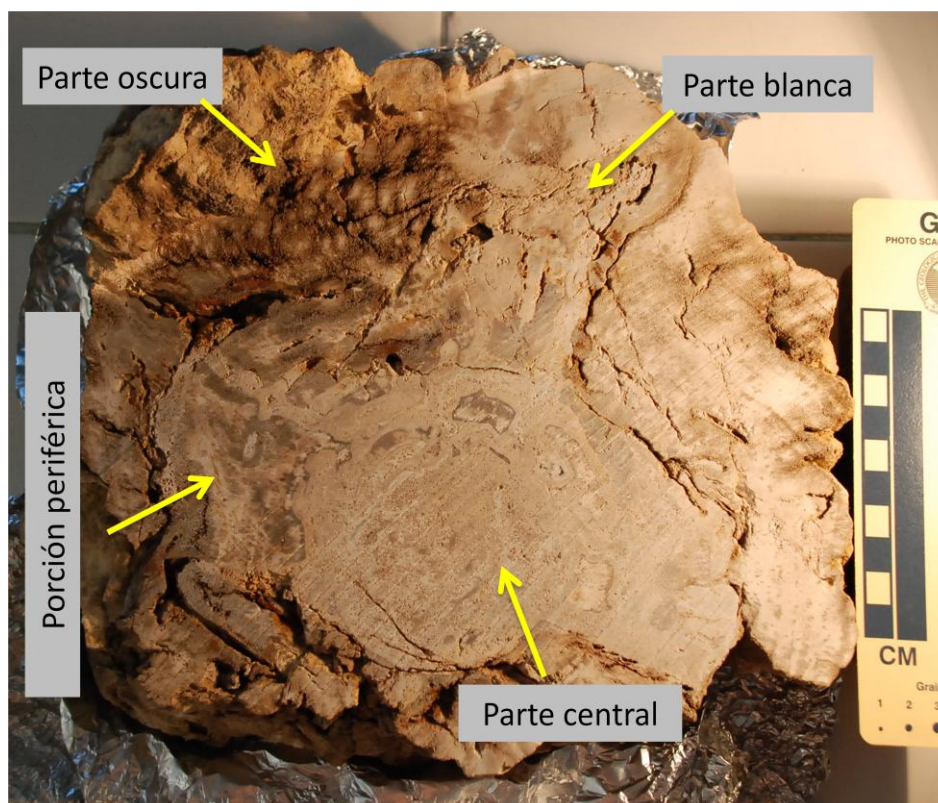


Fig.14 Detalle del corte transversal de la porción superior del tronco fósil.

En el Laboratorio, una de las rodajas obtenidas se seccionó con martillo y cincel para separar las submuestras seleccionadas. Cada una fue triturada y posteriormente pulverizada utilizando un mortero y un pistilo de ágata automatizado de la marca *Fritsch* (modelo *Pulverisette 2*).

Cada fracción se colocó en papel aluminio para evitar contaminación por materiales orgánicos (Fig. 15).



Fig.15 Detalle de las cuatro submuestras de partes internas del tronco.

5.4 Extracción de la Materia Orgánica (MO)

La extracción de la materia orgánica soluble (bitumen) se llevó a cabo mediante un sistema de reflujo continuo termoregulado (Flores, *et al.* 2004; Ángeles 2006) con disolventes orgánicos de alta pureza grado HPLC para abarcar un amplio rango de polaridad con el siguiente orden: cloroformo, acetato de etilo, acetona, metanol y hexano, este último se colocó al final para extraer el remanente de alcanos, ya que la concentración de estos superaba en varios órdenes de magnitud la concentración de los demás compuestos mayores y traza, a los que enmascaraban.

Se colocaron 200 g de cada una de las fracciones dentro de cuatro matraces balón de 1000 ml, en cada uno de los matraces se le adicionaron 500 ml de disolvente orgánico correspondiente (iniciando con cloroformo) en proporción 1:2.5 (peso/volumen).

A cada uno se les colocó dentro de una mantilla de calentamiento y se le adaptó un tubo refrigerante con circulación continua de etilenglicol como líquido refrigerante para evitar la pérdida del disolvente por evaporación sellando con papel parafilm y cubriendo la parte superior con algodón y papel aluminio (Fig. 16).



Fig. 16 Equipo de extracción secuencial de MO.

Minutos después de que el disolvente alcanzara su punto de ebullición, éste comenzó a evaporarse y a recondensar dentro del matraz (reflujo), a partir de este punto se dejaron transcurrir 48h bajo las mismas condiciones. Una vez alcanzado este tiempo se retiró la mantilla de calentamiento y se dejó enfriar la muestra con cada uno de los disolventes. Los extractos obtenidos se recuperaron por medio de filtración por gravedad utilizando papel filtro de marca *Whatman* #40 (Fig.16), para

hacer una separación entre el sedimento y el disolvente. Los disolventes de cada extracción obtenida fueron colectados de igual forma en matraces balón.

Para concentrar los extractos se utilizó un rotavapor marca Büchi modelo R-205 con baño termostático B-490 (Fig. 17), en éste el volumen se redujo hasta obtener aproximadamente 1ml con la ayuda de pipetas Pasteur y transfiriendo cada disolvente a viales de vidrio previamente pesados y etiquetados, el resto del disolvente se dejó evaporar a temperatura ambiente



Fig. 17 Detalle del rotavapor marca *BÜCHI*.

Los viales fueron tapados para evitar la interacción (contaminación), y pesados nuevamente (Fig.18). Por diferencia de peso se calculó la cantidad de materia orgánica extraída (bitumen).

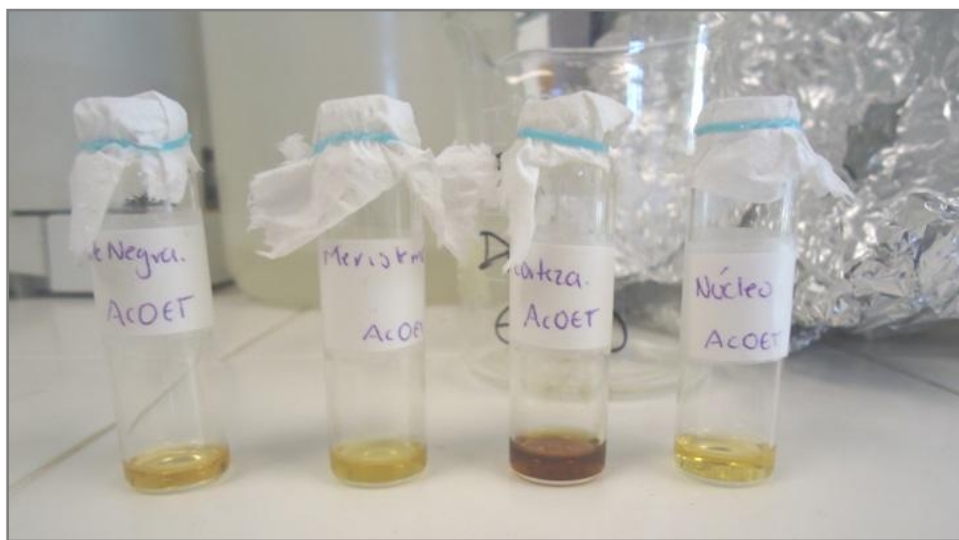


Fig. 18 Detalle de los viales con extracto recuperado.

5.5 Análisis por CG-MS

Los extractos obtenidos se enviaron al Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para ser analizados mediante Cromatografía de Gases-acoplada a Espectrometría de Masa (CG-MS) por el Dr. Juan Carlos Durán Álvarez investigador de esta dependencia.

Para caracterizar los extractos se empleó un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard Modelo 5973 Network, con inyector 7683 B, acoplado a un detector selectivo de masas Agilent 6890 N equipado con una columna capilar de sílice fundida (HP5-MS) de 30 m longitud, 0.25 mm de diámetro y 0.25 μm de espesor de la fase estacionaria. Y los experimentos de RMN de ^1H (Jeol Eclipse 400 MHz en CDI_3 usando TMS como señal de referencia), en el Área Académica de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

5.6 Condiciones de operación CG-Ms

La temperatura del horno se programó a 100°C/min con una rampa de 20°C/min hasta 280°C una vez alcanzada esta se mantuvo durante 10 min antes de inyectar la muestra. El inyector se mantuvo a una temperatura de 250°C y en modo *splitless*, utilizando helio como gas portador (flujo constante de 1 ml/min).

El voltaje de ionización fue de 70 eV, a una temperatura de 230°C, en tanto la temperatura de interfase fue de 280°C y del cuadrupolo 150°C se mantuvieron constante respectivamente.

5.7 Identificación de compuestos orgánicos

La detección de los picos fue hecha en modo *full-scan* en un intervalo de 50-500 m/z mientras que la identificación de grupos particulares se realizó por medio del uso de iones específicos mostrados en la Tabla 2. Adicionalmente se consideraron aspectos tales como el tiempo: tiempo de retención y peso molecular, correspondencia del espectro de masa (>90%) con la base de datos *Wiley 138*, así como los patrones de elución y de fragmentación característicos de sus estructuras (Ángeles, 2011).

Tabla 2. Iones empleados para la identificación de grupos y/o compuestos específicos (Ángeles, 2011).

Grupo/compuesto	Ion(m/z)
Ácidos grasos	73
Alcanos alifáticos e isoprenoides	57, 85
Alcanos ramificados (mono- y dimetil alcanos)	57, 85, 155, 197, 225, 295
Hopanoides	191, 341, 398, 412
Isoprenoides	69

CAPÍTULO VI

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Geológicos

En superficie el ejemplar del tronco fósil estudiado que correspondió con la especie *Javelinoxylon deca* (*Malvaceae* s.l.) exhibe una coloración crema amarillenta en las porciones basal a intermedia del tronco y marrón oscuro hacia la parte de la copa. Su grado de preservación permite reconocer a simple vista estructuras leñosas con múltiples protuberancias (meristemos), no alineadas de tres a diez centímetros que sobresalen del exterior del tronco, de donde posiblemente se conectaban ramas y que en el sitio de depósito están ausentes (Fig. 19).

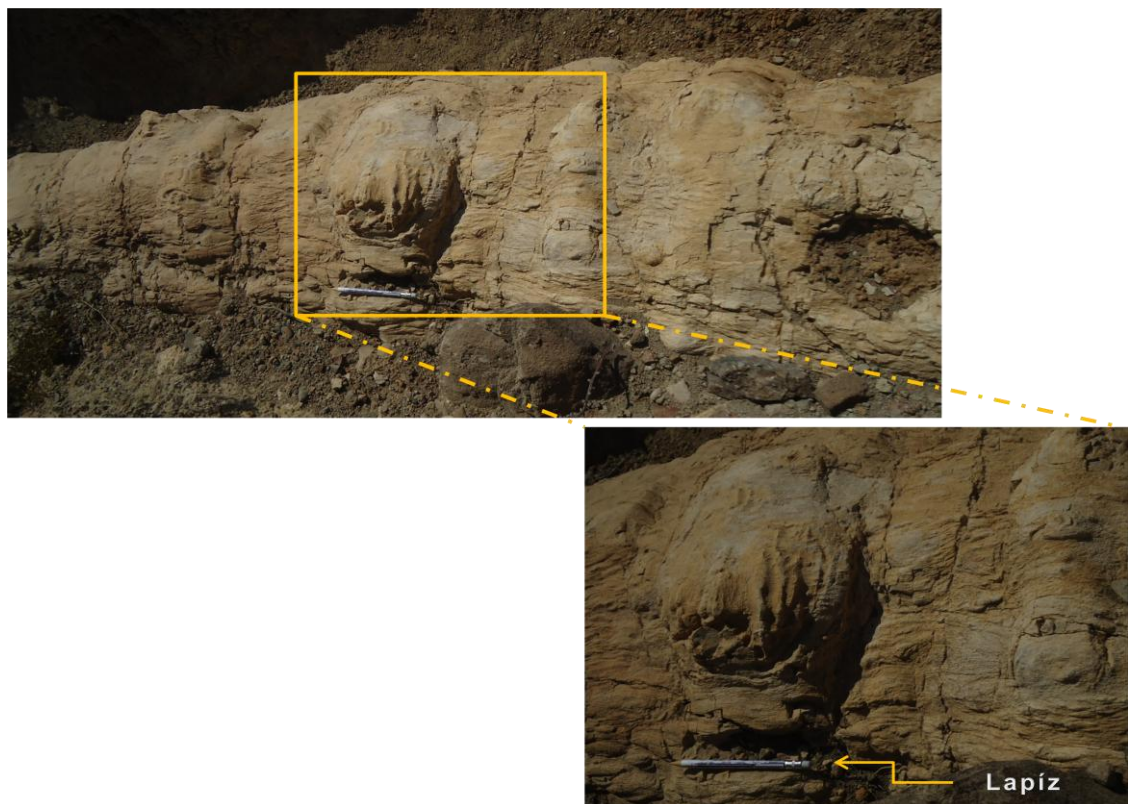


Fig.19 Detalle de meristemo. Escala grafica lápiz.

Los sedimentos que lo cubrieron al terminar el proceso de transporte fluvial desde la zona donde estaba plantado, hasta este sitio donde finalmente quedó depositado consisten de (Fig. 20):

-  Areniscas de color amarillento a ocre, no consolidadas de 78 cm de espesor que cubren directamente el tronco fosilizado y que alternan con areniscas limoarcillosas no consolidadas.
-  Concordantemente se deposita a continuación un estrato de dos centímetros de espesor de arenisca de grano medio a grueso parcialmente conglomerática y coloración marrón, compacta y bien consolidada que tiene una inclinación de 26° con respecto a la horizontal.
-  Posteriormente y de forma concordante, se encuentra depositado un estrato de arenisca compacta de 18 cm de espesor de grano fino bien clasificada, que cambia de arenisca conglomerática a conglomerado polimíctico y cuyos fragmentos se observan subredondeados a redondeados.
-  Finalmente un horizonte de 18 cm de sedimentos arenosos recientes (regolito-suelo) degradado y color ocre amarillento cubren las secuencias sedimentarias antes descritas y que contienen el ejemplar de madera fósil motivo de estudio.



Fig. 20 Detalle de los sedimentos. Escala grafica brújula.

6.2 GEOQUÍMICOS

Como resultado al aplicar la técnica de extracción secuencial termoregulada por reflujo continuo con los disolventes orgánicos, se obtuvo el bitumen contenido en cada una de las muestras; la cantidad de materia orgánica obtenida así como su equivalente porcentual se observan en las Tablas 3 a la 6.

Tabla 3. Cantidad de MO obtenida de la muestra Parte oscura.

Disolvente	Peso del Vial (g)	Peso del Vial con Muestra (g)	Cantidad de MO obtenida (g)	% de MO obtenida (%)
cloroformo	6.9724	6.9750	0.0026	0.0013
acetato de etilo	6.9679	6.9711	0.0032	0.0016
acetona	6.9412	7.0964	0.1552	0.0776
metanol	6.9854	7.0735	0.0881	0.0441
hexano	6.9910	6.9961	0.0051	0.0026

Tabla 4. Cantidad de MO obtenida de la muestra Parte central.

Disolvente	Peso del Vial (g)	Peso del Vial con Muestra (g)	Cantidad de MO obtenida (g)	% de MO obtenida (%)
cloroformo	6.9913	6.9930	0.0017	0.0009
acetato de etilo	6.9613	6.9624	0.0011	0.0006
acetona	6.9508	6.9580	0.0072	0.0036
metanol	6.9727	6.9964	0.0237	0.0119
hexano	6.9845	6.9870	0.0025	0.0013

Tabla 5. Cantidad de MO obtenida de la muestra Parte blanca.

Disolvente	Peso del Vial (g)	Peso del Vial con Muestra (g)	Cantidad de MO obtenida (g)	% de MO obtenida (%)
cloroformo	6.9806	6.9832	0.0026	0.0013
acetato de etilo	6.9670	6.9683	0.0013	0.0007
acetona	6.9577	6.9670	0.0093	0.0047
metanol	6.9490	6.9919	0.0429	0.0215
hexano	6.9846	6.9864	0.0018	0.0009

Tabla 6. Cantidad de MO obtenida de la muestra Porción periférica.

Disolvente	Peso del Vial (g)	Peso del Vial con Muestra (g)	Cantidad de MO obtenida (g)	% de MO obtenida (%)
cloroformo	6.9556	6.9566	0.001	0.0005
acetato de etilo	6.9682	6.9691	0.0009	0.0004
acetona	6.9771	6.9813	0.0042	0.0021
metanol	6.9875	7.0162	0.0287	0.0144
hexano	6.9584	6.9594	0.001	0.0005

Tomando en cuenta la MO obtenida en los análisis, se observa que el valor más alto se presentó en la muestra de porción oscura en acetona con valor de 0.0776% y 0.0441% con metanol. Del mismo modo, se observa que la muestra de porción periférica tiene el valor más bajo de obtención de MO con 0.0004% con AcOEt. Su composición corresponde a una mezcla de alcanos alifáticos $n\text{-C}_{17}$ al $n\text{-C}_{30}$ (en la parte de Anexos I se muestra el espectro de masa respectivo), lineales y ramificados, ésteres de ácidos grasos y compuestos traza.

Una vez que se obtuvieron las muestras, estas se analizaron mediante CG-Ms, excepto aquellas obtenidas con metanol debido a que no se contaba con una columna específica para analizar sustancias polares. Posteriormente los cromatogramas resultantes se examinaron con el programa *HpChem* y se compararon con la base de datos actualizada *Wiley138*, dando como resultado varios compuestos orgánicos y/o biomarcadores que permitieron llevar a cabo el reconocimiento de las condiciones paleoambientales prevalecientes durante el Cretácico Superior en la zona de estudio.

Isoprenoides

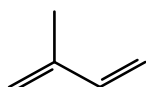


Fig. 21 Isopreno.

Los isoprenoides son compuestos formados como resultado de la polimerización de unidades repetitivas de isopreno (Fig. 21). De estos compuestos, los más estudiados son Pristano (Pr) y Fitano (Ph). El Pristano y Fitano (Fig. 22) provienen de la cadena lateral de la clorofila, y dependiendo de las condiciones del ambiente de depósito se favorecerá la preservación de uno sobre otro, por lo que la proporción que guardan entre sí ha sido empleada para determinar algunos parámetros tales como su origen y/o el grado de madurez térmica (Didyk *et al.*, 1978; Brassell *et al.*, 1981).

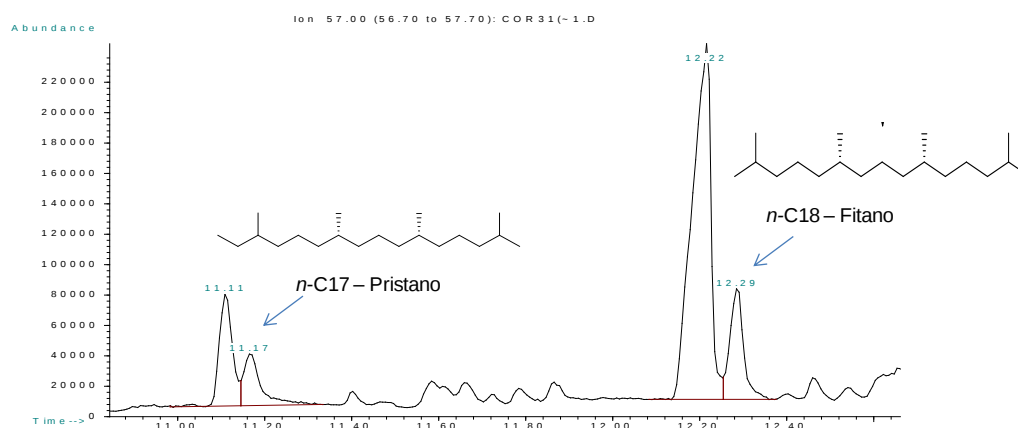


Fig. 22 Detalle de Pr y Ph de la muestra parte central con hexano.

Para la interpretación de los isoprenoides se utilizaron las relaciones Pristano/Fitano (Pr/Ph) (Didyk, 1978), $Pr/n-C_{17}$ y $Ph/n-C_{18}$, $(Pr/nC_{17}) + (Ph/n-C_{18})$ (Philp, 1985) y $(Pr+n-C_{17}) / (Ph+n-C_{18})$ (Scheffler, 2004), las cuales fueron calculadas a partir de la integración bajo la curva de los picos indicativos de isoprenoides en los cromatogramas, obteniendo así la relación de altura y anchura de cada uno de estos picos en valores numéricos.

Didyk (1978), estableció la relación Pr/Ph para indicar las condiciones del ambiente de depósito, mismas que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 7. Relación Pr/Ph (Modificado de Didyk, 1978).

Relación Pr/Ph	Ambiente
Pr/Ph > 1	Condiciones óxicas
Pr/Ph < 1	Condiciones anóxicas
Pr/Ph > 3	Entrada de materia orgánica de origen terrígeno
Pr/Ph < 0.8	Hipersalinidad

Con respecto a la tabla anterior y el análisis de las muestras (Anexos II) con la presencia de estos isoprenoides se muestra la siguiente tabla, donde se sugiere el ambiente de depósito de cada una de las muestras (Tabla 8).

Tabla 8. Ambiente de depósito de las muestras analizadas.

Muestra	Disolvente	Relación Pr/Ph	Ambiente
Parte central	Cloroformo	0.44	Condiciones anóxicas e hipersalinidad
	acetona	0.60	Condiciones anóxicas e hipersalinidad
	hexano	0.55	Condiciones anóxicas e hipersalinidad
Parte oscura	Cloroformo	0.53	Condiciones anóxicas e hipersalinidad
	acetato de etilo	0.54	Condiciones anóxicas e hipersalinidad
	hexano	0.63	Condiciones anóxicas e hipersalinidad
Parte blanca	Cloroformo	0.48	Condiciones anóxicas e hipersalinidad

Los valores obtenidos sugieren que durante la depositación de los sedimentos que cubrieron el ejemplar de madera fósil, existieron condiciones anóxicas en algunos casos con marcada hipersalinidad. Montaña (2013), sugiere que pudo deberse al efecto de las mareas que transportan el agua salada hacia los ambientes de transición.

Para indicar el grado de madurez que presenta la materia orgánica contenida en las muestras se utilizó la relación de *Pr* y *Ph* con sus análogos (*Pr/n-C₁₇* y *Ph/n-C₁₈*), según la Tabla 9. Los resultados obtenidos de las muestras estudiadas se presentan en la Tabla 12 (Philp, 1985).

Tabla 9. Relación $Pr/n-C_{17}$ y $Ph/n-C_{18}$ para indicar el grado de madurez de la MO.

Relación ($Pr/n-C_{17}$) + ($Ph/n-C_{18}$)	Madurez de la Materia Orgánica
>1	MO. muy madura
< 1	MO. poco madura

Tabla 10. Madurez de la materia orgánica en las muestras analizadas.

Muestra	Disolvente	Relación ($Pr/n-C_{17}$)+(Ph/n-C ₁₈)	Madurez de la MO.
Parte central	cloroformo	1.05	Muy madura
	acetato de etilo	0.36	Poco madura
	acetona	0.56	Poco madura
	hexano	0.80	Poco madura
Parte oscura	cloroformo	0.90	Poco madura
	acetato de etilo	1.32	Muy madura
	hexano	3.46	Muy madura
Parte blanca	Cloroformo	0.97	Poco madura

Por otro lado, para poder determinar el origen de la materia orgánica se utilizó la relación $(Pr+n-C_{17}) / (Ph+n-C_{18})$ (Scheffler, 2004), la cual indica según los valores obtenidos si esta es de origen marino, marino-marginal o continental (Tabla 11). Los valores obtenidos indican que la materia orgánica presente en la zona de estudio es de origen tanto continental (3 muestras) y marino (5 muestras) (Tabla 12).

Tabla 11. Relación $(Pr+n-C_{17}) / (Ph+n-C_{18})$ para indicar el origen de la MO.

Relación $(Pr/n-C_{17}) / (Ph/n-C_{18})$	Origen de la MO.
0 - 1.5	Origen Marino
1.5 – 2	Origen Marino – Marginal
>2	Origen Continental

Tabla 12. Origen de la materia orgánica en las muestras.

Muestra	Disolvente	Relación $(Pr/nC_{17})/(Ph/nC_{18})$	Origen de la MO.
Parte central	Cloroformo	0.84	Marino
	acetato de etilo	0.00	Marino
	acetona	4.06	Continental
	hexano	2.54	Continental
Parte oscura	Cloroformo	0.35	Marino
	acetato de etilo	1.00	Marino
	hexano	4.93	Continental
Parte blanca	Cloroformo	0.55	Marino

Alcanos lineales

Los *n*-alcanos son derivados de componentes estructurales (membranas) tales como fosfolípidos y esfingolípidos (producidos por algas y bacterias) o biopolímeros polimetilénicos (biosintetizados por microalgas. Tegelaaret al., 1989), y ceras provenientes de restos de plantas vasculares (Hedberg, 1968). Además de las fuentes biológicas mencionadas anteriormente, también son productos catagenéticos derivados de compuestos de cadena larga como ácidos grasos y alcoholes. Ciertos alcanos pueden proporcionarnos información acerca del origen de la materia orgánica (organismos presentes), la fuente de hidrocarburos y el ambiente de deposición que prevaleció durante la sedimentación (Hunt, 1996; Peter y Moldowan, 1993; Sailot, 1981) (Tablas 13 y 14).

Tabla 13. Alcanos lineales indicativos de fuentes de hidrocarburos (Sailot, 1981).

Fuente de Hidrocarburos	Dominancia de Alcano Individual
Fitoplancton	<i>n</i> -C ₁₅ , <i>n</i> -C ₁₇
Algas bentónicas y pelágicas	Rojas (<i>Rhodophyta</i>): <i>n</i> -C ₁₇ Cafés (<i>Phaeophyceae</i>): <i>n</i> -C ₁₅
Bacterias	<i>n</i> -C ₁₈

Tabla 14. Alcanos lineales y su significado ambiental (Hunt, 1996; Peters y Moldowan, 1993).

Compuestos	Organismos presentes	Ambiente que sugieren	Fuente
<i>n</i> -C ₁₂ – <i>n</i> -C ₂₄	Presencia de Bacterias	Ambiente lacustre y/o marino	Hunt, 1996.
<i>n</i> -C ₁₅ , <i>n</i> -C ₁₇ , <i>n</i> -C ₁₉	Presencia de Algas	Ambiente lacustre y/o marino	Gelpiet al. (1970), Tissot y Welte (1984).
<i>n</i> -C ₂₀ – <i>n</i> -C ₃₂	-----	Ambiente anóxico y/o salino: carbonatos, evaporitas	Hunt, 1996.
<i>n</i> -C ₂₃	Presencia de Algas	Ambiente lacustre	Gelpiet al. (1970), Moldowan et al. (1985).
<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁	Presencia de Plantas Superiores	Ambiente continental	Tissot y Welte (1984).

Con base en las tablas anteriores se realizó una comparación con los principales alcanos encontrados en las muestras analizadas para sugerir su ambiente de depósito y los organismos presentes. Se muestran los Cromatogramas tipo de las muestras extraídas con CHCl_3 , y el resto de los extractos con diferentes disolventes se muestran en Anexos III, dado que estos presentan la extracción de los mismos alcanos en diferentes concentraciones relativas.

❖ Parte central (CHCl_3)

Los compuestos identificados en este extracto de CHCl_3 corresponden con alcanos que van del $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ - $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ como se muestran en la Fig. 23. Los alcanos $n\text{-C}_{17}$, $n\text{-C}_{18}$, $n\text{-C}_{19}$ están relacionados con la aportación de algas y pertenecen a un ambiente lacustre y/o marino (Gelpiet *al.*, 1970, Tissot y Welte, 1984), así como a fitoplancton, algas rojas y bacterias (Sailot, 1981). Por otra parte, la presencia de alcanos $n\text{-C}_{20}$ - $n\text{-C}_{29}$ nos sugieren un ambiente anóxico y/o salino (Hunt, 1996) y $n\text{-C}_{27}$ - $n\text{-C}_{29}$ indican el aporte de plantas superiores continentales hacia el ambiente marino (Tissot y Welte, 1984), sugiriendo también cercanía de costa.

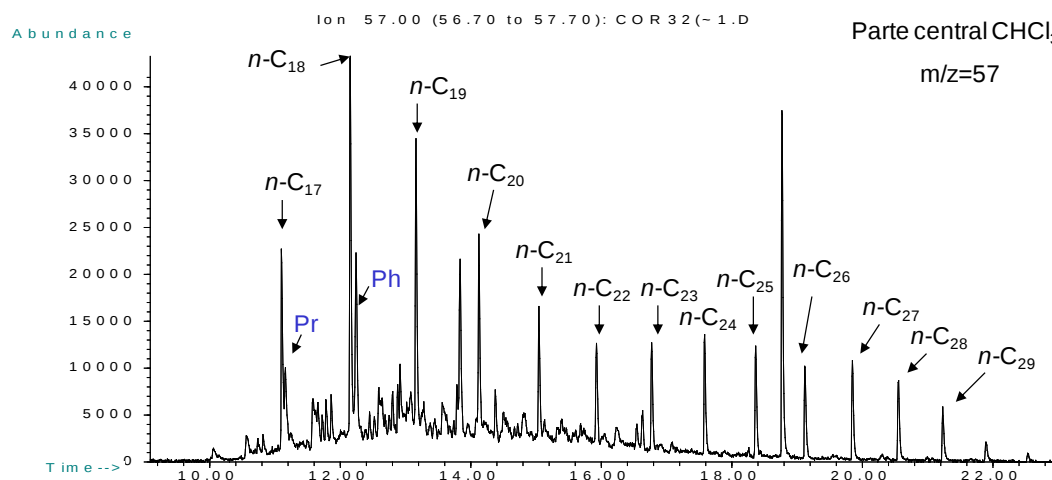


Fig. 23 Cromatograma de gases de la muestra (parte central) obtenido con CHCl_3 .

❖ Parte oscura (CHCl₃)

En esta muestra con el extracto de CHCl₃ los compuestos que se identificaron son los siguientes alcanos que van del *n*-C₁₇H₃₆ - *n*-C₃₀H₆₂ (Fig. 24). Los alcanos *n*-C₁₇, *n*-C₁₈, están relacionados con Fitoplancton, algas rojas y bacterias (Sailot, 1981) con ambiente lacustre y/o marino (Gelpiet *al.*, 1970, Tissot y Welte, 1984). La secuencia de *n*-C₂₀ - *n*-C₂₉ indican un ambiente anóxico y/o salino (Hunt, 1996). Los alcanos *n*-C₂₇ - *n*-C₂₉ sugieren un aporte de plantas superiores continentales (Tissot y Welte, 1984) hacia el ambiente marino, sugiriendo también cercanía de la costa.

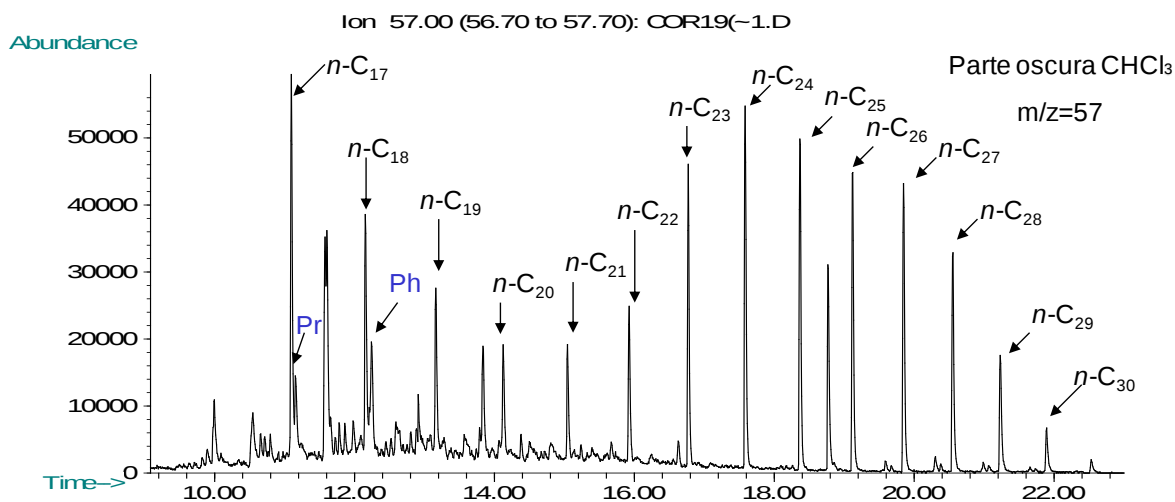


Fig. 24 Cromatograma de gases de la muestra (parte oscura) obtenido con CHCl₃.

❖ Parte blanca (CHCl_3)

Los compuestos identificados en este extracto con CHCl_3 (Fig. 25) son los siguientes alcanos lineales con secuencia del $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ - $n\text{-C}_{23}\text{H}_{48}$. Los alcanos predominantes son $n\text{-C}_{17}$, $n\text{-C}_{18}$, estos alcanos están relacionados con la aportación de algas y que pertenece a un ambiente lacustre y/o marino (Gelpi et al., 1970, Tissot y Welte, 1984), así como Fitoplancton, algas rojas y bacterias (Sailot, 1981). La presencia de $n\text{-C}_{20}$ - $n\text{-C}_{23}$, sugieren un ambiente anóxico y/o salino (Hunt, 1996).

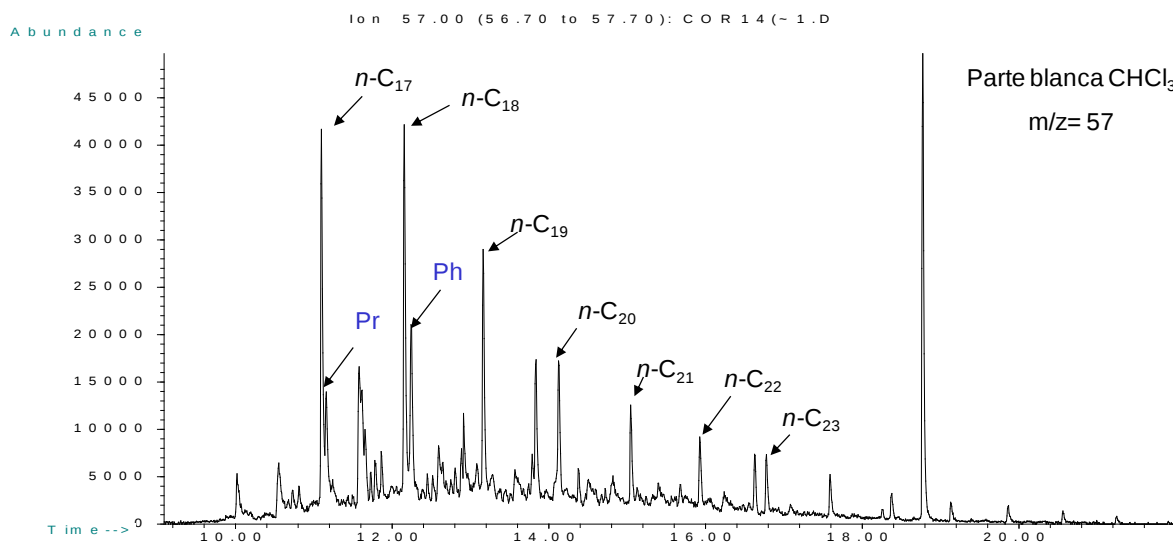


Fig. 25 Cromatograma de gases de la muestra (parte blanca) obtenido con CHCl_3 .

❖ Porción periférica (CHCl₃)

Los compuestos identificados en el extracto de CHCl₃ son los siguientes alcanos lineales, *n*-C₁₇H₃₆, *n*-C₁₈H₃₈, *n*-C₁₉H₄₀, *n*-C₂₀H₄₂ y *n*-C₂₁H₄₄ como se muestran en la (Fig. 26). Los alcanos predominantes *n*-C₁₈, *n*-C₁₉, están relacionados con la aportación de algas y que pertenece a un ambiente lacustre y/o marino (Gelpi et al., 1970, Tissot y Welte, 1984), así como Fitoplancton, algas rojas y bacterias (Sailot, 1981). La presencia de *n*-C₂₀ nos sugieren un ambiente anóxico y/o salino (Hunt, 1996).

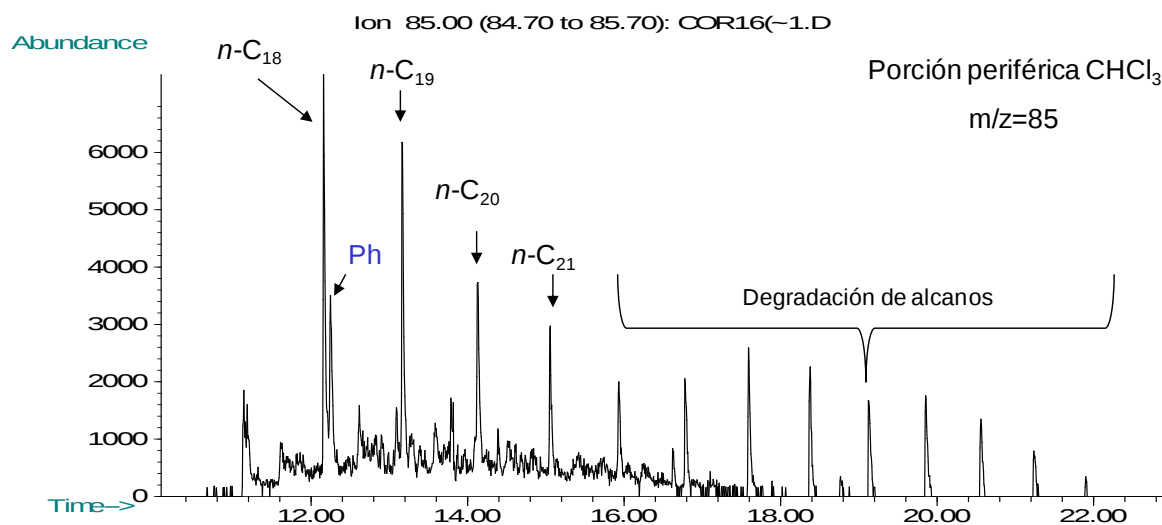


Fig. 26 Cromatograma de gases de la muestra (porción periférica) obtenido con CHCl₃.

Cicloalcanos

En los sedimentos que cubrieron la madera fósil también se encontraron algunos cicloalcanos que son indicativos de algas de ambientes lacustres y/o lagunar. (Montaño, 2013):

❖ **Ciclotetradecano (Q=89%)**

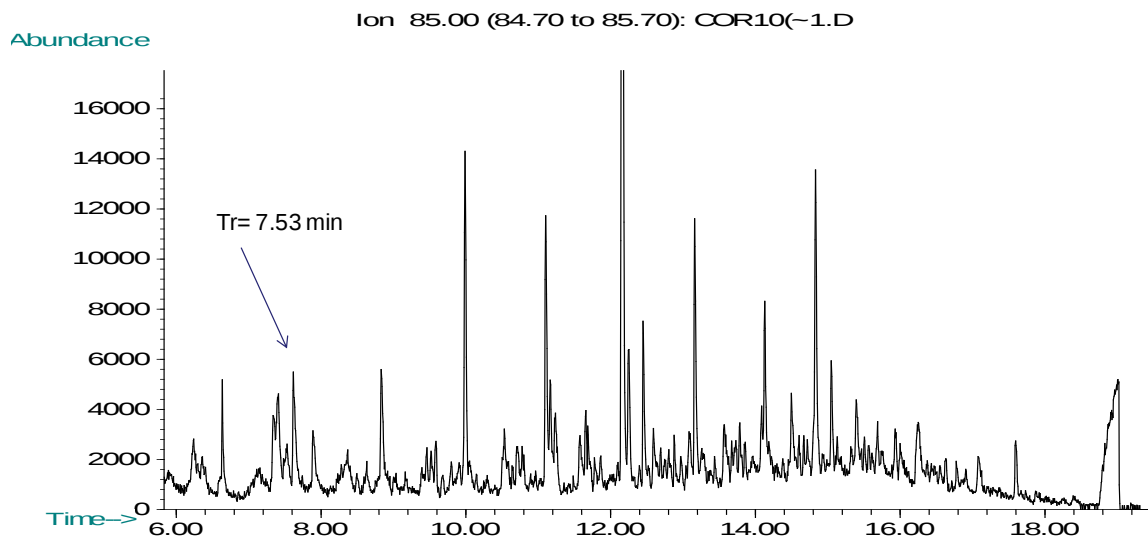


Fig. 27 Cromatograma obtenido con el extracto acetona en la muestra Parte oscura.

❖ **Ciclopentadecano (Q=84%)**

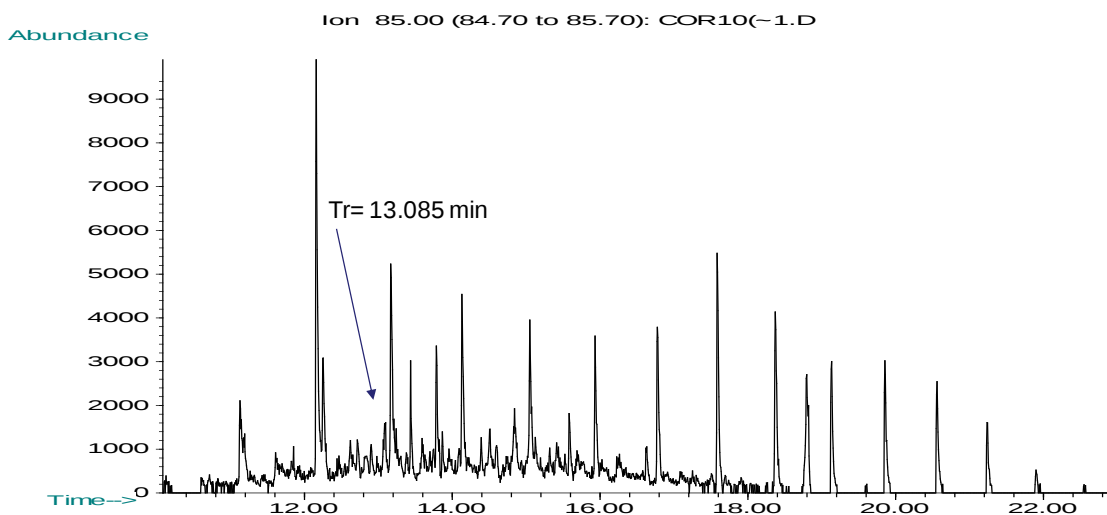


Fig. 28 Cromatograma obtenido con el extracto hexano en la muestra Parte blanca.

❖ Ciclohexadecano (Q= 86%)

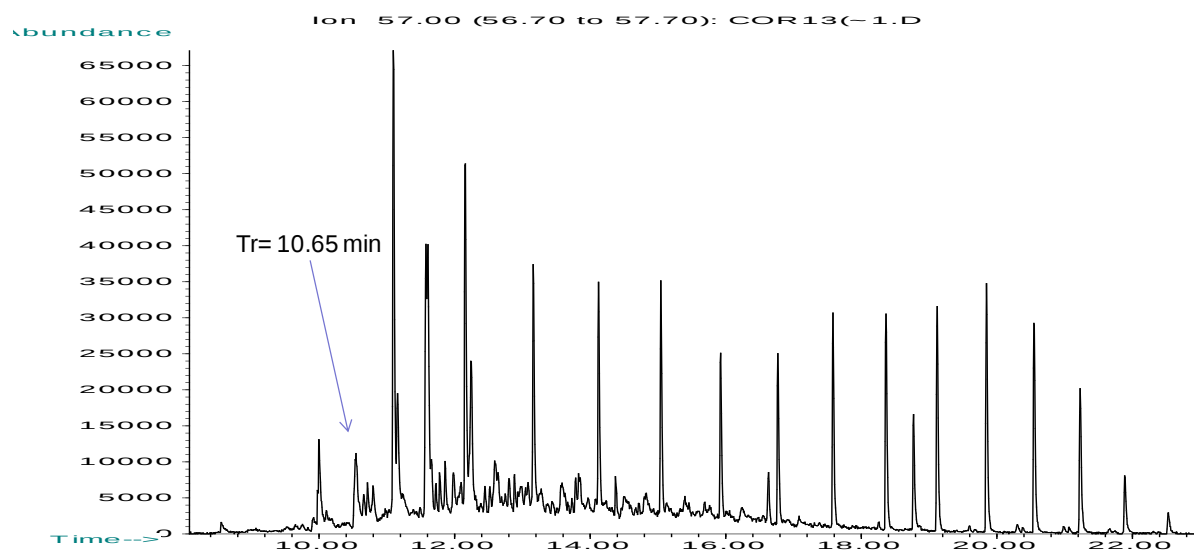


Fig. 29 Cromatograma obtenido con el extracto hexano en la muestra Parte oscura.

❖ Cicloeicosano(Q=95%)

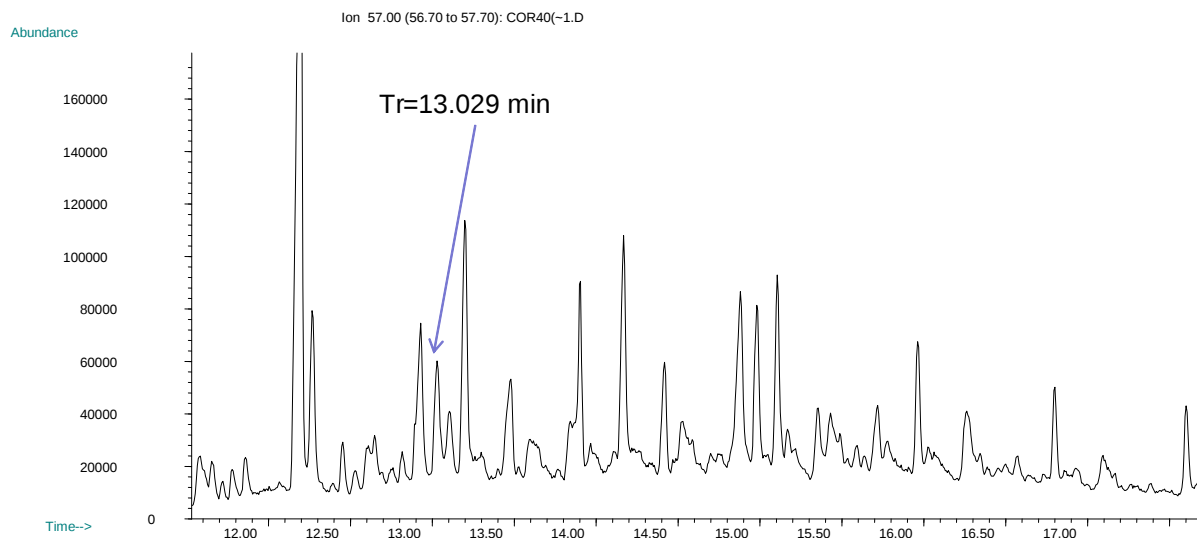


Fig. 30 Cromatograma obtenido con el extracto metanol en la muestra Porción periférica.

Ácidos grasos

En algunas muestras se identificaron ácidos grasos los cuales al igual que los alcanos, son indicadores de la presencia de algas pertenecientes a ambientes marinos y/o lacustres.

❖ Ácido hexadecanoico metil éster (Q=97%)

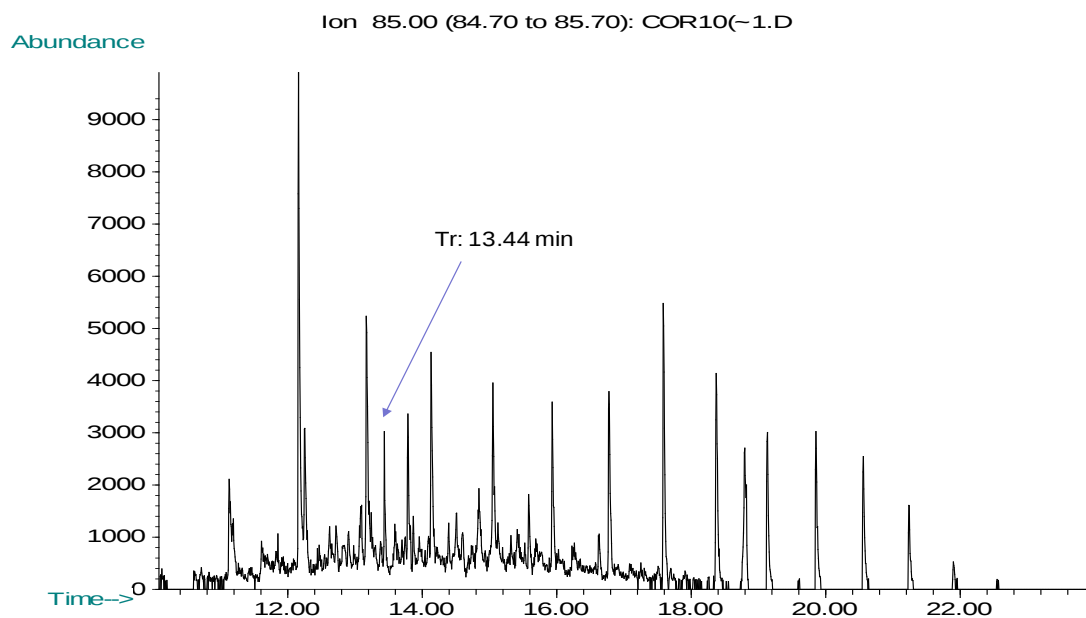


Fig. 31 Cromatograma obtenido con el extracto hexano en la muestra Parte blanca.

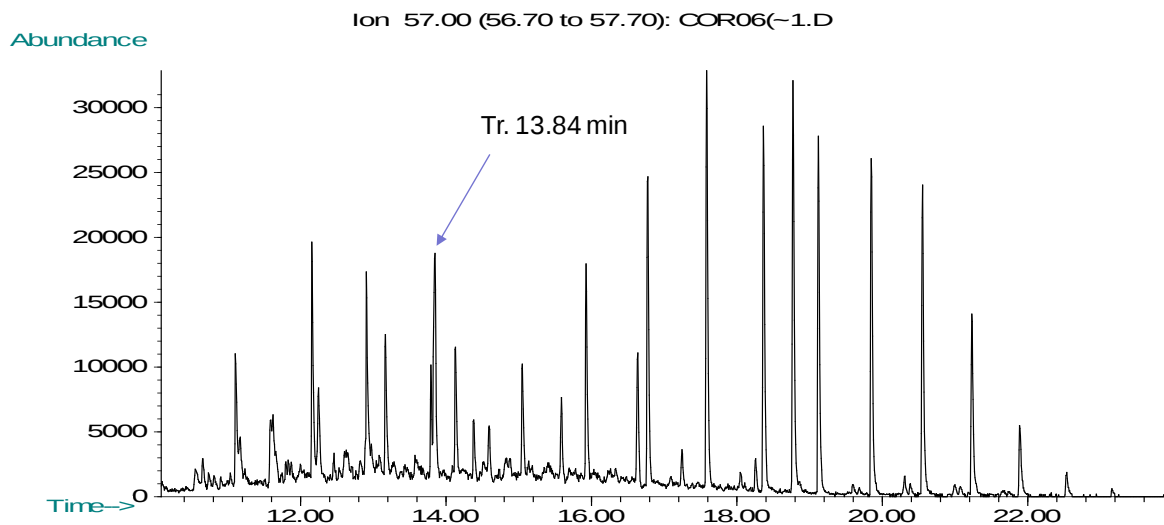
❖ **Ácido 1,2-benzendicarboxílico dibutil éster (Q=94%)**

Fig. 32 Cromatograma obtenido con el extracto AcOEt en la muestra Parte oscura.

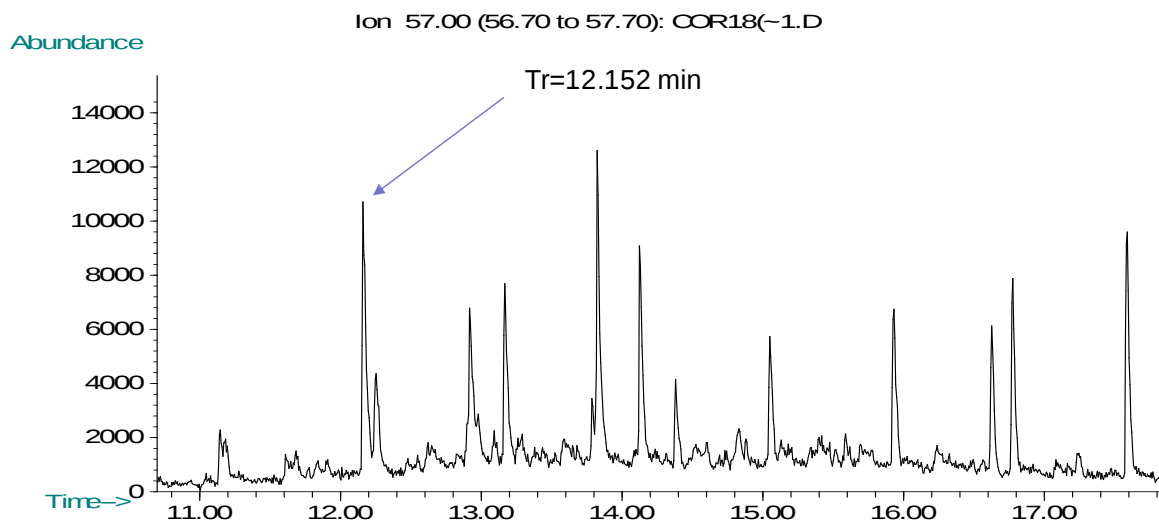
❖ **Ácido nonahexacontanoico (Q=91%)**

Fig. 33 Cromatograma obtenido con el extracto AcOEt en la muestra Porción periférica.

Compuestos a nivel traza

❖ Ácido Giberélico (Gibberellin A3)

En ciertos espectros de masa con la señal m/z 190 correspondiente a este ácido que se identificó en las muestras: Parte blanca, oscura, central y porción periférica extraído con los disolventes tanto de baja como de media a alta polaridad (hexano, cloroformo, acetato de etilo y acetona) con un $Tr= 23.04$ y un porcentaje de correspondencia del ($Q=64\%$) con respecto al compuesto puro de la base de datos *Wiley138* (Fig. 34).

Diterpeno Tetracíclico. Hormona específica de las plantas que realiza varias funciones fundamentales para su desarrollo, entre ellas, la de promover la elongación y crecimiento de las células, germinación, expresión sexual y la floración (Mauseth, 1991; Raven *et al.*, 1992; Salisbury y Ross, 1992; Davies, 1995).

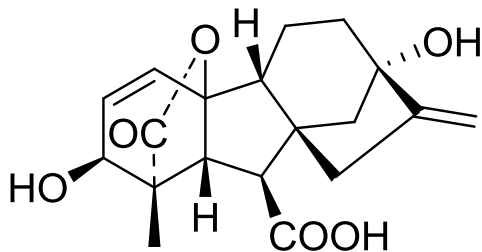


Fig. 34 Estructura molecular del ácido giberélico A3 (Gibberellin A3).

❖ Germacranólidos

También se muestra la presencia de las sesquiterpenlactonas (Fig. 35) en las muestras con el extracto de hexano en la Parte oscura y con el extracto de AcOEt en las muestras de Porción periférica (Fig. 36), son características de ambientes tropicales y subtropicales, de igual manera estas tienen numerosas especies diferentes, generalmente conocidas por sus múltiples efectos farmacológicos, tales como: Acción citóxica, antiinflamatoria, antitumoral, antibacterial, inhibidores del crecimiento de las plantas (Martínez, 2002).

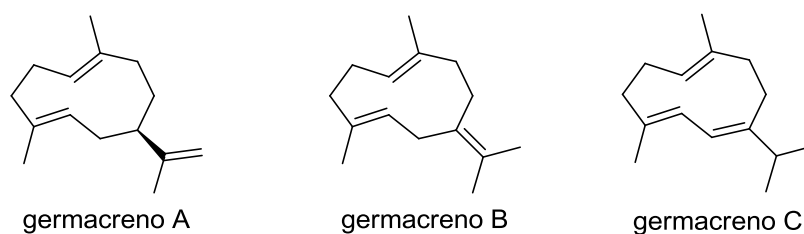


Fig.35 Estructura molecular de los germacranólidos A, B, C.

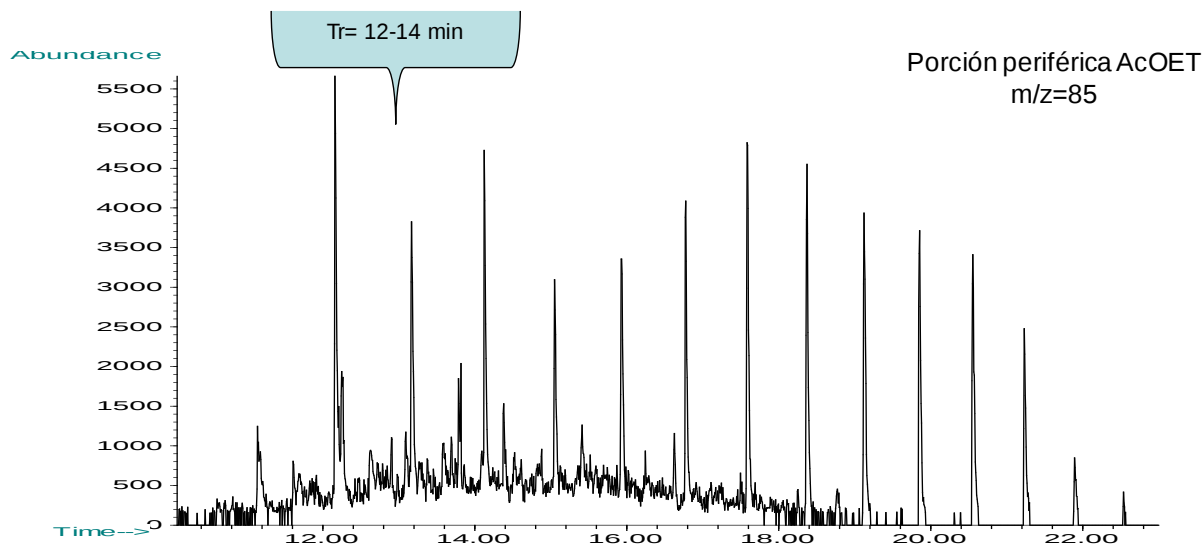


Fig. 36 Cromatograma de la muestra Porción periférica extraída con AcOEt que presenta los germacranólidos A, B, C.

❖ Isochiapin B

Esta sesquiterpenlactona (Fig. 37) se encontró en la mayoría las muestras y fue extraída con los disolventes hexano, cloroformo, acetato de etilo y en acetona como se muestra en la (Fig. 38) con un porcentaje de correspondencia de (Q=76%) (Fig. 39) con respecto al compuesto puro que reporta la base de datos *Wiley138*.

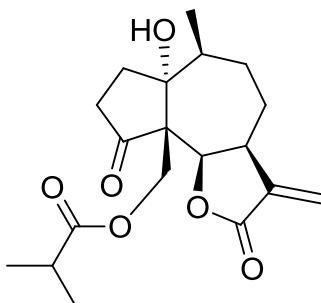


Fig. 37 Estructura molecular del Isochiapin B.

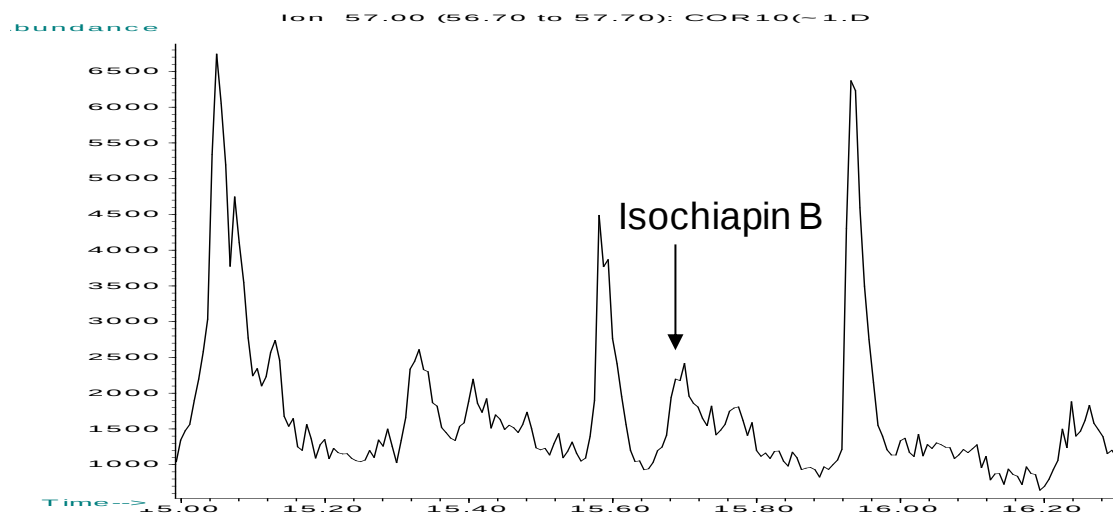


Fig. 38 Cromatograma con la señal representativa del Isochiapin B de la parte central con acetona.

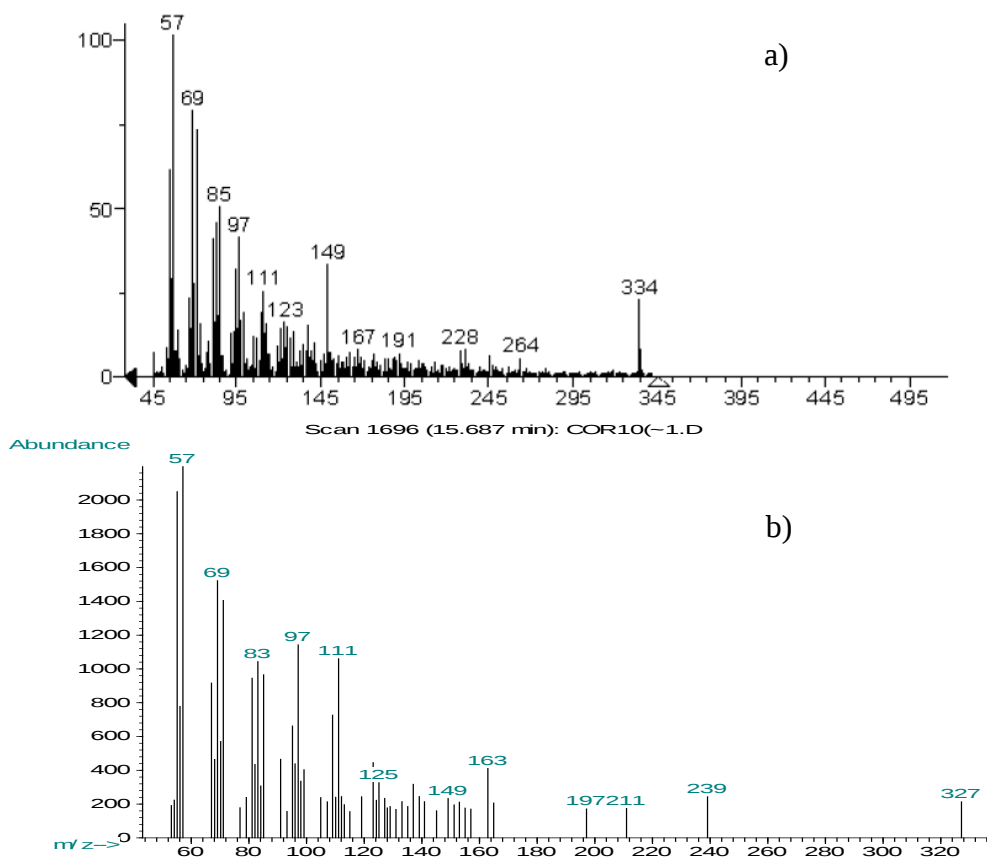


Fig. 39 a) Muestra el espectro de masa del Isochiapin B reportado por la base de datos Wiley, la figura b) muestra el espectro de masa encontrado (Q=76%).

Esta sesquiterpenlactona (Isochiapin B) producida por ambientes de climas tropicales y subtropicales (García-Elizondo, 2009), característica que concuerda con el paleoclima determinado para el género *Javelinoxylon deca* (Estrada-Ruiz y Martínez-Cabrera, 2011), objeto de éste estudio.

❖ Resonancia Magnética Nuclear de ^1H (RMN)

El análisis por resonancia magnética nuclear de ^1H , mostró la presencia en todos los casos de alcanos ramificados (*n*-alcanos) y restos de ácidos grasos, lo cual confirma que estos compuestos predominan en las muestras. En la Fig. 40 se muestra el espectro de RMN ^1H de una muestra representativa, correspondiente al extracto de acetato de etilo de la parte central. En este espectro la señal que aparece cercana a 5.3 ppm corresponde a protones vinílicos de ácidos grasos insaturados, las señales cercanas a 4 ppm son características de protones bases de oxígeno de residuos de glicerol, entre 2 y 2.5 ppm se observan señales típicas de protones cercanos a dobles enlaces y los protones alfa a carbonilo de ácidos grasos, mientras que alrededor de 1.2 ppm se aprecia la señal principal del espectro que corresponde a los metilenos (CH_2) de la cadena alifática de ácidos grasos y en 0.88 ppm se aprecia la señal correspondiente a los metilos terminales. Lo anterior confirma que la muestra contiene principalmente sustancias grasas.



Fig. 40 Espectro de RMN ^1H a 400 MHz en CHCl_3 de la parte central de la muestra correspondiente al extracto de acetato de etilo.

CONCLUSIONES

- El análisis realizado a la bibliografía reveló la existencia de tres afloramientos del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano) que reportan maderas fósiles de Malváceas del género *Javelinoxylon multiporosum* en la localidad tipo (Fm. Javelina, Texas), *Javelinoxylon weberi* en la Fm. Olmos de la Cuenca Carbonífera de Sabinas (Coahuila, México), y *Javelinoxylon deca* en la Fm. San Carlos y que también reportan que estos llegaron alcanzar más de 20 m de altura.
- Se confirman los datos paleoclimáticos relacionados con un ambiente predominantemente tropical a subtropical por la presencia de la sesquiterpenlactona (Isochiapin B).
- Mediante la extracción secuencial termoregulada con disolventes orgánicos (cloroformo, acetato de etilo, acetona, metanol y hexano) realizada en cinco submuestras de la madera fósil en cuestión, se lograron recuperar extractos de bitumen que fueron analizados con la técnica de CG-MS, revelando su composición mediante el software *HpChem* y la base de datos *Wiley138*:
 - ❖ **Compuestos mayoritarios:** alcanos lineales ($n\text{-C}_{17}$ a $n\text{-C}_{30}$), cicloalcanos (C_{14} , C_{15} , C_{16} , C_{20}), isoprenoides acíclicos (Pristano y Fitano), ácidos grasos (ácido hexadecanoico metil éster, ácido 1,2-benzendicarboxílico dibutil éster, ácido nonahexacontanoico).
 - ❖ **Compuestos a nivel traza:** sesquiterpenlactona pseudoguaianolida (Isochiapin B), germacranólidos (A, B, C) y un diterpeno tetracíclico (ácido giberélico A3 - Gibberellin A3).

- Los resultados de la relación Pr/Ph sugieren que durante su sepultamiento existieron condiciones óxicas como anóxicas alternantes con marcada hipersalinidad, debiéndose al efecto de las mareas que transportaron el agua salada hacia los ambientes de transición (fenómeno de inundación mareal). Así mismo la relación de los alcanos alifáticos $n-C_{17}$ y $n-C_{18}$ con la presencia de fitoplancton, algas rojas (*Rhodophyta*) que son confirmadas por la presencia de los cicloalcanos C_{15} , C_{16} , C_{20} y bacterias.
- Para indicar el grado de madurez que presenta la materia orgánica contenida en la muestra de madera fósil se utilizó la relación de Pr y Ph con sus análogos ($Pr/n-C_{17}$ y $Ph/n-C_{18}$), que indicaron que las submuestras analizadas eran tanto inmaduras como maduras, debido a que las relaciones anteriores se comportaron tanto menores como mayores a 1. Con respecto al proceso de fosilización, que permitió su preservación, éste es del tipo permineralizante y específicamente por silicificación.
- La relación $(Pr+n-C_{17}) / (Ph+n-C_{18})$, indicó que la materia presente en los sedimentos es de origen tanto continental, marino-marginal; situación significativa de un ambiente transicional.
- El espectro de RMN de 1H reveló la presencia en todos los casos de alcanos ramificados (n -alcanos) y restos de ácidos grasos saturados e insaturados.
- Finalmente se identificó el diterpeno tetracíclico (ácido giberélico A3), que es una hormona específica de las plantas que realiza varias funciones fundamentales para su desarrollo, entre ellas la de promover la elongación y crecimiento de las células, germinación, expresión sexual y la floración por lo que este árbol correspondió a una planta con flores (angiospermas).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-  Adkins, W. S., 1932. Mesozoic Systems in Texas, *in*: The Geology of Texas. University of Texas Bulletin, n. 3232, p. 240-518.
-  Alexander, R., Kagi, R. y Noble, R. 1983a. Identification of the bicyclic sesquiterpenes, drimane, and eudesmane in petroleum. Journal of the Chemical Society, Chemical Communications, p. 226-228.
-  Allison, P.A., 1988. Taphonomy of the Eocene London Clay biota: Palaeontology, v. 31, p. 1079-1100.
-  Álvarez, E. Y., 2010. Geoquímica de las rocas valanginianas del afloramiento “El Nanthé”, municipio de Tenango de Doria, Hidalgo (México): Implicaciones paleoambientales con base en biomarcadores, Tesis licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, p. 190.
-  Angeles, C. A., 2006. Geoquímica de rocas sedimentarias jurásicas en localidades fosilíferas de la Sierra Madre Oriental (Tenango de Doria – San Bartolo Tutotepec, Hidalgo): Implicaciones paleoambientales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Tesis de Licenciatura, 196 p.
-  Bertrand, C. R., 1997. Métodos Analíticos y Guía de Interpretación en Geoquímica Orgánica aplicados a la Exploración Petrolera. p.16-42.
-  Burrows, H. R., 1909b. Geology of northern Mexico: Mining and Scientific Press, v. 99, n. 9 (whole n. 2562, 28 Aug.), p. 290-294.
-  Burrows, H. R., 1910. Geology of Northern México. Bol. Soc. Geológica Mexicana, v. 7, p. 85-103.
-  Cabrera, F., 1989. Exploración Carbonífera de la Cuenca de Ojinaga, Chihuahua. Informe Técnico, C. F. E. v.45, n.3, 20 p.

-  Davis, P. J., 1995. Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Dordrecht, Kluwer, 319 p.
-  Demaison, G. Bradley, H., 1991. Genetic classification of petroleum system. AAPG Bulletin. v. 75 n. 10. p. 1626-1643.
-  Didyk, B. M., Simoneit, B. R. T., Brassell, S. C. y Eglinton, G., 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. Nature, v. 272, p. 216-222.
-  Durand, B., 1980. Kerogen: insoluble organic matter in sedimentary rocks. Editions Tech, Paris, p. 13-53.
-  Eglinton, G., Scott, P. M., Besky, T., Burlingame, A. L. y Calvin, M., 1964. Hydrocarbons of biological origin from a one-billion-year-old sediment. *Science*, v. 145, p. 263-264.
-  Escobar, M., 2008. Fundamentos de la Geoquímica del Petróleo. XI Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica. ALAGO, Isla de Margarita, Venezuela. p. 1-228.
-  Estrada-Ruiz, E. and Martínez-Cabrera, H.I., 2011. A new late Cretaceous (Coniacian – Maastrichtian) Javelinoxylon wood from Chihuahua, Mexico. *IAWA Journal*, v. 32, n. 4, p. 521-530.
-  Estrada-Ruiz, E. Martínez-Cabrera, H.I. Callejas-Moreno, J. and Upchurch, G.R., 2013. Floras tropicales Cretácicas del Norte de México y su relación con floras del Centro-Sur de América del Norte. *Polibotánica*, n. 36, p. 41-61.
-  Estrada-Ruiz, E. Upchurch, G.R. and Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2008. Flora and climate of the Olmos Formation (Upper Campanian – Lower Maastrichtian). Coahuila, Mexico: A preliminary Report.

-  Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. and Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2007. Fossil woods from the Late Campanian – Early Maastrichtian Olmos Formation, Coahuila, Mexico. *Review of Paleobotany & Palynology*, v. 145, p. 123-133.
-  Estrada-Ruiz, E., Martínez-Cabrera, H.I. and Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2010. Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (Late Campanian – Early Maastrichtian) Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany*, v. 97, n. 7, p. 1179-1194.
-  Fabianska, M., 2011. Geochemical characteristics of organic matter preserved in silicified wood of variable age. 25th International Meeting on Organic Geochemistry, p. 182.
-  Flores, K., Esquivel, C., Paz, F., Piedad, N., Monreal, R., Estrada, E., 2013. Geología y geoquímica de los sedimentos del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno en el Estado de Chihuahua (México). *Academia Journal*, v. 5, n. 3, p. 4247-4250.
-  Fengel, D., 1991. Aging and fossilization of wood and its components. *Wood Sci. Technol.* v. 25, p. 153-177.
-  Flores-Castro, K., Montaña, S., González, Y., Estrada-Ruiz, E., Esquivel, C., Torres-Valencia, J.M., Carrillo, E., Derma, J., Angeles-Cruz, 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 (México). *Actas INAGEQ*, v.17, n. 1, p. 49-53.
-  Fuentes-Pacheco, F. 2004. Cursos cortos para estudiantes. 9º Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica. Mérida, Yucatán, México.
-  García-Elizondo, D. L., Verde-Star, M. J., Oranday, A., Rivas, C., Elizalde-Herrera, L. E., 2009. A sesquiterpenlactone pseudoguaianolide type from *Piper berlandieri* L. (Piperaceae). *Revista de Salud Pública Nutrición*, v.10, n. 1.

-  Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J. y Oro, J., 1970. Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. *Phytochem*, v. 9, pp. 603-612.
-  Greenwood, D.R., 1992. Taphonomic constraints on foliar physiognomic interpretations of Late Cretaceous and Tertiary palaeoclimates. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 71, p. 149-190.
-  Greenwood, D.R., 1991. The taphonomy of plants macrofossils, *in*: S.K., Donovan (ed.). *The processes of fossilization*: Londres, Belhaven Press, p. 141-169.
-  Harris, D. C., 2006. Análisis Químico Cuantitativo. *Reverté (Ed)*. 924 p.
-  Hallberg, R., 1976. A geochemical method for investigation of paleoredox conditions in sediments. *Ambio Spec report*. v. 4. p. 139-147.
-  Hedges, J. I., Keil, R. G., 1995. Sedimentary organic matter preservation, assessment and speculative. *Marine Chemistry*, v. 492-493, p. 81-115.
-  Hunt, J. M., 1996. *Petroleum Geochemistry and Geology*. Freeman Publisher, 2nd Edition, p. 743.
-  Mc Bride, E. F., Caffey, K. C., 1979. Geologic Report on Upper Cretaceous Coal-Bearing Rocks, Río Escondido Basin, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo XL, n. 1 y 2. P. 21- 47.
-  Mantel, A. A., 1966. Historical foundations of chemical geology and geochemistry: *Chem. Geol.*, v. 1, p. 5-31.
-  Martin, R.E., 1999. *Taphonomy: A process approach*: Cambridge, Cambridge University Press, *Paleobiology Series* 4, p. 27-152 y 186-227.
-  Martinez, A., 2002. Sesquiterpenlactona. *Universidad de Antioquia, Medellin* .p 1-19.

-  Marynowsky, L., Otto, A., Zaton, M., Phillippe, M., Simoneit, B.R.T., 2007. Biomolecules preserved in ca. 168 million years old fossil conifer wood. *Naturwissenschaften*, v. 24, p. 228-236.

-  Maxwell, R. A., Dietrich, J. W., 1965. *Geology of the Big Bend National Park, Brewster Country, Texas*: The University of Texas, Austin.

-  Mauseth, J. D., 1991. *Botany: An Introduction to Plant Biology*, Philadelphia, Saunders. p. 348-415.

-  Mendoza, D., Flores, K., Estrada, E., Durán, J. C., Torres, J. M. y Esquivel, 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, n. 1, p. 77-81.

-  Montañó, L. S., Flores, K., González, Y., Durán, J. C., Torres, J. M., Esquivel, C. y 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, n. 1, p. 30-36.

-  Montañó, L. S., 2013. *Geoquímica orgánica de las rocas siliciclásticas del Cretácico Superior de la Sierra Cuesta El Infierno (municipio de Aldama, Chihuahua), mediante la interpretación de Biomarcadores*. Tesis licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 122 p.

-  Nakanishi, K., T. Goto, S. Ito, S. Natori, S. Nozoe., 1974. *Natural Products Chemistry*. v. 1. New York: Academic Press. p. 562.

-  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. 98 p. y anexos.

- 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.
- Raiswell, R., 1976. The Growth of Cambrian and Liassic concretions: Sedimentology, v. 17, p. 147-171.
- Raven, P. H., 1992. Biology of Plants. Worth, New York. 545-572.
- Scheffler, K. 2004. Reconstruction of sedimentary environment and climate conditions by multigeochemical investigations of Late Paleozoic glacial to post glacial sedimentary sequences from SW-Gondwana, 212 p.
- Saliot, A., 1981. Natural hydrocarbons in sea water. En: Dursma E. K. & Dawson R. (Eds.) Organic Chemistry. Elsevier, Amsterdam, 374 p.
- Salisbury, F. D. y Ross C. W., 1992. Plant Physiology. Belmont, C. A. Wadsworth. p. 357-407.
- Schomburg, G., 1990. Gas cromatography. VCH, Weinheim, Germany. 320 p.
- Schopf, J.M., 1975. Modes of fossil preservation: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 20, p. 27-53.
- Scott, A.C., 1990. Anatomical preservation of plants, en Briggs, D.E.G., Crowther, P.R. (Eds.), Palaeobiology: A synthesis: Oxford, Blackwell Scientific, p. 266-270.
- Seifert, W. K., Moldowan, J. M., Smith, G. W. y Whitehead, E. V., 1978. First proof of a C₂₈-pentacyclic triterpane in petroleum. *Nature*, v. 271, p. 436-437.
- Seifert, W. K., Moldowan, J. M., 1980. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochemistry. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 12, p. 229-237.
- Serrano-Brañas, C. I., Reyes-Luna, P. C., 2014 Paleobotánica forense: Una aproximación a la tafonomía de plantas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 66, n.1, p. 25-39.

-  Speers. G.C., Whithehead. E.V., 1969. Crude petroleum, in Elington G., Murphy, M.T.J., and Organic Geochemistry: Methods and Results: Berlin, Springer-Verlag, p. 638-702.
-  Stephenson, L. W., 1922. Some Upper Cretaceous Shells of the Rudistid Group from Tamaulipas, Mexico. Proc. U. S. Nat. Hist. Mus., v. 61, Art. 1, n. 2422.
-  Tissot, B. y Welte, D. H., 1984. Petroleum formation and occurrence. 2da edición, Springer Verlag, 699 p.
-  Treibs, A., 1936. Chlorophyll-und Häminderivate in organischen Mineralstoffen. Angewandte Chemie, v. 49, n. 38, p. 682-686.
-  Van Bergen P.F., Collinson M.E., Briggs D.E.G., de Leeuw J.W., Scott A.C., Evershed R.P. and Finch P., 1995. Resistant biomacromolecules in the fossil record. Acta Bot. Neerl. 44, p.319-342.
-  Vaughan, T. W., 1900. Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas. U.S. Geol. Survey Bull. v. 164, p. 73-88.
-  Vivar, G., 1925. Informe preliminar sobre el estudio geológico petrolero de la región de Ojinaga, Estado de Chihuahua: Desp. de Exploraciones y Estudios Geológicos. Folletos de Divulgación, n. 16. p. 3-12.
-  Villanueva-Amadoz, U. Calvillo-Candell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S., 2014. Síntesis de los trabajos paleobotánicos del Cretácico en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 66, n.1, p. 97-121.
-  Volkman, J. K. 1999. Organic geochemistry. In Enciclopedia of Geochemistry. Marshal, C. P. and Fairbridge, R. W. (Eds). Kluwer academic publishers. 712 p.
-  Wheeler, E.A., Lehman, T. and Gasson, P.E., 1994. *Javelinoxylon*, an Upper Cretaceous dicotyledonous tree from Big Bend National Park, Texas, with presumed Malvacean affinities. American Journal of Botany, v. 81, p. 703-710.

RECOMENDACIONES

- Pasar los extractos por una columna cromatográfica polar, dado que los compuestos polares no pudieron ser identificados y que seguramente enriquecerían con toda seguridad este trabajo, en el caso de haberse preservado.
- Se sugiere iniciar con el disolvente menos polar, en este caso hexano u otro no polar que garantice una mejor separación de los alcanos cuya concentración es muy alta.
- Se recomienda probar la mezcla de disolventes, y a diferentes proporciones para ser más específicos con la separación de grupos funcionales.
- También llevar a cabo experimentos con otras técnicas de separación (HPLC, RMN, Pirólisis, Soxhlet, capa fina, etc.) para ver que compuestos son recuperables y cuáles no con respecto a la separación con reflujo termoregulado.
- Extraer y caracterizar los compuestos orgánicos preservados en las otras dos localidades con maderas fósiles del género *Javelinoxylon*, reportadas por la bibliografía, y así poder comparar los sus respectivos cromatogramas de gases-masa y con ello encontrar diferencias y similitudes biogeoquímicas.
- Una vez caracterizados los alcanos en los extractos, se sugiere retirarlos mediante la técnica de separación en fase sólida, dada su abundancia que enmascara los compuestos menores y a nivel de traza (limpieza de extractos).

GLOSARIO

-  **Aerobio:** Se dice de un organismo que para desarrollarse necesita oxígeno libre.

-  **Afloramiento:** parte de un terreno que se encuentra en la superficie de la tierra.

-  **Anaerobio:** Se dice de un organismo que puede desarrollarse en ausencia de oxígeno libre.

-  **Angiospermas:** Flores o plantas superiores terrestres que se originaron durante el Cretácico Temprano. Las semillas están contenidas en un ovario descubierto.

-  **Arenisca:** Roca sedimentaria, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Después de la lutita es la roca sedimentaria más abundante.

-  **Autóctono:** Formado en el lugar en que se encuentra.

-  **Anóxico:** Que se encuentra en ausencia de oxígeno libre utilizable para los seres vivos. La anoxia de un medio marino se explica generalmente por un estancamiento de las aguas; la materia orgánica fermenta en condiciones anaerobias y puede acumularse en los sedimentos.

-  **Biodegradación:** Resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos.

-  **Bitumen:** porción de materia orgánica que es posible extraer directamente de algunos sedimentos por medio de solventes orgánicos.

-  **Cianobacterias:** Son un filo del dominio Bacteria que comprende las bacterias capaces de realizar fotosíntesis oxigénica y, en algún sentido, a sus descendientes por endosimbiosis, los plastos. Son los únicos procariotas que llevan a cabo ese tipo de fotosíntesis, por ello también se les denomina oxifotobacterias.

- **Cicloalcanos:** Son hidrocarburos saturados, cuyo esqueleto es formado únicamente por átomos de carbono unidos entre ellos con enlaces simples en forma de anillo. Su fórmula genérica es C_nH_{2n} . Por fórmula son isómeros de los alquenos. También existen compuestos que contienen varios anillos, los compuestos policíclicos.
- **Concreción:** Acumulación en el seno de una roca de sustancias transportadas en disolución por el agua que posteriormente se endurecen.
- **Delta:** Desembocadura de un río en el mar o en un lago, generalmente dividida en varios brazos, donde se acumulan sus sedimentos (aluviones) en una zona aproximadamente triangular.
- **Fitoplancton:** En biología marina y limnología se llama fitoplancton al conjunto de los organismos acuáticos autótrofos del plancton, que tienen capacidad fotosintética y que viven dispersos en el agua.
- **Fluvial:** Se utiliza en la geografía y en ciencias de la Tierra para referirse a los procesos asociados a los ríos y arroyos, y a los depósitos y relieves creados por ellos. Cuando los flujos o ríos están asociados a los glaciares, el término que se utiliza es glaciofluviales o fluvioglaciares.
- **Fósiles:** fósiles de organismos que han sufrido cambios evolutivos rápidos e irreversibles, que son abundantes y que poseen características particulares.
- **Hidrocarburos:** Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.
- **Intemperismo:** Acción combinada de procesos (climáticos, biológicos, etc.) mediante los cuales la roca es descompuesta y desintegrada por la exposición continua a los agentes atmosféricos, transformando a las rocas masivas y duras en un manto residual finamente fragmentado; preparando a los materiales rocosos para ser

transportados por los agentes de la erosión terrestre (agua corriente, hielo glaciar, olas y viento), y también son acarreados por la influencia de la gravedad para acumularse en otros lugares.

 **Isótopo:** Átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y por lo tanto, difieren en masa atómica. La mayoría de los elementos químicos así como esta poseen más de un isótopo.

 **Lacustre:** Medio sedimentario propio de los lagos.

 **Litoestratigrafía:** Estratigrafía basada únicamente en las diferencias de naturaleza litológica entre las capas, independientemente de su contenido en fósiles.

 **Litología:** Naturaleza de las rocas de una formación geológica; parte de la geología que estudia a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante.

 **Lutita:** Roca sedimentaria detrítica cuyos componentes tienen un diámetro inferior a 62 μm .

 **Oligomíctico:** Hace referencia a rocas detríticas con clastos del mismo tipo de roca.

 **Óxico:** Que se encuentra en presencia de oxígeno libre utilizable para los seres vivos.

 **Polimíctico:** Roca detrítica constituida por fragmentos de diversos tipos de rocas.

- **Porfirinas:** Grupo prostético de las cromoproteínas porfirínicas. Están compuestas por un anillo tetrapirrólico con sustituyentes laterales y un átomo metálico en el centro, unido mediante cuatro enlaces de coordinación.
- **Sedimento:** Conjunto constituido por la reunión de partículas mas o menos gruesas o de materias precipitadas, que han sufrido, separadamente cierto transporte.
- **Soterramiento:** Es debajo de la tierra
- **Rocas metamórficas:** Rocas formadas sin fusión a partir de rocas pre-existentes, esencialmente por recristalizaciones debidas a un aumento de temperatura y presión.
- **Rocas siliciclásticas:** Son las rocas que se generan por procesos de erosión, transporte y depositación. Posteriormente tras su enterramiento sufren una serie de procesos diagenéticos, dando lugar a la litificación y la porosidad por lo general se ve reducida.
- **Zooplankton:** Fracción del plancton constituida por seres que se alimentan, por ingestión, de materia orgánica ya elaborada. Está constituido por protozoos, es decir, protistas diversos, fagótrofos que engloban el alimento fagocitándolo.

ABREVIATURAS

- **AcOEt:** Acetato de etilo
- **Art.:** Artículo
- **CHCl₃:** Cloroformo
- **CG-Ms:** Cromatografía de gases acoplada a Espectrometría de masa
- **cm:** Centímetro
- **Ed.:** Editorial
- ***Et al.:*** Expresión latina *et alii*, que significa 'y otros'
- **EUA:** Estados Unidos de América
- **Fm:** Formación Litológica
- **g:** Gramos
- **INAGEQ:** Instituto Nacional de Geoquímica
- **km:** Kilómetro
- **km²:** Kilómetros Cuadrados
- **m:** Metro
- **MeOH:** Metanol
- **MHz:** Mega Hertz
- **min:** Minutos
- **ml:** Mililitros
- **mm:** Milímetros
- **MO:** Materia Orgánica
- **MOS:** Materia Orgánica Sedimentaria

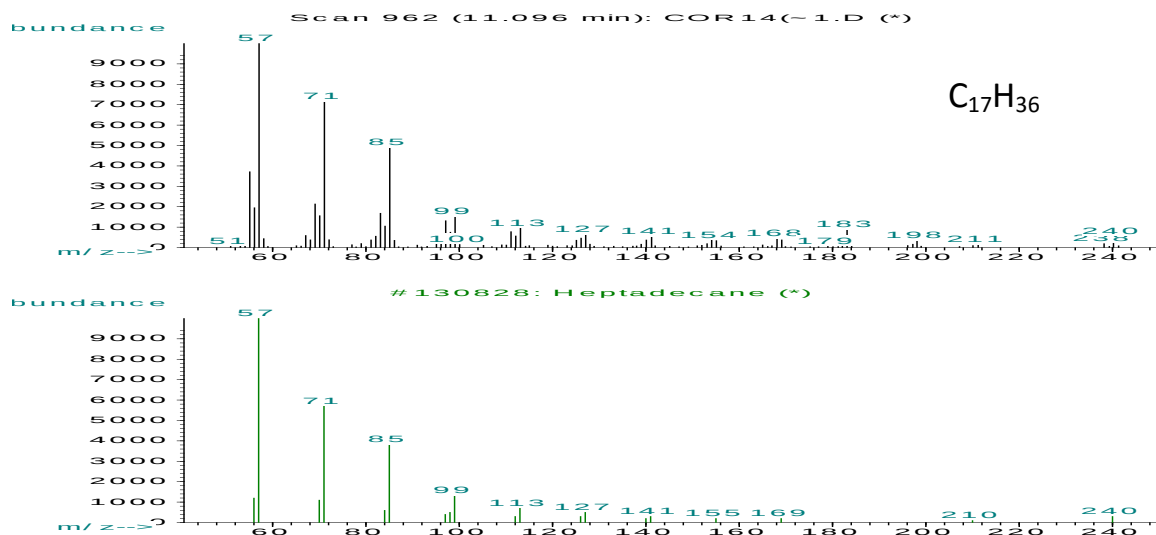
- **m.a.:** Millones de Años
- **m/z.** Relación masa/carga.
- **N:** Norte
- **n:** Número de Publicación
- **NE:** Noreste
- **NE-SW:** Noreste-Suroeste
- **NNW-SE:** Nornoroeste-Sureste
- **No.:** Número
- **p:** Página
- **PEMEX:** Petróleos Mexicanos
- **Ph:** Fitano (2,6,10,14-tetrametil hexadecano)
- **Pr:** Pristano (2,6,10,14-tetrametil pentadecano)
- **RMN:** Resonancia Magnética Nuclear
- **s.l.:** sensu lato
- **SE:** Sureste
- **v.:** Volumen de Publicación
- **°C:** Grados Celsius

Anexos I

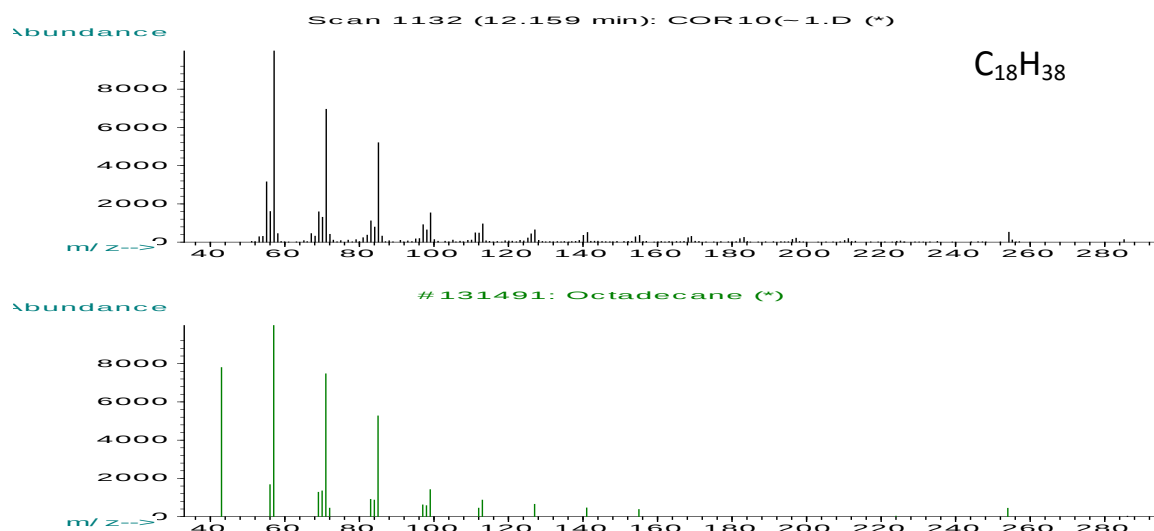
Espectrometría de masas de los compuestos identificados.

A continuación se muestran los espectros de masa de algunos compuestos identificados mediante cromatografía de gases. En la parte superior se muestra el espectro del compuesto y la parte inferior el espectro proporcionado por la base de datos, con un nivel de confianza del 99% mínimo.

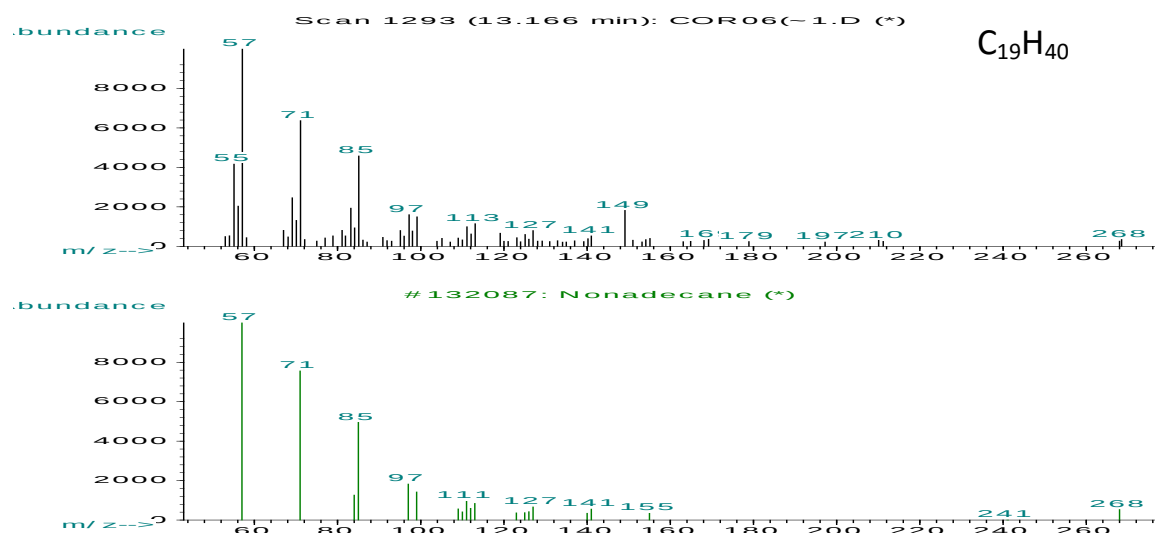
Espectro de masa del heptadecano (Parte blanca, cloroformmo)



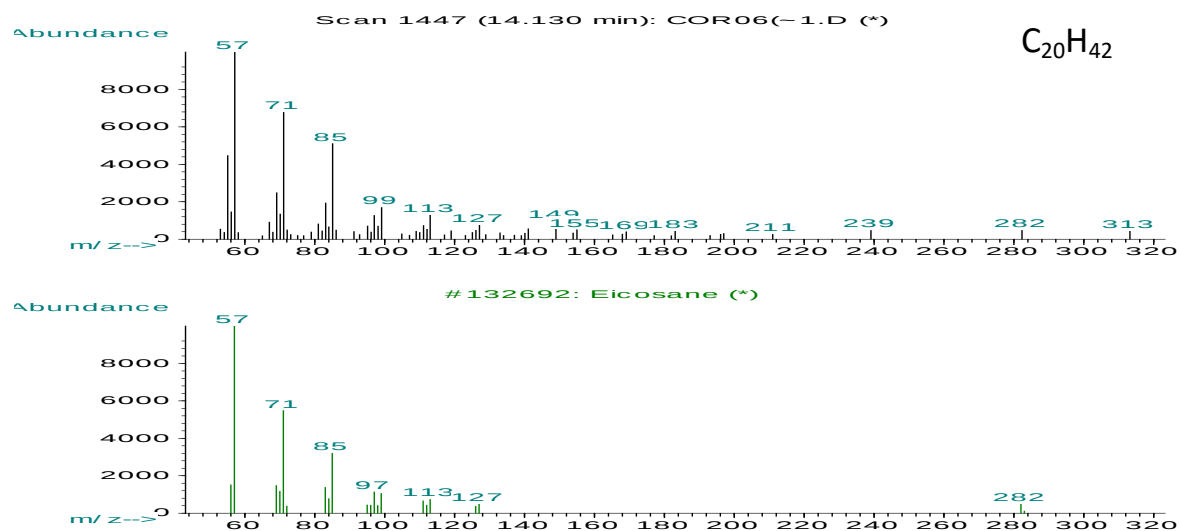
Espectro de masa del octadecano (Parte oscura, acetona)

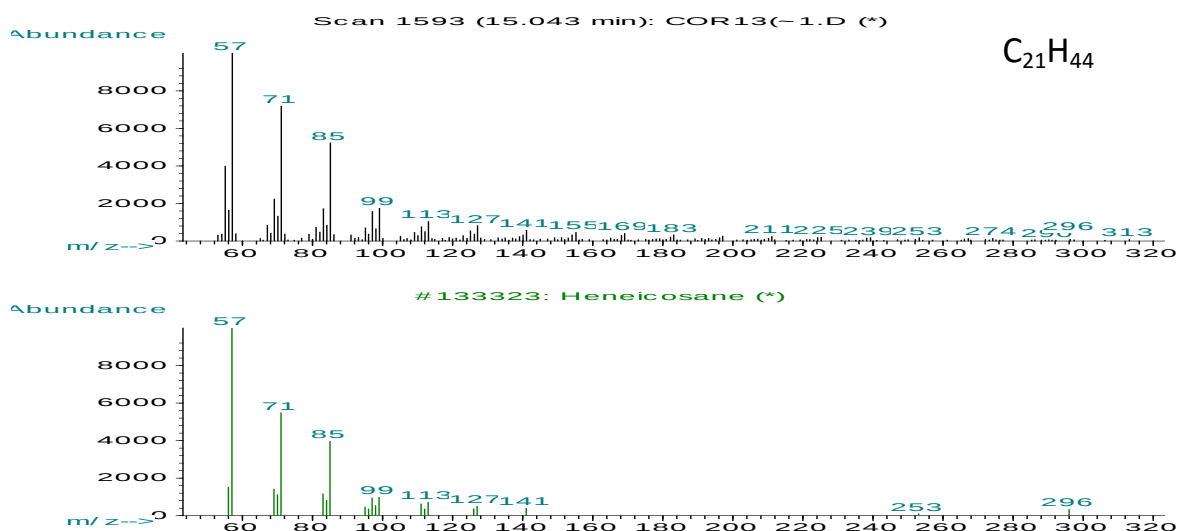
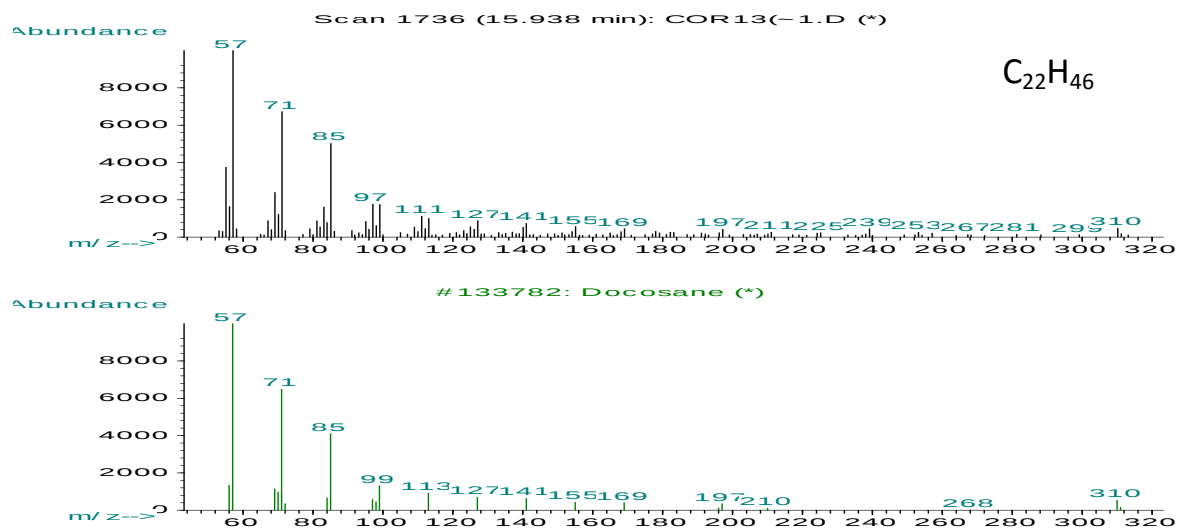


Espectro de masa del nonadecano (Parte blanca, acetato de etilo)

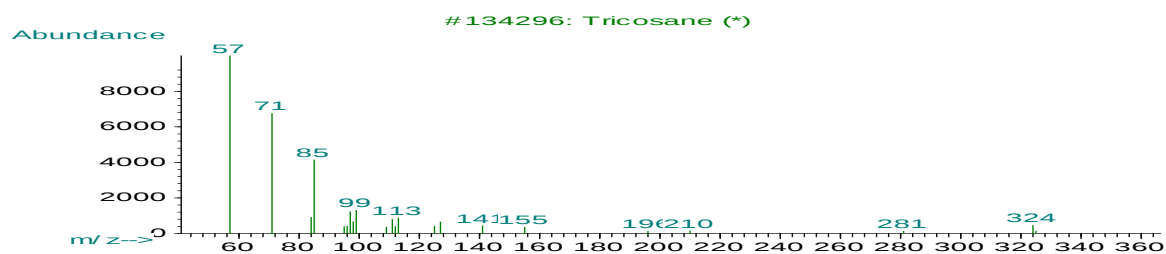
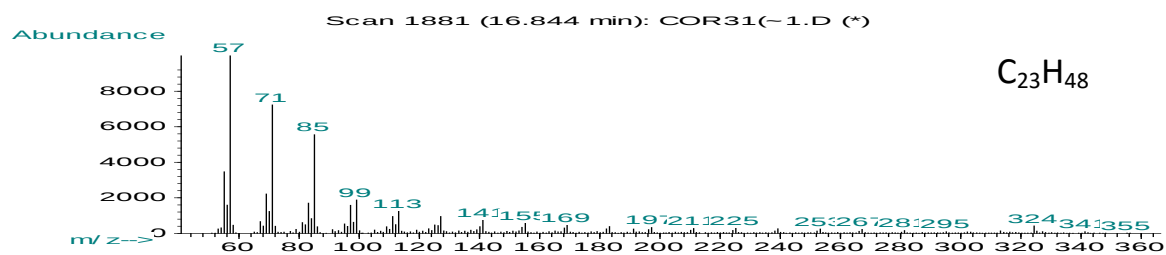


Espectro de masa del eicosano (Parte blanca, acetato de etilo)

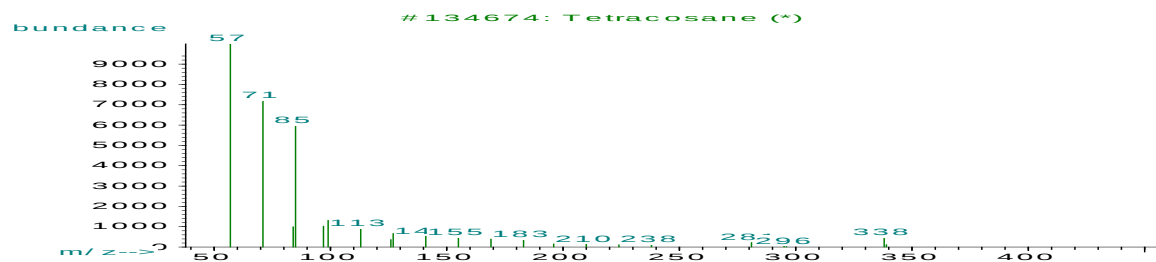
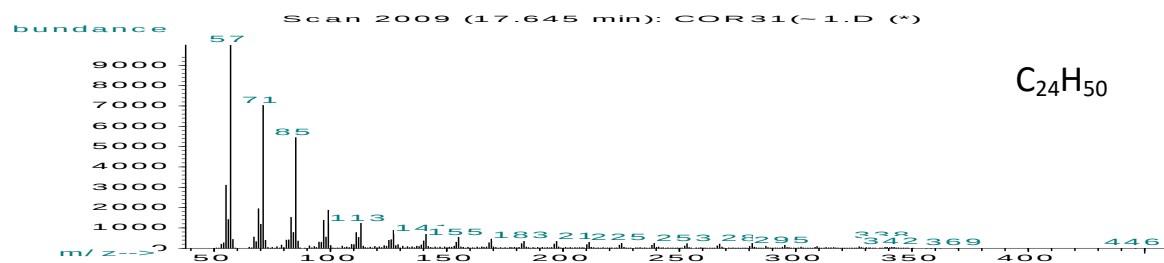


Espectro de masa del heneicosano (Parte oscura, hexano)**Espectro de masa del docosano (Parte oscura, hexano)**

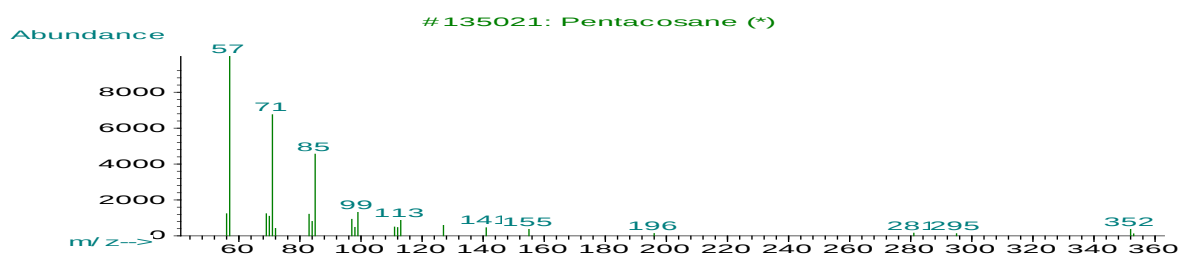
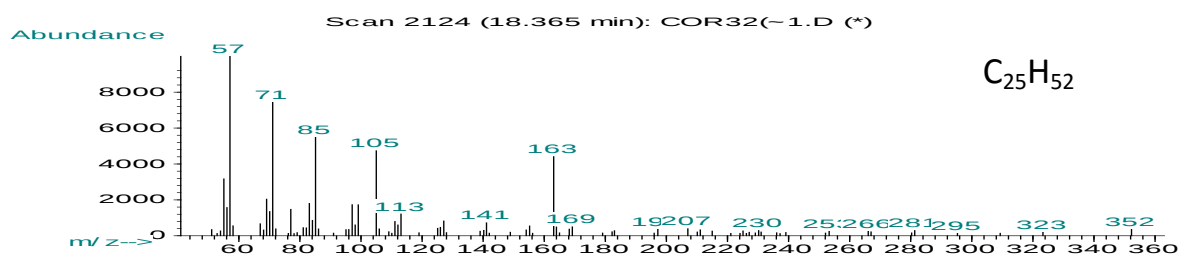
Espectro de masa del tricosano (Parte central, hexano)



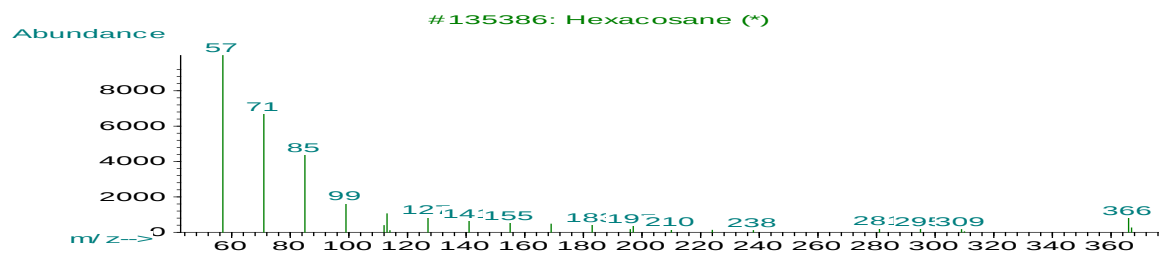
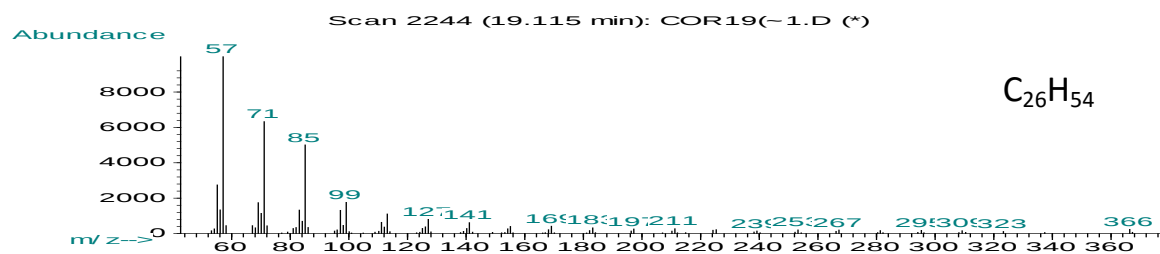
Espectro de masa del tetracosano (Parte central, hexano)



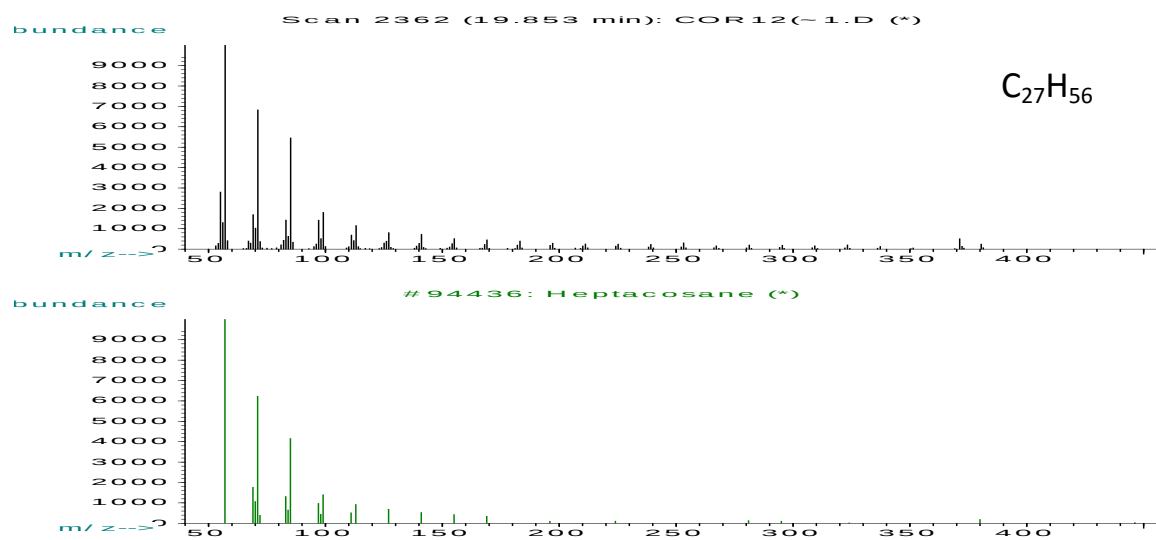
Espectro de masa del pentacosano (Parte central, cloroformo)



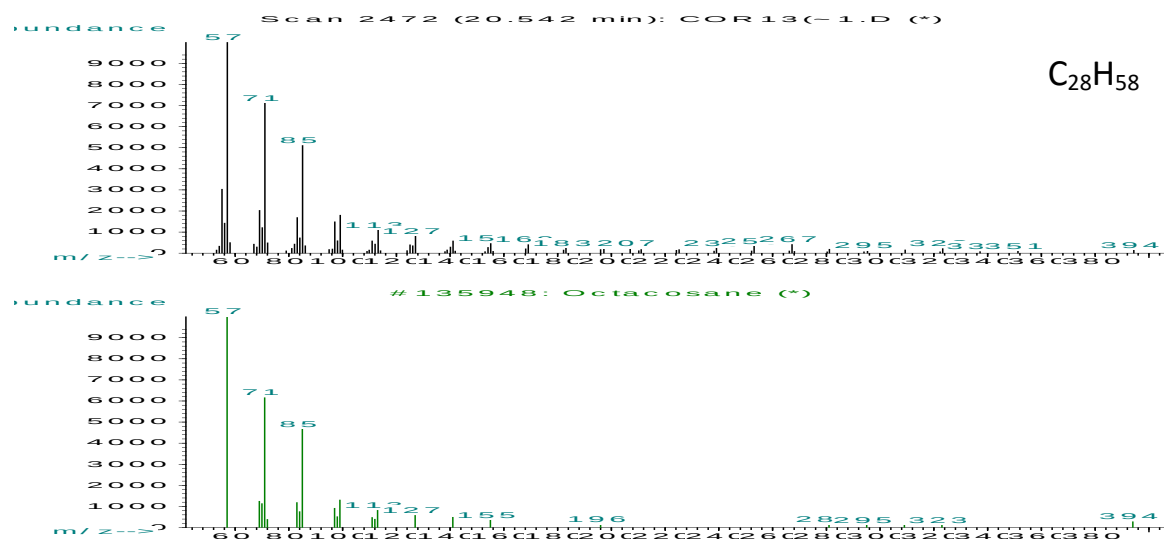
Espectro de masa del hexacosano (Parte oscura, cloroformo)



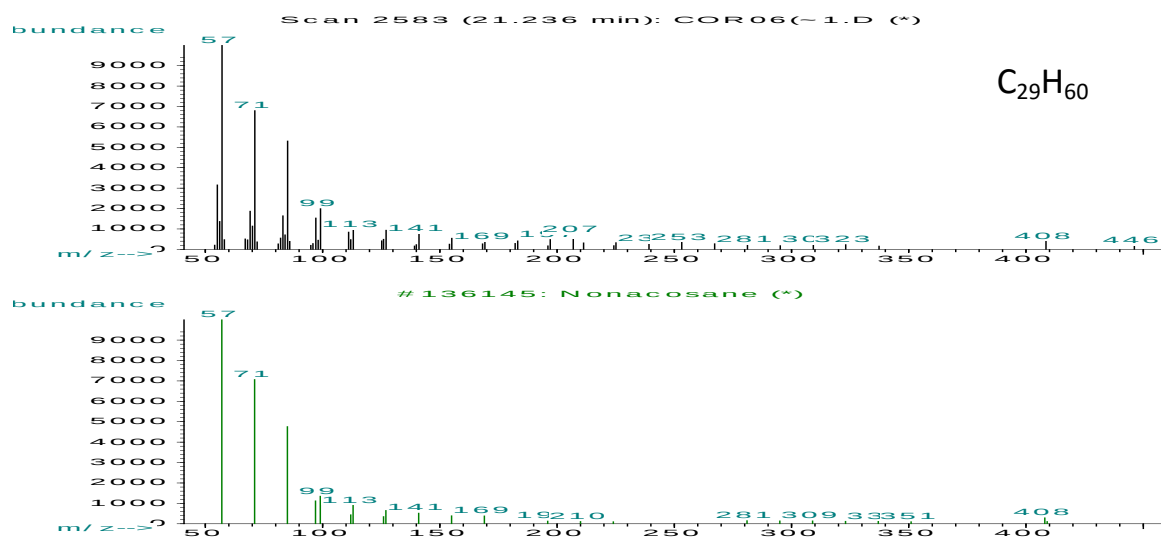
Espectro de masa del heptacosano (Parte central, acetato de etilo)



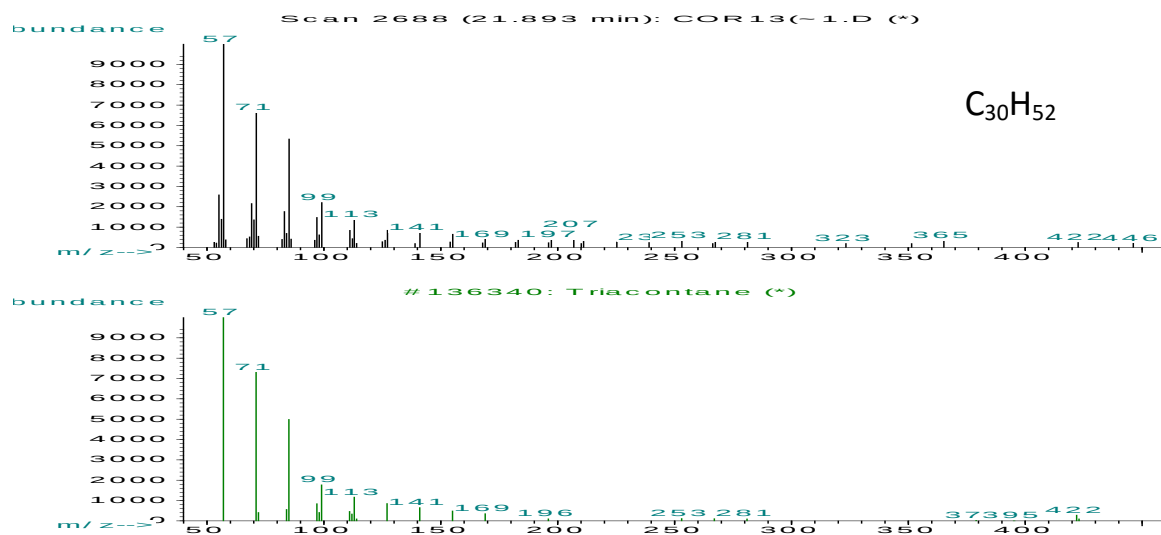
Espectro de masa del octacosano (Parte oscura, hexano)



Espectro de masa del nonacosano (parte blanca, acetato de etilo)



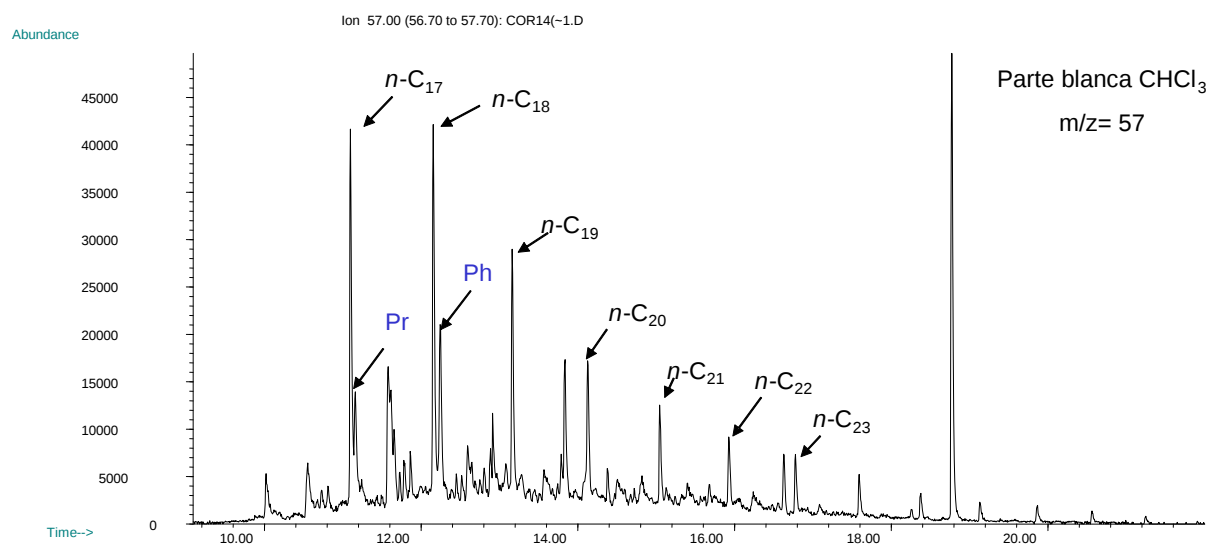
Espectro de masa del triacontano (parte oscura, hexano)



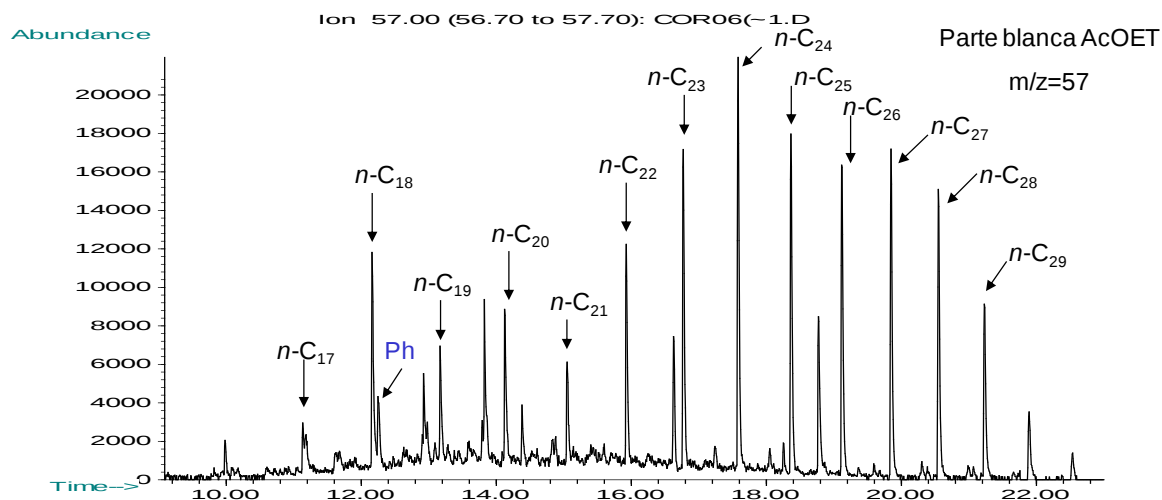
Anexos II

Cromatogramas obtenidos con la presencia de Pr y Ph.

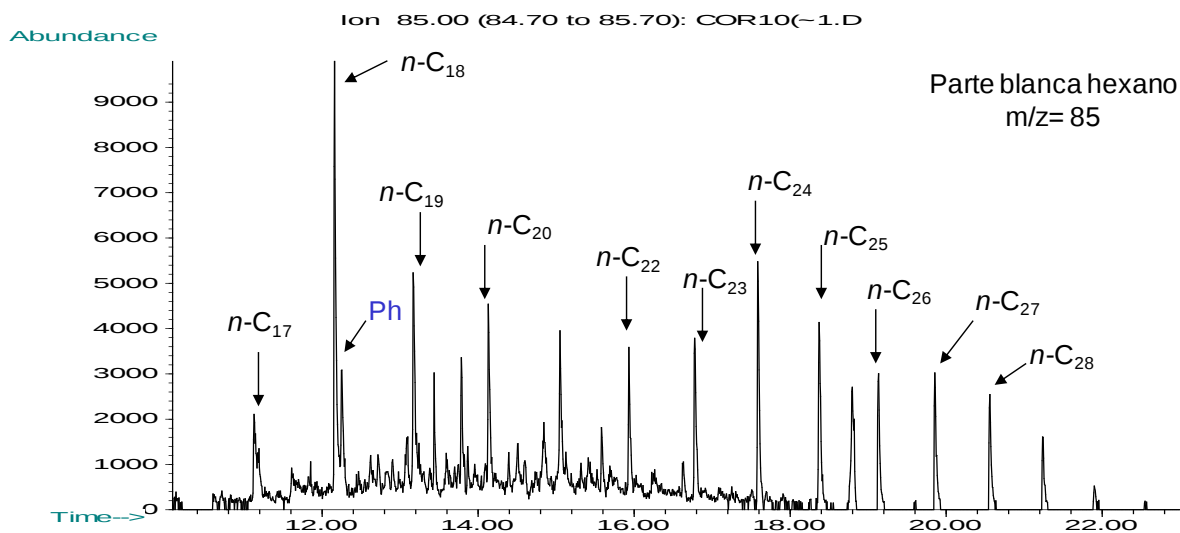
Cromatogramas obtenidos de la Parte blanca con la presencia de Pr y Ph.



Cromatograma de gases de la muestra (parte blanca) obtenido con el extracto CHCl_3 .

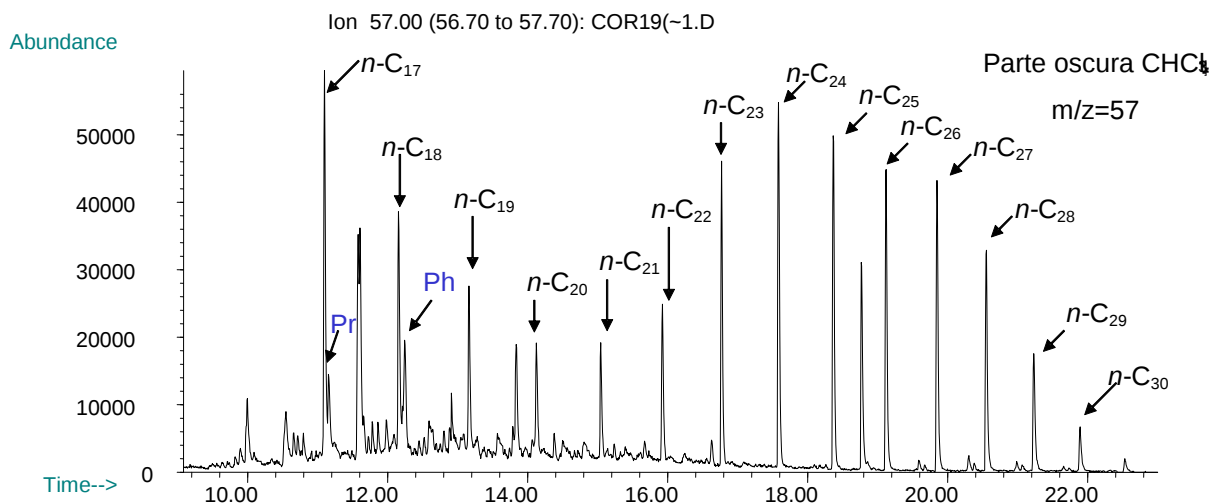


Cromatograma de gases de la muestra (parte blanca) obtenido con el extracto AcOEt .

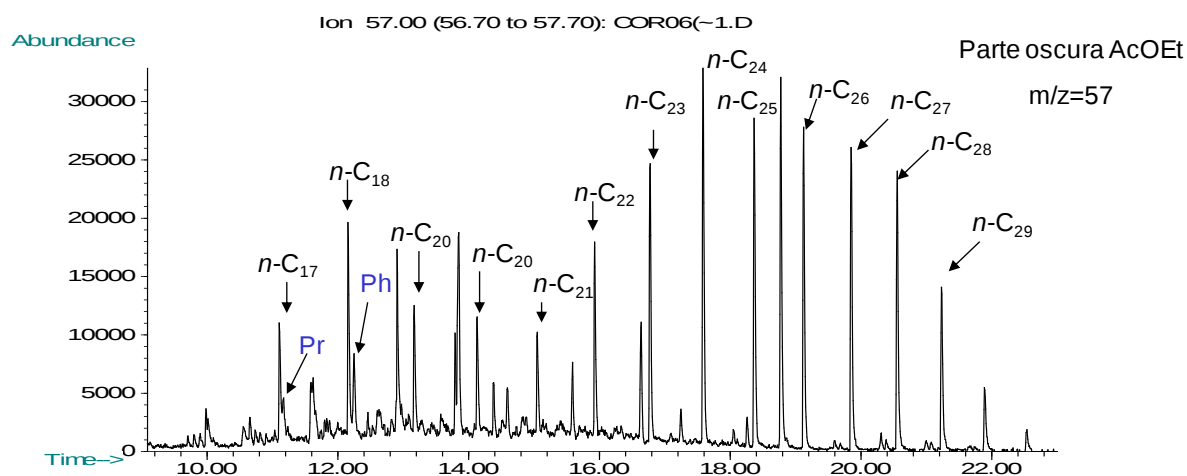


Cromatograma de gases de la muestra (parte blanca) obtenido con el extracto hexano.

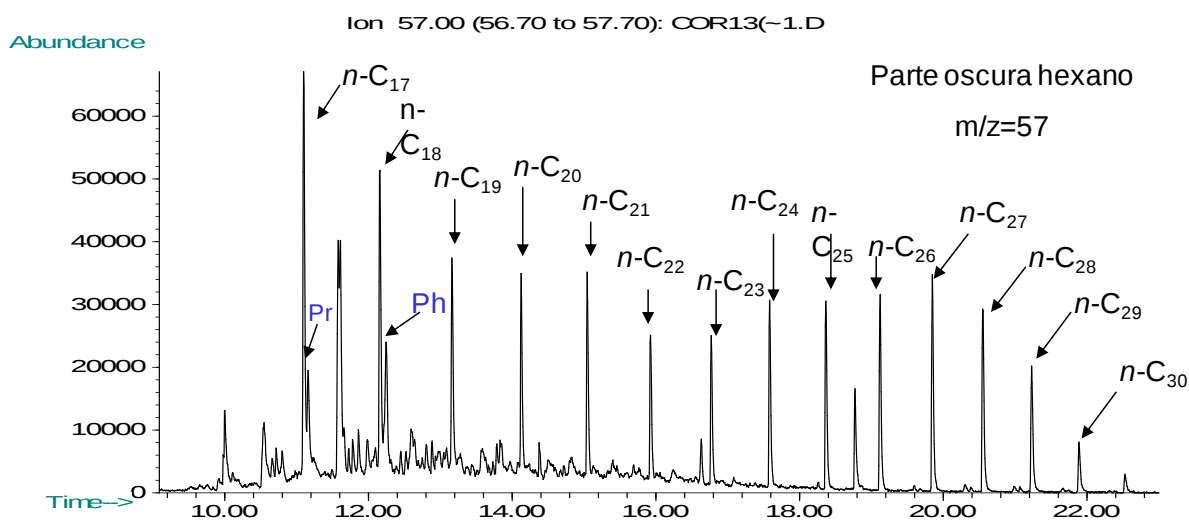
 Cromatogramas obtenidos de la Parte oscura con la presencia de Pr y Ph.



Cromatograma de gases de la muestra (parte oscura) obtenido con el extracto CHCl_3 .

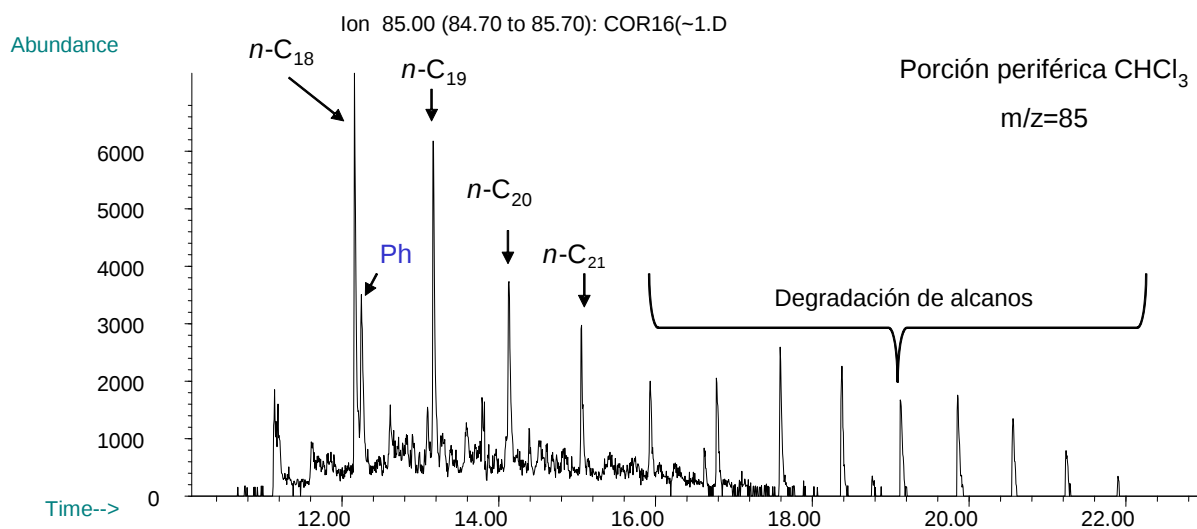


Cromatograma de gases de la muestra (parte oscura) obtenido con el extracto AcOEt.



Cromatograma de gases de la muestra (parte oscura) obtenido con el extracto hexano.

 Cromatogramas obtenidos de la Porción periférica con la presencia de Pr y Ph.

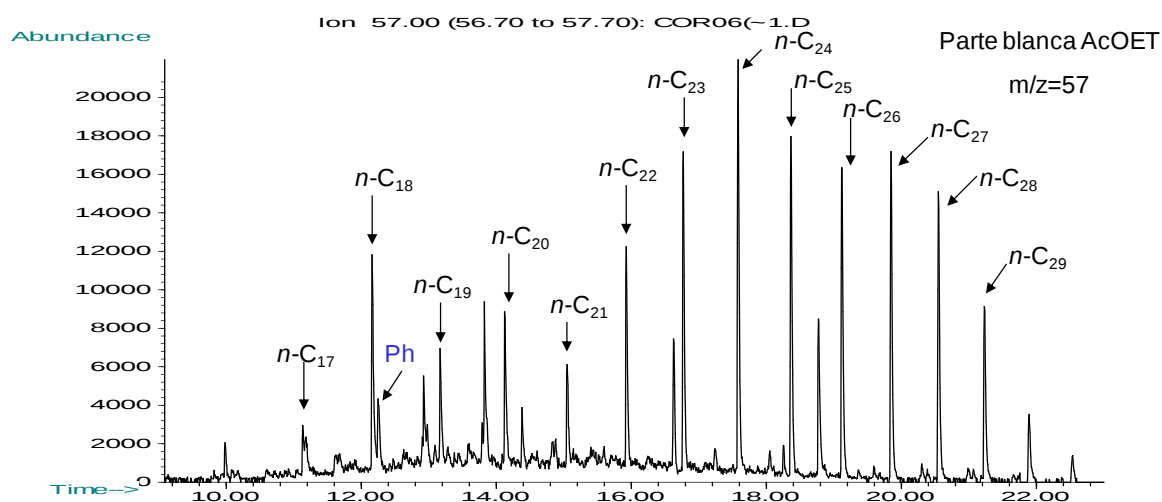


Cromatograma de gases de la muestra (porción periférica) obtenido con el extracto CHCl_3 .

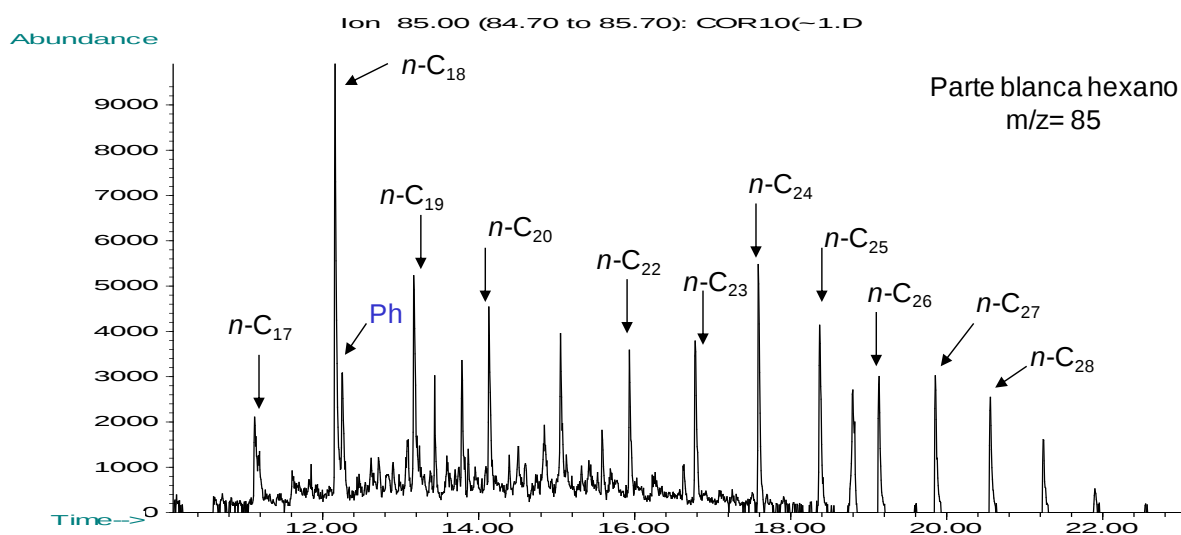
Anexos III

Cromatogramas obtenidos con los diferentes disolventes.

Cromatogramas obtenidos de la Parte Blanca

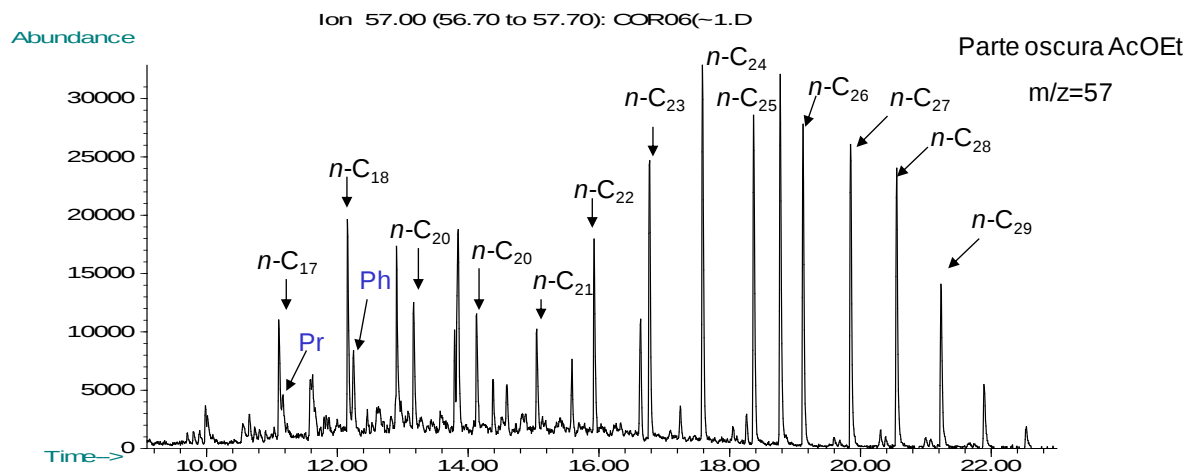


Cromatograma de gases del extracto obtenido con acetato de etilo de la parte blanca.

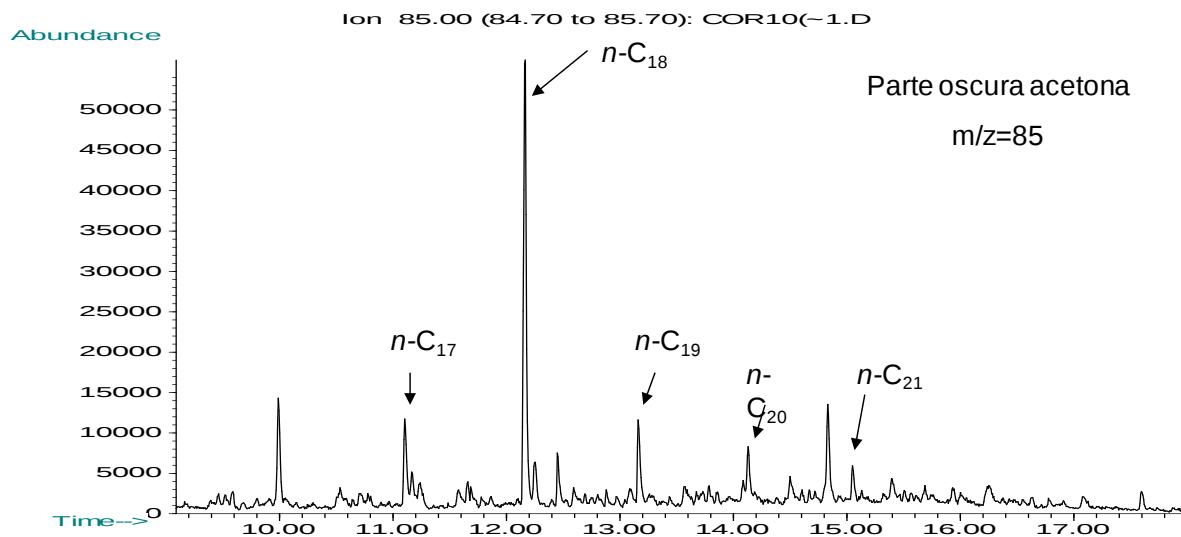


Cromatograma de gases del extracto obtenido con hexano de la parte blanca.

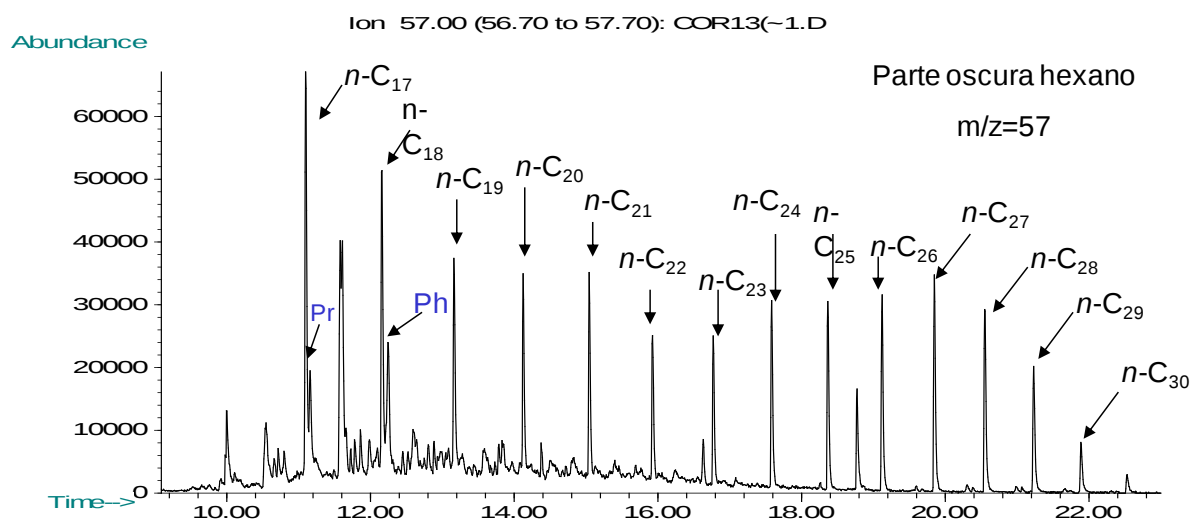
Cormatogramas obtenidos de la Parte Oscura



Cromatograma de gases del extracto obtenido con acetato de etilo de la parte oscura

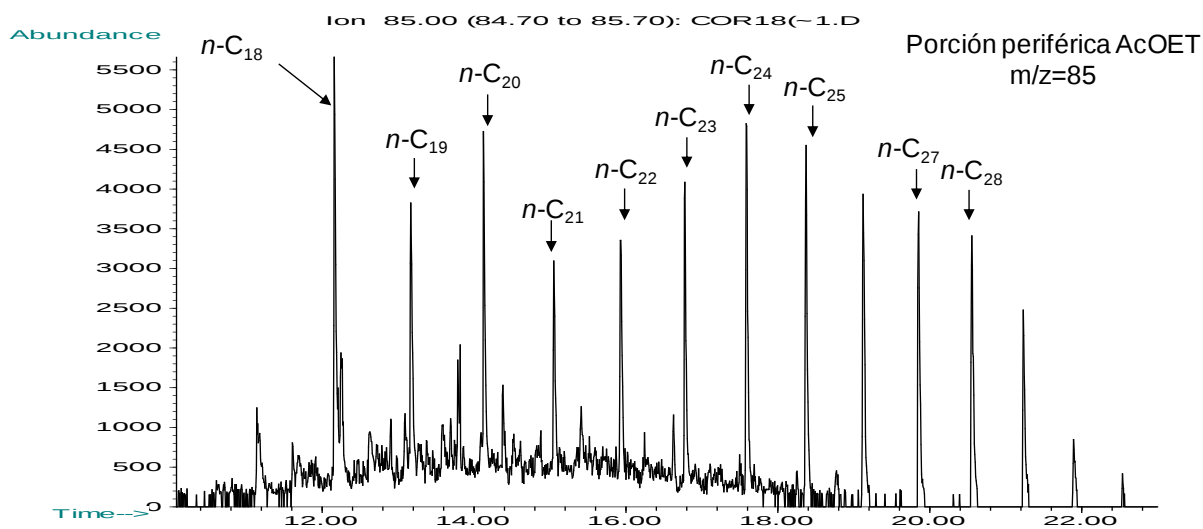


Cromatograma de gases del extracto obtenido con acetona de la parte oscura



Cromatograma de gases del extracto obtenido con hexano de la parte oscura.

Cromatogramas Obtenidos de la Porción Periférica



Cromatograma de gases del extracto obtenido con acetato de etilo de la Porción periférica.