



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

---

---

“Interpretación Geológica y Geoquímica de las rocas sedimentarias del Jurásico Superior del cañón “El Álamo” (municipio de Viesca, Coahuila) mediante Geoquímica Orgánica.”

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO GEOLOGO AMBIENTAL

Presenta

Mara Cassandra Quiroz Acuña

Director:

M. en I. Patricia Candelaria Montiel García

Co-Director:

Dr. Kinardo Flores Castro

Mineral de la Reforma, Hidalgo, Diciembre 2013.

# Dedicataria

A mi madre *Ana María Acuña Colín,*

Por tu apoyo incondicional, por tu amor de madre, por tu confianza, por tus consejos y tus oraciones, por ser mi amiga, por que siempre estas al pendiente de mi, por tu dedicación y esfuerzo pero sobre todo por darme la vida.

GRACIAS POR SER LA MEJOR MADRE

TE AMO

A mi padre *Remedios Quiroz Hernández*

Por creer en mí, por apoyarme en mi vida, por que nunca me ha faltado nada, por ser mi amigo, por la confianza que me tienes, espero no defraudarte.

GRACIAS POR SER EL MEJOR PADRE

TE AMO

GRACIAS POR SER MIS PADRES

# Agradecimientos

Gracias a *Dios* por permitirme estar en esta vida, por todo lo que día a día me regala  
y por permitirme terminar este proyecto.

*Adriana* Gracias por ser una persona en la que puedo confiar, por tus consejos,  
apoyo, comprensión, amor, por la persona incondicional que eres y por ser una gran  
mujer, madre, hija, hermana y esposa del *osito*.

*Marcos* Gracias por ser mi apoyo, la persona que me regaña, que me dices como  
son las cosas, por ser mi amigo, por guiarme, por tu confianza, y por ser un buen padre y  
jefe de familia.

*Verónica* Gracias por tus consejos, por ser la persona que no se deja, por que me  
apoyas, por tu confianza, por que me ayudas siempre que te necesito personal y  
laboralmente y por ser una gran mujer que cumple sus metas.

GRACIAS A UDS POR ENSEÑARME A SER MEJOR PERSONA LOS AMO  
HERMANOS.

*Abi, Katia, Yozmi y Chayo*

Espero ser un buen ejemplo como tía y como persona saben que cuentan conmigo  
siempre las amo.

Con esta mención especial para ti, te quiero agradecer que me hayas permitido conocerte, compartir contigo tantas cosas buenas y malas, por preocuparte por mí por tus pláticas y consejos Gracias por tu tiempo.

Por confiar en mí y por apoyarme siempre, por escucharme y darme soluciones, por impulsarme en mi vida y por lo que me has enseñado, pero sobre todo gracias por tu amor y por ser un hombre excepcional.

Trabajador, responsable, amoroso

Este paso también te lo debo a ti. *Hermosa M.*

## *Agradecimientos Especiales*

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública, que financio el proyecto de investigación denominado “Interpretación Geológica y Geoquímica de las rocas sedimentarias del Jurásico Superior del cañón El Álamo (municipio de Viesca, Coahuila) mediante geoquímica orgánica” dentro del marco del programa de Red Temática Nacional “ Recursos Energéticos Renovables y no Renovables (2008-2010)” , apoyado con recursos económicos para la elaboración de este trabajo de investigación .

*M. en I. Patricia C. Montiel García.*

Le ofrezco mí más sincero respeto y agradecimiento por su amistad, consejos, paciencia, apoyo, por sus llamadas de atención, por su tiempo y colaboración para la realización de este trabajo, sin ud. no lo hubiera podido lograr, este triunfo también es suyo.

Gracias por sus conocimientos que me brindo en la carrera y en especial en este trabajo, gracias por enseñarme su historia y enseñarme que se puede ser sobresaliente trabajando y que se pueden pasar los obstáculos que se encuentren en el camino, gracias por el ejemplo que me brindo a lo largo de este tiempo, por que alimento mis conocimientos pero sobre todo mi persona, gracias por ser una persona incondicional, entregada a su trabajo y por su calidad humana.

*Dr. Kinardo Flores*

Gracias por el apoyo recibido desde que me conoció, por su apoyo cuando lo necesitaba, por sus consejos, por ser una persona consiente ante las situaciones que pasamos los alumnos, sus estudiantes.

Gracias por el apoyo para la realización de este trabajo, por creer en mí.

*Sinodales Dr. Kinardo Flores, Dr. Fidel Pérez, Dr. Enrique Cruz,  
Dr. Eleazar Salinas y M. en I. Patricia Montiel.*

Gracias por su valiosa colaboración y tiempo invertido para el mejoramiento de este trabajo para su corrección, aprobación y presentación final.

*Dra. Myriam Meléndez Rodríguez  
Profesor Investigador del Área Académica de Química*

Gracias por el apoyo recibido incondicionalmente para la utilización del Horno de Microondas.

*Dr. Enrique Cruz Chávez*

Gracias por las facilidades que me otorgó para el uso de la Estufa de Secado, material del Laboratorio de Geología Ambiental, por su apoyo y asesoría incondicional para el manejo del programa estadístico que le dio mas valor a mi trabajo GRACIAS .

*M. en I. Juan Carlos Duran Álvarez.  
Instituto de Ingeniería de la UNAM*

Por el apoyo en el análisis por Cromatografía de Gases/Masas de las muestras para la realización de esta investigación.

*Dra. Patricia Ambrosio*

Agradezco que nos apoyara en este proyecto

*Edgar Gamaliel López*

Agradezco tu apoyo con la información proporcionada para la realización de este proyecto.

*Lic. Marcos Jonathan Acuña Colin*

Con cariño y respeto agradezco infinitamente el apoyo que me diste para el armado y detallado de este trabajo gracias por desvelarte para apoyarme.

Te quiero no esta demás decírtelo.

## ÍNDICE

### CAPITULO I

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4

### CAPITULO II

#### 2. MARCO TEORICO

2.1. EL CICLO DE LAS ROCAS.....	5
2.1.1. ROCAS ÍGNEAS.....	6
2.1.2. ROCAS METAMÓRFICAS.....	7
2.1.3. ROCAS SEDIMENTARIAS.....	8
2.1.3.1. CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS.....	9
2.2. AMBIENTES SEDIMENTARIOS.....	11
2.3. GEOQUÍMICA.....	13
2.3.1. GEOQUÍMICA ORGÁNICA.....	14
2.3.2. MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTARIA (MOS).....	16
2.3.3. KERÓGENO.....	18
2.3.4. BITUMEN.....	19
2.4. EXTRACCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTARIA.....	20
2.4.1. EXTRACCIÓN CON AGUA.....	20
2.4.2. EXTRACCIÓN CON SOLVENTE ORGANICO.....	21
2.4.3. EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM).....	23
2.4.3.1. PARÁMETROS QUE AFECTAN EL PROCESO DE EAM.....	24
2.4.3.2. FUNDAMENTO DE LA EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS.....	25

---

2.5 CROMATOGRAFÍA DE GASES Y ESPECTROMETRÍA DE MASAS (CG-MS).....	27
2.5.1 CROMATOGRAFÍA DE GASES.....	27
2.5.2 ESPECTROMETRÍA DE MASA.....	29
2.6. COMPUESTOS ORGÁNICOS COMUNES DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.....	31
2.6.1. ALCANOS LINEALES O ALIFÁTICOS.....	31
2.6.2. COMPUESTOS TRAZA.....	33
 <b>CAPITULO III</b>	
<b>3. MARCO GEOLOGICO</b>	
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	34
3.1.1. JURÁSICO SUPERIOR.....	36
3.2GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	40
3.3 GEOLOGÍA ECONOMICA.....	42
 <b>CAPITULO IV</b>	
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO</b>	
4.1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	43
4.1.1 OROGRAFIA.....	45
4.1.2 HIDROGRAFIA.....	45
4.1.3 CLIMA.....	46

---

**CAPITULO V**  
**5. METODOLOGÍA**

5.1 ZONA DE ESTUDIO.....	47
5.2 MUESTREO.....	47
5.3 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	48
5.4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	49
5.5 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL BITUMEN POR MICROONDAS.....	50
5.6 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES-MASA (CG-MS).....	53

**CAPITULO VI**  
**6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	54
6.2 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE BITUMEN POR MICROONDAS.....	55
6.3 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES- MASA.....	59
6.4 INTERPRETACIÓN DE LOS AMBIENTES DE DEPÓSITO.....	67

**CAPITULO VII**

<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
-----------------------------	-----------

**CAPITULO VIII**

<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
---	-----------

GLOSARIO.....	79
ANEXO I CONDICIONES DEL EQUIPO DE MICROONDAS.....	82
ANEXO II CONDICIONES DEL CROMATOGRAFO DE GASES-MASA.....	83
ANEXO III ANALISIS ESTADISTICO SPSS VERSION 20.....	84

---

---

## ÍNDICE DE FOTOS Y FIGURAS

Fig. 2.1 Ciclo de las rocas.....	6
Fig. 2.3 Esquema de un cromatógrafo de gases.....	28
Fig. 2.4 Esquema de un espectrómetro de masas.....	30
Fig. 3.1 Columna estratigráfica de la unidades tectónicas.....	39
Fig. 3.2 Principales rasgos estructurales.....	41
Fig. 4.1 Mapa de localización del área de estudio .....	44
Foto. 5.1 Detalle de la Formación La Casita .....	48
Foto. 5.2 Pulverizador Fristch .....	49
Foto. 5.3 Equipo de microondas MARS5.....	50
Foto. 5.4 Tornamesa del microondas.....	51
Foto. 5.5 Rotavapor Buchi modelo R-205.....	51
Foto. 5.6 Viales de vidrio con disolvente y tapa de papel absorbente.....	52
Foto. 5.7 Evaporación total del disolvente en los viales de vidrio.....	52
Foto. 5.8 Cromatógrafo de gases marca Hewlett Packard (HP) modelo 6890N.....	53
Fig. 6.1 Columna litológica levantada en campo .....	54
Fig. 6.2 Cromatograma 1.....	60
Fig. 6.3 Cromatograma 2.....	60
Fig. 6.4 Cromatograma 3.....	61
Fig. 6.5 Cromatograma 4.....	61
Fig. 6.6 Cromatograma 5.....	62

---

Fig. 6.7 Cromatograma 6.....	62
Fig. 6.8 Espectro de masa de alcano C <sub>18</sub> .....	63
Fig. 6.9 Cromatograma 7.....	63
Fig. 6.10 Cromatograma 8.....	64
Fig. 6.11 Cromatograma 9.....	64
Fig. 6.12 Cromatograma 10.....	65
Fig. 6.13 Cromatograma 11.....	65

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.2 Clasificación de rocas detríticas de acuerdo al tamaño de clastos.....	10
Tabla 6.1 Peso del bitumen recuperado utilizando mezclas de disolventes (Acetona-Hexano y Acetona-Diclorometano) en EAM.....	55
Tabla 6.2 Peso de materia orgánica (bitumen) modificada de Montaña 2013.....	57
Tabla 6.3 Peso de materia orgánica (bitumen) modificada de Fabián, 2013.....	58
Tabla 6.4 Alcanos lineales y su significado ambiental .....	67
Tabla 6.5. Alcanos más utilizados como marcadores de MOS de origen marino. ....	67
Tabla 6.6. Ambientes de depósito que se sugieren .....	68

## RESUMEN

El área de estudio se encuentra dentro de la Sierra Madre Oriental en el estado de Coahuila, cerca de la comunidad de Viesca en el cañón “El Álamo”, dicha área permite apreciar el afloramiento de la Formación La Casita, correspondiente a rocas del Jurásico Superior. Dentro los estudios realizados de la Formación “La Casita” que aflora en el norte y noreste de México. En el área de estudio se han llevado a cabo varias investigaciones con la finalidad de evaluar el potencial generador de hidrocarburos así como otros, con el fin de ampliar el panorama geológico de exploración mediante la aplicación de técnicas geoquímicas.

En el área de estudio se extrajeron 11 muestras *in situ* para el análisis e interpretación de biomarcadores, utilizando el método de Extracción Asistida por Microondas (EAM) utilizado para la extracción de la materia orgánica soluble (Bitumen). En él se utilizaron 3 g de muestra, 25 ml de mezcla de disolvente y un tiempo de extracción de 30 min., aunado a que se extrajeron 14 muestras simultáneamente, permitiendo tener resultados similares al del método tradicional de reflujo continuo termorregulado. En este trabajo de investigación se utilizaron dos mezclas de disolventes (Acetona-Hexano y Acetona-Diclorometano) con la finalidad de probar con que mezcla se obtiene la mayor cantidad de bitumen y mejor identificación de compuestos orgánicos y biomarcadores para su interpretación para cada tipo de roca estudiada, utilizando la Cromatografía de Gases-Masas como técnica de caracterización.

De acuerdo con los resultados arrojados de las muestras analizadas y con la bibliografía consultada coincidió que en este afloramiento la Formación “La Casita” tiene un origen lacustre-marino, por la presencia de algas rojas, cafés y bacterias.

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

La geoquímica orgánica es una herramienta fundamental para la interpretación paleoambiental, ya que la relación estrecha que tiene con la geología, climatología, sedimentología, entre otras; permite estudiar la transformación (diagénesis, catagénesis y metagénesis) de la Materia Orgánica Sedimentaria (MOS), compuesta principalmente por carbono e hidrógeno con cantidades menores de oxígeno, nitrógeno y azufre (Hedges y Keil 1995). Dicha interpretación se realiza a través de los biomarcadores ya que son compuestos orgánicos que se encuentran preservados en rocas y sedimentos que permiten establecer los ambientes de depósito, grado de madurez y naturaleza del sedimento, por lo que aplicar métodos geoquímicos para la interpretación de los resultados es de gran interés de este trabajo.

El área de estudio de esta investigación se encuentra dentro de la Sierra Madre Oriental en el estado de Coahuila, cerca de la comunidad de Viesca en el cañón “El Álamo”; dicha área permite apreciar el afloramiento de la Formación “La Casita” correspondiente a rocas del Jurásico Superior.

Este estudio está encaminado a utilizar el método de extracción de la materia orgánica soluble de los sedimentos del cañón “El Álamo”, por la técnica de Extracción Asistida por Microondas (EAM) para poder interpretar a través de los biomarcadores que se encuentran preservados en las rocas y sedimentos, los ambientes de depósito.

## 1.1. ANTECEDENTES

Las primeras investigaciones geológicas importantes de la región de Coahuila fueron realizadas por Kellum en 1932, quien diferenció las rocas Jurásicas, Cretácicas marinas y los conglomerados Terciarios continentales; también, evidenció algunas estructuras geológicas. Jones en 1938, estudió los sedimentos de la Plataforma de Coahuila en la sierra de La Peña, al norte de Viesca. En el mismo año Imlay midió una sección estratigráfica en los cañones del Álamo y San Pedro, al sur de Viesca, reconociendo las formaciones del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior.

En la década de los setentas, Tardy estudió el sector transversal de Parras haciendo la distinción entre la Serie Párrense y la Coahuilense que corresponden a la cuenca del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central y a la Plataforma de Coahuila respectivamente, de acuerdo con Tardy en 1971. Luego distinguió varias fases de deformación en el sector mencionado en 1973, después definió la Napa de Parras en 1975 y finalmente presentó un estudio geológico del sector transversal de Parras en 1980 (Tardy, 1980).

Dentro los estudios realizados de la Formación La Casita (Jurásico Superior) que aflora en el norte y noreste de México, en el área de estudio se han llevado a cabo varias investigaciones con la finalidad de evaluar el potencial generador de hidrocarburos como la realizada por López, et al. 2010 utilizando como método la extracción secuencial termoregulada (Soxhlet) mostrando como resultados preliminares en cuanto a alcanos que se presenta una serie homologa que van desde  $n\text{-C}_{15}$  a  $n\text{-C}_{35}$ , incluyendo algunos isoprenoides y alcanos metilados. La presencia de los alcanos  $n\text{-C}_{15}$  a  $n\text{-C}_{19}$  está relacionada con la presencia de algas en el ambiente sedimentario y el dominio de los  $n\text{-C}_{25}$  a  $n\text{-C}_{29}$ , sugiere el aporte de plantas superiores hacia la cuenca marina. Los Alcanos metilados van desde  $C_{26}$  hasta  $C_{33}$  en la cadena principal que están asociados con cianobacterias mientras que los Isoprenoides Pristano (Pr) y Fitano (Ph) certifican la presencia de plantas superiores, fitoplancton y organismos fotoautotróficos donde se llegó a la conclusión que el predominio de los alcanos de cadena larga de 15 a 19 átomos de carbono, puede deberse a

la degradación preferencial; interpretando así el ambiente de depósito como marino-marginal, específicamente relacionados con depósitos anóxicos, hipersalinos y carbonatados (López, et al 2010).

De igual manera se han realizado correlaciones estratigráficas con el fin de ampliar el panorama geológico de exploración mediante la aplicación de técnicas geoquímicas (inorgánicas, orgánicas e isotópicas), en combinación con la petrología sedimentaria, sedimentología y paleontología estratigráfica (COREMI, 1993).

En el proyecto de investigación desarrollado en el marco de la Red Temática de colaboración de Cuerpos Académicos, "Recursos Geoenergéticos Renovables y no Renovables", iniciada por el cuerpo académico de Ciencias de la Tierra (UAEH-CA-58) del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAEH, se esta realizando una investigación aplicada y de tipo multidisciplinar, que busca aportar nueva información sobre el potencial generador de hidrocarburos que tienen las rocas del Jurásico Superior en México e implementación de nuevas guías de exploración, así como entender los cambios que prevalecieron en el pasado.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Con este trabajo se pretende corroborar la información geológica y geoquímica del área de estudio, apoyados en la geoquímica orgánica para la identificación e interpretación de los compuestos orgánicos y biomarcadores que aporten información sobre el ambiente de depósito sugerido del sedimento en el cañón "El Álamo" Viesca, Coahuila. Por otra parte se hará una comparación de la recuperación de la materia orgánica (bitumen) extraída por microondas con respecto a la extracción secuencial termorregulada utilizada en trabajos previos; y de esta manera con la técnica Extracción Asistida por Microondas (EAM) acortar tiempos de extracción de la materia orgánica soluble sin perder información valiosa para la identificación e interpretación de la materia orgánica a partir de biomarcadores, así como buscar aportar información sobre el ambiente de depósito que tienen las rocas del Jurásico

Superior en esta zona de México e implementar nuevas guías de exploración, así como entender los cambios que prevalecieron en el pasado.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Obtener información geológica y geoquímica de las rocas sedimentarias del jurasico superior del Cañón “El Álamo” de Viesca, Coahuila, para la identificación e interpretación de los compuestos orgánicos extraídos mediante Extracción Asistida por Microondas para inferir el ambiente de deposito.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener información geológica por medio de la medición de la columna litológica del área de estudio para corroborar la litología correspondiente a la Formación “La Casita”.
- Implementar la metodología de extracción de la materia orgánica sedimentaria (Bitumen) por medio de la técnica de Extracción Asistida por Microondas, utilizando dos mezclas de disolventes para la identificación de compuestos orgánicos a través de biomarcadores y observar comparativamente la eficiencia en la recuperación con respecto a la realiza por el método de extracción secuencial termorregulada.
- Identificar e interpretar los compuestos extraídos con microondas, constituyentes del bitumen utilizando la Cromatografía de Gases-Masas para poder inferir por medio de los biomarcadores los ambientes de depósito.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 EL CICLO DE LAS ROCAS.

Las rocas son el material más común y abundante de la Tierra, también se le denomina roca a todo material constituyente de la corteza terrestre. La naturaleza y el aspecto de una roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen, la textura, el tamaño, la forma o disposición de los minerales; a su vez son el reflejo de los procesos geológicos que la crearon.

Las características de las rocas proporcionan información que se necesita para determinar los procesos que las formaron. Los análisis químicos, mineralógicos, petrológicos por mencionar algunos que se le realizan a las rocas son, esenciales para la comprensión de nuestro planeta.

Los estudios geológicos tienen muchas aplicaciones prácticas, ya que gracias a los resultados de los estudios sometidos a éstas, permiten llevar acabo la búsqueda de recursos minerales, energéticos básicos y la solución de problemas ambientales (Tarbuck y Lutgens, 2008).

El conocimiento de las rocas está sujeto a cambios relacionados entre si, he ahí la importancia de conocer el ciclo de las rocas, ya que nos permite examinar muchas de las interrelaciones entre las diferentes partes del sistema Tierra, ayuda a entender el origen y la relación de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas al igual permite ver que cada tipo está vinculado a los otros por los procesos que actúan sobre y dentro del planeta, como se puede observar en la Fig. 2.1.

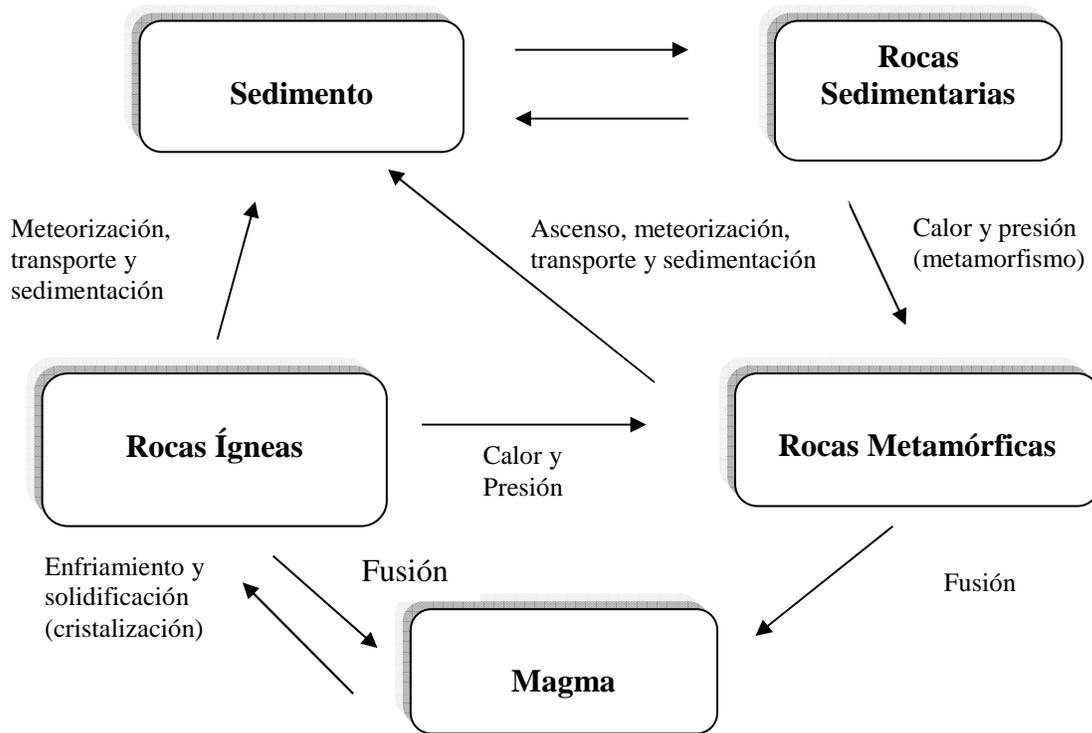


Fig. 2.1 Ciclo de las rocas. Modificada de Tarbuck y Lutgens, 2008

Las rocas presentes en la corteza terrestre se dividen en 3 grandes grupos: Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas de acuerdo con la relación entre sí y el origen de cada una (Tarbuck y Lutgens, 2008).

### 2.1.1 ROCAS ÍGNEAS

Estas se forman cuando la roca fundida, denominada magma, se enfría y se solidifica. El magma es roca fundida que se puede formar a varios niveles de profundidad en el interior de la corteza de la Tierra y el manto superior. A medida que se enfría el magma se van formando y creciendo los cristales de varios minerales. Cuando el magma permanece en el interior de la corteza, se enfría lentamente durante miles de años, esta pérdida gradual de

calor permite el desarrollo de cristales relativamente grandes antes de que se solidifique por completo.

Las rocas ígneas de grano grueso que se forman muy por debajo de la superficie se denominan plutónicas, un ejemplo común e importante es el granito. Esta roca es rica en minerales silicatados de color blanco, cuarzo y feldespato.

En ocasiones el magma se abre paso hacia la superficie durante una erupción volcánica, en este proceso, dado que el magma se enfría con rapidez se solidifica muy de prisa generando la formación de muchos cristales pequeños. A este tipo de rocas que se forman en la superficie terrestre se les denomina volcánicas, un ejemplo abundante e importante es el basalto la cual es una roca de color verde oscuro a negro, es rica en minerales silicatados y contiene una cantidad significativa de hierro y magnesio (Tarbuck y Lutgens, 2008).

### **2.1.2 ROCAS METAMÓRFICAS**

Las rocas metamórficas se producen a partir de rocas ígneas, sedimentarias e incluso de otras rocas metamórficas, cada roca metamórfica tiene una roca madre, o sea, la roca a partir de la que se ha formado. La mayoría de los cambios que sufren las rocas tienen lugar a temperaturas y presiones elevadas que se dan a profundidad en la corteza terrestre y el manto superior (Tarbuck y Lutgens, 2008).

Los conjuntos metamórficos conservan generalmente la estratificación de los medios sedimentarios, además, en las rocas que están menos afectadas por el metamorfismo se encuentran fósiles que a pesar de estar deformados y rotos son a veces identificables. Las rocas metamórficas adquieren características nuevas que son específicas del metamorfismo sufrido, las rocas del metamorfismo regional son rocas foliadas, su foliación es consecuencia de la disposición de los minerales micáceos en capas paralelas (esquistosidad) y de la alternancia de bandas de naturaleza mineralógica diferente (López, 2008).

Los procesos que crean las rocas metamórficas a menudo progresan de una manera gradual desde cambios ligeros (metamorfismo de bajo grado) hasta cambios sustanciales (metamorfismo de alto grado). Un ejemplo del metamorfismo de bajo grado en las lutitas, ésta se convierte en una roca metamórfica más compacta denominada pizarra, en cambio con el metamorfismo de alto grado provoca una transformación tan completa que no se puede identificar la identidad de la roca madre. En los ambientes metamórficos más extremos, las temperaturas se aproximan a las temperaturas de fusión de las rocas, es necesario que durante el metamorfismo la roca deba permanecer esencialmente solida ya que si se funde por completo entraría en el ámbito de actividad ígnea (Tarbuck y Lutgens, 2008).

### **2.1.3 ROCAS SEDIMENTARIAS**

Los sedimentos son la materia prima de las rocas sedimentarias, éstos son el resultado de los factores de meteorización, erosión y transporte de las partículas y granos derivados de las rocas preexistentes o también pueden estar disueltos en el agua (procesos químicos). También pueden formarse por la acumulación de restos orgánicos depositados en las partes bajas de la superficie terrestre.

Las rocas sedimentarias representan un 75% de la superficie terrestre y la importancia de estas rocas está en que proveen un registro detallado de la edad (Estratigrafía y Sedimentología), evolución de los organismos, cambios en el nivel del mar, geometría de los depósitos, niveles energéticos y distancia de transporte (Tarbuck y Lutgens, 2008).

Los procesos de sedimentación son estudiados por la sedimentología que trata del estudio de las rocas desde la iniciación del material original, procesos de transporte, sedimentación y litificación. La estratigrafía estudia la superposición de las rocas sedimentarias, distribución geográfica y correlación; utiliza para ello su fauna, características físicas (color, densidad, textura, entre otras) y sus cualidades radioactivas, eléctricas, resistencia y potencia natural (López, 2008).

A partir de las rocas sedimentarias se reconstruyen muchos detalles de la historia de la Tierra dado que los sedimentos contienen mucha información sobre los ambientes de la superficie en el pasado. También éstas pueden exhibir características que permitan descifrar información sobre cómo y desde dónde se transportó el sedimento. Las rocas sedimentarias son las que contienen fósiles que son pruebas vitales en el estudio del pasado geológico.

Las investigaciones de las rocas sedimentarias en campo, permiten observar acontecimientos que tuvieron lugar en el pasado. El único registro de estos sucesos está preservado en las rocas y los geólogos tienen que evaluar esos aspectos para hacer inferencias acerca de los procesos originales y el ambiente de depósito (Wicander y Monroe, 1999).

### **2.1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS**

Las rocas sedimentarias se clasifican en:

***Rocas Sedimentarias Detríticas:*** Son rocas que se originan por la acumulación y litificación de sedimentos de diversos orígenes y que son transportados en forma de clastos de diversos tamaños producto de la meteorización mecánica y química. Las dimensiones de las partículas del sedimento son la principal base para clasificar los miembros de esta categoría. Dos ejemplos comunes son la lutita y la arenisca, la sedimentación de estos pequeños granos en las lutitas está asociada a ambientes tranquilos como ciénegas, llanuras fluviales expuestas a inundaciones y porciones de las cuencas profundas mientras que en las areniscas predominan granos del tamaño de la arena y se asocian con gran variedad de ambientes, entre ellos las playas y las dunas.

Las rocas detríticas se clasifican de acuerdo con el tamaño de partícula como se observa en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Clasificación de Rocas Detríticas de acuerdo al tamaño de clastos, (modificada de Tarbuck y Lutgens, 2008).

<b>Rocas sedimentarias detríticas</b>		
<b>Textura clásica Tamaño de clasto</b>	<b>Nombre del sedimento</b>	<b>Nombre de la roca</b>
Grueso (más de 2mm)	Grava (Clastos redondeados)	Conglomerado
	Grava (Clastos angulosos)	Brecha
Medio (de 1/16 a 2mm)	Arena (si el feldespatos es abundante la roca se denomina arcosa)	Arenisca
Fino (de 1/16 a 1/256mm)	Limo	Limolita
Muy Fino (menos de 1/256 mm)	Arcilla	Lutita

**Rocas Sedimentarias Químicas:** Se forman a partir de la precipitación de determinados compuestos químicos en soluciones acuosas, este material no permanece disuelto indefinidamente en el agua, una parte precipita para formar los sedimentos químicos tales como sales disueltas que posteriormente son precipitadas por procesos inorgánicos u orgánicos. Los procesos inorgánicos son aquellos como la evaporación y la actividad química que pueden producir sedimentos químicos, éstas a su vez se dividen en: evaporíticas, carbonatadas, ferruginosas y silíceas.

La principal base para distinguir las rocas sedimentarias químicas es su composición mineral, un ejemplo de estas es la caliza, la roca sedimentaria química más común y está compuesta principalmente por el mineral calcita (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ). Existen muchas variedades de caliza, los tipos más abundantes tienen un origen bioquímico lo que significa que los organismos que viven en el agua extraen la materia mineral disuelta y crean partes duras.

**Rocas Sedimentarias Orgánicas:** Se forman a partir de la acumulación de restos vegetales y/o animales acuáticos que posteriormente se fosilizan, muchos animales y plantas extraen la materia mineral disuelta para formar caparazones y partes duras, una vez muertos los organismos sus esqueletos se acumulan y dan origen a las rocas sedimentarias orgánicas, un ejemplo de estas es la coquina, esta roca está formada por partes duras como caparazones (Tarbuck y Lutgens, 2008).

Ernesto López Ramos en la publicación “Geología General y de México” reimpresión 2008 incluye otra clasificación la cual denomina rocas sedimentarias de origen mixto, explica que son aquellas en las que interviene una combinación de materiales de otros orígenes, por ejemplo, de origen químico (calizas) y clásticos (arcillas) combinándose dan como resultado las margas.

## 2.2 AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Desde el punto de vista estratigráfico, los **ambientes** o **medios sedimentarios**, adquieren importancia al ser el lugar y conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas en que se realiza la acumulación de sedimentos, refiriéndose a los ambientes deposicionales.

Hay 3 tipos de definiciones de ambientes sedimentarios: Geográfico, Genético y Geográfico-Genético como se mencionan a continuación.

**Concepto Geográfico:** Ambiente o medio sedimentario es la parte de la superficie terrestre que es física, química y biológicamente a las áreas adyacentes.

**Concepto Genético:** Ambiente o medio sedimentario, es el complejo de las condiciones físicas, químicas y biológicas bajo las que se acumulan sedimentos y que en gran parte determinan sus propiedades.

**Concepto Geográfico-Genético:** Ambiente o medio sedimentario, es el lugar en que se realizan procesos sedimentarios, que pueden individualizarse de las zonas

limítrofes por sus características físicas, químicas y biológicas, que van también a determinar las propiedades del sedimento (Navarrete, 2005).

Las características físicas de los procesos sedimentarios hacen referencia a la velocidad, dirección y variaciones en el movimiento del fluido, corrientes de agua, oleaje, mareas, vientos, etc.

Las características químicas de los procesos sedimentarios son condiciones del pH y el Eh, la geoquímica de la roca madre y la interacción química entre el sedimento y el ambiente.

Las características biológicas de los procesos sedimentarios son la influencia de la flora y fauna sobre los procesos sedimentarios, la formación de los suelos, erosión, entre otros.

El término de ambiente sedimentario está definido como una región de la superficie de la Tierra caracterizada por un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos. Cada medio tiene una identidad diferente en ellos; actúa la erosión, el transporte y la sedimentación, pudiendo predominar algunos en determinados medios.

Las primeras clasificaciones han tenido una base geográfica, dividiéndolos en tres grandes conjuntos: **continentales**, **marinos** y **de transición**, como se observa en la figura 2.2 (Navarrete, 2005).

**Ambientes Sedimentarios Continentales.-** Los depósitos que se generan en los continentes son sedimentos detríticos, principalmente se caracterizan por tener un contenido fosilífero escaso, dominando en algunos casos restos de madera fósil y algunos vertebrados, a su vez los ambientes que se generan dentro de este grupo son: éolico, glaciar, aluvial, fluvial y lacustre.

**Ambientes Sedimentario Transicional.-** Este ambiente presenta características conjuntas de ambiente continental y marino, este ambiente está dominado por la dinámica de las olas,

mareas y corrientes puede tener de manera abundante organismos pero no influencia la sedimentación, dentro de este grupo se generan deltas, playas, estuarios e islas de barrera.

**Ambientes Sedimentarios Marinos.-** Este tipo de ambientes dependen de la energía de transporte que está en función de la dinámica de las corrientes marinas, generalmente los sedimentos llegan a través de ambientes de transición ya sea por removilización y erosión o por que los sedimentos son sometidos a la influencia de su mecanismo de transporte (Wilgus et al., 1988). El ambiente sedimentario marino se divide en: plataforma continental (zona nerítica), talud (zona batial) y cuenca marina profunda (zona abisal).

### **2.3 GEOQUÍMICA.**

La geoquímica es la rama de la geología que estudia la evolución de los elementos químicos a través de la composición química de la Tierra; su distribución y abundancia de elementos químicos (incluyendo a los isótopos) en minerales, rocas, suelos, agua y atmósfera; así como las causas de la distribución y la circulación de estos elementos en la naturaleza en base a las propiedades de sus átomos e iones. La geoquímica está involucrada en todos los procesos químicos, físicos y biológicos que conducen a la distribución o redistribución de los elementos a través del tiempo geológico.

El término geoquímica fue utilizado por primera vez en 1838, por el químico suizo C.F. Schönbein, los primeros estudios formales acerca de la composición química de la Tierra surgieron a mediados del siglo XIX (Ángeles, 2006).

Esta ciencia se encuentra ligada con las Ciencias de la Tierra, y en especial, con la cristalografía, mineralogía, petrología, hidrología y climatología; pero la continua evolución ha supuesto que la geoquímica amplíe sus campos de estudio.

A lo largo de los últimos decenios la utilización de la geoquímica orgánica en la exploración y producción está enfocada principalmente en el petróleo. Esta rama se centra fundamentalmente en la caracterización de la roca madre, la relación con el medio

sedimentario, el conocimiento de la composición orgánica y su grado de transformación diagenética o maduración (Permanyer, 2002).

Los problemas que principalmente analiza la geoquímica son el origen y la abundancia de los elementos químicos; sus grupos iónicos presentes en las estructuras cristalinas de las distintas fases minerales; las reacciones químicas que caracterizan los distintos procesos metamórficos y producen la desaparición de ciertas especies minerales en favor de otras nuevas; el transporte de elementos químicos en disolución por acción de aguas meteóricas, subterráneas, fluviales, lacustres o marinas; los cambios químicos que se producen durante los procesos de compactación y cementación de depósitos sedimentarios (Permanyer, 2002).

### **2.3.1 GEOQUIMICA ORGÁNICA**

Con el término de geoquímica orgánica o biogeoquímica, se definen todos los aspectos geoquímicos referidos a las condiciones en las que se originó la vida. La geoquímica estudia todos los aspectos relacionados con su formación, estructura, enriquecimiento, concentración de sustancias orgánicas y explotación; tal es el caso de los depósitos de fosforita, caliza, dolomía, carbón y petróleo.

La caracterización de la materia orgánica sedimentaria en términos moleculares o estructurales, constituye uno de los objetivos principales de la Geoquímica Orgánica moderna, permite obtener información valiosa sobre los siguientes aspectos:

***La naturaleza de los aportes orgánicos a los sedimentos:*** El método más directo de identificación del origen de la materia orgánica sedimentaria es el examen macro o microscópico de los restos de organismos. Sin embargo, algunos kerógenos particularmente los de origen algal o lacustre, no contienen restos orgánicos identificables. En estos casos el planteamiento utilizado ha consistido en relacionar la composición química de la materia orgánica fósil con la supuestamente derivada de los organismos predominantes en un

determinado ecosistema, tanto a nivel de los precursores como de la flora bacteriana. La identificación de fósiles geoquímicos en los sedimentos puede aportar información más detallada para la interpretación de los ambientes deposicionales y, en particular, del retrabajamiento bacteriano de la materia orgánica (Albaiges y Grimalt, 1986).

***Las características de los ambientes deposicionales:*** La identificación de fósiles geoquímicos en los sedimentos puede aportar información detallada para la interpretación de los ambientes deposicionales y, en particular, de la reacción de las bacterias sobre la materia, ejemplo: los predominios de n-alcenos impares entorno indican respectivamente, aportes de tipo algal y de plantas superiores. Es lógico, por tanto, encontrar este tipo de n-alcenos en sedimentos lacustres o de la plataforma continental. Las distribuciones con predominio de n-alcenos con número par de átomos de carbono son menos comunes y reflejan, según su predominio, aportes bacterianos directos en ambientes de agua dulce o salada o bien ambientes hipersalinos en los que ha habido desarrollo de bacterias anaerobias sobre restos de algas. Hay distribuciones sin predominio alguno, por ejemplo las centradas, entorno al alcano C<sub>22</sub> o C<sub>28</sub>, indican respectivamente retrabajamiento bacteriano de algas o de ceras cuticulares de plantas superiores. Estas distribuciones permiten reconocer cambios deposicionales cuando se determinan en series sedimentarias (Albaiges y Grimalt, 1986).

***El grado de maduración térmica sedimentaria:*** La modelización geoquímica de cuencas en relación con su historia térmica y su capacidad de generación de hidrocarburos ha constituido uno de los desarrollos más espectaculares de la Geoquímica Orgánica en esta década. Los modelos geoquímicos que hoy pueden considerarse o en las técnicas de pirolisis Rock, se han visto completados y reforzados por otros basados en la cinética de los ya clásicos, basados en el índice de madurez de Lopatin, procesos que sufren los fósiles geoquímicos durante la diagénesis de la materia orgánica sedimentaria. La eliminación de grupos funcionales, isomerizaciones y aromatizaciones a lo largo del tiempo son las principales reacciones observadas en las moléculas depositadas originalmente en las cuencas sedimentarias y han sido utilizadas para evaluar la maduración térmica de los sedimentos.

Todos estos aspectos tienen especial incidencia en la exploración, la cual ha contribuido en gran medida, al desarrollo de esta disciplina (Albaiges y Grimalt, 1986).

### **2.3.2 MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTARIA (MOS).**

La materia orgánica está compuesta principalmente por carbono e hidrogeno y contiene cantidades menores de oxígeno, nitrógeno y azufre (Hedges y Keil, 1995). Se reconocen tres tipos de materia orgánica en los sedimentos:

Humus.- Es la materia orgánica derivada de las plantas, principal componente del carbón. Reacciona rápidamente con el aire oxidándose, permitiendo que la preservación geológica de esta sea baja.

Turba.- Materia orgánica húmica que se acumula en pantanos y ciénagas de agua dulce o salobre, con escasa circulación y condiciones anóxicas la cual permite que la preservación geológica sea alta.

Sapropel.- Esta constituido de fitoplancton, zooplancton, esporas, polen y fragmentos macerados de plantas superiores. Están presentes en ambientes acuáticos como lagos, albuferas y cuencas marinas donde los niveles de oxígeno son bajos, este tipo de MO se localiza en lutitas negras y bituminosas.

La MO presente en el sedimento crea un vínculo entre la geología y la biosfera a través de las moléculas fósiles denominadas “Biomarcadores” las cuales brindan información sobre las condiciones físico-químicas y biológicas del ambiente de depósito (Peters, Walters y Maldowan, 2005).

Los Biomarcadores son componentes orgánicos complejos, compuestos por carbono, hidrógeno y otros elementos, que se encuentran en rocas y sedimentos, con pequeños o nulos cambios en la estructura de sus principales moléculas orgánicas, están formados de organismos vivos directamente (Eglinton y Calvin, 1967). Las moléculas fósiles, también denominados “biomarcadores”, son compuestos orgánicos que pueden ligarse de manera inequívoca con sus precursores biológicos y cuyos esqueletos de carbono se preservan de tal forma que son reconocibles a pesar de los procesos diagenéticos y ocasionalmente también estables en condiciones catagénicas. Los Biomarcadores son utilizados para identificar medios deposicionales, madurez de la materia orgánica sedimentaria y conocer, en algunos casos, la edad (Peters y Maldowan 1993).

Éstas moléculas pueden ser utilizadas como un indicador del tipo de fuente de la MO (ej. plantas o animales) y como marcador para el petróleo o correlaciones de la roca generadora (Heriot, 2005).

Existen cambios químicos en la MO producidos durante las 3 etapas de transformación las cuales consisten en:

Diagénesis.- Consiste en la formación de metano por fermentación bacteriana, compactación y consolidación del sedimento, reduciendo la cantidad de agua e incrementando la temperatura.

Catagénesis.- Ocurre cuando la MO sufre alteraciones biológicas donde llegan a existir temperaturas entre 50° C y 150° C en etapas posteriores a la sedimentación.

Metagénesis.- Se presenta cuando las moléculas orgánicas son fragmentadas lo que ocasiona que algunas cambien su estado de agregación a gaseoso. La alteración tiene lugar a temperaturas entre 150°C y 200°C.

La MOS sufre transformaciones diagénicas como consecuencia de la biodegradación química y bioquímica, da origen al kerogeno y al bitumen (Peters y Maldowan 1993).

### 2.3.3 KERÓGENO

Cuando se llega a preservar la materia orgánica, en los sedimentos, se convierte en kerógeno, éste es asociado a los sedimentos que se van compactando y sepultando a través del tiempo y sufre cambios fisicoquímicos por el aumento de la presión y la temperatura.

Algunas definiciones de esta fracción son:

El kerógeno es la fracción orgánica contenida en las rocas sedimentarias que es insoluble en disolventes orgánicos, se compone generalmente de restos de algas, esporas, polen, resinas y ceras, representa el 80% del total de materia orgánica presente en la roca.

El kerógeno es una macromolécula de cadenas poli-metílicas, constituida principalmente de hidrógeno, carbono y oxígeno, es formada durante la concentración de la MO en ambientes sedimentarios que tuvieron buenas condiciones de acumulación y preservación (Álvarez, 2010).

Las variaciones en composición del kerógeno están influenciadas por: el tipo de materia orgánica original o facies orgánicas donde fue depositada y por la temperatura y el grado de madurez que haya alcanzado la roca (SGM, 2009).

El kerógeno es la materia orgánica en partículas diseminadas en las rocas sedimentarias, luego de su depósito, experimentará una serie de transformaciones o procesos físico-químicos, debidos principalmente al soterramiento, a la profundidad, al tiempo geológico y a la temperatura, durante la diagénesis y la catagénesis (McCarthy *et al.*, 2011).

#### **2.3.4 BITUMEN**

El bitumen es la fracción soluble de la materia orgánica diseminada en rocas sedimentarias, aporta información sobre el origen y la madurez de una roca madre, representa entre el 5% y 20% de la MO (Durand, 1980).

Contribuye a dar información sobre el origen y la madurez de una roca madre a través de los biomarcadores. La cantidad de bitumen extraído de las rocas es la medida de la maduración de la roca generadora, este se convierte en petróleo durante el proceso de migración.

El bitumen o betún es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Es la fracción residual (el fondo) resultante de la destilación fraccionada del petróleo y se considera la fracción más pesada y la que tiene el punto de ebullición más elevado (Agudo, 2009).

La composición del bitumen refleja su procedencia, el material orgánico que procede de algas está compuesto predominantemente por hidrocarburos saturados. Por otro lado las n-parafinas de cadena larga y algunos ácidos grasos parecen ser derivados de plantas terrestres. La concentración de n-alcanos en particular se incrementa en el bitumen al aumentar el grado de catagénesis; así los n-alcanos probablemente constituyen el 5% de un bitumen diagénético, 10% de un bitumen catagénico y 15 % de un reservorio de petróleo (Montaño, 2013).

La distribución de los constituyentes del bitumen está relacionada con su capacidad de adsorción en la roca, las moléculas más polares como las resinas y los asfáltenos son más abundantes en el bitumen (López, 1997).

## 2.4 EXTRACCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTARIA.

La extracción de la MOS es una de las operaciones básicas del laboratorio. Esta es una técnica que consiste en usar un disolvente (liquido capaz de disolver otra sustancia) para separar o retirar compuestos de una fase homogénea, este método se puede realizar en los tres estados de la materia.

Los métodos o procesos de extracción mas simples empleados se dividen de acuerdo al solvente utilizado los cuales son:

### 2.4.1 EXTRACCIÓN CON AGUA

Para realizar la destilación por arrastre con vapor se usan contenedores de características variables y adaptadas a cada tipo o caso específico. La destilación por arrastre con vapor puede realizarse de tres formas distintas y son comúnmente conocidas como:

***La hidrodestilación simple o destilación con agua:*** Consiste en sumergir directamente el material a tratar en agua, que posteriormente se somete a ebullición. En este método es máxima la acción del agua sobre el material, por ello se presenta la hidrólisis y oxidaciones, haciendo que por densidad el vapor se condense y se separe de la parte soluble del material en cuestión.

***Destilación con vapor saturado o destilación con agua y vapor:*** En este caso el material no esta en contacto con el agua; el vapor se inyecta a través de la masa dispuesta sobre placas perforadas. El material debe tener tamaño uniforme para favorecer el paso del vapor, trabaja cerca de los 100°C. Por su sencillez, bajo costo y rendimiento, esta técnica es la más usada en la industria de los aceites esenciales.

***Destilación con vapor seco o sobrecalentado:*** Consiste en impulsar el vapor a través del material, colocado sobre columnas. El vapor tiende a recalentarse por la resistencia opuesta

a su paso por el material y esto se debe evitar en lo posible ya que impide la salida de la parte soluble del material (González, 2004).

## 2.4.2 EXTRACCIÓN CON SOLVENTE ORGÁNICO

Para este tipo de extracción se ponen en práctica los métodos de maceración, lixiviación o percolación, digestión, por fluido supercrítico y extracción Soxhlet.

***Maceración:*** Es una extracción que se realiza a temperatura ambiente, consiste en remojar el material, debidamente fragmentado en un solvente (agua o etanol, se prefiere el etanol puesto que a largos tiempos de extracción el agua puede propiciar la fermentación o la formación de moho) hasta que este penetre y disuelva las porciones solubles. Se puede utilizar cualquier recipiente que tenga tapa, se deja en reposo por un periodo de 2 a 14 días con agitación esporádica. Luego se filtra el líquido, se exprime el residuo, se recupera el solvente en un evaporador rotatorio y se obtiene el extracto.

***Percolación o lixiviación:*** Es uno de los procesos más difundidos pues se puede realizar con disolventes orgánicos en frío para preservar los compuestos termolábiles que pudiera contener el material. Consiste en colocar el material fragmentado en un embudo o recipiente cónico y hacer pasar un disolvente adecuado a través del mismo constantemente. No es apropiado para resinas o materiales que se hinchen dado que el disolvente no percolará.

***Digestión:*** Se agrega solvente caliente (con temperaturas no mayores a los 50°C) al material molido colocado en un recipiente de vidrio de boca pequeña, la temperatura del solvente permite una mayor extracción de compuestos ya que la solubilidad de la mayoría aumenta con la temperatura.

***Fluido supercrítico:*** Es una operación que aprovecha el poder disolvente de fluidos a temperaturas y presiones por encima de sus valores críticos (González, 2004).

**Extracción Soxhlet:** Este es un método de extracción continua para materias sólidas, se desarrolla empleando solventes con puntos de ebullición bajo, para evitar la degradación de la muestra, es conocido como extracción sólido-líquido. El extractor Soxhlet realiza un sinnúmero de extracciones de manera automática, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando siempre de manera pura al material. Su funcionamiento consiste en hacer hervir en el matraz el disolvente con el cual se va a extraer la materia sólida deseada que se encuentra en la muestra, depositado en el cartucho del “Soxhlet”. Los vapores del disolvente ascienden por el extractor y se condensan en el refrigerante cayendo gota a gota sobre el cartucho. La parte soluble pasa por gravedad al matraz, a la solución resultante se le realiza una extracción exhaustiva con el solvente por aproximadamente 24 horas. Otros extractores de Soxhlet se construyen de tal modo que el disolvente llena la cámara de extracción y la disolución resultante es sifonada al matraz de destilación, el proceso se repite automáticamente hasta que la extracción es completa. El método que nos permite seguir este proceso tiene la ventaja de que siempre se está extrayendo con el disolvente puro en su punto de ebullición por lo que el rendimiento es óptimo pero la desventaja es que se necesitan 300 ml de solvente y la extracción por muestra es aproximadamente de 24 hrs. La extracción de Soxhlet es especialmente útil en el aislamiento de productos naturales existentes en tejidos de animales o plantas con un contenido de agua elevado y para lixiviar compuestos orgánicos de sales inorgánicas (Grau y Cairo, 1982).

El método utilizado para llevar a cabo las extracciones donde se desea conocer los derivados del petróleo que contienen una fracción de hidrocarburos (alcanos, cicloalcanos y aromáticos) es el Soxhlet, para ello los extractantes más usados para la separación de los hidrocarburos son: hexano, metanol, éter etílico, diclorometano, butanol, acetato de etilo, acetona, ciclohexano, o la combinación entre ellos. La selección del método de extracción dependerá de las necesidades y facilidades técnicas con que se cuenten (Grau y Cairo, 1982).

A finales de los 80's se empleó un método llamado extracción asistida por microondas (EAM). La utilización de este método se ha ido incrementando en los últimos años debido a

---

su eficacia y a la reducción tanto de solventes como en tiempo de extracción por muestra, dando resultados semejantes a los estudios hechos por los métodos tradicionales( Pino, 2002).

### **2.4.3 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS**

La primera aplicación que hizo uso de la radiación de microondas para la disolución de muestras la realizó Abu-Samra en 1975. Posteriormente, el empleo de las microondas en química analítica se ha ido incrementando exponencialmente, radicando sus principales aplicaciones en la solubilización de muestras, el secado (esto es, eliminación de compuestos volátiles), etapas de limpieza, aceleración de reacciones cronogénicas, estudios de especiación y extracción asistida por microondas.

La utilización de la energía de microondas para auxiliar la extracción de compuestos orgánicos se llevó a cabo por primera vez haciendo uso de un horno de microondas doméstico a finales de la década de los 80. Las principales ventajas de la extracción asistida por microondas (EAM) estriban en que los tiempos de extracción giran en torno a los 30 minutos. Además, hace uso de pequeños volúmenes de disolventes orgánicos, en torno a los 50 ml.

En los últimos años se han extraído por EAM numerosos compuestos de las más diversas matrices, con especial énfasis en las aplicaciones medioambientales.

La aplicación de la energía de microondas puede llevarse a cabo por medio de dos tecnologías: con vasos cerrados (controlando presión y temperatura), o vasos abiertos (a presión atmosférica):

*Vasos cerrados:* el disolvente se puede calentar por encima de su temperatura de ebullición a presión atmosférica, con lo que se consigue una alta velocidad extractiva y eficacia. En estos sistemas puede existir, además, control de la temperatura. Se pueden extraer distintas muestras en distintos vasos reactores simultáneamente. Las muestras giran en el interior de

la cavidad con un carrusel rotor para asegurar la reproducibilidad, dado que el campo eléctrico no es homogéneo en la cavidad del horno.

*Vasos abiertos:* se trabaja a presión atmosférica. La temperatura máxima alcanzable es la temperatura de ebullición del disolvente. La energía de microondas se focaliza, por lo que el calentamiento es homogéneo y muy eficiente (Pino, 2002).

#### **2.4.3.1 PARÁMETROS QUE AFECTAN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS.**

Para la optimización de las condiciones de extracción, los parámetros más comúnmente estudiados son: composición y volumen del disolvente, temperatura, presión (en vasos cerrados), potencia de microondas, tiempo de extracción y características de la matriz.

***Disolvente.*** En general es de naturaleza orgánica y con capacidad de absorber energía de microondas, o mezclas de disolventes para asegurar la adecuada combinación de características de solvatación y calentamiento por microondas. Es muy importante el asegurarse que toda la muestra debe estar inmersa en el disolvente orgánico para evitar daños eléctricos. En todo caso, deben tenerse en cuenta las limitaciones que los sistemas de microondas que utilizan vasos cerrados imponen a la utilización de disolventes orgánicos de tipo n-alcános, cetonas, etc.

***Temperatura/Presión.*** La temperatura es un parámetro de gran importancia. En vasos cerrados, otro factor importante es la presión, que depende directamente de la temperatura.

***Potencia.*** La potencia debe elegirse correctamente, tanto para evitar temperaturas excesivas que puedan producir la degradación de solutos como para que no se produzcan sobrepresiones en el interior de los vasos. En vasos cerrados, la potencia a aplicar depende del número de vasos a extraer.

**Tiempo de extracción.** Hay que encontrar el valor óptimo. Por una parte, los altos tiempos de extracción pueden provocar la degradación de los compuestos lábiles, mientras que para tiempos pequeños, la eficacia de la extracción puede no ser adecuada.

**Naturaleza de la matriz.** Es muy importante controlar el contenido en agua de la matriz debido al elevado momento dipolar del agua. También pueden existir interferencias por parte de los analitos presentes en la matriz, que absorban energía de microondas (Pino, 2002).

#### **2.4.3.2 FUNDAMENTO DE LA EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS.**

El método de extracción por microondas, es un procedimiento para extraer compuestos orgánicos insolubles o ligeramente solubles en agua, de matrices sólidas (suelos, arcillas, sedimentos, lodos y residuos sólidos). El proceso utiliza energía de microondas proveniente de dos magnetrones independientes con difusor rotatorio logrando una distribución homogénea de las microondas para producir condiciones de presión y temperatura elevadas en recipientes cerrados que contienen la muestra y la mezcla de disolventes adecuada. Esto facilita la rápida disolución de los analitos de interés en la mezcla de disolventes, con una alta eficiencia de recuperación (Villemur y Rimini, 2002).

Dentro de las características más relevantes del equipo tenemos las siguientes:

- Manejo libre de herramientas para rotores
- Vasos y sensores sin competencia para uso conveniente del operador
- Software intuitivo de documentación que hace fácil el funcionamiento rutinario
- Sistema eficaz de seguridad múltiple para protección del usuario
- Agitador magnético programable opcional para reducir los tiempos de reacción e incrementar la recuperación de la muestra
- Amplio rango de accesorios que proporciona una flexibilidad máxima en la elección de configuraciones, y

- Diseño de la plataforma versátil.

El mismo horno del microondas puede ser usado para digestión, extracción, evaporación y secado, etc.

Dentro de las ventajas en cuanto a su utilización tenemos las siguientes:

- Reducción significativa en los tiempos de extracción
- Consumo mínimo de disolventes
- Alto desempeño, extracción de 14 o más muestras simultáneamente
- Recipientes herméticamente sellados y de fácil manejo
- Cumple con los más altos estándares de seguridad
- Extracciones perfectas entre 10 a 20 minutos, gracias a procedimientos controlados de temperatura y presión en vasos cerrados
- Agitación magnética para incrementar la recuperación
- Sistema de seguridad innovativo, y
- No hay formación de vapores de solventes inflamables o explosivos.

De acuerdo con las características del método de EAM antes mencionadas, este método de extracción es eficiente ya que reduce tiempos de extracción (30 min), cantidad de muestra (3 grs.) y de volumen de disolvente (25 ml) mientras que el método tradicional de reflujo continuo termorregulado requiere grandes volúmenes de disolventes orgánicos (más de 350 ml), muestra (150 grs.) y tiempo de extracción (50 hrs aprox.).

Una vez extraídos los analítos en el disolvente adecuado se está en condiciones de proceder a su análisis, siendo la Cromatografía de Gases, el método instrumental utilizado en esta aplicación (Villemur y Rimini, 2002).

---

## **2.5 CROMATOGRAFÍA DE GASES Y ESPECTROMETRÍA DE MASAS (CG-Ms).**

### **2.5.1. CROMATOGRAFÍA DE GASES**

Técnica descrita por Martin y James en 1952 y es en la actualidad el método usado ampliamente para la separación de los componentes volátiles y semivolátiles de una muestra. La combinación de altas resoluciones, sensibilidad y tiempos de análisis cortos la ha convertido en una técnica de rutina usada en la mayoría de los laboratorios químicos.

La cromatografía es básicamente una técnica de separación, su gran capacidad para resolver muestras complejas ha conducido a utilizarla cada vez más como técnica analítica y es probablemente la técnica de más amplia utilización; ninguna técnica analítica puede ofrecer su capacidad de separación o su sensibilidad a la hora de analizar compuestos volátiles.

En esta técnica se permite que las mezclas sean separadas en fase gaseosa que estará marcada fundamentalmente por la estabilidad térmica de los compuestos a separar. Hace el análisis cuantitativo general de mezclas multicomponentes de compuestos orgánicos volátiles, esta técnica de separación es considerada como muy eficiente.

La cromatografía de gases está restringida a la separación de compuestos con un peso molecular menor de 1000 ppm a una temperatura máxima de trabajo de aproximadamente 400°C, la única limitación será la estabilidad térmica de la muestra.

A menudo la cromatografía de gases se emplea para confirmar la presencia o ausencia de un compuesto en una muestra determinada, también se utiliza para establecer la cantidad de componentes individuales presentes en una muestra (Gutiérrez y Droguet, 2002).

Los componentes fundamentales de un cromatógrafo de gases se muestran en la Fig. 2.3

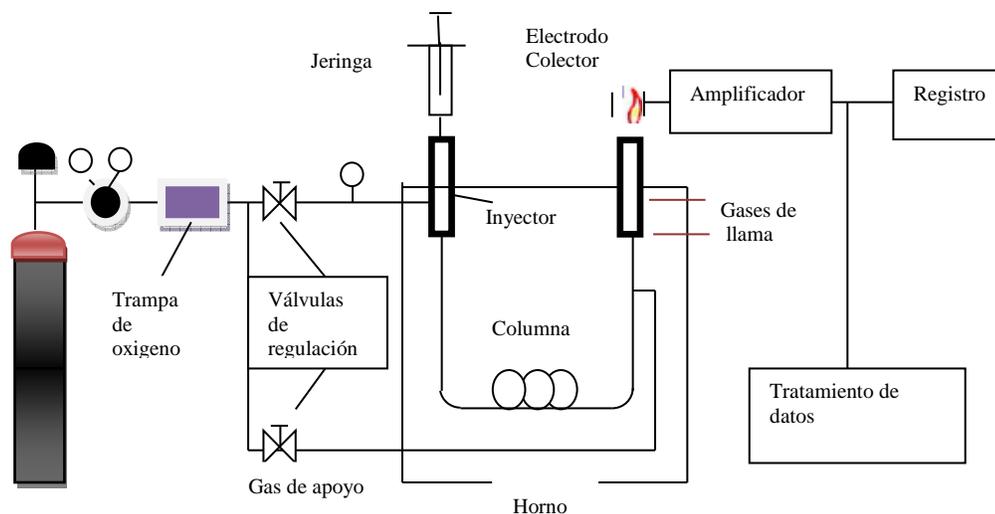


Fig. 2.3. Esquema de cromatógrafo de gases (Modificado de Gutiérrez y Droguet, 2002)

Un cromatógrafo de gases consiste en varios módulos básicos ensamblados: uno de ellos proporciona un gasto o flujo constante del gas transportador (fase móvil) el cual permite la introducción de vapores de la muestra en la corriente de gas que fluye a través de fase estacionaria. Otro módulo mantiene la columna a la temperatura apropiada (o la secuencia del programa de temperatura) y finalmente existe el módulo en el que se detectan los componentes de la muestra conforme eluyen de la columna, proveyendo una señal legible proporcional en magnitud a la cantidad de cada componente.

La técnica de cromatografía ofrece grandes posibilidades de separación, tiene la limitación en cuanto a la identificación de los compuestos que han sido separados, dando solución a este problema ha adquirido gran importancia el acoplamiento de la espectrometría de masas. Esta técnica es probablemente la técnica combinada de más amplia utilización ya que reúne la enorme capacidad de separación que ofrece el cromatógrafo con la sensibilidad de aportar información estructural del espectrómetro.

### 2.5.2 ESPECTROMETRÍA DE MASAS

La espectrometría de masas, es una técnica de análisis cualitativo en la que los átomos o moléculas de una muestra son ionizados, separados por su relación masa/carga ( $m/z$ ), esta técnica es de amplia utilización para la determinación de estructuras orgánicas por si sola o en combinación con otras técnicas. La espectrometría de masas esta basada en la obtención de iones a partir de moléculas orgánicas en fase gaseosa; una vez obtenidos estos iones, se separan de acuerdo con su masa y su carga y finalmente se detectan por medio de un dispositivo adecuado.

La espectrometría de masa tiene su origen en los experimentos desarrollados en el Cavendish Laboratory de la Universidad de Cambridge en Inglaterra en 1897 por Joseph John Thomson, él descubrió que descargas eléctricas en gases producían iones y que estos iones podían adoptar diferentes trayectorias parabólicas de acuerdo a su masa cuando pasaban a través de campos electromagnéticos (Plascencia, 2003).

Los procesos que tienen lugar en un espectrómetro de masas, son de naturaleza química, la presencia y abundancia en el espectro de determinados tipos de iones, identificables a partir de su masa, está identificación esta en función de la estructura química de cada compuesto, por lo que la espectrometría de masa puede ofrecer una enorme cantidad de información sobre cada compuesto determinado.

El espectrómetro de masas es un instrumento que mide las masas de moléculas individuales que han sido convertidas en iones. Un espectrómetro de masas no mide la masa molecular directamente, pero mide la relación masa/carga ( $m/z$ ) de los iones formados de las moléculas. Los espectrómetros de masas tienen siete componentes mayores: un sistema de entrada, una fuente de iones, un analizador de masas, un detector, un sistema de vacío, un sistema de control y un sistema de datos como se muestra en la siguiente Fig. 2.4. El sistema de entrada, junto con la fuente de iones y el tipo de analizador de masas define el tipo de espectrómetro y las capacidades del sistema (Plascencia, 2003).

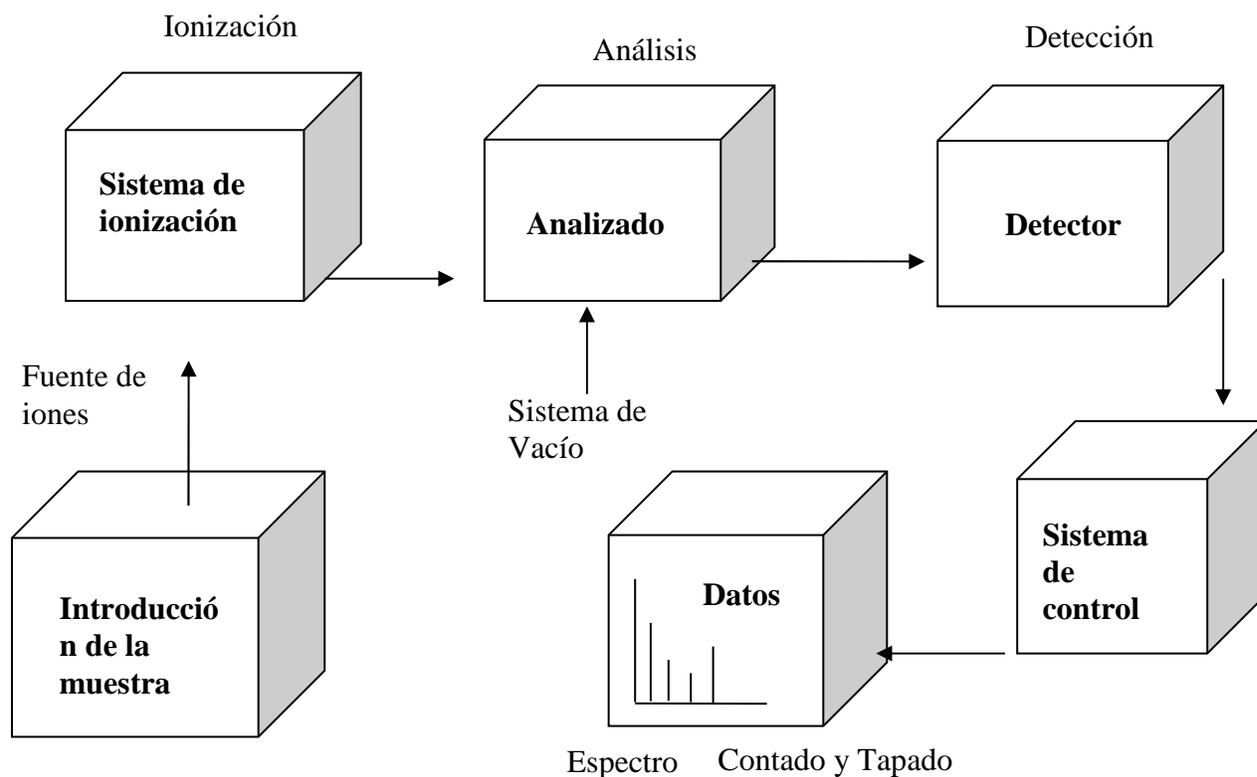


Fig. 2.4 Esquema de espectrómetro de masas. (Modificado de Plasencia, 2003).

Los espectros de masas proporcionan mucha información sobre la estructura de los compuestos analizados además de la identificación por comparación con los contenidos en una base de datos. El espectro es susceptible de ser interpretado siendo en muchas ocasiones la única vía posible para lograr una identificación estructural de algunas moléculas.

Gracias a la aplicación de esta técnica es posible identificar los grupos multifuncionales presentes en las muestras por comparación con los parámetros establecidos (Plasencia, 2003).

---

## 2.6 COMPUESTOS ORGÁNICOS COMUNES DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

### 2.6.1 ALCANOS LINEALES O ALIFATICOS.

Cabe mencionar que los compuestos orgánicos más comunes en las rocas sedimentarias son los alcanos lineales o alifáticos, ya que estos representan el 90% de la materia orgánica mientras que el resto la componen los elementos traza.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se le unen átomos de hidrógeno, estos hidrocarburos son los compuestos básicos de la química orgánica.

Los hidrocarburos alifáticos se pueden clasificar en alcanos, alquenos y alquinos dependiendo del tipo de enlace que unen a los átomos de carbono. En este estudio nos enfocaremos prácticamente a los alcanos alifáticos.

Los n-alcanos son componentes de los sedimentos de carbón y petróleo, proporcionan información sobre las fuentes biológicas de la materia orgánica, en los organismos suelen presentar un número impar de átomos de carbón debido a su biosíntesis de los ácidos grasos, estos indican aportes de tipo algal y de plantas superiores, mientras que los organismos que presentan un número par de átomos de carbón reflejan aportes bacterianos directos en ambientes de agua dulce o salada (Albaigés y Grimalt, 1986).

Los hidrocarburos alifáticos proporcionan información útil sobre el origen biológico, el ambiente de depósito y la madurez de la materia orgánica (Peters y Maldowan, 1993). Los hidrocarburos lineales en ambientes marinos constituyen en general mezclas complejas en las que están presentes los hidrocarburos tanto autóctonos por causas biogénicas, como alóctonos de naturaleza petrógena.

Los hidrocarburos de origen biogénico presentes en forma natural en los sistemas acuáticos provienen principalmente de la biosíntesis de micro y macro algas, bacterias, de la

descomposición y condensación de las fracciones de la MO, remanente de procesos productivos; mientras que los alóctonos, desde la columna de agua llegan hasta el sedimento donde pueden ser alterados o juntarse con los previamente sintetizados durante procesos bioquímicos bentónicos (enriquecimiento de CO<sub>2</sub> por organismos vivos o bacterias.) (Álvarez, 2010).

En condiciones normales los hidrocarburos lineales de tipo n-alcenos constituyen la fracción dominante en los sedimentos superficiales.

Las principales fuentes de los n-alcenos son:

- Origen natural marino.
- Ingreso desde el continente de forma natural.
- Formación por diagénesis bacteriana y migración desde fuentes de hidrocarburos de la corteza profunda.
- Residuos de actividad industrial y antropogénica.

La predominancia de una cadena de n-alcenos en una muestra indicaría el origen de la materia orgánica y esta se diferencia en tres grupos:

- a) Plantas superiores terrestres: con predominio de cadenas con más de 25 átomos de carbono.
- b) Macrofitas acuáticas: con cadenas comprendidas entre 21 y 25 átomos de carbono, y
- c) Plantas inferiores (algas y microorganismos), con predominio de cadenas con menos de 21 átomos de carbono.

Dentro de los tres grupos principales se pueden diferenciar con más detalle distintos orígenes y aportes mayoritarios de la materia orgánica en función de la longitud de la cadena del n-alceno predominante. Las cadenas de 29 y 27 carbonos, como n-alcenos mayoritarios, se consideran derivadas de árboles y plantas leñosas, algunos autores indican que la cadena de n-alcenos con 29 átomos de carbono es predominante en sedimentos que derivan de árboles de hoja caduca. Cuando predominan las cadenas de 31 átomos de

carbono se considera que la materia orgánica fue originada, en su mayor parte por aporte de plantas de ribera, hierbas y vegetación de pantano (Ortiz, et al., 2003).

Los autores Tissot y Welte en su publicación de 1984, hacen referencia a los alcanos en el intervalo de  $C_{27}$  a  $C_{31}$ , ellos dicen que estos alcanos muestran un claro predominio que se atribuyen a las ceras de las plantas continentales y que los alcanos de cadena corta  $C_{15}$  a  $C_{19}$  provienen de algas sin precisar el tipo, pero Saliot en 1981 hace referencia a que los alcanos  $C_{15}$  y  $C_{17}$  provienen de algas bentónicas y/o pelágicas.

Los alcanos nos permiten conocer el ambiente sedimentario en el que se depositaron de acuerdo con la cantidad que presente la muestra.

## **2.6.2 COMPUESTOS TRAZA**

Los compuestos traza se han usado como indicadores del origen de los sedimentos (terrágeno vs biogénico), para identificar la influencia de los procesos diagenéticos y los cambios en las condiciones ambientales, sobre todo para detectar eventos anóxicos a lo largo de la historia de la Tierra (Mata y López, 2012).

Los compuestos orgánicos traza representan el 10% de la materia orgánica, y ayudan a interpretar el grado de madurez, naturaleza del sedimento, condiciones de depósito (óxicas o anóxicas) y condiciones de temperatura, entre otras (Álvarez, 2010). Algunos de ellos son: los cicloalcanos, hidrocarburos aromáticos (benceno y derivados), compuestos aromáticos policíclicos (naftaleno, antraceno, pireno, entre otros), alquenos (olefinas o isoparafinas), isoprenoides (fitano y pristano). La identificación de estos compuestos en la materia orgánica es necesaria para una interpretación completa del sedimento.

---

---

## CAPITULO III

### 3. MARCO GEOLÓGICO

#### 3.1 GEOLÓGIA REGIONAL

El noreste de México ha sufrido diferentes eventos tectónicos y paleogeográficos, como resultado de estos se puede observar geomorfológicamente el relieve actual que consiste en una cordillera que alcanza elevaciones que sobrepasan los 3,500 msnm conocida como Sierra Madre Oriental, la cual se considera un cinturón plegado y cabalgado. La historia paleogeográfica del noreste de México está relacionada con la apertura del golfo de México durante el Mesozoico y el Cenozoico (Goldhammer, 1999).

El evento tectónico más importante en el Paleozoico fue la colisión de Gondwana y Laurasia en el Pérmico Inferior, cuando la placa Norteamericana se empezó a separar de las placas de Sudamérica y África. El rompimiento y separación formó altos y bajos de basamento que determinaron la distribución de las tierras emergidas y mares así como también los patrones de sedimentación (Triásico-Cretácico) en el noreste de México.

La base de la columna estratigráfica del noreste de México está representada por lechos rojos de la Formación Huizachal, debido al evento extensional que fragmentó el basamento en bloques, los cuales se especula que tienen una edad correspondiente al Triásico Superior o al Jurásico Inferior a Medio. Posteriormente, se produjo la transgresión marina del Jurásico Superior al Cretácico Inferior cuando el mar invade las plataformas (Goldhammer, 1999).

En el Jurásico tardío aceleró la apertura del Golfo de México y la formación de la corteza oceánica (Caloviano tardío/Oxfordiano temprano). La sedimentación del Jurásico Tardío se desarrolló en un margen pasivo y fue producto de la transgresión marina, acumulándose principalmente formaciones clásticas y calcáreas (Formación la Casita).

Durante el Cretácico Superior se depositaron sedimentos terrígenos provenientes de la porción occidental de México. El evento más importante del Cretácico Superior al Terciario Inferior es la Orogenia Laramide. La deformación como causa de este movimiento está representada por pliegues con estructuras anticlinales y sinclinales formados durante el Cretácico Tardío-Eoceno (Imlay, 1939).

La Orogenia Laramide afectó directamente el noreste de México originando La Sierra Madre Oriental, la cual ocupa parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla y Veracruz. Sus montañas están constituidas por rocas sedimentarias de origen marino, calizas y lutitas principalmente de la era Mesozoica.

En la Sierra Madre Oriental existen afloramientos de secuencias clásticas marinas y continentales desde el Jurásico Superior al Cretácico Inferior (formaciones la Casita, Carbonera, Arcosa Patula, entre otras), resultado de la transgresión marina del Jurásico Tardío, encontrándose cubiertas por potentes secuencias carbonatadas (Formaciones Taraises, Cupido, entre otras), con intercalaciones de secuencias clásticas de espesores muy variables (Imlay, 1939).

Imlay en 1938 midió una sección entre el Cañón El Álamo y en San Pedro, al sur de Viesca reconociendo las formaciones del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior, asociando la paleontología de invertebrados (Mayer y Pérez, 1967).

Al sur del Cañón El Álamo, Kellum describió una sección de la Formación La Casita, de unos 270 m de espesor de caliza, lutita y arenisca a la que le asigno una edad Kimmeridgiano-Portlandiano, en opinión de Imlay y de Kellum esta sección se encuentra invertida ya que se localiza en el flanco septentrional de la estructura recostada de Viesca. Kellum midió nuevamente esta unidad en el extremo oriental del cañón El Álamo y describió una sección de 72 m de espesor, en su parte basal consiste en bancos de 3 a 4 m de lutita yesífera y arenosa de color rosa a gris, interestratificada con un banco de 2.50 m de arenisca gris oscura, nodular, con interestratificaciones de lutita negra. En la parte media aparecen bancos de 5 m de lutita yesífera de color rosa, con capas delgadas de caliza nodular gris oscura. La parte superior de esta unidad consiste en lutita gris clara a oscura,

con amonitas y nódulos calcáreos, interestratificada con capas de 30 cm de caliza arcillosa roja con amonitas del Tithoniano y Portlandiano superior.

Tavera midió una sección en la parte central del cañón El Álamo con un espesor de 86 m consiste su parte inferior de 10 a 17 m de lutita de color rojizo y pardo amarillento, ligeramente yesífera, con capas delgadas de caliza fosfatada nodular, en la parte media y superior de esta unidad se presentan intervalos de 3 a 20 m de lutita de color pardo amarillento con capas delgadas de limolita, caliza fosfatada y concreciones de caliza arcillosa y fragmentos de amonitas (Mayer y Pérez, 1967).

### **3.1.1 JURÁSICO SUPERIOR**

El Jurásico Superior tiene su distribución en casi todo el sector, principalmente en la parte centro-este-sur del estado de Coahuila. Al sur del estado aflora en casi todo el sector transversal de la Sierra Madre Oriental en lo que son La Sierras de Jimulco, el Número, la Peña, Parras y en casi todo el anticlinorio de Arteaga. Está representado por una secuencia sedimentaria que presenta en su base evaporitas (anhidritas, yeso y halita) con esporádicas intercalaciones de calizas, lutitas y areniscas que corresponden a la Formación Minas Viejas (Mayer y Pérez, 1967). Las formaciones que se describen a continuación corresponden a las Formaciones representadas en la columna geológica del Jurásico Superior en la zona de estudio.

En la década de los setentas, Tardy estudio el sector transversal de Parras haciendo la distinción entre la Serie Párrense y la Coahuilense (fig. 3.2) que corresponden a la cuenca del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central y a la plataforma de Coahuila respectivamente, de acuerdo con Tardy en 1971. La serie párrense constituye en casi toda la totalidad de las formaciones de la sierra del Mármol esta serie puede ser distribuida en tres unidades estructurales que son, unidad El Manco, unidad el Mármol y unidad Brillante. La Formación La Casita que es el punto de interés de este trabajo de investigación se encuentra dentro de la unidad El Manco la cual esta conformada de la siguiente manera de la más antigua a la más reciente (Martínez 1989).

*Formación La Gloria* (Oxfordiano).- Esta constituida por un miembro inferior de caliza de color gris oscuro, con nódulos de pedernal en capas de medianas a gruesas y por un miembro superior de areniscas de color gris amarillento en capas medianas a gruesas.

*Formación La Casita* (Titoniano).- Está representada por unos 70 m de lutita de color gris rosáceo que incluye horizontes delgados de yeso, lutita negra e intercalaciones de arenisca con caliza arcillosa de color rojizo. En la parte superior abundan las concreciones calcáreas que frecuentemente incluyen amonites del género *Berriasella sp.* y *substeuetoceras sp.* descritas por Kellum en 1932.

*Formación Taraises*.- Consiste en caliza gris oscura en estratos de medianos a gruesos y caliza arcillosa con intercalaciones de lutita.

*Formación Las Vigas*.- Consiste en unos 180 m de arenisca, caliza arcillosa y lutita en estratos delgados.

*Formación Cupido*.- Está constituida de 350m de una secuencia de caliza y dolomía en capas gruesas en varios horizontes calcáreos, se pueden reconocer numerosos ejemplares de rudistas retrabajados.

*Formación La Peña*.- Consiste en 60 m de caliza arcillosa, en capas medianas.

*Formación Tamaulipas*.- Está representada por unos 50 m de caliza gris oscuro, con nódulos de pedernal en capas medianas y por capas de caliza brechoide y brechas intraformacionales que pasan transicionalmente a caliza delgada y ondulada con bandas abundantes de pedernal, contiene horizontes de rudistas.

*Formación Cuesta del Cura*.- Consiste en unos 115 m de capas delgadas y onduladas de caliza micrítica, pelágica, con bandas y nódulos de pedernal abundantes.

*Formación San Felipe.*- Está representada por una secuencia pelágica muy homogénea en capas delgadas de caliza arcillosa y lutitas calcáreas.

Por otro lado la serie Coahuilense aflora en dos localidades del área: al poniente de Viesca, donde forman la sierra de la Saucedá y al oriente del cañón de Ahuichila. En ambas localidades la serie coahuilense está representada por dos formaciones que son:

*Formación Caliza Aurora.*- Está formada por capas gruesas de calizas arrecifales, ricas en rudistas( *Caprinuloides* sp., *Toucasia* sp.), miliolidos (*Numinoloculina heimi* Bonet), corales y algas, entre otros, cuya asociación caracteriza al Albiano-Cenomaniano (Cretácico inferior).

*Formación Indidura.*- Está constituida por calizas arcillosas y lutitas, en capas delgadas, con intercalaciones de horizontes muy delgados de yeso. Estas facies están representadas por unos cuantos metros de espesor a causa de la laminación tectónica. En otros lugares como la sierra de La Peña, al norte y en la sierra del Oratorio al oriente , encierran una macrofauna abundante de pithonelles, hedbergelles y globotruncanas, la cual permite atribuirle una edad del cenomaniano-Turoniano (cretácico superior) (Martínez 1989).

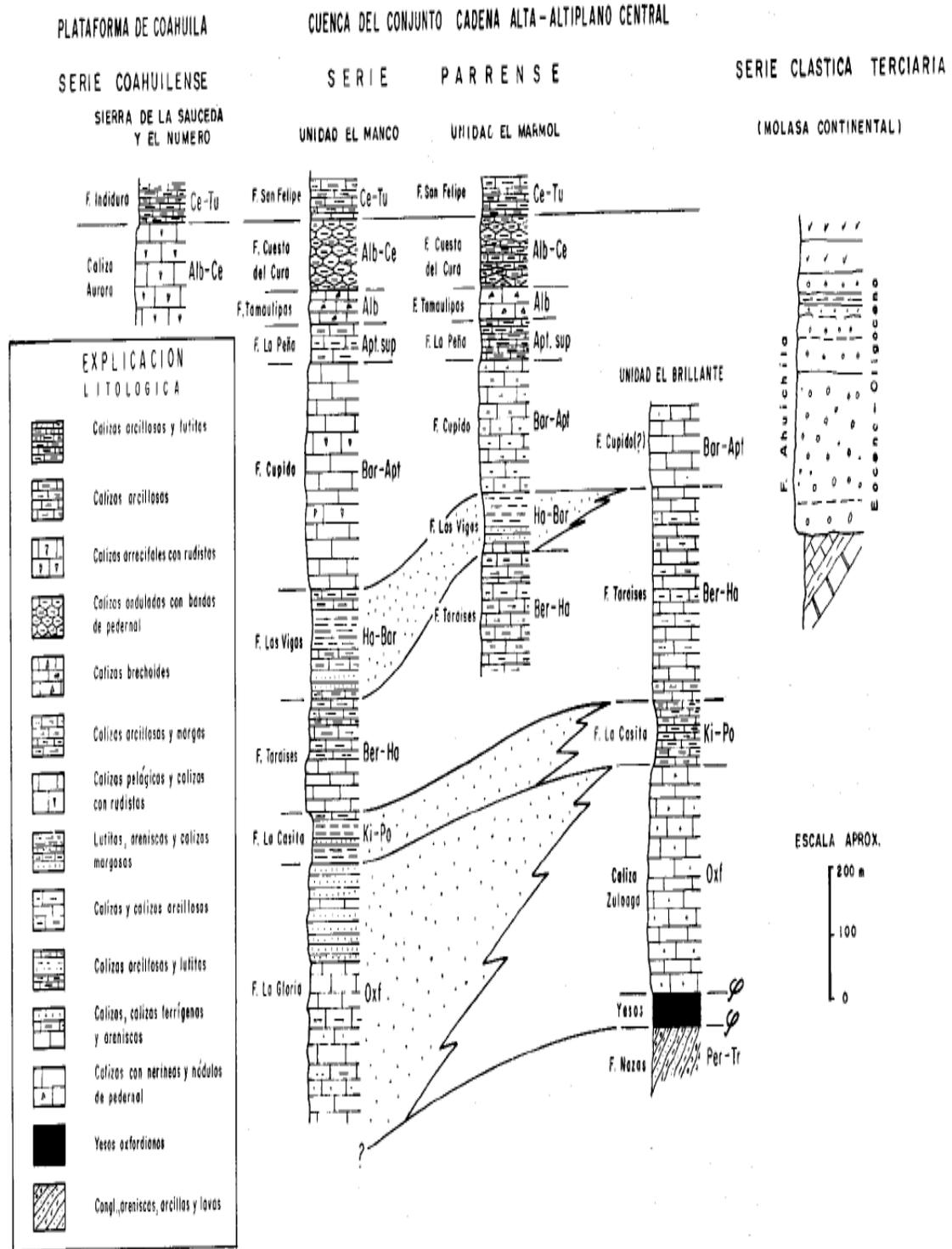


Fig. 3.2 Columnas estratigráficas de las unidades tectónicas del área de Viesca, Coahuila. (Modificada de Martinez 1989).

### 3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El origen de las estructuras del noreste de México han sido materia de discusión, diversos autores como Imlay en 1938, Humphrey en 1956, González en 1976 y otros, han sugerido que la deformación en el noreste de México es el resultado de un conjunto de fuerzas de compresión coaxial que actuaron del suroeste y compresaron los sedimentos mesozoicos contra las antiguas áreas continentales estables del Paleozoico durante la orogenia Laramide pero hay autores como Haarman en 1971; De Czerna en 1956 y Tardy en 1980, postulan que las fuerzas coaxiales de compresión actuaron de suroeste a noreste y que los pliegues de la sierra madre oriental son el resultado de un “decollement” en el área de Monterrey y Torreón (COREMI, 1993). Así mismo hay otros autores que defienden sus diferentes hipótesis de la materia en cuestión.

Esta provincia se caracteriza por sus estructuras geológicas, cuyas orientaciones predominantes son noreste-sureste y este-oeste. Existe un gran número de fallas normales e inversas, así como de pliegues anticlinales y sinclinales que siguen la orientación de las sierras (fig. 3.3). Estas estructuras presentan una asimetría predominante hacia el norte, esto se debe a que los esfuerzos de compresión que actuaron sobre los sedimentos mesozoicos fueron uniformes y procedieron del sur hacia el norte ya que plegaron los sedimentos (Cuéllar y Pablo, 1981). También existen fracturas de diferentes magnitudes, algunas de las cuales han sido rellenadas por soluciones mineralizantes para formar vetas de importancia económica, como es el caso de las minas de barita, fluorita y de minerales metálicos.



### 3.3 GEOLOGIA ECONOMICA

El estado de Coahuila, es tradicionalmente rico productor en minerales no metálicos y su mayor potencial minero recae en el carbón, la fluorita, la celestina, la barita, la dolomita y las sales de potasio y magnesio. En menor proporción es productor de minerales metálicos como el hierro, plomo, zinc, plata y es menor productor de cobre, molibdeno y oro.

En esta provincia, dentro del estado de Coahuila, es donde se encuentran los más grandes yacimientos de barita, principalmente en los municipios de Múzquiz y Sabinas. También es considerable la producción de fluorita mediante la explotación de numerosos yacimientos localizados en los municipios de Acuña, General Cepeda y Múzquiz.

Existen además, en los municipios de Ocampo, Viesca, Candela y Castaños yacimientos y explotaciones de plata, plomo, fierro, cobre y estroncio, así como explotaciones de dolomita, fosforita y yeso (COREMI, 1993).

Lo más importante de la Geología económica del área de Viesca y en particular de los minerales no metálicos, eran las salmueras de la laguna de Viesca, cuyo origen se debió a la concentración de sales en una cuenca en donde predominó la evaporación (Mayer y Pérez, 1967). En los años 90's cerraron la fábrica que extraía las salmueras, dejando de lado de la extracción de este mineral (Cuéllar y Pablo, 1981).

## CAPITULO IV

### 4. ÁREA DE ESTUDIO

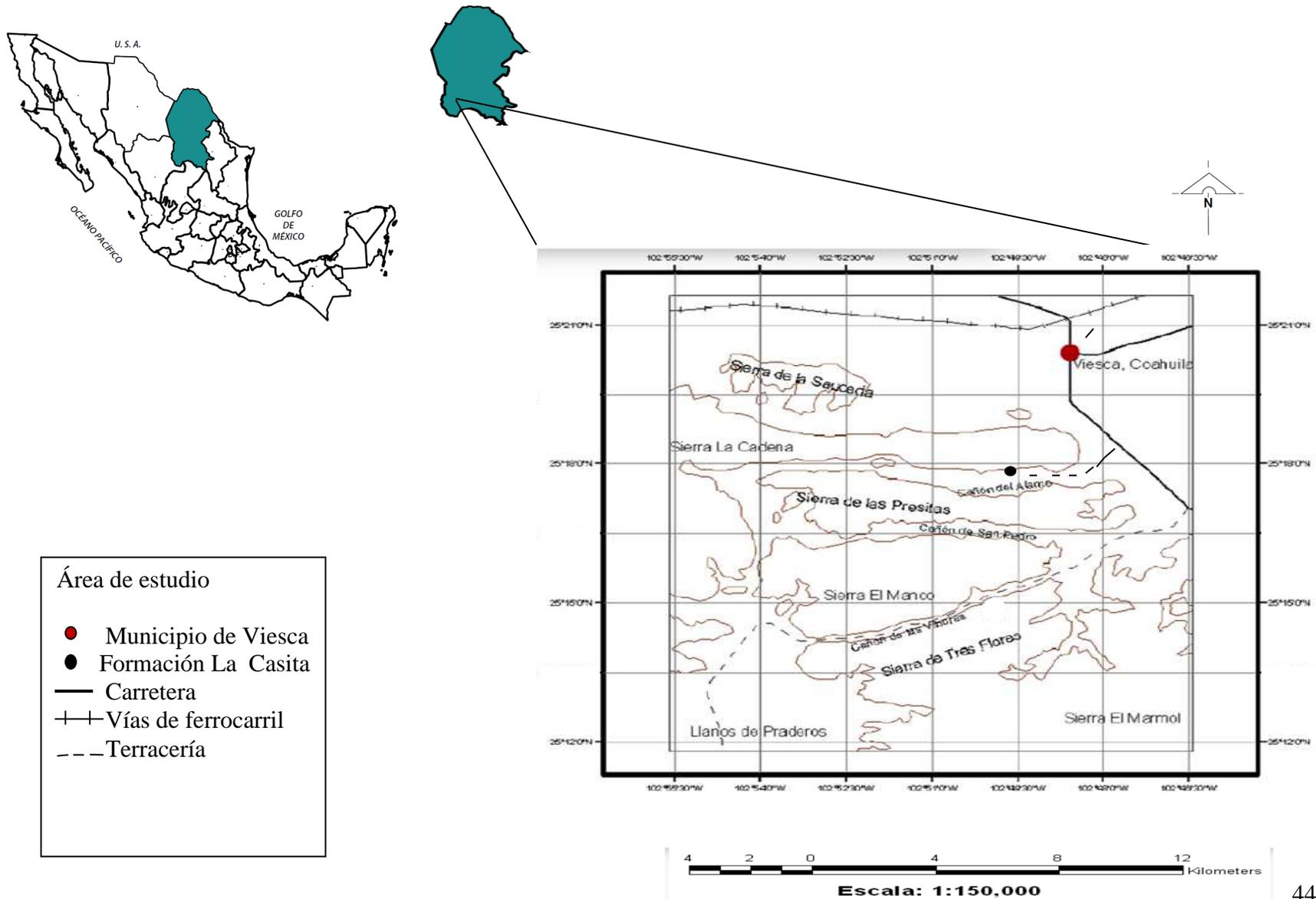
#### 4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Coahuila esta localizado en la porción centro-norte de la República Mexicana y colinda al norte con E.U.A y al oriente con el estado de Nuevo León; por el sureste con el estado de San Luis Potosí, al sur con Zacatecas, al suroeste con Durango y al poniente con Chihuahua, cuenta con una superficie de 151,567 km<sup>2</sup> y su altitud varía entre 200 y 2500 msnm (COREMI, 1993).

El municipio de Viesca se localiza en el suroeste del estado de Coahuila, en las coordenadas 102°48'16" longitud oeste y 25°20'28" latitud norte, a una altura de 1,100 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Matamoros y San Pedro; al sur con el estado de Zacatecas, al este con el municipio de Parras y al oeste con el municipio de Torreón. Se localiza a una distancia aproximada de 70 km de la capital del estado (Cuéllar y Pablo, 1981).

El área de estudio pertenece al municipio de Viesca, para llegar, hay que tomar la carretera federal Saltillo-Torreón km. 40, tomando la desviación al SE hacia Emiliano Zapata y posteriormente a Viesca, se toma el acceso de terracería de 3 km. En dirección oeste, el afloramiento se encuentra en la sierra El Álamo entre la sierra La Cadena y la unidad El Manco con coordenadas 25°20'N y 102°49'W (fig. 4.1).

Fig.4.1 Mapa de localización del área de estudio. Modificado de López *et al.*, 2010



### **4.1.1 OROGRAFÍA**

En el estado se localizan 3 provincias fisiográficas:

(I) Provincia de sierras y llanuras del norte que se caracteriza por una alternancia de sierras y llanuras donde las primeras son abruptas con altitudes que varían de 2,000 a 3,000 msnm, mientras que las llanuras tienen de 800 a 1,400 msnm. Los llanos están cubiertos de aluviones y ocasionalmente se localizan acumulaciones salitrosas.

(II) Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental cruza de norte a sur el estado, su principal característica es la curvatura a la altura de Monterrey, hacia el oeste para extenderse en ese sentido en la parte sur del estado hasta conectar con la Sierra Madre Occidental al norte de Durango. Está constituida básicamente por calizas y en menor porción por areniscas y lutitas, las alturas oscilan entre los 2,000 y 3,000 msnm.

(III) Provincia de las Grandes Llanuras de Norteamérica la cual se caracteriza por llanuras muy planas con declives graduales al oriente, con grandes llanos interrumpidos por lomeríos dispersos constituidos por material conglomerático (COREMI 1993).

El marco orográfico del estado es sumamente irregular debido a la presencia de la Sierra Madre Oriental que atraviesa la región de sur a norte por la región central-oriental dando origen a un complejo de sierras y lomeríos que se extienden en toda la entidad.

La zona montañosa en Viesca comprende los siguientes relieves: al sur las Sierras de las Burras que está localizada a 13 km de norte de Viesca y de Santiago, entre estas cadenas montañosas existen áreas semiplanas, poco accidentadas y de suave declive (Cuéllar y Pablo, 1981).

### **4.1.2 HIDROGRAFÍA**

El estado de Coahuila queda comprendido en cuatro regiones hidrológicas: región 24 Río Bravo, 35 Napimi, 36 Nazas-Aguanaval y 37 Río Salado. La mayoría de los ríos de la entidad nacen de corrientes subterráneas que brotan en manantiales, los ríos se caracterizan por llevar agua todo el año en menor o mayor cantidad (INEGI, 1982).

Dentro de las aguas superficiales las principales corrientes que drenan al estado son el Río Bravo, Río Aguanaval y el Río Nazas. Existen corrientes secundarias en su mayoría tributarias del Río Bravo como son el Río San Rodrigo, Río Escondido, Río Álamos o Sabinas, Río Salado y Río Candela.

En cuanto a los recursos hidrológicos del municipio de Viesca, el sur se abastece escasamente del Río Aguanaval proveniente del estado de Durango, entra por el noroeste, el río Nazas-Torreón, el cual se desplaza por todo el norte de Viesca hasta llegar a Parras a la altura de Villa de Bilbao. Los arroyos más importantes son: el Carros, el Fruncidero, el del Chivo, el Álamo y el de la Víbora (Cuéllar y Pablo, 1981).

#### **4.1.3 CLIMA**

El estado de Coahuila esta situado, en su mayor parte en el oriente de una gran área climática denominada desierto de Chihuahua o desierto del Norte de México. Esta región fisiográficamente abarca extensas áreas de la Sierra Madre Oriental, se caracteriza por poseer climas secos y muy secos. Son tres las áreas en las que se puede dividir el estado por sus climas: el Occidente muy seco, que comprende extensas llanuras desérticas de la provincia de Sierras, Llanura del Norte y algunas otras; el centro y sur en las que se asocian climas desde los muy secos y secos semicalidos (INEGI 1982).

El clima en el municipio de Viesca es de subtipo seco semicálido; la temperatura media anual es de 20 a 22°C, a excepción del centro del municipio donde se registra de 18° a 20° C; la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 200 a 300 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de abril a noviembre y escasas en el resto del año; los vientos predominantes soplan en dirección sur a velocidades de 20 a 27 km/h. La frecuencia de heladas es de 0 a 20 días en el norte del municipio y de 20 a 40 días en el sur; y granizadas de uno a veinte días al año en el noroeste y de cero a uno en el resto del municipio (Cuéllar y Pablo, 1981).

---

---

## CAPITULO V

### 5. METODOLOGÍA

#### 5.1 ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio pertenece al municipio de Viesca, estado de Coahuila, para llegar a esta zona hay que tomar la carretera federal Saltillo-Torreón km. 40, seguir la desviación al sureste hacia Emiliano Zapata y posteriormente a Viesca, se toma el acceso de terracería de 3 km. en dirección oeste.

El afloramiento se encuentra en la sierra El Álamo entre la sierra La Cadena y la unidad El Manco, en donde se levantó el perfil en cuestión correspondiendo a las coordenadas geográficas 25°20'N y 102°49'W.

#### 5.2 MUESTREO

Con la finalidad de corroborar las formaciones que afloran en el área de estudio se extrajeron 11 muestras *in situ* (Vie 19 a Vie 29) de los diferentes horizontes que constituyen el perfil litológico.

La recolección de las muestras se realizó de la forma siguiente:

- Se retiró la roca afectada por intemperismo para obtener una muestra sana esto fue quitando el material que presentaba una alteración en color hasta obtener material sin alteración.
- Se tomó una muestra de cada estrato correspondiente al perfil.
- Se introdujo la muestra de mano a una bolsa de polietileno transparente y se rotularon para su identificación.

### 5.3 DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

La Formación La Casita en el Cañón El Álamo está representada por una secuencia de calcarenita-caliza-lutita, donde se levantaron tres muestras de lutita (Vie 21, 26 y 28), seis muestras de caliza (Vie 22, 23, 24, 25, 27 y 29), y dos muestras de calcarenita (Vie 19 y 20) para la identificación del perfil litológico.

Los estratos se enumeraron de menor a mayor de la base a la cima. El perfil litológico corresponde a 34.05 m. de espesor en total. En la foto 5.1 se puede apreciar parte del perfil de interés.



Foto 5.1. Detalle de la formación la casita en el afloramiento de Viesca, Coahuila.  
Alternancia de lutita rosado-rojiza con yeso, marga y caliza gris oscura rica en materia orgánica.

Una vez recolectadas las muestras correspondientes fueron trasladadas al Laboratorio de Geoquímica del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo para el proceso de preparación.

## 5.4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El proceso de preparación de la muestras comienza con la trituración y molienda. Las 11 muestras (Vie 19 a Vie 29) se trituraron con apoyo de la pica y se dejaron secar a temperatura ambiente para eliminar cualquier humedad que pudieran tener.

Posteriormente se pulverizaron (7 min. aprox. las lutitas y 10 min. aprox. las calizas) en un pulverizador modelo Pulverisette 2, marca Fritch constituido por un mortero y un pistilo de ágata (Foto 5.2), material que impide que la muestra se contamine y permite la pulverización y la homogenización de la misma.



Foto 5.2. Pulverizador modelo Pulverisette 2 marca Fritch constituido por un mortero y un pistilo de ágata

Una vez pulverizadas las muestras se pesaron 100 gr de cada una en una balanza analítica y se depositaron en una bolsa de polietileno rotuladas para su debida identificación.

## 5.5 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL BITUMEN POR MICROONDAS

El método de extracción utilizado fue el de Extracción Asistida por Microondas utilizando un microondas modelo MARS 5, marca CEM, versión 049031, (Foto 5.3), (las condiciones de trabajo se presentan en el ANEXO 1).

Para estudiar la influencia del disolvente en la extracción de la MOS que contenga el sedimento, se utilizaron dos mezclas de disolventes: una de Acetona-Hexano (1:1) y la otra de Acetona-Diclorometano (1:1).

Se prepararon 4 vasos de teflón a los cuales se les agrego 3gr de muestra Vie 19 a cada uno, después se adicionó a dos vasos 25 ml de Acetona-Hexano (1:1) y a otros dos Acetona-Diclorometano (1:1), tratándose un muestra y un duplicado de cada muestra y de cada mezcla de solventes, posteriormente se cerraron los vasos de teflón y se colocaron en el tornamesa del Microondas.



Foto 5.3. Equipo de Microondas modelo MARS 5, marca CEM, versión 049031

La tornamesa cuenta con 14 vasos de teflón (Foto 5.4) para realizar la extracción simultáneamente, por lo que esta preparación se realizó de igual manera con el resto de las muestras, dando un total de 44 muestras para extracción.



Foto 5.4 Tornamesa de Microondas con 14 vasos de teflón

La extracción de las muestras se realizó en el equipo de microondas del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Después de finalizado el tiempo de enfriamiento de las muestras en el microondas, éstas se filtraron utilizando papel filtro Whatman 40, el cual previamente fue tratado en Hexano para evitar cualquier humedad en el sedimento.

El filtrado se colocó en un matraz balón de 250 ml el cual se llevó a un rotavapor marca Büchi modelo R-205 (Foto 5.5) a una temperatura de 60°C con una rotación de 45 rpm para evaporar el exceso de disolvente hasta obtener aprox. 5 ml por extracto.



Foto 5.5. Rotavapor marca Büchi modelo R-205

Una vez obtenida esta cantidad de extracto se transfirió este volumen con ayuda de pipetas Pasteur a viales de vidrio (previamente pesados) y se les colocó una tapa de papel absorbente para permitir la evaporación total del disolvente y prevenir cualquier contaminación por partículas del aire (Foto 5.6).



Foto 5.6. Viales de vidrio (previamente pesados) con tapa de papel absorbente

Una vez corroborado que no quedara disolvente en los viales, éstos se pesaron para obtener el peso de la MO disuelta en el sedimento, (Foto 5.7) y se procedió al análisis por Cromatografía de Gases-Masas.

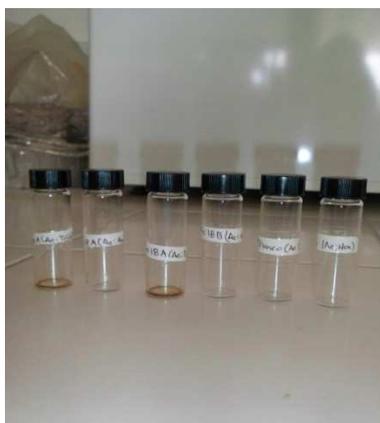


Foto 5.7 Evaporación total del disolvente en los viales de vidrio

## 5.6 ANALISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES-MASA (CG-MS)

Los extractos obtenidos en los viales se analizaron mediante un Cromatógrafo de Gases marca Hewlett Packard (HP) modelo 6890N con sistema de inyección splitless acoplado a un Espectrómetro de Masas marca HP modelo 5973N (Foto 5.8), en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), (las condiciones de operación del CG-MS se presentan en el ANEXO II).

Para la interpretación de los cromatogramas obtenidos por CG-MS, se utilizó el software HP-Chem, apoyándose de la base de datos Wiley138 con lo que fue posible identificar los compuestos orgánicos y biomarcadores presentes en los extractos.



Foto 5.8. Cromatógrafo de Gases marca Hewlett Packard (HP) modelo 6890N con sistema de inyección splitless acoplado a un Espectrómetro de Masa marca HP modelo 5973N



## 6.2 METODO DE EXTRACCION DEL BITUMEN POR MICROONDAS

Como ya se menciona en el capítulo anterior las muestras llevaron un tratamiento específico para la extracción de la materia orgánica soluble (bitumen), las 11 muestras se trabajaron por duplicado para tener un respaldo si es que había pérdida de muestra por derramamiento o contaminación, éstas muestras se analizaron probándose dos mezclas de disolventes: Acetona-Hexano y Acetona-Diclorometano para alcanzar la polaridad y extraer los compuestos orgánicos presentes en la misma y así poder concluir que tipo de disolvente es más eficiente en el método de extracción asistida por microondas (EAM).

Los resultados de los pesos obtenidos de bitumen, después de la extracción, permitieron conocer la cantidad de recuperación del bitumen en ambas mezclas de disolventes (Acetona-Hexano y Acetona-Diclorometano) mediante el método de extracción asistida por microondas (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Peso del bitumen recuperado utilizando mezclas de disolventes (Acetona-Hexano y Acetona-Diclorometano) en EAM

Muestra	Tipo de Roca	Recuperación del bitumen en gramos	
		Acetona-Hexano	Acetona-Diclorometano
Vie 19	Calcarenita	0.0015	0.0015
Vie 20	Calcarenita	0.0004	0.0017
Vie 21	Lutita	0.0017	0.0010
Vie 22	Caliza	0.0032	0.0012
Vie 23	Caliza	0.0005	0.0017
Vie 24	Caliza	0.0008	0.0020
Vie 25	Caliza	0.0008	0.0007
Vie 26	Lutita	0.0006	0.0021
Vie 27	Caliza	0.0003	0.0007
Vie 28	Lutita	0.0006	0.0011
Vie 29	Caliza	0.0015	0.0013

De acuerdo con los pesos obtenidos del bitumen presentado en la tabla anterior, se puede apreciar los siguientes aspectos:

- Con respecto al tipo de mezcla de disolventes: en la de Acetona-Diclorometano, se presentan en seis muestras los mayores pesos de bitumen; en la de Acetona-Hexano, en cuatro muestras se presentan los mayores pesos del bitumen; y en una muestra, se obtuvo el mismo peso bitumen extraído, independientemente de la mezcla de disolventes utilizada. Se realizó un análisis estadístico (varianza entre dos variables) en las 11 muestras, resultando que el mejor disolvente para la extracción del bitumen en las muestras es Acetona-Diclorometano. El análisis estadístico con respecto al análisis de las medias se hizo de manera general en todas las muestras, considerando por tipo de roca (variable-1) y por disolventes (variable-2) con la finalidad de corroborar si existe diferencia significativa entre los pesos obtenidos del bitumen, indicándonos que dicha mezcla de disolventes (Acetona-Diclorometano) es la más idónea y con esto afirmamos que nuestros resultados y nuestro método son eficientes, el análisis estadístico se llevo a cabo con el programa SPSS versión 20 (ANEXO III).
- Con respecto al tipo de roca: de las tres lutitas estudiadas, en dos de ellas se obtuvo mayor peso del bitumen utilizando la mezcla Acetona-Diclorometano; de las seis calizas estudiadas, en tres tuvieron alto peso del bitumen con la mezcla Acetona-Diclorometano y tres con la mezcla Acetona-Hexano, sin embargo utilizando esta última mezcla en una muestra de caliza es donde se obtuvo el mayor peso del bitumen extraído utilizando EAM, el cual fue de 0.0032 g.; con respecto a las dos calcarenitas en una de ellas se obtuvo mayor peso utilizando la mezcla Acetona-Diclorometano. De acuerdo con lo anterior se puede sugerir que dependiendo del tipo de roca a estudiar deberá utilizarse la mezcla de disolventes idónea, esto es para lutitas la mezcla de Acetona-Diclorometano, para calizas cualquiera de las dos, aunque en la de Acetona-Hexano se deberán de hacer más pruebas para poder recomendar ésta mezcla como la mejor, porque con un solo dato obtenido no se puede generalizar, y finalmente si se trata de calcarenitas la mejor mezcla fue la de Acetona-Diclorometano.

- Con respecto al método de extracción del bitumen: en la tabla 6.2 se presentan los pesos del bitumen extraído por el método de extracción secuencial termoregulada, publicados por Montaña (2013) en donde utilizo 150 g de muestra, 375 ml de Hexano y un tiempo de 55 hrs por muestra para la extracción del bitumen. Así también en la tabla 6.3 se presentan los resultados obtenidos por Fabián (2013) en donde utilizó 150grs de muestra, 300 ml de Diclorometano y 48 hrs. por muestra para la extracción del bitumen.

Tabla 6.2 Peso de materia orgánica (bitumen) modificada de Montaña 2013.

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de Roca</b>	<b>Solvente</b>	<b>peso (g)</b>
STE-003	Arenisca muy consolidada y no consolidada	Hexano	0.0002
STE-006	Nódulos de arenisca muy compacta	Hexano	0.0544
STE-008	Sedimento arenoso soportado por fragmentos de conglomerados	Hexano	0.001
STE-010	Conglomerado masivo	Hexano	0.0001
STE-102	Nódulos de arenisca	Hexano	0.0002
STE-105	Arenisca poco consolidada	Hexano	0.0006
STE-106	Arenisca muy consolidada	Hexano	0.0549
STE-110	Arenisca conglomerática	Hexano	0.0006
STE-115	Sedimento arenoso no consolidado	Hexano	0.0007
STE-119	Arenisca conglomerática	Hexano	0.0001
STE-120	Arenisca conglomerática y conglomerado polimicrítico	Hexano	0.0546
STE-121	Conglomerado Polimicrítico	Hexano	0.0005
STE-200	Margas y evaporitas	Hexano	0.0542
STE-202	Conglomerado Polimicrítico	Hexano	0.0004
STE-203	Sedimento limo-arcilloso	Hexano	0.0541

Tabla 6.3 Peso de materia orgánica (bitumen) modificada de Fabián, 2013.

Muestra	Tipo de Roca	Solvente	peso (g)
GR-01	Limolita	Diclorometano	0.0006
GR-02	Arenisca	Diclorometano	0.0006
GR-03	Limolita	Diclorometano	0.0004
GR-10b	Limolita	Diclorometano	0.0034
GR-14	Limolita	Diclorometano	0.0014
GR-17	Limolita	Diclorometano	0.0004
GR-20	Limolita	Diclorometano	0.0004
GR-24b	Arenisca	Diclorometano	0.0012
GR-26	Limolita	Diclorometano	0.0002
GR-30	Limolita	Diclorometano	0.0008

De acuerdo con los resultados publicados por Montaña 2013, de las 15 muestras que se analizaron con hexano solo en 5 de ellas se muestran valores altos de 0.0544 grs de recuperación mientras que el resto los valores son bajos.

Por otro lado los resultados de Fabián 2013, muestran que de las 10 muestras solo una presenta un valor de 0.0034 grs de recuperación del bitumen y las demás los valores son bajos.

Por lo que, de acuerdo a las tablas anteriores, se puede apreciar que los pesos de la materia orgánica soluble (bitumen) obtenidos, dependiendo del tipo de roca y del disolvente de extracción, varían; sin embargo haciendo una comparación con los extraídos por el método de extracción asistida por microondas, éste presenta resultados similares pero con valores significativos los cuales nos indican que estadísticamente es mejor utilizar la mezcla de disolventes acetona-diclorometano y el método EAM. Por otro parte, se tiene la ventaja de que se utilizan solo 3 g de muestra, 25 ml de solvente y un tiempo de extracción de 30 min., aunado a que se pueden extraer 14 muestras simultáneamente en el horno de microondas.

Se considera que en éste método se reducen costos; tanto de tiempo de extracción, de solventes y de cantidad de muestra, como ya se menciono anteriormente, por lo que para la identificación del origen de la materia orgánica sedimentaria a partir de los alcanos lineales se recomienda el método de extracción asistida por microondas ampliamente.

### 6.3 ANALISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES-MASA (CG-MS)

En las 11 muestras (Vie 19 a Vie 29) analizadas por Cromatografía de Gases-Masa (CG-MS) se logró identificar en la materia orgánica sedimentaria a los alcanos lineales como compuestos orgánicos principales pero también se encontraron derivados de hidrocarburos aromáticos policíclicos como naftaleno, azuleno, antraceno y fenantreno además de aromáticos heterocíclicos derivados de furano y tiofeno como compuestos traza.

De los cromatogramas obtenidos del bitumen extraído donde se utilizo la mezcla de Acetona-Diclorometano, en la mayoría de los casos se obtuvieron alcanos de bajo peso molecular los cuales corresponden a  $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ ,  $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$ ,  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$  y  $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ , siguiendo hasta  $n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$  como el alcano de cadena mas larga; en la mayoría con ausencia de  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  y  $n\text{-C}_{35}\text{H}_{72}$ ; mientras que en la mezcla Acetona-Hexano los alcanos de bajo peso molecular presentes son:  $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$ ,  $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$  y  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ , siguiendo la secuencia hasta  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ , de igual manera presenta  $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$ ,  $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$ ,  $n\text{-C}_{33}\text{H}_{68}$ ,  $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$  y  $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$  como los alcanos de cadena mas larga, con ausencia de los alcanos  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  y  $n\text{-C}_{35}\text{H}_{72}$  debido al enmascaramiento con otros compuestos o por contaminación propia de la columna por lo que no se pudieron identificar.

La identificación de los alcanos lineales encontrados en las 11 muestras analizadas por CG-MS, se presenta a continuación.

La muestra **VIE 19** correspondiente a una calcarenita con la mezcla de disolvente Acetona: Hexano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$  al  $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$  y  $n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$  sin presentar  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$ ,  $n\text{-C}_{33}\text{H}_{68}$  y  $n\text{-C}_{35}\text{H}_{72}$  como se muestra su identificación en el

cromatograma 1. En los tiempos de retención donde se esperaba encontrar los alcanos anteriores en su mayoría predomina Hahnfet, 2-nanol, 5 ethyl, Dopropane 1- methyl-1-(1-methyl), Cis-1-butyl-2-methylciclopropane.

Cromatograma muestra Vie 19 Ac:Hex

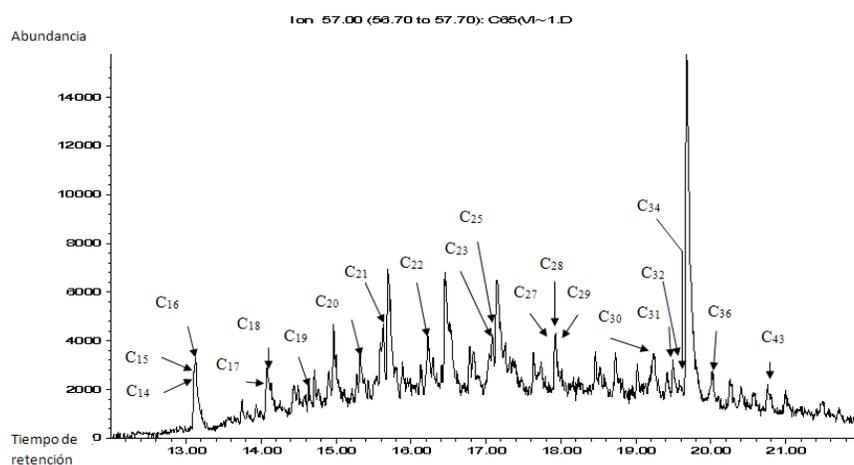


Fig. 6.2 Cromatograma 1.

La muestra **VIE 20** correspondiente a calcarenita con la mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$  al  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$  sin presentar  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 2.

Cromatograma muestra Vie 20 Ac: Diclo

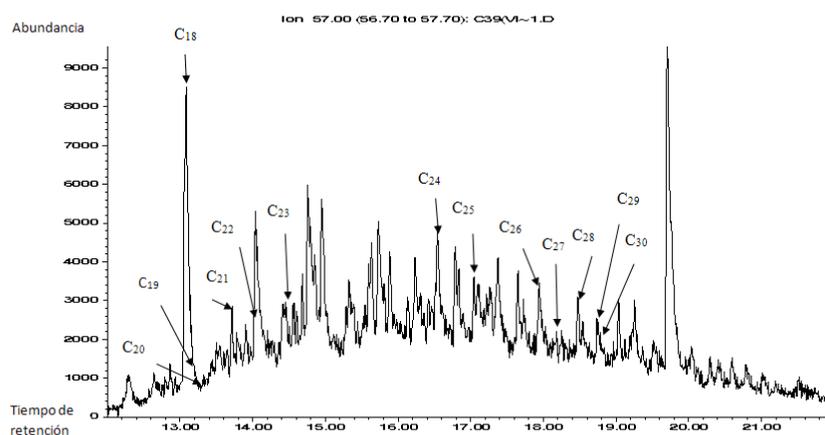


Fig. 6.3 Cromatograma 2.

La muestra **VIE 21** corresponde a lutita con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$  al  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$  y  $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$  sin presentar  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 3. En los tiempos de retención donde se esperaría encontrar los alcanos anteriores en su mayoría predomina Hahnfet, Nonahexacontanoic acid.

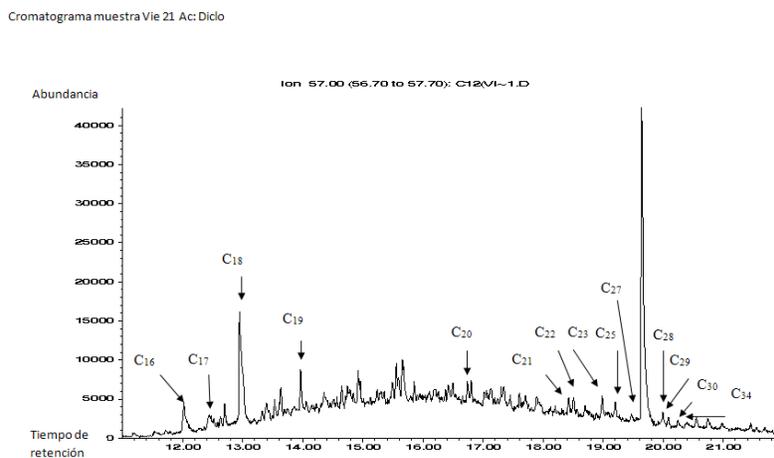


Fig. 6.4 Cromatograma 3.

La muestra **VIE 22** corresponde a caliza con mezcla de disolventes Acetona-Hexano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$  al  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 4.

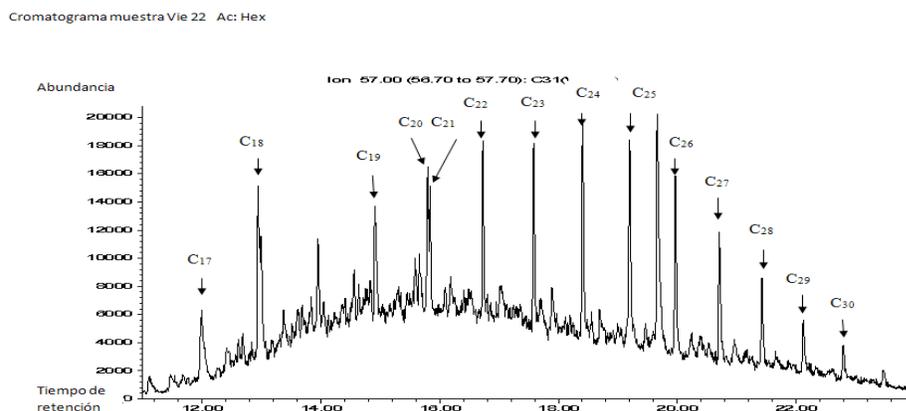


Fig. 6.5 Cromatograma 4.

La muestra **VIE 23** corresponde a caliza con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$  al  $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ ,  $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$  y  $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$  sin presentar  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 5. En los tiempos de retención donde se esperaría encontrar los alcanos anteriores en su mayoría predomina Hahnfet, 1,2-Benzenedicarboxylic acid, 3-nitro.

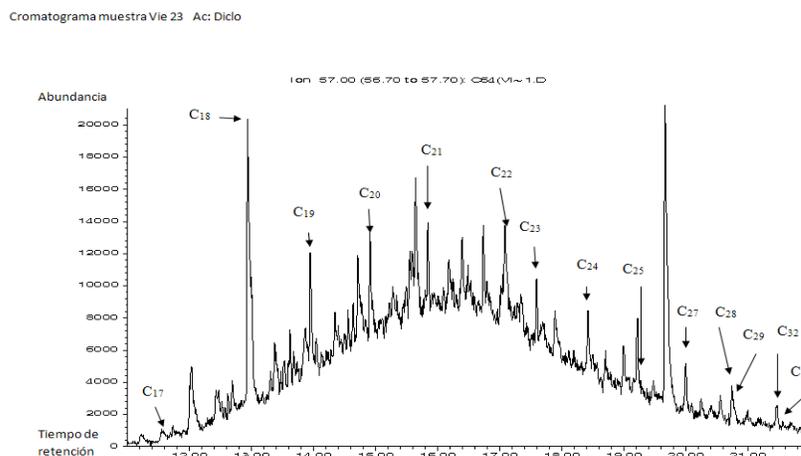


Fig. 6.6 Cromatograma 5.

La muestra **VIE 24** corresponde a caliza con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$  al  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ ,  $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$ ,  $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$ ,  $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$  y  $n\text{-C}_{43}\text{H}_{88}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 6 así como el espectro de masa del  $\text{C}_{18}$  el cual nos ayudó a identificar al mencionado alcano.

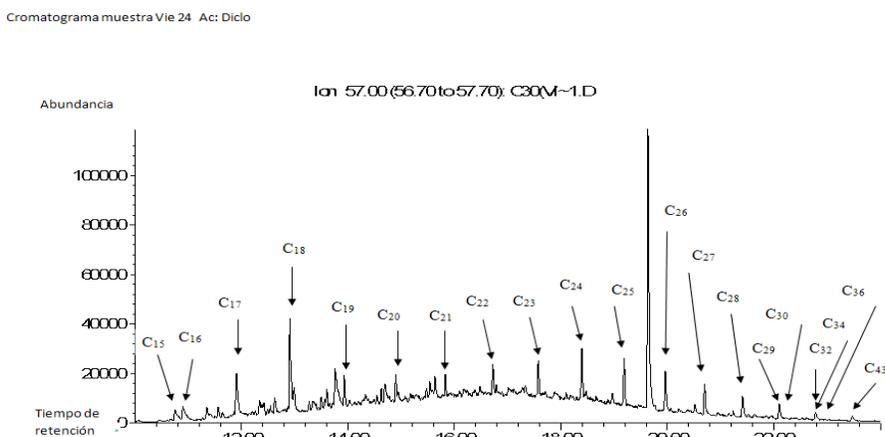
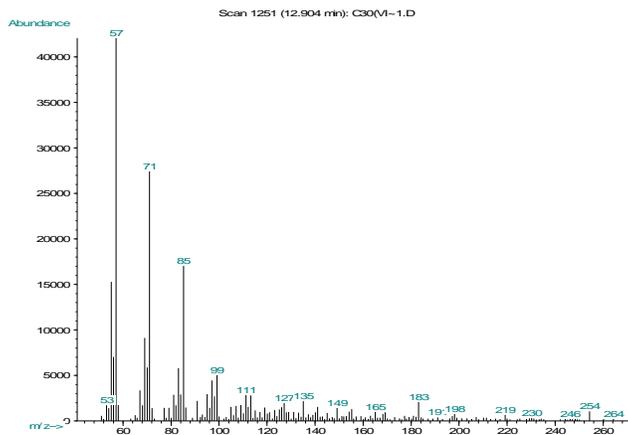


Fig. 6.7 Cromatograma 6.

Fig. 6.8 Espectro de masa de alcano C<sub>18</sub>

La muestra **VIE 25** corresponde a caliza con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son *n*-C<sub>18</sub>H<sub>38</sub> al *n*-C<sub>30</sub>H<sub>62</sub>, C<sub>36</sub>H<sub>74</sub> y *n*-C<sub>43</sub>H<sub>88</sub> sin presentar *n*-C<sub>24</sub>H<sub>50</sub>, *n*-C<sub>26</sub>H<sub>54</sub> como se muestra su identificación en el cromatograma 7. En los tiempos de retención donde se esperaría encontrar los alcanos anteriores en su mayoría predomina Hahnfet, 2-nanol, 5 ethyl, Cyclohexane (1-hexyltetradecyl), Nonahexacontanoic acid.

Cromatograma muestra Vie 25 Ac: Dicho

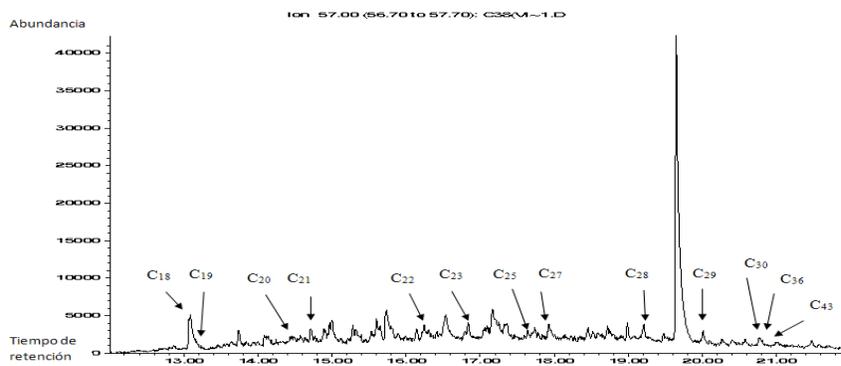


Fig. 6.9 cromatograma 7.

La muestra **VIE 26** corresponde a lutita con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$  al  $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$  y  $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$  sin presentar  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 8.

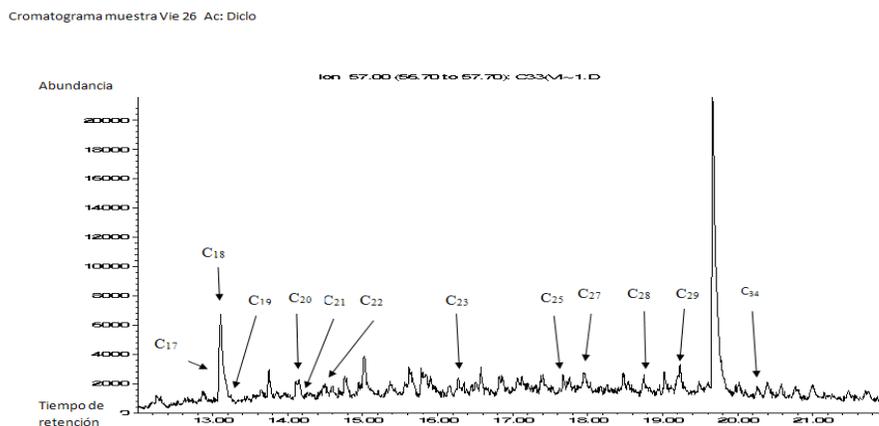


Fig. 6.10 Cromatograma 8.

La muestra **VIE 27** corresponde a caliza con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$  al  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ ,  $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$  y  $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$  sin presentar  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 9. En los tiempos de retención donde se esperaría encontrar los alcanos anteriores en su mayoría predomina Isochiapin B, Etanol, 2-(dodecyloxy).

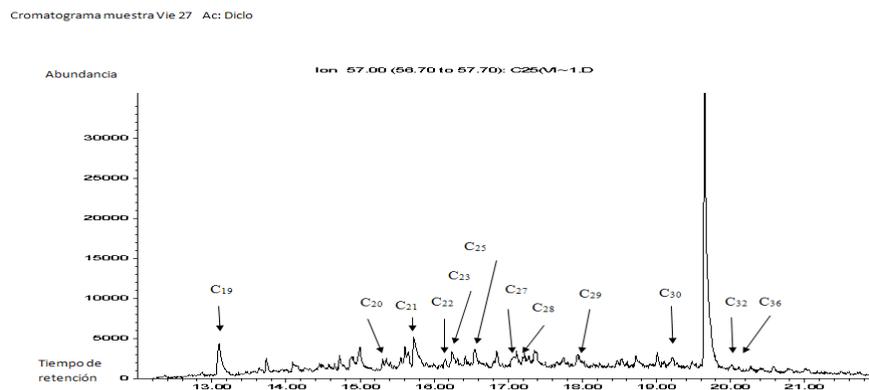


Fig. 6.11 Cromatograma 9.

La muestra **VIE 28** corresponde a lutita con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$  al  $n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$  sin presentar  $\text{C}_{33}\text{H}_{68}$ ,  $n\text{-C}_{35}\text{H}_{72}$ , como se muestra su identificación en el cromatograma 10.

Cromatograma muestra Vie 28 Ac: Dicio

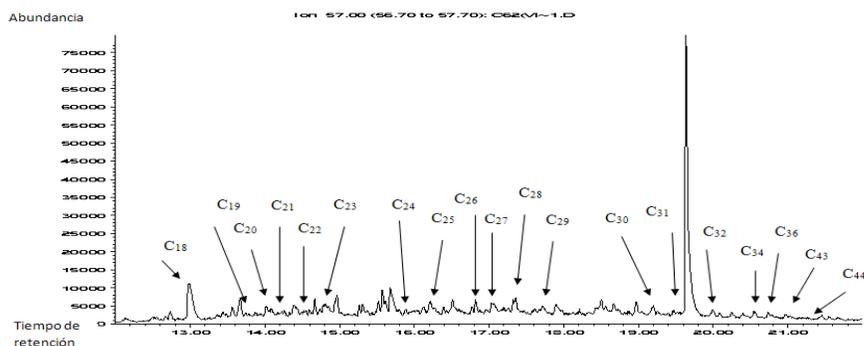


Fig. 6.12 Cromatograma 10.

La muestra **VIE 29** corresponde a caliza con mezcla de disolventes Acetona-Diclorometano donde los alcanos encontrados son  $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$  al  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$  sin presentar  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}$  y  $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$  como se muestra su identificación en el cromatograma 11. En los tiempos de retención donde se esperaría encontrar los alcanos anteriores en su mayoría predomina Hahnfet, 1-Hexadecanoil, 3, 7, 11, 15-tetramethyl, Tridecane, 3-methyl, 9-octadecenamamide (z), Dodecane, 1, 2-dibromo, Isochiapin B, Octadecane, 1-chloro.

Cromatograma muestra Vie 29 Ac: Dicio

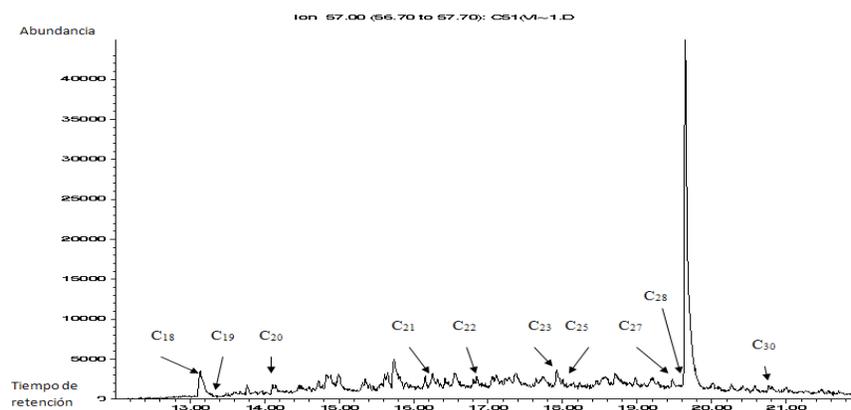


Fig. 6.13 Cromatograma 11.

En la mayoría de las muestras los alcanos encontrados con la mezcla Acetona-Diclorometano van desde  $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ ,  $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$ ,  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$  y  $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$  siguiendo hasta  $n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$ ; en la mayoría con ausencia de  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  y  $n\text{-C}_{35}\text{H}_{72}$  debido al enmascaramiento con otros compuestos o en su defecto por la contaminación propia de la columna por lo que no se pudieron identificar.

Mientras que las muestras con Acetona-Hexano los alcanos con pesos moleculares mas bajos presentes son:  $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$ ,  $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$  y  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ , siguiendo la secuencia hasta  $n\text{-C}_{30}\text{H}_{62}$ , de igual manera presenta  $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$ ,  $n\text{-C}_{32}\text{H}_{66}$ ,  $n\text{-C}_{33}\text{H}_{68}$ ,  $n\text{-C}_{34}\text{H}_{70}$  y  $n\text{-C}_{36}\text{H}_{74}$  como los alcanos de cadena mas largas, con ausencia de los alcanos  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ ,  $n\text{-C}_{26}\text{H}_{54}$  y  $n\text{-C}_{35}\text{H}_{72}$  posiblemente se enmascararon con otro compuesto o en su defecto por la contaminación propia de la columna por lo que no se pudieron identificar.

De los cromatogramas obtenidos, podemos observar que con respecto a la utilización de las dos mezclas de disolventes, en la que se tuvo la mejor identificación de los alcanos lineales fue en la mezcla de Acetona-Diclorometano, ya que la identificación fue más significativa en nueve de las muestras, que en la mezcla de Acetona-Hexano en donde solo lo fue en dos de ellas: Vie 19 y Vie 22.

En la mezcla Acetona-Diclorometano se identificaron mejor los alcanos lineales en la mayoría de las muestras independientemente del si se trataba el sedimento de una lutita, caliza o una calcarenita.

Otra observación que se pudo apreciar es el hecho de que las muestras tienen un comportamiento similar presentando alcanos de cadena corta a partir del  $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ , por lo que nos indica que los alcanos más pequeños no se alcanzan a separar utilizando la mezcla Acetona-Diclorometano, pero permite ver alcanos de cadena más larga como  $n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$ . Sin embargo de acuerdo a Pastor, et al., (2001), la ausencia de  $n$ -alcanos de bajo número de átomos de carbono puede deberse a su eventual evaporación, disolución o biodegradación.

## 6.4 INTERPRETACION DE LOS AMBIENTES DE DEPÓSITO.

Los alcanos lineales son indicadores del origen de la materia orgánica sedimentaria de acuerdo con varios autores como Tissot, Welte, Maldowan, entre otros (Tabla 6.4), mientras por otro lado los n-alcanos mas utilizados como marcadores de la materia orgánica de origen marino, fuente y dominancia según Saliot (1981) se muestran en la tabla 6.5 y el ambiente de depósito en la tabla 6.6.

Tabla 6.4 Alcanos lineales y su significado ambiental. Modificado de (Hunt, 1996; Peters y Maldowan, 1993)

COMPUESTOS	ORIGEN
$n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ , $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ , $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ ,	Indican la presencia de algas sugiriendo un ambiente lacustre y/o marino
$\text{C}_{23}\text{H}_{48}$	Característico de algas en ambiente lacustre
$n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $\text{C}_{31}\text{H}_{64}$	Plantas continentales

Tabla 6.5. Alcanos mas utilizados como marcadores de MOS de origen marino (Saliot, 1981).

FUENTE DE HIDROCARBUROS	DOMINANCIA DE ALCANO INDIVIDUAL
Fitoplancton	$n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ , $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$
Algas bentónicas y pelágicas	Rojas (Rhodophyta): $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ Cafés (Phaeophyceae): $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$
Bacterias	$n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$

Tabla 6.6. Ambientes de depósito que se sugieren. Modificado de Hunt, 1996; Gelpi *et al* 1970; Maldowan *et al* 1985; Tissot y Welte 1984.

ALCANOS PRINCIPALES	AMBIENTES QUE SUGIEREN	ALCANOS PRINCIPALES	AMBIENTES QUE SUGIEREN
$n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ , $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ , $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ , $n\text{-C}_{23}\text{H}_{48}$ , $n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$	Lacustre- Continental (presencia de algas cafés, rojas y bacterias)	$\text{C}_{23}\text{H}_{48}$ , $n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$	Lacustre- Continental
$n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$	Continental	$n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $\text{C}_{31}\text{H}_{64}$	Continental
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ , $n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$	Lacustre- Continental (presencia de algas rojas)	$\text{C}_{23}\text{H}_{48}$	Lacustre
$n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$	Lacustre- Continental	$\text{C}_{23}\text{H}_{48}$ , $n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$	Lacustre- Continental
$n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ , $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ , $n\text{-C}_{23}\text{H}_{48}$ , $n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $n\text{-C}_{29}\text{H}_{60}$ , $n\text{-C}_{31}\text{H}_{64}$	Lacustre – Continental (presencia de bacterias)	$n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$ - $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$	Lacustre/ Marino (presencia de algas rojas y bacterias)
$n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ , $n\text{-C}_{27}\text{H}_{56}$ , $\text{C}_{29}\text{H}_{60}$ , $\text{C}_{31}\text{H}_{64}$	Lacustre/ Marino continental	$n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$ , $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$ , $n\text{-C}_{19}\text{H}_{40}$ ,	Lacustre / Marino (presencia de algas cafés y bacterias).

De acuerdo con las tablas anteriores se puede decir que el ambiente de depósito que sugieren con respecto a los datos obtenidos se cree que tienen un origen lacustre-marino, debido a las algas rojas, cafés y a las bacterias presentes en las muestra.

---

---

## CAPITULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos llegar a las siguientes conclusiones de este trabajo de investigación:

- De las 11 muestras tomadas *in situ* se pudo corroborar que el tipo de sedimento litológico corresponde a la Formación “La Casita” correspondiente a una secuencia de calcarenitas, lutitas y calizas presentes en el Cañón “El Álamo” en Viesca, Coahuila.
- Con respecto al tipo de mezcla de disolventes utilizada, la mejor mezcla de disolventes en cuanto a la cantidad de bitumen extraído es la de Acetona-Diclorometano de acuerdo con el análisis estadísticos realizado, en donde se corroboró que si existe diferencia significativa en los valores de recuperación del bitumen utilizando esta mezcla; así como con respecto al método de extracción del bitumen haciendo una comparación con el método de extracción tradicional de reflujo continuo termorregulado, se considera que el método de extracción asistida por microondas (EAM) permite tener resultados similares, sin embargo se tiene la ventaja de que en este método reducimos costos tanto de tiempo de extracción, de disolventes y de cantidad de muestra, por lo que para la identificación del origen de la materia orgánica sedimentaria a partir de los alcanos lineales se recomienda el método de extracción asistida por microondas ampliamente.
- Con respecto a la identificación de alcanos lineales utilizando la Cromatografía de Gases-Masas, la mezcla de disolvente que mostro mejores identificaciones fue Acetona-Diclorometano, independientemente del tipo de sedimento de la muestra, esta mezcla permitió la identificación de alcanos de cadena larga ( $n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$ ); más no es así con los alcanos de cadena corta por debajo de  $n\text{-C}_{18}\text{H}_{38}$  debido a la polaridad

que presenta el disolvente. Los cromatogramas obtenidos presentan valores de recuperación altos por lo que se muestra la eficacia del disolvente.

- El método de extracción asistida por microondas, nos permite trabajar las muestras por duplicado ya que la cantidad de muestra y solvente es mínima y así podemos evitar contratiempos como contaminación y pérdidas de muestras por evaporación o por derramamiento, aunado a que en el horno se pueden extraer al mismo tiempo hasta 14 muestras a la vez.
- El ambiente de depósito que sugieren con respecto a los datos obtenidos se cree que tienen un origen lacustre-marino debido a las algas rojas, cafés y a las bacterias presentes en las muestras que se interpretan por la presencia de los alcanos  $n\text{-C}_{17}\text{H}_{36}$  al  $n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$ .

---

---

## CAPITULO VIII

### 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

#### Formato APA 2004

- Agudo, A. 2009. *Los hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) acercamiento a su problemática laboral*. Secretaria de Salud Laboral y Medio Ambiente. p 51 y 52.
- Albaigés, J. y Grimalt, J. 1986-1987. *Contribución de la Geoquímica Orgánica a la reconstrucción de paleoambientes y procesos diagenéticos*. Acta Geológica Hispánica, 21-22, p. 577-583
- Alvares, E. 2010. *Geoquímica de las rocas valanginianas del afloramiento "El Nanthè", municipio de Tenango de Doria, Hidalgo (México): Implicaciones paleoambientales con base en Biomarcadores*. Tesis de Licenciatura, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Ángeles. C. 2006. *Geoquímica de las rocas sedimentarias jurásicas en localidades fosilíferas de la sierra madre oriental (Tenango de Doria- San Bartolo Tutotepec, Hidalgo): implicaciones paleoambientales*, Tesis de Licenciatura, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. p 5,6 y 25-48.
- Barry, R.G.; Chorley, R.J. 1985. *Atmosfera, tiempo y clima*. Ediciones Omega 4ª edición. Recuperado el 10 de julio del 2013, de <http://club.telepolis.com/geogrefo/clima/koppen.htm>.
- Consejo de Recursos Minerales (COREMI) 1993. *Monografía Geológica-Minera del Estado de Coahuila*. Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaria de Minas e Industria Básica, p. 16-27.

- Cuéllar, V., Pablo, M. 1981. *Geografía del estado de Coahuila*. Saltillo, Coahuila, biblioteca de la Universidad Autónoma de Coahuila, v.7.
- Durand, B., 1980. *Kerogen: insoluble organic matter in sedimentary rocks Editions Technip*, Paris, p. 13-53.
- Eglinton, G., y Calvin, M., 1967. *Chemical fossils. Scientific American*, v. 261, p. 32 -43.
- Fabián, M. 2013. *Caracterización geoquímica de la formación la casita (jurásico superior) en el afloramiento “El Granero”, municipio de Aldama, Chihuahua, México*. Tesis de Licenciatura, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. p 64.
- Goldhammer, R. 1999. *Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northern Mexico: en, C. Bartolini, J.L. Wilson, and T.F. Lawton, Eds., Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central México: Geological Society of America Special Paper 340*.
- González, A. 2004. *Obtención de aceites esenciales y extractos etanolicos de plantas del Amazonas*. Tesis profesional. Universidad Nacional de Colombia. Pág. 5 a 9.
- Gutiérrez, M. y Droguet, M. 2002. *La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: Identificación de compuestos causantes de mal olor*. Boletín intexter (U.P.C), núm. 122 pp.35-41.
- Grau L. y Cairo L. 1982. *Organización Dirección y Operaciones Fundamentales en el Laboratorio de Química/ Luis Grau Cairo\_ La Habana Editorial Pueblo y Educación*, p 619.
- Hedge, J. I., y Keil R. G., 1995. *Sedimentary organic matter preservation an assessment and speculative*. Marine Chemistry, v. 492-493, p.81-115.
- Heriot 2005. *Introduction on the Earth, Institute of petroleum Engineering*. Watt University 1 pp. 3 – 103.
- Imlay, R. 1939. Upper Jurassic Ammonites from Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America Vol 50, p. 1-78*.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 1982. *Anuario Estadístico del estado de Coahuila*.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2011. *Anuario Estadístico del estado de Coahuila de Zaragoza*.

- López, L. 1997. *Evidencias de migración primaria del bitumen: Formación Querecual, Venezuela*. *Interciencia* 22: 228-237.
- López, E. 2008. *Geología General y de México*. México. Ed. Trillas 1993 p. 48-70.
- López, E., Flores, K., Ángeles, C., Esquivel, C., Montiel, P., Durán, J., Velasco, F., Chávez, G., Leyva, C. y Ortiz, J. 2010. *Geoquímica orgánica de la formación la Casita en el afloramiento de Viesca, Coahuila: Implicaciones paleoambientales*. *Actas INAGEQ*, 16, p 66-71.
- Mata, M. y López, N. 2012. *Geoquímica de elementos traza y tierras raras en sedimentos marinos del margen marroquí del golfo de Cadiz*. *Revista de la sociedad española de mineralogía*. Macla número 16, pp 102 y 103.
- Martínez, J. 1989. *Interpretación estructural del frente de la Napa de Parras en el área de Viesca, estado de Coahuila*. *Revista Inst. Geol. U.N.A.M.* 8, p. 123-133.
- Mayer, A. y Pérez, R. 1967. *Carta geológica de México, hoja Viesca 13R-1*, resumen de la geología de la hoja Viesca, estados de Coahuila y Durango.
- McCarthy, K., Niemann, M., Palmowski, D., Peters, K. y Stankiewicz, A. 2011. *La geoquímica básica del petróleo para la evaluación de las rocas generadoras*. *Oilfield Review* 23 pp. 36-47.
- Moldowan, J. M., Seifert, W.K. Y Gallegos, E. J. 1985. *Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks*. *American Association of petroleum geologists bulletin*, v. 69, pp. 1255-1268.
- Montaño, L. 2013. *Geoquímica orgánica de las rocas silisiclasticas del cretácico superior de la sierra El Infiernillo (municipio de Aldama, Chihuahua) mediante la interpretación de biomarcadores*, Tesis de Licenciatura, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo p. 88.
- Navarrete, E. 2005. *Apuntes de geología general*. FICT-ESPOL, p. 43-76.
- Ortiz, J., Torres, T., Valle, M., M. Lucini, M. y Llamas, F. 2003. *Biomarcadores, flora y fauna de la base de la serie de Venta Micena (Orce, Granada)*. Información paleoambiental. *Geogaceta* 34, p. 171-174

- Permanyer, A. 2002. *La geoquímica orgánica en exploración y producción de petróleo: perspectivas y ejemplos de aplicación*. Dpto. de geoquímica, petrología y prospección geológica. Facultad de Geología, Univ. de Barcelona.
- Peters, K. y Maldowan, J. 1993. *The Biomarker Guide*, ed. Prentice-Hall, New Jersey, p. 141-142,149, 150, 154.
- Peters, K., Walters, C., Maldowan, J. 2005. *The biomarker Guide*, v.2, p. 475-505.
- Pino, V., 2002. *Extracción y preconcentración micelar. Aplicación a la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de interés medioambiental*. Tesis Doctoral. Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología, Universidad de La Laguna, p. 23-34.
- Plascencia, V. 2003. *Espectrometría de masa*, Instituto de Biotecnología, UNAM, Maestría en Ciencias Bioquímicas, curso de métodos, Cuernavaca Morelos. pág., 1-40.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2009. *Generación de petróleo mediante experimentos de pirolisis: revisión sobre el conocimiento actual*. Sociedad Geológica Mexicana. Boletín. México, D.F., pág. 353-366.
- Tarback, E.J. and Lutgens F.K., 2008. *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*, Prentice Hall, 8ª edición p.20-28, 201-221.
- Tardy, M., 1980. *La Transversal de Guatemala y la sierra Madre de México*. En Aubouin, J., Brousse, R., y Lehman, J.P. Tratado de geología, tomo III, Tectonica y tectonofisica y morfología. David Serrat, trad. Barcelona, España, Editorial Omega, p. 117-182.
- Villarreal, J. 2001. Listados florísticos de México, Instituto de biología, UNAM pág. 9-11.
- Villemur, M. y Rimini, S. 2002. *Determinación de pesticidas organoclorados en suelos- Extracción por microondas*. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún México.
- Wicander, R. and Monroe, J. 1999. *Fundamentos de Geología*. 2da edición, International Thomson Editores (2000) pag.137-147.
- Wilgus, C. K., Hastings, B. S. y Kendall, C.G.S.C., Posamentier, H. W., Ross, C. A. y Van Wagoner, J. C. 1988. *Cambios del nivel del mar: Un enfoque integral*. Sociedad Económica de paleontólogos y mineralogistas, Publicación especial, n. 42, de tulsa, Oklahoma, p. 407.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

### Formato APA 2004

- Ángeles C. 2008. *Caracterización de materia orgánica sedimentaria en la cuenca Wagner, Golfo de California (México): Evidencia de alteración hidrotermal*. XI Congreso latinoamericano de Geoquímica Orgánica, Isla de Margarita Venezuela.
- Cantú, A. 1998. *Las transgresiones jurásicas en México*. Sociedad Geológica Mexicana y Revista Inst. Geol. U.N.A.M., 15, p 25-37.
- Compuestos volátiles por CG-MS. Boletín Intexter (U.P.C) 122. p 35-41.
- Cuéllar, V., Pablo, M. 1979. *Historia del estado de Coahuila*. Saltillo, Coahuila, biblioteca de la Universidad Autónoma de Coahuila, v.7.
- Eglinton, G., Scott, P., Besky, T., Burlingame, A., and Calvin, M., 1964. *Hydrocarbons of biological origin from one-billion- year-old sediment*. Science, v.145, p. 263 – 264.
- Escala, M., Rosell-Melé, A. 2007. *Rapid screening of glycerol dialkyl glycerol tetraethers in continental Eurasia samples using HPLC/APCI-ion trap mass spectrometry*". P. Organic Geochemistry, 38 . pp 161-164.
- Garza, L. 2003. *Aves de Coahuila*, guía de campo. Museo de las aves de México, Saltillo, Coahuila. Pág. 373.
- Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J. y Oro, J. 1970. Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. Phytochem, v.9, pp. 603-612.
- González, C. 1989. *Evolución de terrenos Mesozoicos en el noreste de México*. Bol. Depto. Uni-Son, Vol. 6, No 1 y 2, p.39-54.
- González, P., Camprubí, A., Canet, C. y González, F.2008. "*Fisicoquímica de salmueras e hidrocarburos en cuencas petroleras y en depósitos minerales tipo Mississippi Valley y asociados*". Bol. Soc. Geol. Mex 60.
- Graham, T. 2004. *Química orgánica, Universidad del sur de Florida*, segunda edición. Editorial Limusa, Wiley. p 33,161-209.
- Hunt, J. M. 1996. *Petroleum Geochemistry and Geology*. Freeman Publisher, 2<sup>nd</sup> Edition, 743 pp.

- Imlay, R. 1947. *Formaciones Jurásicas de la Región del Golfo*. Asociación de Geólogos Petroleros. p 3-65.
- Imlay, R. 1980. *Jurassic paleobiogeography of the conterminous United States in its continental setting*: U. S. Geological Survey Professional Paper, v.106, p.1-134.
- Jayraman, S., Pruell, R. and McKinney, R., 2001. *Extraction of organic contaminants from marine sediments and tissues using microwave energy*. Chemosphere 44, p181-191.
- Juventino, M. 1989. *Univeridad. Nacional. Autónoma de México, Inst. Geología, Revista*, 2 pp. 123-133.
- Kellum, L. 1932. *Reconnaissance studies in the Sierra de Jimulco, México*: Geological Society of America Bulletin, v. 43, p. 541-564.
- Leyva, C., Flores, K., Velasco, F., Angeles, C., Chavez, G., Gibson, R., Dúran, J. C., López, E. G., Esquivel, C., Montiel, P. y Ramirez, M. 2011. *Implicaciones paleoambientales mediante geoquímica orgánica de las rocas jurásicas de la Formación "La Casita" en el afloramiento Potrero Prieto, Galeana, Nuevo León (México)*. Actas INAGEQ, v. 17, n.1, p 88-91.
- López, E. 2010. *Estudio mineralógico y geoquímico de la formación "La Casita" en el área de potrero prieto Galeana, N.L., México*. Tesis de Licenciatura, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo p.119.
- López, V. and Young, R., 1994. *Microwave-Assisted Extraction of Organic compounds from standard Reference Soils and Sediments*. Anal. Chem. 66. pp 1097-1106.
- Noordkamp, E., Grotenhuis, J. and Rulkens., 1997. *Selection of an efficient extraction method for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated soil and sediment*. chemosphere, vol. 35, no.9, p. 1907-1917.
- Núñez, C. 2007. *Extracciones con equipo Soxhlet*. Cenuetz. p. 1-5.
- Pastor, D., Sánchez, J., Porte, C. y Albaijes, J. 2001. *The Aegean sea oil spill on the Galicia Coast (NW Spain). I. Distribution and fate on the crude oil and combustion products in subtidal sediments*. Mar. Pollut. Bull.,v.42, p 895-904.

- Pérez, C. 2009. *Geología y geoquímica del yacimiento evaporítico de San Nicolas, Jacala de Ledesma, Estado de Hidalgo (México) Implicaciones fisicoquímicas y petrogenéticas*". Pag.3-14,53-59, 62,68.
- Peter, K. y Vollhardt, C.1996. *Química orgánica*. Segunda edición, University of Carolina, Berkeley, edición Omega, p.43-49,76y 77.
- Pino. V., Ayala, J., Afonso, A. y Gonzalez, V., 2003. *Micellar microwave-assisted extraction combined with solid-phase microextraction for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in a certified marine sediment*. Analytica Chimica. Acta 477 p. 81-91.
- Pinto, L. y Bornet, C. 2005. *Origen y distribución espacial de hidrocarburos alifáticos en sedimento de seno Aysén y canal Moreleda, Chile Austral*. Ciencia y Tecnología del Mar, 28, p. 34-44.
- Pons-Jiménez M., Guerrero-Peña A., Zavala-Cruz J., Alarcón, A. 2011. *Extracción de hidrocarburos y compuestos derivados del petróleo en suelos con características físicas y químicas diferentes (MPJ)* Instituto Mexicano del Petróleo. 27:1-5.
- Ramírez. E. 2008. *Interpretación paleoambiental con biomarcadores en rocas de las formaciones Tuzancoa y Huayacocotla en la región de Tianguistengo Hidalgo*, tesis profesional. P 1-7,40-63.
- Saliot, A., 1981. *Natural hydrocarbons in sea water*. In: Dursma E.K. & Dawson R. (Eds) Organic Chemistry. Elsevier, Amsterdam, 374p.
- Secretaría de Educación Pública (SEP) 2002. *Atlas de México*. México.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2005. *Léxico estratigráfico de México*. Formación La Casita. pág. 1-7.
- Tardy, M., Longoria, J. F., Martínez, J., Mitre, L. M., Patiño, M., Podilla, R. y Ramírez, C. (S.F.). *Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra madre oriental: la Aloctonia del conjunto cadena alta Altiplano Central, entre Torreón, Coah. y San Luis Potosí, S.L.P. México*. Revista Inst. Geol. U.N.A.M., 75, p. 1-11.
- Tissot, B.P. and Welte, D. H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, New York.

- Villaseñor, A. y González, C. 1988. *Fauna de amonitas y presencia de lamellaptychus murocostatus trauth del Jurasico Superior de la Sierra de Palotes, Durango. Revista Inst. Geol. U.N.A.M., 7, p. 71-77*

---

---

## Glosario

- Acetona: La acetona o propanona es un compuesto químico, de fórmula  $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ , se presenta como un líquido incoloro de olor característico. Se evapora fácilmente, es inflamable y es polar no soluble en agua.
- Alcanos: son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrogeno. La fórmula general para los alcanos lineales o alifáticos (de cadena lineal) es  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ .
- Analito: Es un termino utilizado sobre todo en la química analítica, análisis químico, donde hace referencia a una sustancia, la cual puede ser un ion, un elemento, o incluso un compuesto determinado, que posee un interés en nuestra muestra, pues es la parte que deseamos analizar.
- Biomarcadores: son componentes orgánicos complejos compuestos por carbono, hidrogeno y otros elementos, que se encuentran en rocas y sedimentos, con pequeños o nulos cambios en la estructura de sus principales moléculas orgánicas, están formados de organismos vivos.
- Bitumen: es la fracción soluble de la materia orgánica diseminada en rocas sedimentarias, aporta información sobre el origen y la madurez de una roca madre.
- Calcarenita: es una roca caliza clástica cuyo grano mide de 1/16 mm. a 2 mm.
- Caliza: El término «caliza» se aplica a cualquier roca sedimentaria constituida esencialmente, de carbonatos. Los dos constituyentes más importantes son la calcita y la dolomita. Las calizas pueden clasificarse en tres grupos principales: orgánico, químico y detrítico o clástico.
- Cromatografía: es básicamente una técnica de separación, su gran capacidad para resolver muestras complejas ha conducido a utilizarla cada vez mas como técnica analítica.

- **Diclorometano:** El diclorometano cloruro de metileno es un líquido incoloro de leve aroma dulce, su fórmula es  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Es muy poco polar por lo que su momento dipolar es casi nulo.
- **Disolvente:** disolvente o solvente es una sustancia que permite la dispersión de otra sustancia en esta a nivel molecular o iónico.
- **Espectrometría de masas:** Es una técnica de análisis cualitativo en la que los átomos o moléculas de una muestra son ionizados, separados por su relación masa/carga ( $m/z$ ).
- **Formación geológica:** es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes. Es la principal unidad de división litoestratigráfica.
- **Hexano:** El hexano o *n*-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono. Su forma química es  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ , se trata de un líquido incoloro, fácilmente inflamable y con un olor característico. Es muy poco polar por lo que su momento dipolar es casi nulo y su fuerza de elución es muy baja.
- **Hidrocarburos:** Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrogeno.
- **In situ:** Es una expresión latina que significa “en el sitio” o “en el lugar” y que es generalmente utilizada para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar.
- **Intemperismo:** Acción combinada de procesos (climáticos, biológicos, entre otros) mediante los cuales la roca es descompuesta y desintegrada por la exposición continua de los agentes atmosféricos, transformando las rocas masivas y duras en un manto residual fragmentado, siendo transportados por los agentes de la erosión terrestre (corriente de agua, viento, gravedad, hielo glacial, oleaje marino) para acumularse en otros lugares cerca o lejos de su fuente madre o primaria.

- Jurasico Superior: Periodo geológico durante la era mesozoica que tuvo lugar hace 205 m.a.
- Lacustre: Medio sedimentario propio de lagos.
- Litología: Naturaleza de las rocas de una formación geológica; parte de la geología que estudia a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también la composición, textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica.
- Lutita: es una roca sedimentaria compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y del limo (menor a 1/256 mm). Estas rocas detríticas de grano fino constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias.

## ANEXO I

### “Condiciones del equipo de Extracción Asistida por Microondas”

**Características:**

Microondas modelo MARS 5, marca CEM, versión 049031

Nombre del método: Paty Sed 1-PFA

**Condiciones del equipo de microondas:**

- 1) Rampa de Temperatura
- 2) Rampa de presión
- 3) Control potencia-tiempo

1) Rampa de temperatura

Etapa	Potencia					
1	Max	%	Rampa	PSI	°C	Mante
	1200 w	100	10:00	100	110	15:00

2) Rampa de presión

Etapa	Potencia					
1	Max	%	Rampa	PSI	°C	Mante
	1200 w	100	10:00	100	110	15:00

3) Rampa de potencia-tiempo

Etapa	Potencia		
1	Max	%	Tiempo
	1200 w	100	10:00

## ANEXO II

### Condiciones de operación del Cromatógrafo de Gases-Masas

❖ Cromatógrafo de Gases	Modelo HP6890N
❖ Columna de sílica fundida	Especificaciones: 30 m largo x 0.25mm de diámetro, 0.25 mm de grosor, fase estacionaria
❖ Detector de los picos	Modo SCAN Rango: 50-600 uma.
❖ Detector de Masas	Modelo HP5973N
❖ Gas acarreador	Helio a un flujo de 1 ml/min
❖ Modo de inyección	Splitless
❖ Rampa de temperatura del horno	T= 70°/1 min, 10°C/min hasta 290°C y 290°C por 17 min.
❖ Temperatura de Inyección	250°C
❖ Volumen inyectado	1.0 microlitro

**ANEXO III**

**ANALISIS ESTADISTICO  
SPSS VERSION 20**

T-TEST GROUPS=AcetonaDiclorometano(1 2)  
/MISSING=ANALYSIS  
/VARIABLES=AcetonaHexano  
/CRITERIA=CI(.95).

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos2] F:\general.sav

**Estadísticos de grupo**

Acetona:Diclorometano	N	Media	Desviación típ.
Acetona: Hexano 1	11	.0010818	.00085184
Acetona: Hexano 2	11	.0013636	.00048015

**Estadísticos de grupo**

Acetona:Diclorometano	Error típ. de la media
Acetona: Hexano 1	.00025684
Acetona: Hexano 2	.00014477

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
Acetona: Hexano	Se han asumido varianzas iguales	2.206	.153
	No se han asumido varianzas iguales		

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		t	gl
Acetona: Hexano	Se han asumido varianzas iguales	-.956	20
	No se han asumido varianzas iguales	-.956	15.772

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
Acetona: Hexano	Se han asumido varianzas iguales	.351	-.00028182
	No se han asumido varianzas iguales	.354	-.00028182

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia
			Inferior
Acetona: Hexano	Se han asumido varianzas iguales	.00029483	-.00089683
	No se han asumido varianzas iguales	.00029483	-.00090757

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		Superior	
Acetona: Hexano	Se han asumido varianzas iguales	.00033319	
	No se han asumido varianzas iguales	.00034393	

```

GET FILE='F:\calizas.sav'.
DATASET NAME Conjunto_de_datos3 WINDOW=FRONT.
T-TEST GROUPS=diclorometano(1 2)
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=hexano
/CRITERIA=CI(.95).
    
```

**[Conjunto\_de\_datos3] F:\calizas.sav**

**Estadísticos de grupo**

	diclorometano	N	Media	Desviación típ.
hexano	1	6	.0011833	.00106849
	2	6	.0012667	.00052409

**Estadísticos de grupo**

	diclorometano	Error típ. de la media
hexano	1	.00043621
	2	.00021396

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
hexano	Se han asumido varianzas iguales	1.718	.219
	No se han asumido varianzas iguales		

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		t	gl
hexano	Se han asumido varianzas iguales	-.172	10
	No se han asumido varianzas iguales	-.172	7.274

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
hexano	Se han asumido varianzas iguales	.867	-.00008333
	No se han asumido varianzas iguales	.868	-.00008333

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia
			Inferior
hexano	Se han asumido varianzas iguales	.00048586	-.00116589
	No se han asumido varianzas iguales	.00048586	-.00122348

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias
		95% Intervalo de confianza para la diferencia
		Superior
hexano	Se han asumido varianzas iguales	.00099922
	No se han asumido varianzas iguales	.00105681

DATASET ACTIVATE Conjunto\_de\_datos2.  
 DATASET CLOSE Conjunto\_de\_datos1.  
 DATASET NAME Conjunto\_de\_datos4 WINDOW=FRONT.  
 T-TEST GROUPS=VAR00002(1 2)  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=VAR00001  
 /CRITERIA=CI(.95).

**Prueba T**

[[Conjunto\_de\_datos4] F:\lutitas.sav

Estadísticos de grupo

	VAR00002	N	Media	Desviación típ.
VAR00001	1.00000	3	.0009667	.00063509
	2.00000	3	.0014000	.00060828

Estadísticos de grupo

	VAR00002	Error típ. de la media
VAR00001	1.00000	.00036667
	2.00000	.00035119

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.017	.903
	No se han asumido varianzas iguales		

Prueba de muestras independientes

		Prueba T para la igualdad de medias	
		t	gl
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	-.853	4
	No se han asumido varianzas iguales	-.853	3.993

Prueba de muestras independientes

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.441	-.00043333
	No se han asumido varianzas iguales	.442	-.00043333

Prueba de muestras independientes

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia
			Inferior
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.00050772	-.00184299
	No se han asumido varianzas iguales	.00050772	-.00184402

Prueba de muestras independientes

		Prueba T para la igualdad de medias	
		95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		Superior	
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.00097632	
	No se han asumido varianzas iguales	.00097735	

DATASET ACTIVATE Conjunto\_de\_datos2.  
 DATASET CLOSE Conjunto\_de\_datos4.  
 DATASET NAME Conjunto\_de\_datos5 WINDOW=FRONT.  
 T-TEST GROUPS=VAR00002(1 2)  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=VAR00001  
 /CRITERIA=CI(.95).

**Prueba T**

[[Conjunto\_de\_datos5] F:\calcarenitas.sav

**Estadísticos de grupo**

	VAR00002	N	Media	Desviación típ.
VAR00001	1.00000	2	.0009500	.00077782
	2.00000	2	.0016000	.00014142

**Estadísticos de grupo**

	VAR00002	Error típ. de la media
VAR00001	1.00000	.00055000
	2.00000	.00010000

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	1912558425562206.000	.000
	No se han asumido varianzas iguales		

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		t	gl
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	-1.163	2
	No se han asumido varianzas iguales	-1.163	1.066

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.365	-.00065000
	No se han asumido varianzas iguales	.443	-.00065000

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia
			Inferior
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.00055902	-.00305526
	No se han asumido varianzas iguales	.00055902	-.00679303

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba T para la igualdad de medias	
		95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		Superior	
VAR00001	Se han asumido varianzas iguales	.00175526	
	No se han asumido varianzas iguales	.00549303	