

**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL INTERVALO PALEOCENO
SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS) EN DOS SECCIONES
UBICADAS EN EL PIEDEMONTES LLANERO CENTRAL Y PIEDEMONTES
NORTE**

ANGIE DURAN LOZANO

ANGÉLICA MARÍA CANDELA SOTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS-ESCUELA DE
GEOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS-ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

**CARACTERIZACION GEOQUIMICA DEL INTERVALO PALEOCENO
SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS) EN DOS SECCIONES
UBICADAS EN EL PIEDEMONTES LLANERO CENTRAL Y PIEDEMONTES
NORTE**

ANGIE DURÁN LOZANO
Proyecto de grado para optar al título de
Geóloga.

ANGÉLICA MARÍA CANDELA SOTO
Proyecto de grado para optar al título de
Química.

Directores
LUIS CARLOS MANTILLA F.
GUILLERMO GONZÁLEZ
JOSE ANTONIO HENAO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS-ESCUELA DE
GEOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS-ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005



AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

Profesores Luís Carlos Mantilla Figueroa, Guillermo González y José Antonio Henao directores UIS, por su constante confianza, apoyo y sugerencias durante todo este trabajo.

A Antonio Vicente Rangel, codirector ICP.

Blanca Nubia Giraldo, Leonardo Mogollón, Néstor Moreno, José Ignacio Moreno y Jesús Rodríguez por su colaboración prestada.

Un especial agradecimiento a Cristian Sánchez por su asesoría, dedicación y apoyo.

Además queremos hacer extensivo este reconocimiento a ECOPETROL – ICP, UIS y a las Escuelas de Geología y Química por facilitarnos todas las herramientas logísticas tecnológicas y administrativas que dieron lugar a la realización de este proyecto.

A nuestros padres por brindarnos su apoyo en todo momento. Gracias a toda nuestra familia.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCION

1. 1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
1.2.1. LOCALIZACIÓN	5
1.2.2. MARCO GEOLÓGICO	6
1.2.2.1. Formación Los Cuervos	9
2. METODOLOGIA DE TRABAJO	11
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.2. MUESTREO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	11
2.2.1. Fase de muestreo	11
2.2.2. Análisis de “screening”	12
2.3. FASE ANALÍTICA	14
2.3.1. Caracterización de la roca madre	14
2.3.2. Caracterización del kerógeno	15
2.3.3. Caracterización del bitumen	15
3. ANTECEDENTES	20
3.1. ESTRATIGRAFÍA DEL PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS)	20
3.2. GEOQUÍMICA ORGÁNICA DEL PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS)	22
4. RESULTADOS	26
4.1. SELECCIÓN DE LAS DOS SECCIONES A CARACTERIZAR	26
4.1.1. Conocimientos Previos	26
4.1.2. Inventario de Muestras	27
4.1.3. Fase de Muestreo	28
4.1.4. Análisis de “screening”	29
4.2. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA ROCA FUENTE	33
4.2.1. Conocimientos previos	34
4.2.2. Cantidad de la materia orgánica	39
4.2.2.1. Pozo Arauca-3	39
4.2.2.2. Sección La Piñalerita	40



4.2.3. Calidad de la materia orgánica	41
4.2.3.1. Pozo Arauca-3	43
4.2.3.2. Sección La Piñalerita	45
4.2.4. Madurez térmica	47
4.2.4.1. Pozo Arauca-3	47
4.2.4.2. Sección La Piñalerita	48
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL KERÓGENO	48
4.3.1. Consideraciones preliminares	48
4.3.2. Petrografía orgánica	49
4.3.2.1. Pozo Arauca-3	49
4.3.2.2. Sección La Piñalerita	50
4.4. CARACTERIZACIÓN DEL BITUMEN	55
4.4.1. Conocimientos previos	55
4.4.2. Extracción del bitumen	69
4.4.3. Caracterización del bitumen	69
4.4.3.1. Cromatografía líquida en columna abierta	69
4.4.3.2. Cromatografía de gases (GC)	71
4.4.3.2.1. Pozo Arauca-3	72
4.4.3.2.2. Sección La Piñalerita	73
4.4.3.3. Cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (GC/MS)	74
4.4.3.3.1. Pozo Arauca-3	76
4.4.3.3.2. Sección La Piñalerita	78
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
5.1. POZO ARAUCA-3	81
5.2. SECCIÓN LA PIÑALERITA	82
6. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA	86



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización geográfica de la cuenca de los Llanos en Colombia. ECOPETROL (2005).	5
Figura 2. Columna Estratigráfica Generalizada. Tomado de Martínez (2003).	8
Figura 3. Ambiente de depositación de la Formación Cuervos. Tomado de Virgilio y Naranjo (2004).	10
Figura 4. Equipo determinador de carbono WR112 marca LECO CORPORATION.	12
Figura 5. Montaje del equipo de la extracción soxhlet.	16
Figura 6. Montaje del empacado de la columna abierta.	17
Figura 7. Mapa de localización de algunos pozos con el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos), presentes en la Litoteca Nacional.	28
Figura 8. Histograma de distribución del contenido de materia orgánica en muestras de la Formación Los Cuervos en el P. Arauca-3.	40
Figura 9. Histograma de distribución del contenido de materia orgánica en muestras de la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita.	41
Figura 10. Diagrama de Van Krevelen modificado, mostrando el tipo de kerógeno predominante en la Formación Los Cuervos, pozo Arauca-3.	43
Figura 11. Histograma de distribución del índice de hidrógeno en muestras de la Formación Los Cuervos en el P. Arauca-3.	44
Figura 12. Relación entre el índice de hidrógeno y la T_{máx} de pirólisis de las muestras analizadas del pozo Arauca-3.	44
Figura 13. Diagrama de Van Krevelen modificado, mostrando el tipo de kerógeno predominante en la Formación Los Cuervos, sección La Piñalerita.	45
Figura 14. Histograma de distribución del índice de hidrógeno en muestras de la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita.	46
Figura 15. Relación entre el índice de hidrógeno y la T_{máx} de pirólisis de las muestras analizadas de la sección La Piñalerita.	46
Figura 16. Histograma de distribución de la temperatura máxima en muestras de la Formación Los Cuervos en el pozo Arauca-3.	47
Figura 17. Histograma de distribución de la temperatura máxima en muestras de la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita.	48
Figura 18. Microfotografía de la materia orgánica con luz transmitida. Aumento 20X. Sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), muestra NA-2. a) Materia orgánica amorfa, b) Materia orgánica leñosa.	50



Figura 19. Microfotografía de la materia orgánica con luz transmitida. Aumento 20X. Sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), muestra PIN 72-120. a) Materia orgánica amorfa, b) Granos de polen y esporas, c) Materia Orgánica Leñosa, d) Trazas de tejidos de hongos.	52
Figura 20. Microfotografía de la materia orgánica con luz transmitida. Aumento 20X. Sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), muestra PIN 34-50. a) Materia orgánica amorfa, b) Granos de polen esporas.	54
Figura 21. Diagrama esquemático de un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas. Tomado de Waples y Machihara (1991).	61
Figura 22. A. Unidad de isopreno; B. Estructura formada por unidades de isopreno enlazadas cabeza-cola; C. Estructura formada por unidades de isopreno enlazadas cabeza-cabeza.; D. Estructura formada por unidades de isopreno enlazadas cola-cola. Tomado de Philp (1985).	63
Figura 23. Reacción propuesta en la formación del Pristano y Fitano. Tomado de Johns (1986).	64
Figura 24. Estructura característica de los Esteranos. Tomado de http://www.franquiciapemex.com/octanaje/cultcien7.html .	65
Figura 25. Estructura característica de los Terpanos. Tomado de http://www.franquiciapemex.com/octanaje/cultcien7.html	67
Figura 26. Ilustración de la distribución fraccional del bitumen obtenido mediante diagramas ternarios.	70
Figura 27. Relación % Saturados vs. Pristano/Fitano en las muestras evaluadas.	72
Figura 28. Relación de Diasteranos / Esteranos vs. Pr/Fi.	74
Figura 29. Relación de C_{35} / C_{34} Hopano vs. Diasteranos / Esteranos.	75
Figura 30. Relación de $C_{29} \beta\beta / \beta\beta + \alpha\alpha$ vs. Esteranos S/(S+R).	75



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Carta de Correlación Estratigráfica de la cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Tomado de Fajardo (2000).	7
Tabla 2. Intervalos del Paleoceno Superior en los pozos con control palinológico, realizado por Jaramillo (2003) y los intervalos para la Fm. Barco- Los Cuervos según Fajardo (2000).	26
Tabla 3. Pozos y secciones presentes en la Litoteca Nacional (ICP-Piedecuesta) con el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos) disponible.	27
Tabla 4. Pozos y secciones de la Litoteca Nacional con el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos) muestreados.	29
Tabla 5. Resultados del %COT de la sección Porvenir-2.	30
Tabla 6. Resultados de %COT de la sección Tauramena 2.	30
Tabla 7. Resultados de %COT de la sección La Piñalerita.	31
Tabla 8. Resultados de %COT de la sección Porvenir-3.	31
Tabla 9. Resultados de %COT del pozo Arauca-2.	32
Tabla 10. Resultados de %COT del pozo Arauca-3.	32
Tabla 11. Resultados de %COT del pozo Buenos Aires C-3.	33
Tabla 12. Parámetro geoquímico que describe el potencial cuantitativo de petróleo. Tomado de Peters y Cassa (1994).	34
Tabla 13. Criterios de los parámetros S1 y S2.	35
Tabla 14. Rangos del Potencial Total de HC.	35
Tabla 15. Criterios del índice de productividad.	36
Tabla 16. Clasificación del tipo de kerógeno a partir del parámetro S ₂ /S ₃ .	36
Tabla 17. Parámetro geoquímico que describe el potencial cualitativo de Petróleo. Tomado de Peters y Cassa (1994).	37
Tabla 18. Parámetro geoquímico que describe la madurez térmica. Tomado de Peters y Cassa (1994).	39
Tabla 19. Resultados obtenidos de la pirólisis rock-eval para las muestras del pozo Arauca-3.	42
Tabla 20. Resultados obtenidos de la pirólisis rock-eval para las muestras de la sección La Piñalerita.	42
Tabla 21. Fracciones de bitumen y sus compuestos químicos constituyentes. Tomada de Waples (1985).	56



Tabla 22. Principales relaciones de biomarcadores y su interpretación. Tomado de (Peters y Moldowan, 1993).	68
Tabla 23. Cantidades del extracto obtenido en las muestras de las dos secciones para el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos).	69
Tabla 24. Composición porcentual de las fracciones en las muestras de bitumen resultantes.	70
Tabla 25. Relaciones de Pristano/Fitano, obtenidas por cromatografía de gases.	71
Tabla 26. Índice de preferencia de carbono (IPC) para las muestras analizadas de la Fm. Los Cuervos.	72
Tabla 27. Relaciones de los biomarcadores para la Fm. Los Cuervos, obtenidos por GC/MS, para las muestras evaluadas.	



LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1.

RECOPILACION DE DATOS GEOQUÍMICOS (COT, IH, T_{máx}) DE POZOS CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS). 92

ANEXO 2.

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS GENERALIZADAS CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS) 95

ANEXO 3.

REPORTES DE LOS CROMATOGRAMAS DE LA FRACCIÓN SATURADA, OBTENIDOS POR GC PARA LOS EXTRACTOS DE LAS MUESTRAS DEL POZO ARAUCA-3 Y LA SECCIÓN LA PIÑALERITA CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS). 98

ANEXO 4.

REPORTES DE LOS FRAGMENTOGRAMAS DE LA FRACCIÓN SATURADA, OBTENIDOS POR GC/MS PARA LOS EXTRACTOS DE LAS MUESTRAS DEL POZO ARAUCA-3 Y LA SECCIÓN LA PIÑALERITA CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS). 105



LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
COT	Carbono orgánico total
FID	Detector de Ionización en Llama
Fm.	Formación
GC	Cromatografía de gases
GC/MS	Cromatografía de gases acoplada a un detector de masas
HC	Hidrocarburos
ICP	Instituto Colombiano del Petróleo
IH	Índice de hidrógeno
IO	Índice de oxígeno
IP	Índice de productividad
IPC	Índice de presencia de carbonos
MSD	Detector selectivo de masas
P.	Pozo
S.	Sección
SARA	Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos
SIM	Selective Ion Monitoring
Tmáx	Temperatura máxima

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS) EN DOS SECCIONES UBICADAS EN EL PIEDEMONTES LLANERO CENTRAL Y PIEDEMONTES NORTE.*

Autores:

ANGIE DURÁN LOZANO**

ANGÉLICA MARÍA CANDELA SOTO**

PALABRAS CLAVE: cuenca Llanos, Paleoceno Tardío, Geoquímica, COT, T_{máx}, IH, cromatografía, petrografía.

RESUMEN

En este trabajo se realizó una caracterización geoquímica del intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos), para el pozo Arauca-3 y la sección La Piñalerita ubicadas en el Piedemonte Llanero Norte y Piedemonte Central respectivamente, que permitió establecer que en esta formación el potencial generador de hidrocarburos es pobre. El intervalo del Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en las secciones escogidas, se tomó con base en los límites formacionales definidos por Jaramillo (2003) a partir de datos palinológicos. Esta caracterización se realizó por medio de análisis tales como carbono orgánica total (COT), pirólisis rock- eval, petrografía orgánica, extracción de bitumen, cromatografía líquida en columna abierta, cromatografía de gases (GC) y cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (GC/MS).

De acuerdo a la información obtenida de la caracterización geoquímica, las muestras del pozo Arauca-3 son rocas predominantemente inmaduras, con contenido de materia orgánica de pobre a bueno (COT= 0.5-2%), valores bajos de IH (kerógeno tipo III); en la sección La Piñalerita las muestras presentan bajo contenido de materia orgánica, valores bajos de IH (kerógeno tipo III) y se encuentran inmaduras. Las relaciones de los biomarcadores sugieren que el ambiente de depósito de la Fm. Los Cuervos en el pozo Arauca-3 tiene mayor influencia marina comparada con la sección La Piñalerita; aunque en las dos predomina el aporte continental.

* Trabajo de investigación.

** Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Directores Luís Carlos Mantilla F., Guillermo González, José A. Henao.

TITLE: CHARACTERIZATION GEOCHEMISTRY OF THE UPPER PALEOCENE INTERVAL (LOS CUERVOS FORMATION) IN TWO SECTIONS LOCATED IN NORTE PIEDEMONTES LLANERO AND CENTRAL PIEDEMONTES. *

Authors:

ANGIE DURÁN LOZANO **

ANGELICA MARIA CANDELA SOTO **

KEY WORDS: Llanos basin, Upper Paleocene, Geochemistry, COT, T_{máx}, IH, chromatography, petrography.

SUMMARY

In this work was made a characterization geochemistry of the Upper Paleocene interval (Los Cuervos Formation), for the well Arauca-3 and the section La Piñalera located in the Piedemonte Llanero Norte and Central Piedemonte respectively, that allowed to establish that in this formation the generating hydrocarbon potential is poor. The interval of the Superior Paleocene (Los Cuervos Formation) in the selected sections, was taken with base in the formational limits defined by Jaramillo (2003) from palynological data. This characterization was made by means of analysis such as total organic carbon (COT), pyrolysis eval rock, organic petrography, extraction of bitumen, liquid chromatography in open column, gas chromatography (GC) and chromatography of gases connected to a detector of masses (GC/MS).

According to the obtained data of the characterization geochemistry, the samples of the well Arauca-3 are predominantly immature rocks, with content of organic matter of poor to good (COT = 0,5-2%), low values of IH (kerogen type III); in the section La Piñalera the samples present/display under content of organic matter, low values of IH (kerogen type III) and they are immature. The relations of the biomarkers suggest the atmosphere of deposit of the Los Cuervos Fm. in the well Arauca-3 have greater marine influence compared with the section La Piñalera; although in the two the continental contribution predominates.

* Work of investigation.

** Facultad de ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Geología, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Directores Luis Carlos Mantilla F., Guillermo González, José A. Henao.

INTRODUCCION

El presente trabajo fue realizado en el marco del proyecto “*FLUJO REGIONAL DE FLUIDOS SOBRE LA DIAGÉNESIS DE RESERVORIOS Y MIGRACIÓN DE HIDROCARBUROS*”, el cual hace parte del convenio de cooperación tecnológica entre el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y la Universidad Industrial de Santander. El objetivo del proyecto es contribuir a la reducción del riesgo exploratorio en áreas geológicamente complejas, con la ayuda de otras herramientas, proporcionando información que conduzca, a definir temporal y espacialmente, las zonas y/o estructuras con acumulaciones comerciales de hidrocarburos en el Piedemonte Llanero y la cuenca Llanos Orientales.

En la exploración de hidrocarburos se aplican diversas técnicas de estudio, las cuales se apoyan en las siguientes especialidades: estratigrafía, geología estructural, paleontología, geoquímica y prospección geofísica, entre otras. La geoquímica orgánica (técnica de estudio empleada en este trabajo) permitió conocer la riqueza orgánica de una roca y su relación con el potencial generador de hidrocarburos. Se encarga de identificar las rocas con capacidad generadora de petróleo, estudiar la evolución de su madurez en el tiempo geológico y de estimar los volúmenes de petróleo generados por éstas.

Recientes estudios en el Piedemonte Llanero y en la cuenca Llanos acerca del origen de hidrocarburos entrampados en la región, Rangel y Passos (2003) y Geoconsult Ltda- Pangea Ltda (2004, reportado en Caro et al., 2004), identifican un importante aprobe de hidrocarburos de edad terciaria (Mora et al, 2003, Rangel et al., 2003). Por tal motivo se realizó la caracterización geoquímica de dos secciones con el intervalo Paleoceno

Superior: Piedemonte Llanero Central y en el Piedemonte Norte, ya que en ésta zona de acuerdo a la información geoquímica existente (ver antecedentes) la Fm. Los Cuervos podrían comportarse como una posible roca fuente de hidrocarburos de este tipo que se desea confirmar. En este marco de ideas, se realizó la caracterización geoquímica del intervalo del Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) para dos secciones ubicadas en el Piedemonte Llanero Central y en el Piedemonte Norte respectivamente; con el fin de establecer si esta formación se comporta o no como roca fuente de hidrocarburos en estas dos secciones a caracterizar.

El intervalo del Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos) en las secciones seleccionadas, se tomó con base en los límites formacionales propuestos por ECOPETROL y/o definidos por Jaramillo (2003), a partir de datos palinológicos. Esta caracterización se realizó por medio de análisis tales como carbono orgánico total (COT), pirólisis rock-eval, petrografía orgánica, extracción de bitumen, cromatografía líquida en columna abierta, cromatografía de gases (GC) y cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (GC/MS).



1. 1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

- Identificar el potencial de generación de hidrocarburos del intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) del Piedemonte Llanero en una sección del Piedemonte Llanero Central y otra del Piedemonte Norte realizando una caracterización geoquímica.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un inventario de las muestras que pertenezcan al intervalo del Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en la cuenca de los Llanos Orientales; presentes o no, en la Litoteca Nacional (ICP-Piedecuesta, Santander).
- Hacer una evaluación preliminar de la información existente y estudiar el carbono orgánico total (COT) en algunas muestras presentes en Litoteca Nacional que carezcan de esta información.
- Seleccionar dos secciones (de las existentes en Litoteca Nacional) ubicadas en el Piedemonte Llanero Central y Piedemonte Norte, respectivamente, para caracterizarlas desde el punto de vista geoquímico; basados en la cantidad de materia orgánica.
- Caracterizar geoquímicamente unas 25 muestras de roca madre (presente en el intervalo Paleoceno Superior de las dos secciones escogidas) mediante análisis de COT y pirólisis rock- eval VI.



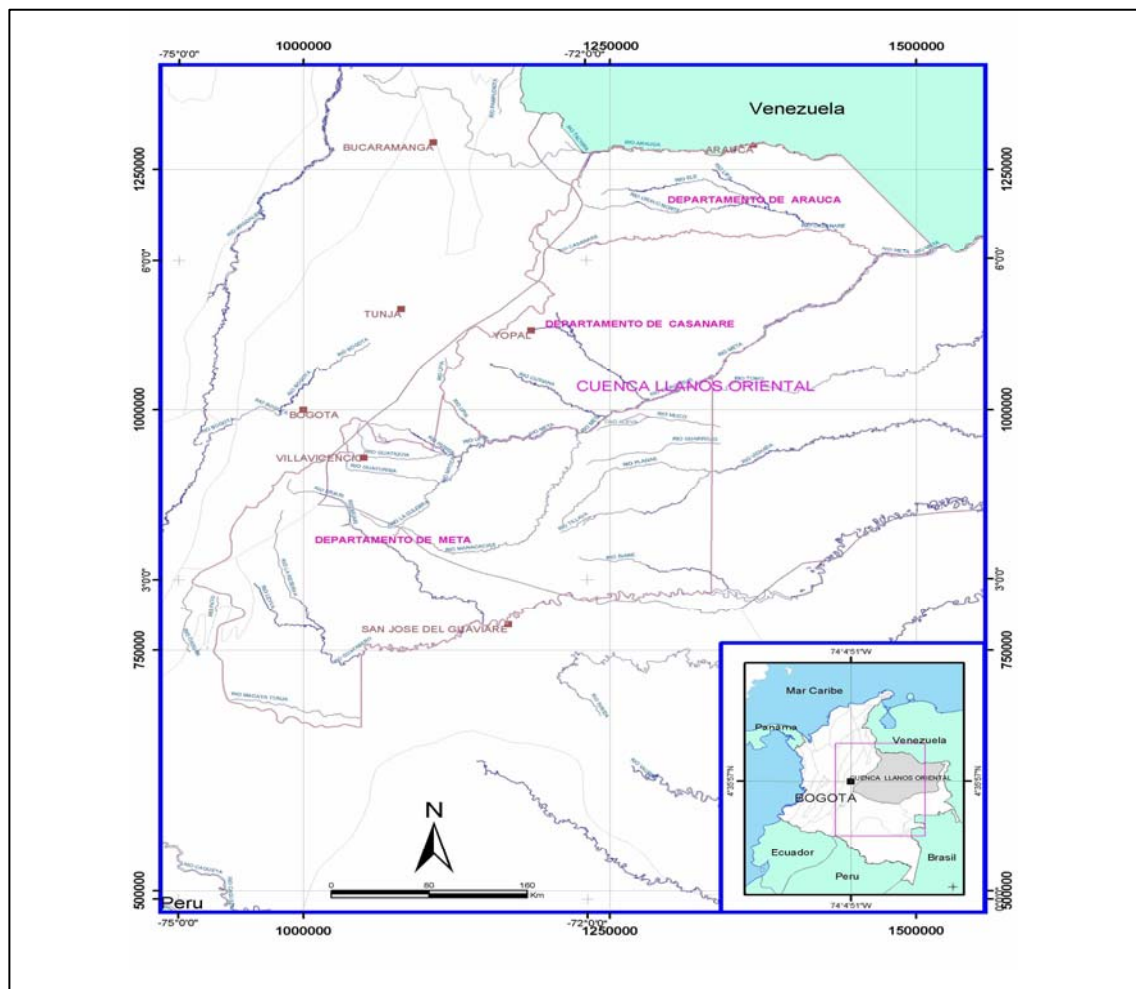
-
- Extraer y caracterizar el bitumen presente de hasta diez muestras mediante cromatografía líquida en columna abierta, cromatografía de gases y cromatografía de gases acoplada a un detector de masas.
 - Caracterizar el kerógeno presente en las muestras seleccionadas (hasta 5 muestras) mediante petrografía orgánica.
 - Integrar e interpretar los datos obtenidos de los análisis geoquímicos.

1.2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.2.1. LOCALIZACIÓN

La cuenca de los Llanos Orientales se encuentra localizada al este de los Andes Septentrionales y hace parte de las cuencas Subandinas de antepaís. Cubre un área aproximada de 190.000 km² y geográficamente se divide en tres áreas principales: una zona norte, Arauca, una parte central, Casanare, y un sector sur, Meta (Ver Figura 1- Localización geográfica).

Figura 1. Mapa de localización geográfica de la cuenca de los Llanos en Colombia. ECOPETROL (2005).





1.2.2. MARCO GEOLÓGICO

En la cuenca de los Llanos Orientales se encuentran varias nomenclaturas estratigráficas que han sido utilizadas por diferentes autores y empresas; razón por la cual en la Tabla 1, se presenta la relación de todas las nomenclaturas utilizadas en la cuenca. En ese trabajo se utilizó la nomenclatura propuesta por Martínez (2003) y por Vergara y Rodríguez (1997), quienes realizan la unificación de las diferentes nomenclaturas litoestratigráficas presentes en la Cordillera Oriental, Piedemonte Llanero y Cuenca Llanos, correlacionando la Formación Los Cuervos con Socha Superior y Arcillas del Limbo.

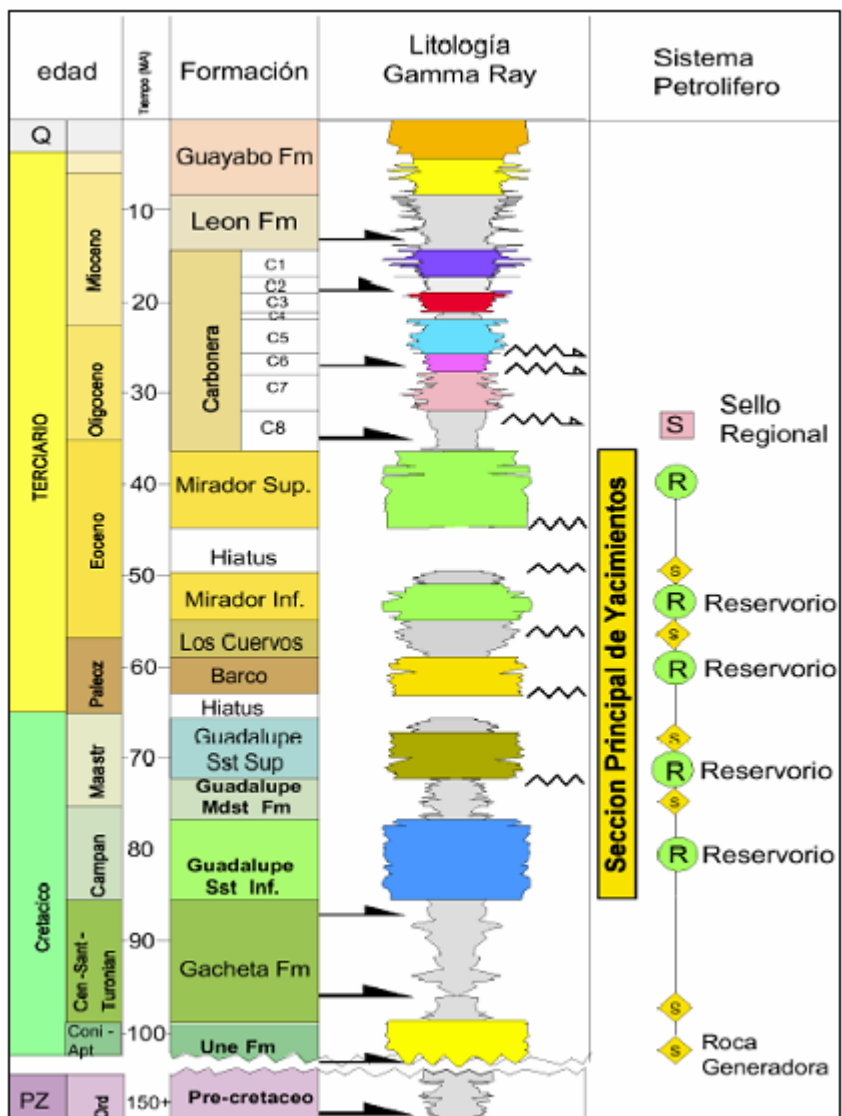
La estratigrafía del área comprende rocas del Paleozoico, Cretáceo y Terciario con presencia de múltiples discordancias regionales (Figura 2). Las rocas más antiguas perforadas en el área son las arcillolitas del Ordovícico sobre las cuales yace de manera discordante la secuencia Cretácea, iniciando con la Formación Une (Albiano – Aptiano - Cenomaniano), seguida de la Formación Gachetá (Turoniano-Conoaciano- Santoniano) y el Grupo Guadalupe (Campaniano - Maastrichtiano). La secuencia Terciaria esta representada por las Formaciones Barco y Los Cuervos (Paleoceno), Mirador (Eoceno), el Grupo Carbonera y la Formación León (Oligoceno-Mioceno), la Formación Guayabo (Mioceno-Pleistoceno) y los depósitos mas recientes de la Formación Necesidad. Las descripciones estratigráficas detalladas para las rocas Cretácicas y Cenozoicas aflorantes en el Piedemonte y La Cuenca de los Llanos se encuentran en Cooper *et al.* (1995), Fajardo *et al.* (1993 y 2000) y Geoconsult Ltda.-Pangea Ltda. (2004, Reportado en Caro *et al.*, 2004).



Tabla 1. Carta de Correlación Estratigráfica de la cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Tomado de Fajardo (2000).

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	Nomenclaturas Estratigráficas					EN ESTE ESTUDIO
				PIED. LLAN. INGEOMINAS	META ECOPETROL	CASANARE ELF-AQUITAINE	ARAUCA INTERCOL	ARAUCA OCCIDENTAL	
CENOZOICO	Q	Pleistoceno							
		Plioceno	Tardío	CORNETA	Fm. NECESIDAD				Fm. GUAYABO
			Temprano		Fm. GUAYABO	Fm. GUAYABO	Fm. ISNOTU-PALOMAR	Fm. GUAYABO	
		Mioceno	Tardío	CAJA					
			Medio						
		Oligoceno	Temprano	DIABLO	SHALE LEON	SHALE LEON	SHALE LEON	SHALE LEON	Fm. LEON
		Eoceno	Tardío	SAN FERNANDO	CARBONERA	CARBONERA	CARBONERA	CARBONERA	Fm. CARBONERA
			Temprano						
		Paleoceno	Priaboniano	Fm. MIRADOR	T 2	Fm. MIRADOR	Fm. MIRADOR	Fm. MIRADOR	Fm. MIRADOR
MESOZOICO	CRETACEO	Tardío	Maastrichtiano	SOCHA / LOS CUERVOS Arcillitas		Fm. LOS CUERVOS	Fm. LOS CUERVOS		Fm. BARCO - LOS CUERVOS
			Campaniano	SOCHA / BARCO Areniscas		Fm. BARCO	Fm. BARCO		
			Santoniano	Fm. GUADUAS		Fm. GUADALUPE		Fm. GUADALUPE	Fm. GUADALUPE
			Coniaciano	Fm. GUADALUPE		Fm. GACHETA	Fm. GUADALUPE	Fm. GUADALUPE	Fm. GACHETA
			Turoniano	Fm. CHIPAQUE	Fm. GUADALUPE	Areniscas inferiores		Fm. CHIPAQUE	Fm. UNE
			Canomaniense						
		Temprano	Albiano	Fm. UNE				Fm. UNE	
			Aptiano						
		Triásico-Jurásico		Fm. BATA					
PALEOZOICO	CAMBRIO-DEVONICO			Fm. FARALLONES					
				Fm. GUETAME					
PRECAM BRIO					BASAMENTO CRISTALINO		(ESCUDO GUYANÉS)		

Figura 2. Columna Estratigráfica Generalizada. Tomado de Martínez (2003).



A continuación, se hace una breve descripción litoestratigráfica de la Formación Los Cuervos de edad Paleoceno Superior, objeto de estudio en este trabajo.



1.2.2.1. Formación Los Cuervos

La referencia original de esta formación corresponde a Notestein *et al.* (1944, en De Porta, 1974), quienes la definieron para la concesión Barco en la cuenca del Catatumbo; esta formación recibe su nombre de la Quebrada Los Cuervos (sección tipo), afluente del Río Catatumbo.

Edad

Fajardo *et al.* (2000), propone una edad de depositación para La Fm. Barco-Los Cuervos de Paleoceno Tardío. Para ello recopila la información bioestratigráfica suministrada por Muñoz (1983) quien le asigna una edad de Paleoceno.

Jaramillo *et al.* (1999), en su tesis doctoral desarrolló un estudio palinológico del Paleógeno Medio y realizó el levantamiento de la sección Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare) utilizando la nomenclatura de Arcillas del Limbo para la Fm. Los Cuervos, datándola como Paleoceno Superior.

Litología

Esta unidad esta conformada por shales carbonáceos, arcillolitas, limolitas, areniscas de grano fino y carbones, depositados durante el Paleoceno Tardío y el Eoceno Inferior (Ver Figura 2).

Posición estratigráfica

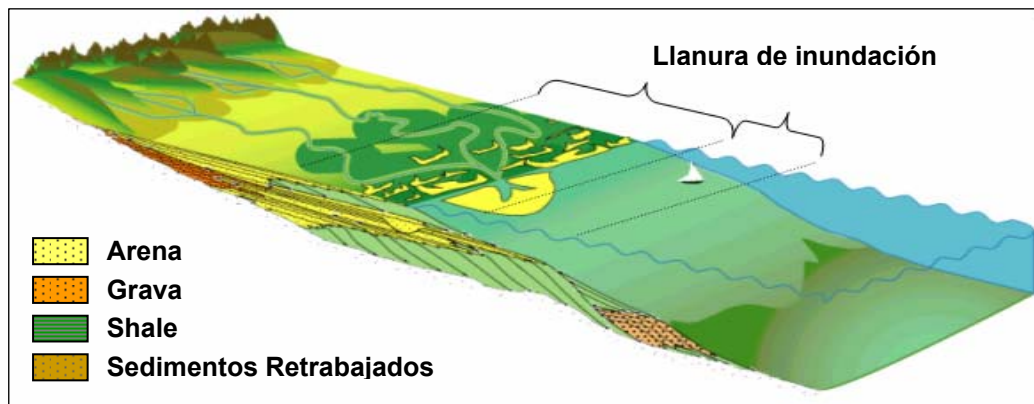
El contacto inferior con la Formación Barco es transicional y el superior con la Formación Mirador es erosivo neto (Rojas, 2002).

Ambiente de depositación

ARIANA Ltda. (2000), en un estudio realizado en el Piedemonte Llanero, con base en las facies observadas, proponen para la Fm. Los Cuervos un ambiente de llanura costera supramareal (coastal plain).

Fajardo, *et al.* (2000), en el sector oriental de la cuenca con estudios de corazones y registros eléctricos interpreta ambientes de depositación de llanuras de inundación, como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3. Ambiente de depositación de la Formación Cuervos. Tomado de Virgilio y Naranjo (2004).





2. METODOLOGIA DE TRABAJO

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una búsqueda de información bibliográfica enfocada hacia trabajos que estuvieran relacionados con estudios geoquímicos básicos de rocas (COT, pirólisis rock-eval) de las secciones y pozos ubicados en el área del Piedemonte Llanero Central y Piedemonte Norte con énfasis en la Formación Los Cuervos (Ver Anexo 1). Además se revisó la literatura disponible sobre estudios palinológicos, lo cual permitió delimitar de una manera confiable el intervalo correspondiente al Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) mediante zonas palinológicas definidas por Jaramillo (2003).

Posteriormente se llevó a cabo el análisis y diagnóstico de la información recopilada seleccionando los trabajos de mayor interés y teniendo en cuenta los objetivos planteados del proyecto.

2.2. MUESTREO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Después del diagnóstico anterior se seleccionaron puntos geográficos que cumplieran con los propósitos planteados en la investigación. Para el desarrollo de esta etapa, se procedió de la siguiente manera:

2.2.1. Fase de muestreo

Se realizó el inventario de muestras de secciones de campo y pozos pertenecientes al intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en

el área del Piedemonte Llanero Central y Piedemonte Norte que se encuentran presentes en Litoteca Nacional (Ver Tabla 2).

El muestreo se realizó en el intervalo perteneciente al Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en muestras disponibles en La Litoteca Nacional que carecen de información geoquímica básica. Después de hacer una revisión general de la cantidad de muestra disponible, la selección se lleva a cabo teniendo en cuenta litologías finas como arcillolitas, shales y limolitas principalmente; no se tuvo preferencia en la coloración oscura de las muestras.

2.2.2. Análisis de “screening”

Se realizó el análisis de “screening” (Pruebas preliminares de %COT) a las muestras de las secciones y pozos seleccionados presentes en Litoteca Nacional en el intervalo de interés, con el fin de establecer la cantidad de materia orgánica presente en las secciones para ampliar los análisis geoquímicos posteriores. El equipo que se utilizó para este análisis es el determinador de carbono WR112 marca LECO CORPORATION (Figura 4), disponible en el Laboratorio de Geoquímica Orgánica del ICP.

Figura 4. Equipo determinador de carbono WR112 marca LECO CORPORATION.





El procedimiento para el análisis de %COT se llevó a cabo de la siguiente manera:

- **Preparación de la muestra**

Se pesaron 5 gramos de roca los cuales se pulverizaron.

- **Acidificación**

A 0.5 g. de muestra pulverizada, se le adicionaron 3 gotas de HCl (ácido clorhídrico) al 20% para observar la efervescencia producida y con base en esta se pesó la cantidad de muestra. Los pesos tomados de muestra según la efervescencia fueron: entre 180 y 200 mg para las que presentaron bastante efervescencia, entre 130 y 150 mg para las de poca efervescencia y entre 70 y 80 mg para las que no presentaron efervescencia.

Se incorporó la muestra en crisoles filtrantes previamente pesados y marcados con la identificación de ésta. Se registró el peso de la muestra. Se ubicaron los crisoles con la muestra en una gradilla para filtración, se adicionaron 2 mL de HCl al 20% frío y se dejó filtrar (la acidificación se repitió 2 veces). Se agregan 2 mL de HCl caliente y se dejó filtrar (la acidificación se repitió 2 veces). Se lavó la muestra con agua destilada y se dejó filtrar (el lavado se repitió 3 veces). Posteriormente se secaron los crisoles con las muestras en el horno a una temperatura de 40 °C por 8 horas.

Determinación de % COT

El procedimiento utilizado para determinar el %COT, fue el siguiente: se pesaron en un crisol no filtrante 100 mg de un patrón con % de carbono conocido (rango 1.7 – 2.1 %COT). Se adicionaron porciones iguales (1g) de



los catalizadores de hierro y cobre y se colocaron en el pedestal del equipo. Se registró el resultado de %COT del patrón y así se verificó el buen funcionamiento del equipo. Posteriormente se introdujo en el equipo el peso de cada una de las muestras acidificadas (118 muestras).

2.3. FASE ANALÍTICA

Comprende la caracterización de la roca madre, del bitumen y la del kerógeno, cuyos procedimientos se describen a continuación:

2.3.1. Caracterización de la roca madre

Para caracterizar la roca fuente, en una sección es necesario conocer la cantidad, calidad y madurez térmica de materia orgánica presente en las muestras. A continuación se describe cada parámetro:

- **Cantidad de la materia orgánica**

Este parámetro se mide a partir del análisis de %COT descrito anteriormente (Ver 2.2.2).

- **Calidad de la materia orgánica**

Se evaluó mediante el parámetro índice de hidrógeno (IH) obtenido a partir del análisis de pirólisis (Realizado por el Laboratorio de Geoquímica del ICP) que se llevó a cabo en el equipo de rock-eval VI *VINCI INSTRUMENTS*. Este análisis se realizó en muestras con un % COT > 0.5%.



- **Madurez térmica**

La medición de la madurez se llevó a cabo a partir de la técnica de pirólisis rock-eval, teniendo en cuenta el parámetro de temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) dado por el equipo.

2.3.2. Caracterización del kerógeno

La calidad de la materia orgánica se describió a partir de microscopía de luz transmitida y de fluorescencia mediante la identificación de los tres principales grupos de componentes orgánicos: materia orgánica amorfa, materia orgánica leñosa y grupo de la liptinita; además de otros componentes secundarios tales como bitumen, hongos, foraminíferos, algas. Este análisis se realizó utilizando un microscopio óptico tipo NIKON ECLIPSE ME 600, por el Laboratorio de Geoquímica del ICP.

2.3.3. Caracterización del bitumen

En primer lugar se realizó la extracción del bitumen, por el método de extracción “soxhlet”. Posteriormente, la muestra se analizó por métodos analíticos como: cromatografía líquida en columna abierta, cromatografía de gases y cromatografía de gases acoplada a un detector de masas. Las metodologías que se utilizaron se basaron en los procedimientos estándar del Laboratorio de Geoquímica Orgánica del ICP y se describen a continuación:

- **Extracción “soxhlet”**

Para realizar la extracción, se pesó en un dedal de celulosa 50 g de muestra de roca pulverizada y un balón de 100 mL de fondo plano con

diclorometano. Se introdujo el dedal con la muestra en el portamuestra del soxhlet y se ensambló el equipo (Figura 5). Se calentó el diclorometano a una temperatura de 70°C para extraer el bitumen; el cual se concentra en el rotavapor, a una temperatura de 40°C y una presión vacuométrica de 474 mbar. Se calculó el % de bitumen con base en la diferencia de pesos del balón y el peso original de la muestra. Se tomó 50 mg de muestra para el análisis SARA (Método de cromatografía líquida en columna abierta que tiene como objetivo la separación de saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos). La extracción del bitumen se ejecutó en el extractor soxhlet, con una duración de 12 a 24 horas.

Figura 5. Montaje del equipo de la extracción soxhlet.



- **Cromatografía líquida en columna abierta**

Este método tuvo como objetivo la separación de fracciones (parafinas, aromáticos, resinas más asfaltenos), teniendo en cuenta las diferencias en su polaridad y por lo tanto en el grado de elusión. El procedimiento utilizado se menciona a continuación:

Empacado de la columna

Se empleó como fase estacionaria sílice y alumina, las cuales se introdujeron dentro de una columna por donde eluyen los compuestos según la afinidad con el solvente adicionado. En el empacado de la columna para las muestras de bitumen se empleó cobre coloidal, con el fin de eliminar el azufre presente en las muestras de extracto de roca (Ver Figura 6).

Elusión de fracciones

Se pesó 50 mg de muestra de bitumen en un vial. La fracción de saturados se recupero empleando hexano, los hidrocarburos aromáticos eluyen con una mezcla A (preparada al 60% de hexano y 40% de tolueno) y las resinas y asfaltenos eluyen con una mezcla B (preparada 60% tolueno y 40% metanol) inicialmente y se finalizó con diclorometano. Para recuperar cada fracción se emplearon 30 mL de solvente, recogidos en balones de 50 mL.

Figura 6. Montaje del empacado de la columna abierta.





- **Cromatografía de gases**

Esta técnica se aplicó con el fin de que ocurra un proceso físico de fraccionamiento que involucra la separación de muestras en fases estacionarias y móviles en una columna. Este método de análisis químico permitió la obtención de la distribución de los componentes de cada muestra de acuerdo al número de átomos de carbono y a las características estructurales de los compuestos (hidrocarburos normales o parafinas y ramificados o isoparafinas).

El análisis de isoprenoides de las fracciones saturadas del bitumen se realizó en un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard HP 6890 equipado con un inyector split/splitless 7683, un detector de ionización en llama (FID) operado a 320°C, con flujo de hidrógeno y aire de 40 y 450mL/min, respectivamente (método ISOP-TES).

La columna empleada fue una columna capilar HP-1 con fase estacionaria de metilsiloxano (60m, 25mm x 0.25µm), con flujo constante de 2mL/min y helio como gas de arrastre.

La programación de la temperatura empleada en la separación de los compuestos, se realizó desde 50°C con una rampa de 10°C/min hasta 100°C y de 4°C/min hasta 310°C. El volumen de muestra inyectado es de 2µL con partición de muestra 38.5:1 (modo split). El patrón cualitativo empleado en la identificación de los hidrocarburos lineales contiene compuestos desde n-C₁₄ hasta n-C₃₃.



- **Cromatografía de gases acoplado a un detector de masas**

Para el reconocimiento de los biomarcadores de los extractos se empleó un cromatógrafo Hewlett-Packard 6890 equipado con un inyector split/splitless HP 6890, una columna HP 5 de fase estacionaria de fenilmetilsiloxano (60m x 0.25mm x 0.25µm) con flujo constante de 1mL/min y helio como gas de arrastre; acoplado a un detector selectivo de masas HP 5973 con sistema de ionización por impacto de electrones, utilizando el mismo método BIOM-SIM. Los espectros de masas de estos compuestos se compararon con los sugeridos por la base de datos *NIST MS Search 98*. La corrida se hizo por monitoreo de iones específicos (modo SIM) generados de la fragmentación primaria en función del tiempo. Se utilizan los iones específicos m/z 191 y m/z 217.

2.3. Integración e Interpretación de datos de las dos Secciones

Se realizó la interpretación de los datos geoquímicos obtenidos en los diferentes análisis geoquímicos (%COT, pirólisis rock-eval, análisis visual del kerógeno y análisis del bitumen) para las dos secciones escogidas.

Se determinó el potencial petrolífero de la Fm. Los Cuervos en las dos secciones estudiadas.

Se establece el posible ambiente de depósito de la Fm. Los Cuervos en cada una de las dos secciones analizadas, a partir de asociaciones de macerales, biomarcadores (determinados por cromatografía de gases) y continuidad de índice de hidrógeno (IH).



3. ANTECEDENTES

3.1. ESTRATIGRAFÍA DEL PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS)

Según Notestein *et al.* (1944), la Fm. Los Cuervos recibe su nombre de la Quebrada Los Cuervos (sección tipo), afluente del Río Catatumbo (Norte de Santander). Esta unidad está conformada por shales carbonáceos, arcillolitas, limolitas, areniscas de grano fino y carbones, depositados durante el Paleoceno Tardío y el Eoceno Inferior.

Van Der Hammen (1958), estudió las Arcillas del Limbo (sinónimo de la Formación Los Cuervos en el Piedemonte), 2 Km. al NW del Morro sobre el Río Cravo Sur, asignándole una edad Paleoceno a partir de información palinológica.

Fajardo *et al.* (1993), realizó un modelo estratigráfico, interpretando secuencialmente las unidades desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Tardío en la zona de Casanare, asignándole a la Formación los Cuervos una edad Paleoceno Tardío e identificando ambientes de planicies deltáicas y canales fluviales para este intervalo de tiempo.

Vergara (1997) realizó la unificación de las diferentes nomenclaturas litoestratigráficas presentes en la Cordillera Oriental, Piedemonte Llanero y cuenca Llanos, correlacionando la Formación Los Cuervos con Socha Superior y Arcillas del Limbo.

Jaramillo *et al.* (1999), en su tesis doctoral desarrolla un estudio palinológico del Paleógeno Medio y realizó el levantamiento de la sección Quebrada La



Piñalerita (Sabanalarga, Casanare) utilizando la nomenclatura de Arcillas del Limbo para la Formación Los Cuervos, asignándole con información palinológica una edad correspondiente al Paleoceno Superior

Fajardo *et al.* (2000), en su estudio estratigráfico para toda la cuenca de los Llanos Orientales señala la dificultad para diferenciar entre las Formaciones Barco y Los Cuervos, ya que ha sido basada en criterios litológicos, y se define por el cambio de un intervalo predominantemente arenoso a uno predominantemente lodoso. Este criterio aplica con relativa buena confiabilidad en el sector del Piedemonte Llanero. Sin embargo, si se tiene en cuenta que hacia el oriente las facies de lodolitas de la Formación Los Cuervos pueden cambiar a areniscas, este criterio litológico pierde validez.

Jaramillo y Rueda. (2003 a), realizan un modelo bioestratigráfico en la región norte y centro del Piedemonte Llanero que contiene la posición estratigráfica de las formaciones, basado en la aparición y desaparición de fósiles a lo largo del tiempo geológico.

Jaramillo y Rueda. (2003 b), realizan un modelo palinoestratigráfico para el Paleógeno del Piedemonte Norte, a partir del análisis de la información bioestratigráfica de los pozos Niscota E-1, Gibraltar -1 y Arauca- 1,2,3,4; que contiene la posición estratigráfica de aparición y desaparición de fósiles a lo largo del tiempo geológico referenciando los límites formacionales de las unidades presentes en el área.

En el presente trabajo, se utilizaron los límites formacionales propuestos por Jaramillo *et al.* (1999) y Jaramillo y Rueda (2003b) basados en información palinológica. Las otras secciones se muestrearon con base en la información disponible en la Litoteca Nacional.



3.2. GEOQUÍMICA ORGÁNICA DEL PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS)

Vásquez (1983), analizó las posibilidades petrolíferas de las rocas del Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos) del borde occidental de la cuenca de los Llanos Orientales en la Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare), allí se presenta condiciones geoquímicas favorables para la generación de hidrocarburos a partir de los niveles de lutitas.

Rangel y Giraldo (1991), basados en los resultados obtenidos de pirólisis rock-eval y reflectancia de la vitrinita realizados en la cuenca de los Llanos, elaboran mapas con el propósito de conocer tendencias regionales en la secuencia terciaria; donde establecen que la madurez térmica aumenta de oriente a occidente. En general el potencial de hidrocarburos es pobre en toda la cuenca excepto en el pozo Arauquita-1.

Castro (1993), describe enriquecimientos locales en los sectores de los pozos La María-1 y Cumaral-1AX; donde la madurez de la materia orgánica aumenta en sentido este-oeste, mientras los valores del índice de hidrógeno, exhiben una tendencia suave de decrecimiento hacia el oeste. Algunos sectores presentan aumentos locales de IH: Sector La Punta -Cusiana, lo cual podría indicar para estos sitios un kerógeno tipo II, típico de un ambiente reductor, localizado probablemente en pequeñas cuencas cerradas. Esto explicaría los aumentos locales en la calidad de la materia orgánica. En general, según el autor, el contenido de materia orgánica para las rocas de la Fm. Los Cuervos es pobre.

En estudios realizados para La Fm. Los Cuervos en la sección Quebrada El Toro, se muestra que las características geoquímicas no evidencian condiciones de roca fuente de hidrocarburos, ya que presenta bajo contenido



de materia orgánica, es inmadura y las relaciones IH vs. IO e IH vs. T_{máx}, indican un kerógeno tipo III (ECOPETROL-ICP, 1998).

Se realizaron estudios donde se muestran resultados analíticos (%COT, pirólisis rock-eval y reflectancia de la vitrinita) y su representación gráfica mediante perfiles geoquímicos de cada uno de los pozos, entre los que se encuentran, Arauca -3, Tame -2 y Caño Limón -1 (García y Giraldo, 1999).

Rangel *et al.* (2000), establece que la Fm. Los Cuervos no se comporta como grandes paquetes homogéneos desde el punto de vista geoquímico sino que por el contrario se encuentra una gran variación en todos sus atributos geoquímicos, reconoce algunos intervalos con características geoquímicas buenas asociados a facies de relleno de lago, la continuidad lateral y el espesor de estos es poca (entre 1 y 2 pies de espesor) y sólo se reconoce en los pozos Buenos Aires C-3 y la María 1.

Mora *et al.* (2001a), con base en información geoquímica de rocas pertenecientes a la Fm. Los Cuervos, estudió el potencial generador y el grado de evolución térmica de las secciones estratigráficas muestreadas en las localidades de La Pescana y Tauramena, localizadas en el Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental. Los resultados de esta interpretación, indican que existen pocos intervalos con potencial generador. En general, las rocas poseen contenidos de materia orgánica bajos y predominio de kerógeno del tipo III. Adicionalmente las rocas se encuentran en una etapa inmadura de generación de hidrocarburos.

Mora *et al.* (2001b) presenta el análisis e interpretación de los estudios geoquímicos en el pozo Floreña N2F, Floreña-3F y Golconda-1. Donde el potencial petrolífero para el intervalo de la Fm. Los Cuervos en el pozo



Floreña N2F es excelente, en el pozo Golconda -1 es pobre y en el pozo Floreña 3F no presenta niveles generadores. Además realizó la evaluación de crudos a partir de extracción de bitumen, análisis de cromatografía líquida en columna abierta, gaseosa y biomarcadores determinando que la Fm. Los Cuervos, se desarrollo en ambientes deltáicos proximales.

Mora *et al* (2002), con base en información geoquímica identificó que el potencial generador de la Fm. Los Cuervos, es bajo en contenido de materia orgánica e índice de hidrógeno y que son rocas predominantemente inmaduras con potencial generador que varía de pobre a bueno. Estas muestras se encuentran en los pozos Gibraltar 1 y Dele 1.

Mora *et al.* (2003), realizó una evaluación de los crudos y de sus facies orgánicas generadoras para la cuenca de los Llanos, identificando facies marino deltáicas del Terciario asociada a la Fm. Los Cuervos y su relevancia en los sistemas petrolíferos especialmente en el sector del Piedemonte Central y Norte de los Llanos como roca generadora.

Rangel y Passos (2003) realizaron la evaluación geoquímica de crudos en el sur de la cuenca Llanos Orientales y Yarí Caguán que permitió diferenciar tres grupos o familias (Familia tipo Suria, familia tipo Chichimene-Apiay, Familia Tipo Santiago-Guarimena) de crudos generados de rocas fuente con claras diferencias en cuanto al ambiente de origen. Determinando que la Familia Tipo Santiago-Guarimena pertenecientes a los crudos de los pozos Abejas, Santiago, Guarimena, Rancho Quemado, Sardinas, Tauramena y Medina tienen algún aporte de roca fuente de origen Terciario, basados en el análisis de biomarcadores.



En resumen, el contenido de materia orgánica para la Formación Los Cuervos es pobre con predominio de kerógeno tipo III y bajo potencial de generación (Castro, 1993; ECOPETROL – ICP, 1998; Mora *et al.*, 2001a; Mora *et al.*, 2002). Sin embargo, a partir del estudio y caracterización geoquímica de los diferentes crudos presentes en la cuenca de los Llanos Orientales con características mixtas (continental-marino), se ha encontrado, para algunos de éstos un alto aporte continental, postulándose un origen a partir de una roca madre con ambiente de depósito marino proximal a continental de edad terciaria asociada a la Formación Los Cuervos (Mora *et al.*, 2003, Rangel *et al.*, 2003). Por tal motivo, se hace necesario estudiar la Fm. Los Cuervos, ya que podría comportarse como una posible roca fuente de hidrocarburos de este tipo que se desea confirmar.



4. RESULTADOS

4.1. SELECCIÓN DE LAS DOS SECCIONES A CARACTERIZAR

4.1.1. Conocimientos Previos

El intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) se toma con base a los topes de formación propuestos por ECOPETROL (Fajardo, 2000) y otros se toman con los topes de formación propuestos por Jaramillo (2003), a partir de datos palinológicos. Los pozos se listan en la Tabla 2, donde se indican los topes del intervalo según cada autor y en la Figura 7, se puede observar la localización de algunos de ellos.

Tabla 2. Intervalos del Paleoceno Superior en los pozos con control palinológico, realizado por Jaramillo (2003) y los intervalos para la Fm. Barco- Los Cuervos según Fajardo (2000).

POZO	INTERVALO SEGÚN FAJARDO (2000)		INTERVALO SEGÚN JARAMILLO (2003)	
	TOPE	BASE	TOPE	BASE
ARAUCA-1			18170	18920
ARAUCA-2			17900	18325
ARAUCA-3			17780	17940
ARAUCA-4	18010	18560	17805	18255
TOCORAGUA-1			17310	17732
TAME-2	14420	14825	14095	14636
BUENOS AIRES-3	15570	16277	15510	16115
BUENOS AIRES H-15			14771	15050
BUENOS AIRES X-14			15100	15450
CUSIANA-5			17067	17726
CAÑO BRAVO-1	6720		6700	6800
GUAVIO-1	8140		9696	9970
RIO CHITAMENA-1	14975	15579	14990	
COPORO1	16700	17530	17060	17353



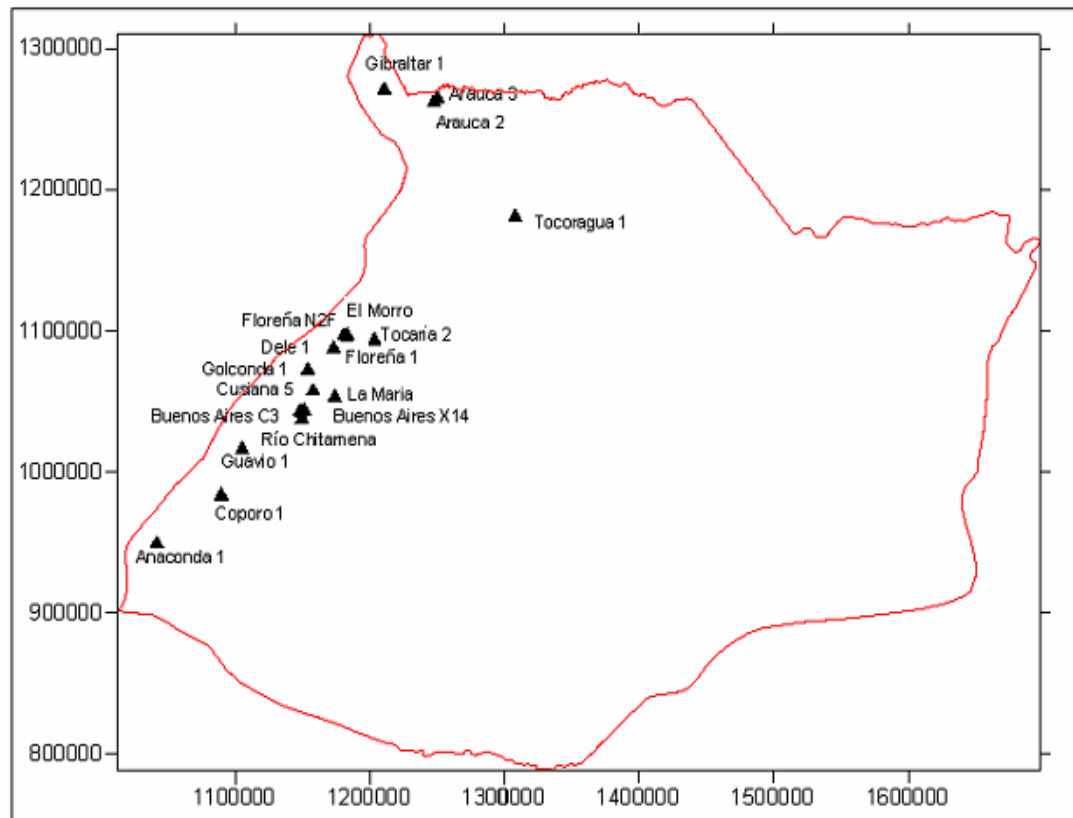
4.1.2. Inventario de Muestras

Con el fin de escoger las dos secciones a caracterizar, se realizó el inventario de muestras de secciones y pozos pertenecientes al intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en el área del Piedemonte Llanero Central y Piedemonte Norte que se encuentran presentes en la Litoteca Nacional. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Pozos y secciones presentes en la Litoteca Nacional (ICP-Piedecuesta) con el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos) disponible.

POZO	TOPE (pies)	BASE (pies)
ARAUCA 2	18182	18347,58
ARAUCA-3	17794	19330
ARAUCA 4	17567	17897,58
BUENOS AIRES 3	15574	15613,5
TOCARIA 1	13140	13162,66
CUSIANA 5	17067	17122,33
CUPIAGUA Q-6	14765	14877,5
COPORO 1	16925	16934
CUPIAGUA H 11	15650	15656
BUENOS AIRES H 15	14765	14857,75
SECCION		
VALEGRA	2-CU-60-PET	2-CU-62-PET
PESCANA	PECU1 (2337 pies)	PECU75 (2387 pies)
TAURAMENA	TAU-PORCU-431 (5 m)	TAU-PORCU-200 (186,58 m)
LA PIÑALERITA	PIN-0	N354+120
PORVENIR 2	MA318	PO-BO-288
PORVENIR 3	PO-BOAR-150 (29.40 m)	PO-BOAR-249 (91.16 m)

Figura 7. Mapa de localización de algunos pozos con el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos), presentes en la Litoteca Nacional.



4.1.3. Fase de Muestreo

Se realizó el muestreo en el intervalo carente de información geoquímica básica. Las muestras seleccionadas presentan cantidad disponible, litologías finas como arcillolitas, shales y limolitas principalmente; el número de muestras tomadas depende del espesor del intervalo. El muestreo se realizó con preferencia en aquellos sectores con control palinológico que permitirán identificar el intervalo Paleoceno Superior. Las secciones de campo muestreadas se encuentran registradas en la Tabla 4, la cual contiene las coordenadas de localización de cada sección, el tipo y el número de muestras tomadas para el análisis.



Tabla 4. Pozos y secciones de la Litoteca Nacional con el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos) muestreados.

SECCIÓN/POZO	COORDENADA		TIPO DE MUESTRA	NO. DE MUESTRAS
	N	E		
S. Porvenir-2	1035000-1033000	1127000-1128000	Afloramiento	31
S*. La Piñalerita	1116500	1035000	Afloramiento	39
P*. Tauramena-2	1053000-1031000	1138076-1140994	Afloramiento	13
S. Porvenir-3	1035000-1033000	1127000-1128000	Afloramiento	10
P. Arauca-2	1261508	1247279	Corazón	5
P. Arauca-3	1264360	1249892	Corazón	20
P. Buenos Aires C-3	1042647	1148024	Corazón	19

S* Sección, P* Pozo

4.1.4. Análisis de “screening”

Los resultados obtenidos de los análisis de “screening” (pruebas preliminares de %COT) de las muestras seleccionadas se presentan a continuación:

En la sección Porvenir-2 se analizó un total de 31 muestras, donde el %COT varía entre 0.1 y 2.8% (Ver Tabla 5). Para la sección Tauramena-2 se analizaron 13 muestras, donde el %COT varía entre 0.09 y 0.48% (Ver Tabla 6). En la sección La Piñalerita se realizó el análisis a 39 muestras, se puede observar (Ver Tabla 7) que los datos de %COT varían en un rango de 0.1 y 9.51%. Para la sección Porvenir-3 (Ver Tabla 8), se analizó un total de 10 muestras con datos de %COT entre 0.3 y 0.45%.



Tabla 5. Resultados del %COT de la sección Porvenir-2.

SECCIÓN PORVENIR 2					
# Muestra	Muestras	% COT	# Muestra	Muestras	% COT
1	MA 321	0,14	15	PO-BO 210	0,1632
2	PO 52	0,32	16	PO-BO 215	0,3733
3	PO 55	0,4	17	PO-BO 230	0,4183
4	PO 47	0,31	18	PO-BO 240	0,1568
5	PO 42	2,78	19	PO-BO 251	0,3857
6	PO 45	0,3911	20	PO-BO 260	0,1730
7	PO 50	0,3804	21	PO-BO 269	0,2775
8	PO 59	0,1561	22	PO-BO 280	0,1696
9	MA 320	0,2130	23	PO-BO 287	0,2032
10	PO-BO 171	0,3061	28	PO-BO 232	0,1477
11	PO-BO 180	0,3681	29	PO-BO 244	0,1920
12	PO-BO 190	0,1544	30	PO-BO 254	0,3507
13	PO-BO 191	0,1527	31	PO-BO 258	0,2632
14	PO-BO 200	0,4820			

Tabla 6. Resultados de %COT de la sección Tauramena 2.

SECCIÓN TAURAMENA 2					
# Muestra	Muestras	% COT	# Muestra	Muestras	% COT
1	TAUPORCU 413	0,15	8	TAUPORCU 323	0,09
2	TAUPORCU 396	0,31	9	TAUPORCU 303	0,48
3	TAUPORCU 428	0,11	10	TAUPORCU 308	0,09
4	TAUPORCU 363	0,14	11	TAUPORCU 383	0,13
5	TAUPORCU 356	0,11	12	TAUPORCU 371	0,09
6	TAUPORCU 317	0,09	13	TAUPORCU 328	0,09
7	TAUPORCU 421	0,25	-	-	-



Tabla 7. Resultados de %COT de la sección La Piñalerita.

SECCIÓN LA PIÑALERITA					
# Muestra	Muestras	% COT	# Muestra	Muestras	% COT
1	PIN 30+10	0,3441	21	PIN 12	0,4260
2	PIN 42+15	0,4073	22	N 3	0,2600
3	PIN 51+80	0,2058	23	N 21-100	0,4304
4	PIN 56+130	0,4671	24	N 44	0,2395
5	PIN 64+0	0,4267	25	N 60-110	0,5519
6	PIN 72+120	0,7228	26	N 71	0,2350
7	N 101	0,1403	27	N 79	0,2200
8	NA 2	0,655	28	N 91	0,2455
9	N 19	0,3343	29	N 103	0,2873
10	N 81	0,1594	30	N 116	0,2075
11	PIN 76-20	0,5518	31	N 11	0,2136
12	PIN 47-100	0,8583	32	N 130	0,1858
13	PIN 65-120	0,4022	33	N 148	0,3608
14	PIN 24-90	4,635	34	N 247	0,1957
15	PIN 52-0	0,3478	35	NA 253	0,2900
16	PIN 58-0	0,3319	36	N 254	0,2176
17	PIN 34-50	5,461	37	N 175	0,2165
18	PIN 81-0	0,4688	38	N 265+160	0,1785
19	PIN 38-130	9,513	39	N 341	0,1701
20	PIN 19-60	3,440	-	-	-

Tabla 8. Resultados de %COT de la sección Porvenir-3.

SECCIÓN PORVENIR 3					
# Muestra	Muestras	% COT	# Muestra	Muestras	% COT
1	PO BOAR 214	0,45	6	PO BOAR 155	0,34
2	PO BOAR 170	0,42	7	PO BOAR 199	0,4
3	PO BOAR 205	0,43	8	PO BOAR 209	0,41
4	PO BOAR 192	0,45	9	PO BOAR 150	0,43
5	PO BOAR 159	0,41	10	PO BOAR 163	0,36



En el pozo Arauca-2 se analizaron 5 muestras, cuyos resultados de %COT varían entre 0.52 y 1.89% (Ver Tabla 9). En el pozo Arauca-3 el %COT varía entre 0.1 y 4.76% en las 20 muestras analizadas (Ver Tabla 10). Por último, para la pozo Buenos Aires C-3, se analizaron 19 muestras, cuyos valores de %COT varían entre 0.1 y 6.28% (Ver Tabla 11).

Tabla 9. Resultados de %COT del pozo Arauca-2.

POZO ARAUCA-2					
# Muestra	Prof. (pies)	% COT	# Muestra	Prof. (pies)	% COT
1	18323	1,82	4	18325	1,89
2	18322	1,73	5	18320'6"	0,52
3	18326	1,86	-	-	-

Tabla 10. Resultados de %COT del pozo Arauca-3.

POZO ARAUCA-3					
# Muestra	Prof. (pies)	% COT	# Muestra	Prof. (pies)	% COT
1	17794	1,0320	11	17924,5	4,37
2	17799	1,3720	12	17925	1,8555
3	17804	0,5291	13	17926	0,4284
4	17809	0,7991	14	17927	0,6692
5	17814	0,9641	15	17928	0,13
6	17819	0,8240	16	17928,2	0,3227
7	17920,6	4,76	17	17932,7	0,11
8	17921,5	3,61	18	17934	0,23
9	17922,8	4,5	19	17935	0,6464
10	17923,8	2,46	20	17944	1,221



Tabla 11. Resultados de %COT del pozo Buenos Aires C-3.

POZO BUENOS AIRES C-3					
# Muestra	Prof. (pies)	% COT	# Muestra	Prof. (pies)	% COT
1	15513,5	0,13	11	16015	0,51
2	15522	0,28	12	16028	0,4
3	15530	0,38	13	16043	0,74
4	15540,3	0,42	14	16051	0,72
5	15574	0,23	15	16060	0,54
6	15579	0,4	16	16070,2	0,68
7	15599	6,28	17	16080	0,59
8	15605	0,35	18	16092	0,52
9	15603	0,11	19	16114	1,1
10	16001	0,43			

Con base a los resultados de COT obtenidos y teniendo en cuenta como criterio de selección que las muestras presenten % COT mayores al 0.5 %; y que estén presentes en la Litoteca Nacional, se escogió la sección La Piñalerita y el pozo Arauca-3, para ampliar la caracterización geoquímica a realizar en este trabajo (Ver Anexo 2. Columnas generalizadas del pozo Arauca-3 y la sección La Piñalerita).

4.2. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA ROCA FUENTE

En este capítulo se presenta los resultados geoquímicos (COT y pirólisis rock-eval) para las dos secciones seleccionadas.



4.2.1. Conocimientos previos

Para caracterizar una roca fuente, es necesario conocer la cantidad, la calidad y la madurez térmica de la materia orgánica presente en las muestras. A continuación, se describe cada uno de esos parámetros.

Cantidad de la materia orgánica

La cantidad de materia orgánica presente en las rocas se evaluó mediante el parámetro de carbono orgánico total (%COT). Los rangos de valores utilizados en la interpretación se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetro geoquímico que describe el potencial cuantitativo de petróleo. Tomado de Peters y Cassa (1994).

(%) COT	INTERPRETACION
0,0 – 0,5	Pobre
0,5 – 1,0	Regular
1,0 – 2,0	Bueno
2,0 – 4,0	Muy bueno
> 4,0	Excelente

Calidad de la materia orgánica

La calidad de la materia orgánica se evaluó mediante el parámetro de índice de hidrógeno (IH), obtenido a partir de la pirólisis rock–eval. Los resultados obtenidos son expresados en miligramos de hidrocarburos por gramo de roca (mg de HC/g de roca). Los siguientes son parámetros obtenidos por este método:



S₁: Representa la cantidad de hidrocarburos (HC) libres inherentes o migrados en la roca. Su valor es similar al contenido de materia orgánica extractable (bitumen) de la muestra (Ver Tabla 13).

S₂: Es la cantidad de hidrocarburos producidos durante la pirólisis, a partir de la materia orgánica presente en una muestra de roca. Para rocas fuentes inmaduras o ligeramente maduras, se pueden utilizar los criterios consignados en la Tabla 13.

Tabla 13. Criterios de los parámetros S₁ y S₂.

Valores S ₁ (mg de HC/g de roca)	Valores S ₂ (mg de HC/g de roca)	CRITERIO
0.0 - 0.5	< 2.0	Pobre
0.5 - 1.0	2.0 – 5.0	Regular
1.0 - 2.0	> 5.0	Bueno
2.0 - 6.0		Muy Bueno
> 6.0		Excelente

S₁+S₂: Representa el potencial total de HC en una roca fuente. Los siguientes son los rangos utilizados (Ver Tabla 14).

Tabla 14. Rangos del Potencial Total de HC.

Valores S ₁ +S ₂ (mg de HC/g de roca)	CRITERIO
< 2.0	Roca no fuente de aceite, algún potencial de gas
2.0 – 6.0	Moderada roca fuente de gas
> 6.0	Buena roca fuente de gas



S₃: Se refiere a la cantidad de oxígeno presente en el kerógeno y representa el CO₂ producido durante la pirólisis de la materia orgánica de la roca.

Relación S₁ / (S₁ + S₂) ó índice de productividad (IP): Es una indicación de la cantidad relativa de hidrocarburos libres (inherentes o migrados) presentes en la roca. Los valores utilizados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Criterios del índice de productividad.

Valores S ₁ / (S ₁ +S ₂)	CRITERIO
< 0.28	Rocas Fuentes
> 0.28	Aceite migrado

Los datos de pirólisis rock-eval proporcionan cuatro métodos diferentes para determinar el tipo de kerógeno:

A. La graficación de los valores IH (S₂/COT*100%) vs IO (S₃/COT*100%), es determinado a partir de un diagrama de Van krevelen modificado.

B. Graficación del (IH) versus T_{máx}. Este es un diagrama similar al anterior, del cual se puede obtener el tipo de kerógeno y su madurez.

C. El cálculo de la relación de S₂/S₃ permite la clasificación del tipo de kerógeno (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Clasificación del tipo de kerógeno a partir del parámetro S₂/S₃.

Valores S ₂ / S ₃	TIPO DE KERÓGENO	CRITERIO
0.0 – 2.5	TIPO III	Genera Gas
2.5 – 5.0	TIPO III	Genera Gas / Aceite
5.0 – 10.0	TIPO I O II	Genera Aceite



D. El parámetro IH, permite describir el potencial cualitativo de petróleo. Su interpretación se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetro geoquímico que describe el potencial cualitativo de Petróleo. Tomado de Peters y Cassa (1994).

IH (mg. HC / g. COT)	TIPO DE KEROGENO
> 600	I
600-300	II
300-200	II/III
200-50	III
<50	IV

El contenido de kerógeno, por lo general, se determina mediante la combustión del carbono orgánico, para formar CO₂ en una atmósfera de oxígeno una vez que el carbono del carbonato se ha eliminado mediante el tratamiento ácido. Tissot y Welte (1984). Basados en el parámetro IH obtenido de la pirólisis rock-eval, los tipos de kerógeno son:

- **Kerógeno I:** se deriva del retrabajamiento bacterial de la materia orgánica algal rica en lípidos, de ambientes lacustres. Son dominados por macerales de liptinita; aunque la vitrinita e inertinita pueden estar presentes en pequeñas cantidades. Genera petróleo de mejor calidad. La relación H/C es alto ($\geq 1,5$) y la relación O/C es baja ($< 0,1$); presenta cadenas alifáticas.
- **kerógeno II:** fuente más común de crudos. La relación H/C es alta y la relación O/C es baja. El contenido de sulfuros es alto, dominada por el maceral liptinita y la materia orgánica es depositada en sedimentos marinos (mezcla de zooplanton, fitoplanton y bacterias). Presenta compuestos aromáticos y enlaces heteroatómicos; al igual que grupos cetona, ácidos



carboxílicos, nafténicos (abundantes) y cadenas alifáticas de longitud moderada.

Kerógeno II-S: La relación S/C es $> 0,04$; se encuentra asociado a la incorporación de S a la materia orgánica durante la diagénesis (ambientes sulfato - reductores).

- **kerógeno III:** materia orgánica de origen continental que produce gas. Su ambiente de depósito es deltáico, el maceral liptinita es muy poco. La relación H/C es baja ($< 1,0$) y la relación O/C es alta (0,2 a 0,3). Presenta alta proporción de compuestos aromáticos, grupos cetonas y ácidos carboxílicos.

Madurez térmica

La determinación del grado de madurez térmica de la materia orgánica se evaluó mediante el parámetro de temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$, °C) del pico S_2 , obtenido a partir de la pirólisis rock-eval. Los valores utilizados en su interpretación se encuentran en la Tabla 18.

El parámetro de madurez térmica ($T_{\text{máx}}$) corresponde a la temperatura a la cual tiene lugar la máxima generación de hidrocarburos durante la pirólisis rock-eval. La madurez térmica hace referencia a la magnitud de tiempo-temperatura que controla las reacciones en las cuales la materia orgánica sedimentaria es transformada en aceite, gas húmedo y finalmente en gas seco y pirobitumen. Las rocas térmicamente inmaduras han sido afectadas por la diagénesis sin un pronunciado efecto de la temperatura ($T_{\text{máx}} < 435$ °C). La materia orgánica madura está o estuvo en la ventana de generación de aceite y ha sido afectada por procesos térmicos que cubre el rango de temperatura en el cual la roca madre genera aceite ($\sim 435 < T_{\text{máx}} < 470$ °C) ó



60 – 150 °C, la materia orgánica térmicamente post madura está en la ventana de gas y ha sido sometida a temperaturas tan altas, que ha sido convertida a un “residuo” pobre en hidrógeno, capaz de generar únicamente pequeñas cantidades de hidrocarburos gaseosos Peters y Cassa (1994).

Tabla 18. Parámetro geoquímico que describe la madurez térmica. Tomado de Peters y Cassa (1994).

T _{máx.} (°C)	Madurez térmica
< 435	Inmadura
435 – 445	Madurez Temprana
445 – 450	Pico de generación
450 – 470	Madurez Tardía
> 470	Sobremadura

La evaluación y caracterización de la roca fuente de hidrocarburos se llevó a cabo mediante el análisis de los parámetros de cantidad, calidad y madurez de la materia orgánica. Los parámetros de interpretación utilizados en el presente capítulo se basan en la clasificación de Peters y Cassa (1994).

4.2.2. Cantidad de la materia orgánica

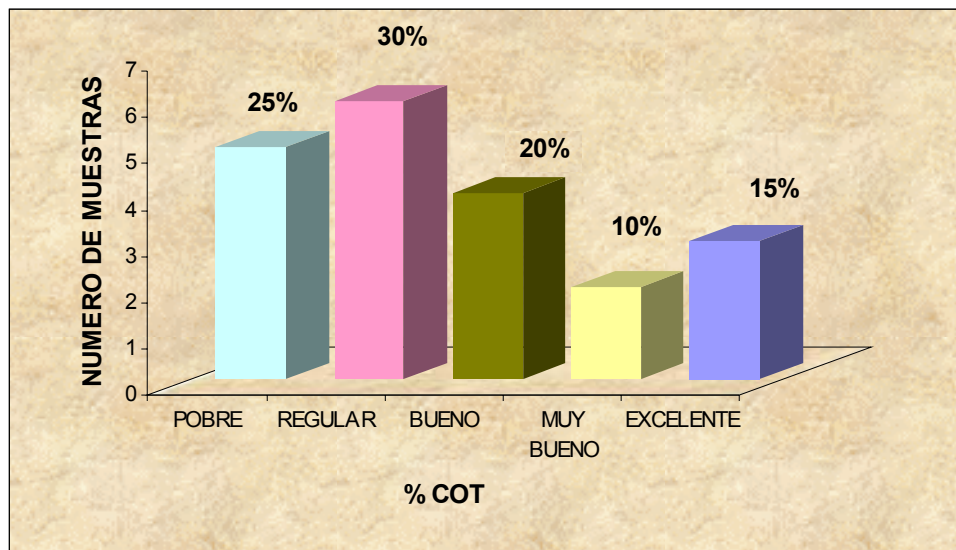
4.2.2.1. Pozo Arauca-3

Para la evaluación de la cantidad de la materia orgánica se utilizaron 20 muestras de roca (Tabla 10) correspondientes al pozo Arauca-3.

El histograma de contenido de materia orgánica para la Formación Los Cuervos (Figura 8) permitió deducir un COT promedio de pobre (con 25%) a bueno (con 20%), predominando el regular con un porcentaje de 30%.

Además, se puede apreciar un bajo porcentaje COT con características de muy bueno (con 10%) y de excelente con un 15%.

Figura 8. Histograma de distribución del contenido de materia orgánica en muestras de la Formación Los Cuervos en el P. Arauca-3.

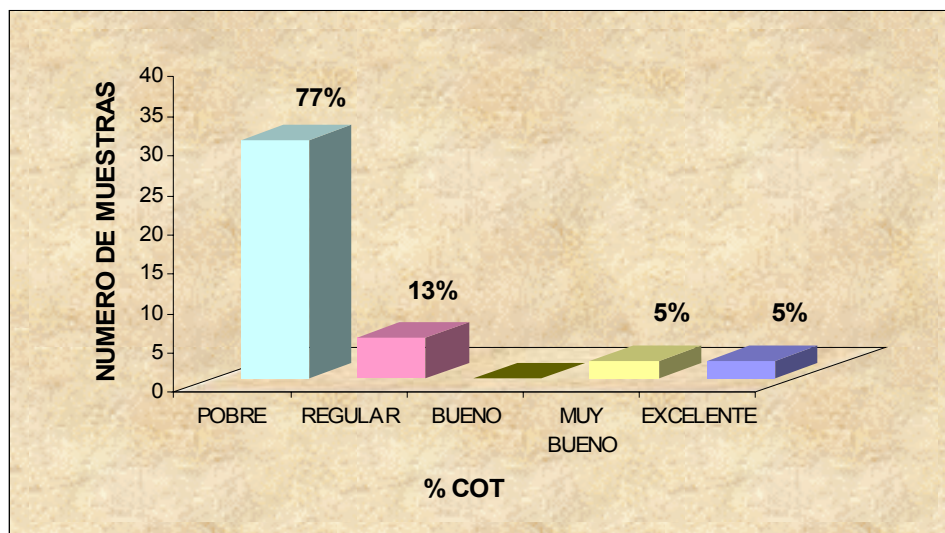


4.2.2.2. Sección La Piñalerita

Para la evaluación de la cantidad de la materia orgánica de esta sección se tomaron 39 muestras (Tabla 7) de roca distribuidas a lo largo del intervalo Paleoceno Superior.

El histograma de contenido de materia orgánica para la Formación Los Cuervos (Figura 9), en la sección La Piñalerita permitió deducir un COT promedio de pobre con un porcentaje de 77%, y en menor porcentaje un COT de regular (con 13%), muy bueno (con 5%) y excelente con un 5%.

Figura 9. Histograma de distribución del contenido de materia orgánica en muestras de la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita.



4.2.3. Calidad de la materia orgánica

Para evaluar la calidad de la materia orgánica se uso el diagrama de Van Krevelen (IH vs. IO); estos diagramas son representativos del tipo de kerógeno cuando se tienen bajos niveles de madurez térmica de la materia orgánica; ya que los valores de IH van disminuyendo con el aumento de la temperatura. Además, se realizó un histograma para cada sección que permitió observar que tipo de kerógeno predomina. La información obtenida de la pirólisis para las dos secciones analizadas se encuentra consignada en la Tabla 19 y Tabla 20; donde se puede observar los valores obtenidos para cada parámetro evaluado.



Tabla 19. Resultados obtenidos de la pirólisis rock-eval para las muestras del pozo Arauca-3.

Prof. (pies)	% COT	S1*	S2*	S3	Tmáx*	IP	IH*	IO*
17794	1,03	10,33	2,06	0,3	423	0,83	199,61	29,06
17799	1,37	17,28	1,69	0,13	424	0,91	123,18	9,47
17809	0,80	7,78	1,31	0,09	422	0,86	163,93	11,26
17814	0,96	10,85	1,26	0,15	425	0,9	130,69	15,55
17819	0,82	7,23	1,24	0,21	423	0,85	150,49	25,48
17920,6	4,76	1,31	13,5	0,74	429	0,09	283,85	15,55
17921,5	3,61	0,97	11,25	0,39	433	0,08	311,29	10,79
17922,8	4,50	1,11	13,76	0,51	430	0,07	305,91	11,33
17923,8	2,46	3,73	4,64	0,48	429	0,45	188,31	19,48
17924,5	4,37	1,93	11,62	0,66	431	0,14	265,84	15,09
17925	1,86	2,1	5,21	0,25	431	0,29	280,86	13,47
17927	0,67	4,88	0,67	0,09	417	0,88	100,12	13,44
17935	0,65	5,24	1,43	0,12	423	0,79	221,23	18,56
17944	1,22	10,2	2	0,32	425	0,84	163,80	26,20

*Tmáx (°C); S1 y S2 (mg. HC); IH (mg. HC / g. COT).

Tabla 20. Resultados obtenidos de la pirólisis rock-eval para las muestras de la sección La Piñalera.

Muestra	% COT	S1	S2	S3	Tmáx	PI	IH	IO
NA 2	0,66	0,11	0,55	0,28	428	0,17	83,97	42,75
N 60-110	0,55	0,01	0,18	0,24	439	0,05	32,61	43,49
PIN 19-60	3,44	0,12	3,79	0,78	424	0,03	110,17	22,67
PIN 24-90	4,64	0,18	6,91	1,2	420	0,03	149,08	25,89
PIN 34-50	5,46	0,19	16,08	1,64	431	0,01	294,45	30,03
PIN 38-130	9,51	0,31	40,59	2,04	430	0,01	426,68	21,44
PIN 47-100	0,86	0,02	0,51	0,55	439	0,04	59,42	64,08
PIN 72+120	0,72	0,02	0,41	0,38	431	0,05	56,72	52,57
PIN 76-20	0,55	0,02	0,23	0,3	436	0,08	41,68	54,37

*Tmáx (°C); S1 y S2 (mg. HC); IH (mg. HC / g. COT)

4.2.3.1. Pozo Arauca-3

Para el análisis de la calidad de la materia orgánica se utilizaron 14 muestras de roca correspondientes al pozo Arauca-3.

Teniendo en cuenta el diagrama de Van Krevelen (Figura 10) para ésta Formación se pudo deducir el kerógeno como tipo II y III. El histograma de distribución de IH (Figura 11) indica un predominio de kerógeno tipo III (57%) con contenidos menores de kerógeno tipo II/III (29%) y II (14%), según la clasificación de Peters y Cassa (1994). Según el diagrama de IH vs T_{máx.} (Figura 12), se puede observar la distribución de las muestras basados en el índice de hidrogeno y su relación con la madurez; todas las muestras están inmaduras (T_{máx.} <435° C).

Figura 10. Diagrama de Van Krevelen modificado, mostrando el tipo de kerógeno predominante en la Formación Los Cuervos, pozo Arauca-3.

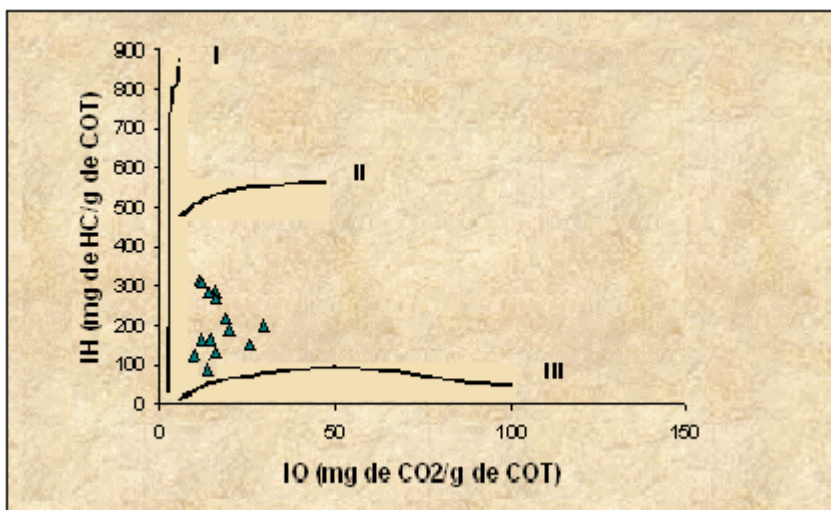


Figura 11. Histograma de distribución del índice de hidrógeno en muestras de la Formación Los Cuervos en el P. Arauca-3.

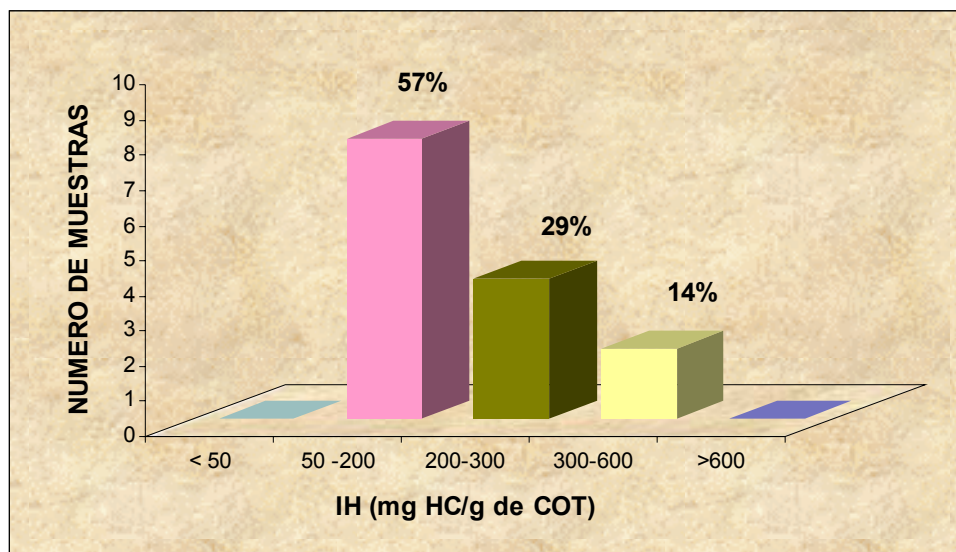
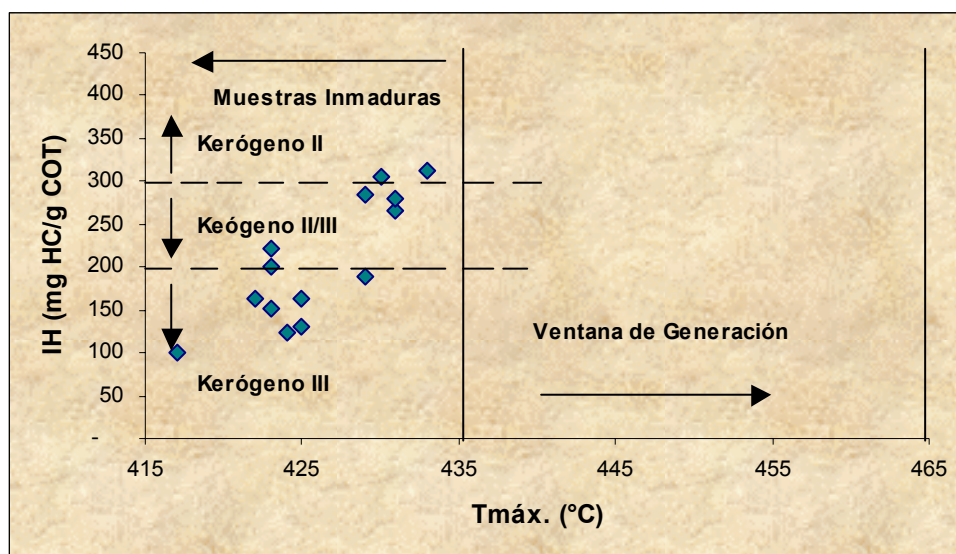


Figura 12. Relación entre el índice de hidrógeno y la T_{máx} de pirólisis de las muestras analizadas del pozo Arauca-3.



4.2.3.2. Sección La Piñalerita

Para la evaluación de la calidad de la materia orgánica de esta sección se tomaron se utilizaron 9 muestras de roca.

El diagrama de Van Krevelen (Figura 13) para la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita indica un predominio del kerógeno tipo III. El histograma de distribución de IH (Figura 14) indica un predominio de kerógeno tipo III (45%) con contenidos menores de kerógeno tipo IV (22%), II/III (22%) y II (11%), según la clasificación de Peters y Cassa (1994). El diagrama de IH vs T_{máx.}, muestra que la mayoría de las muestras (6 muestras) son térmicamente inmaduras y solo se aprecia un pequeño porcentaje (3 muestras) en ventana de generación (Figura 15).

Figura 13. Diagrama de Van Krevelen modificado, mostrando el tipo de kerógeno predominante en la Formación Los Cuervos, sección La Piñalerita.

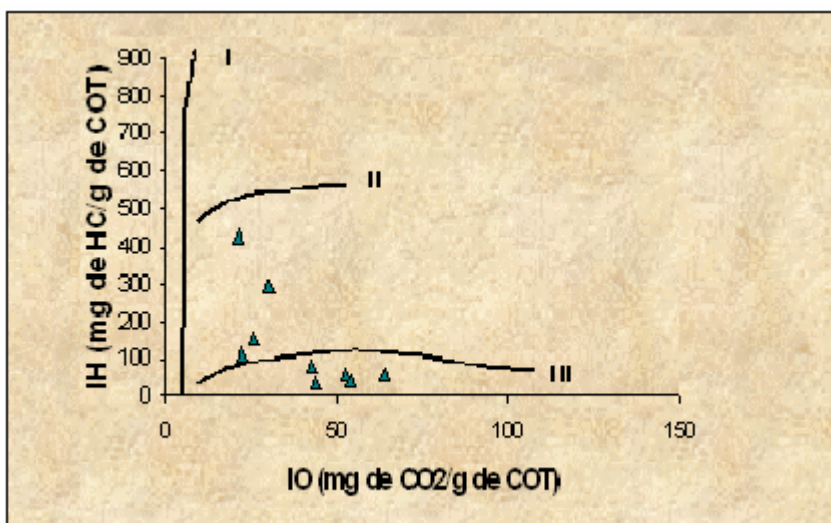


Figura 14. Histograma de distribución del índice de hidrógeno en muestras de la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita.

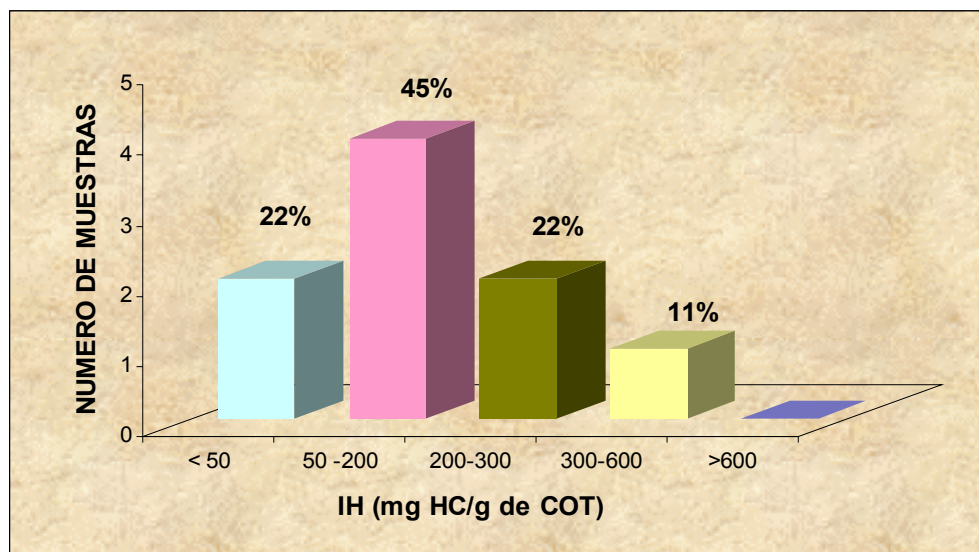
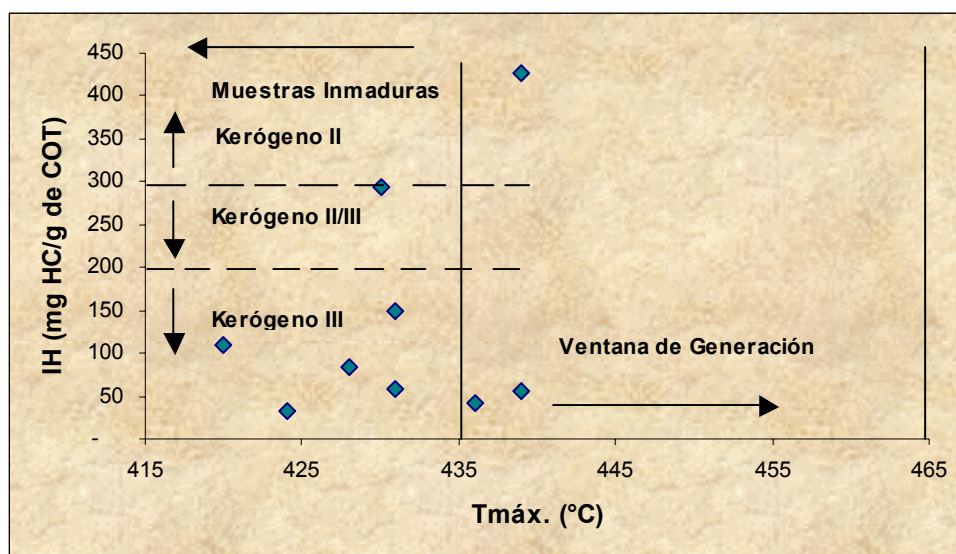


Figura 15. Relación entre el índice de hidrógeno y la T_{máx} de pirólisis de las muestras analizadas de la sección La Piñalerita.



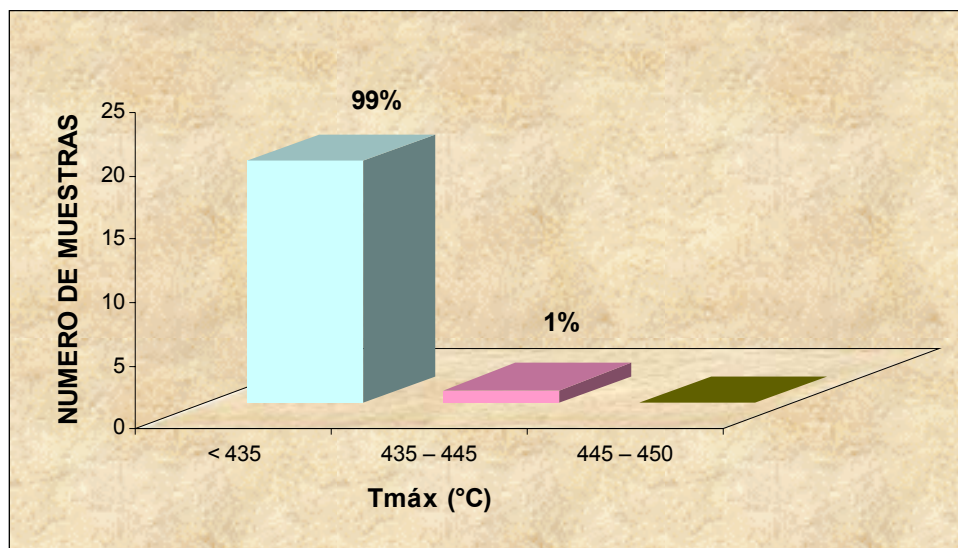
4.2.4. Madurez térmica

Para el análisis de madurez térmica se utilizó el histograma de distribución de la $T_{\text{máx}}$ en las muestras analizadas; parámetro obtenido a partir de la temperatura máxima del pico S_2 de la pirólisis rock-eval. La información que se obtuvo de la pirólisis para las dos secciones analizadas se encuentra consignada en las tablas Tabla 19 y Tabla 20, respectivamente

4.2.4.1. Pozo Arauca-3

Para el análisis de la madurez térmica de la materia orgánica se utilizaron 14 muestras de roca correspondientes al pozo Arauca-3.

Figura 16. Histograma de distribución de la temperatura máxima en muestras de la Formación Los Cuervos en el pozo Arauca-3.



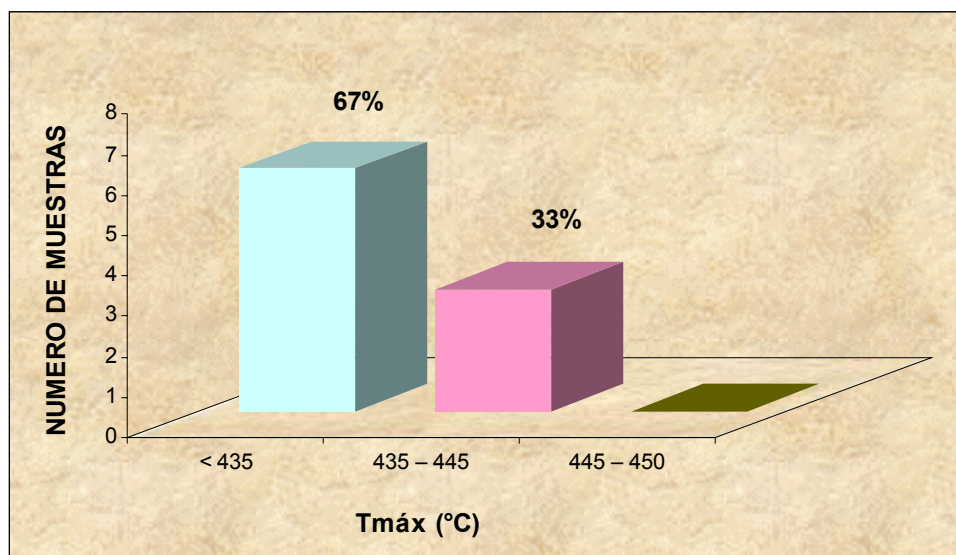
En el anterior histograma, basados en el parámetro $T_{\text{máx}}$, se puede ver que las muestras del pozo Arauca-3, se encuentran en su mayoría inmaduras, con un porcentaje de 99%.

4.2.4.2. Sección La Piñalerita

Para identificar el nivel de madurez térmica de la materia orgánica en la sección La Piñalerita se tomaron 9 muestras de roca.

El histograma de T_{máx.} vs número de muestras (Figura 17) indica que las muestras de esta sección se encuentran inmaduras en un 67%, y un 33% en madurez temprana.

Figura 17. Histograma de distribución de la temperatura máxima en muestras de la Formación Los Cuervos en la sección La Piñalerita.



4.3. CARACTERIZACIÓN DEL KERÓGENO

4.3.1. Consideraciones preliminares

El kerógeno es una fracción de materia orgánica remanente después de la extracción de la roca pulverizada con solventes orgánicos; que puede ser



aislado del carbonato y la sílice presentes en la roca por tratamientos con ácidos inorgánicos, tales como HCl y HF (Durand, 1980). La cantidad y composición del kerógeno remanente después de la extracción dependen de los tipos y polaridad de los solventes orgánicos. El kerógeno es una mezcla de macerales y productos degradados reconstituidos de materia orgánica; los macerales son el remanente de varios tipos de materia animal y vegetal que pueden ser distinguidos por su química, morfología y reflectancia usando microscopía petrográfica (Stach et al, 1982).

La descripción del kerógeno contenido en las rocas se realizó en términos de sus propiedades ópticas. Mediante análisis con luz reflejada el kerógeno se clasifica en macerales, cada maceral describe la forma y naturaleza de los constituyentes orgánicos. Los macerales primarios son Vitrinita, Liptinita, Inertinita, mientras que los macerales secundarios están representados por el bitumen sólido. Un segundo análisis óptico se hace con luz incidente, permitiendo separar el kerógeno en Fitoclastos (fragmentos de tejidos derivados de plantas superiores y hongos), materia orgánica amorfa (MOA, sin morfología, sin estructura, ni textura), palinomorfos (entidades aisladas, derivados de plantas superiores con morfología definida) y zooclastos (partículas de insectos que quedan atrapados en la roca).

4.3.2. Petrografía orgánica

Para la evaluación de la calidad de la materia orgánica se utilizaron 3 muestras de roca correspondientes a la sección La Piñalerita.

4.3.2.1. Pozo Arauca-3

Para las muestras pertenecientes al pozo Arauca-3 no se realizó este tipo de análisis.

4.3.2.2. Sección La Piñalerita

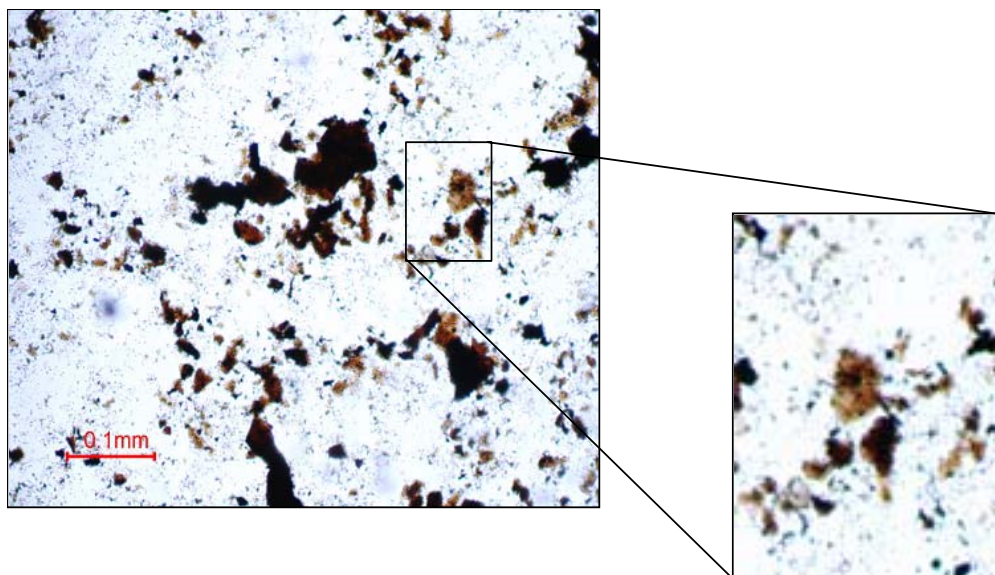
Para el análisis de la caracterización del kerógeno se utilizaron 3 muestras de roca correspondientes a la sección La Piñalerita. Las muestras seleccionadas son: NA-2, PIN 72-120 y PIN 34-50.

MUESTRA NA-2 DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA

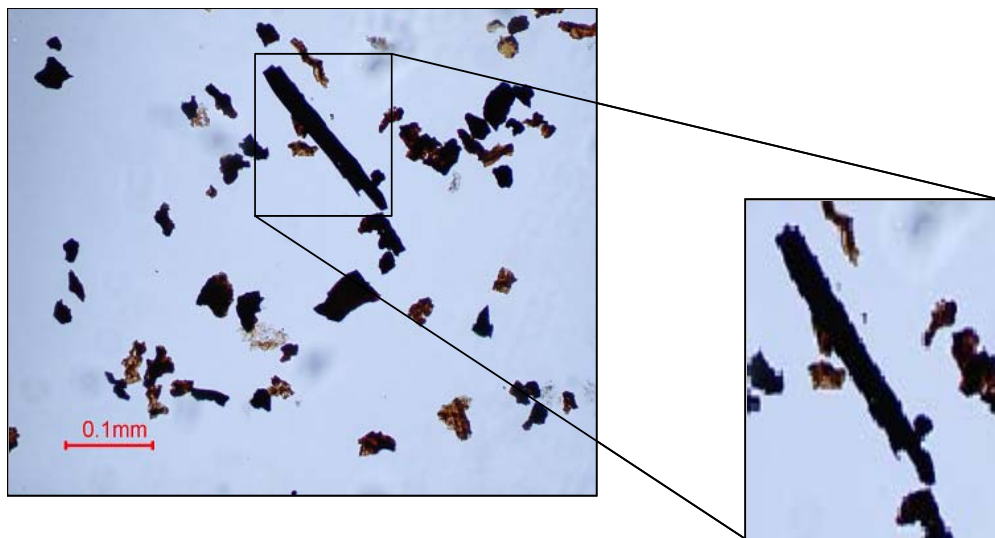
Presenta una composición de kerógeno: del 95 % de materia orgánica amorfa (MOA) con una leve fluorescencia y un 5 % de trazas de liptinita con una leve fluorescencia (Ver Figura 18).

Figura 18. Microfotografía de la materia orgánica con luz transmitida. Aumento 20X. Sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), muestra NA-2. a) Materia orgánica amorfa, b) Materia orgánica leñosa.

a) Materia orgánica amorfa.



b) Materia orgánica leñosa.



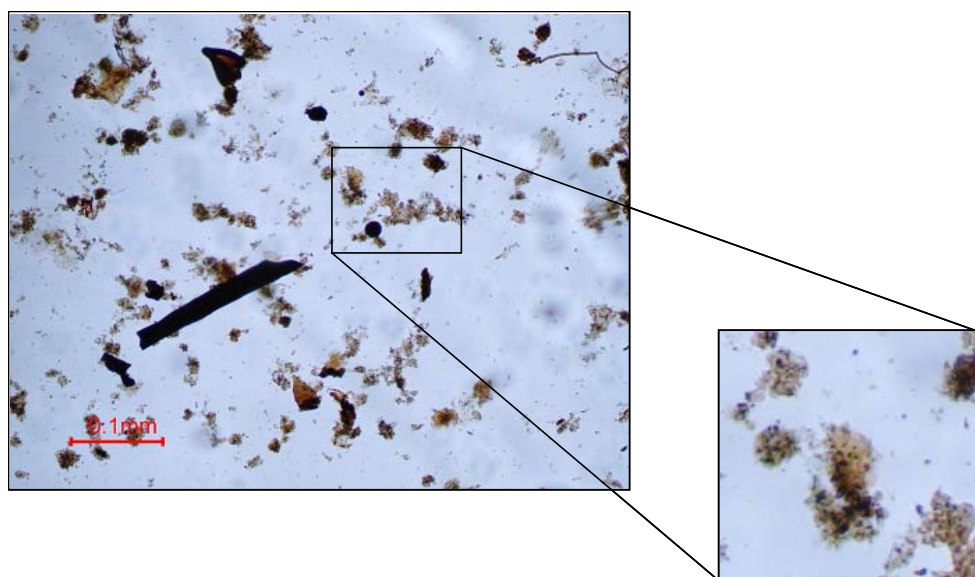
Muestra	% COT	S1	S2	S3	Tmáx	PI	IH	IO
NA 2	0,66	0,11	0,55	0,28	428	0,17	83,97	42,75

MUESTRA PIN 72-120 DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA

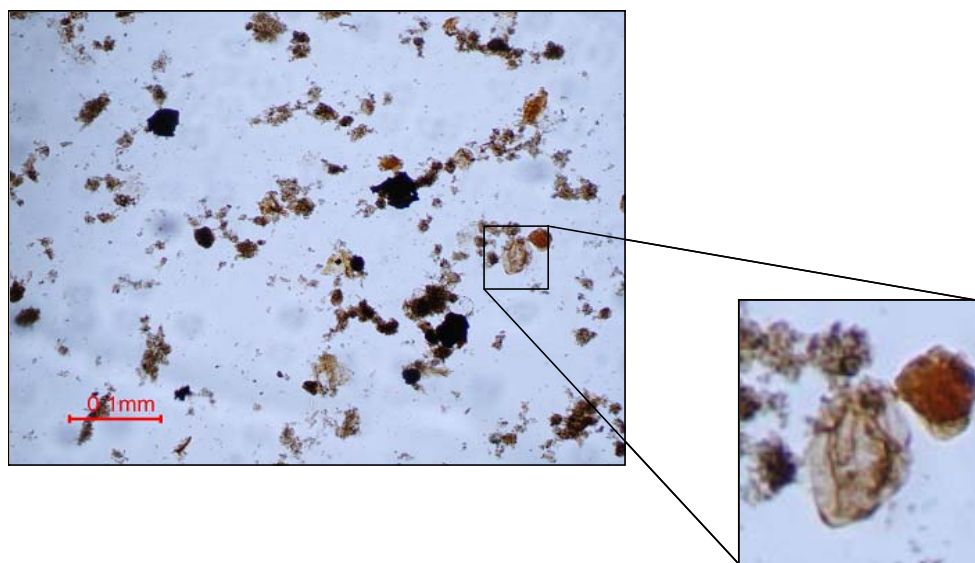
Presenta una composición de kerógeno: materia orgánica amorfa (MOA) del 93 % sin fluorescencia, vitrinita 5 % y liptinita 2% (granos de polen y esporas sin fluorescencia, también se observan trazas de tejidos de hongos. Muy probablemente la materia orgánica amorfa esté oxidada y/o provenga de materia orgánica leñosa (Ver Figura 19).

Figura 19. Microfotografía de la materia orgánica con luz transmitida. Aumento 20X. Sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), muestra PIN 72-120. a) Materia orgánica amorfa, b) Granos de polen y esporas, c) Materia Orgánica Leñosa, d) Trazas de tejidos de hongos.

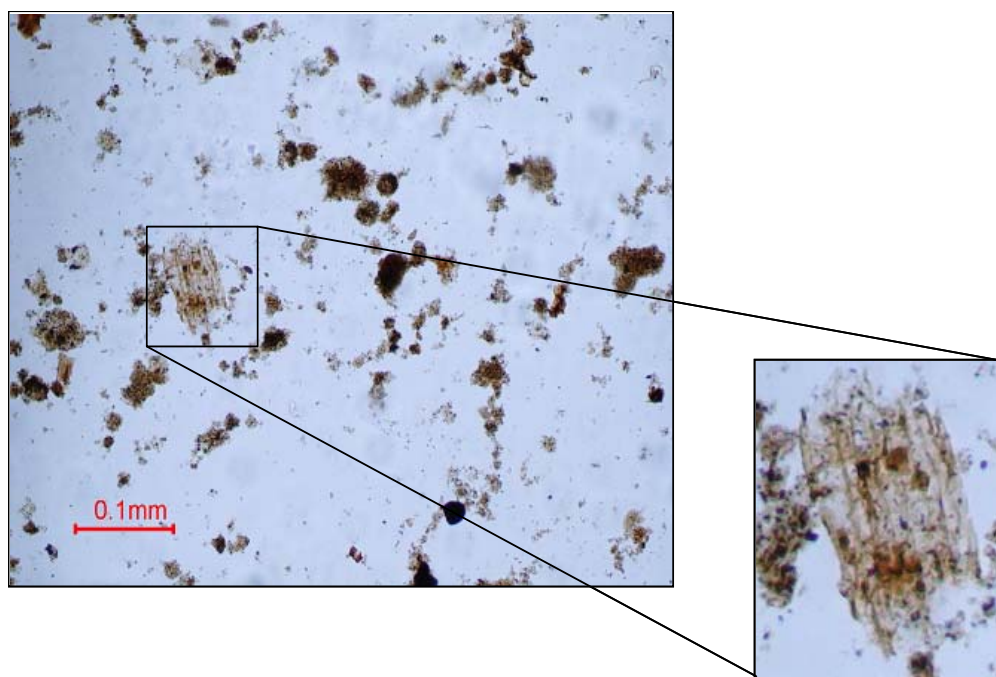
a) Materia orgánica amorfa.



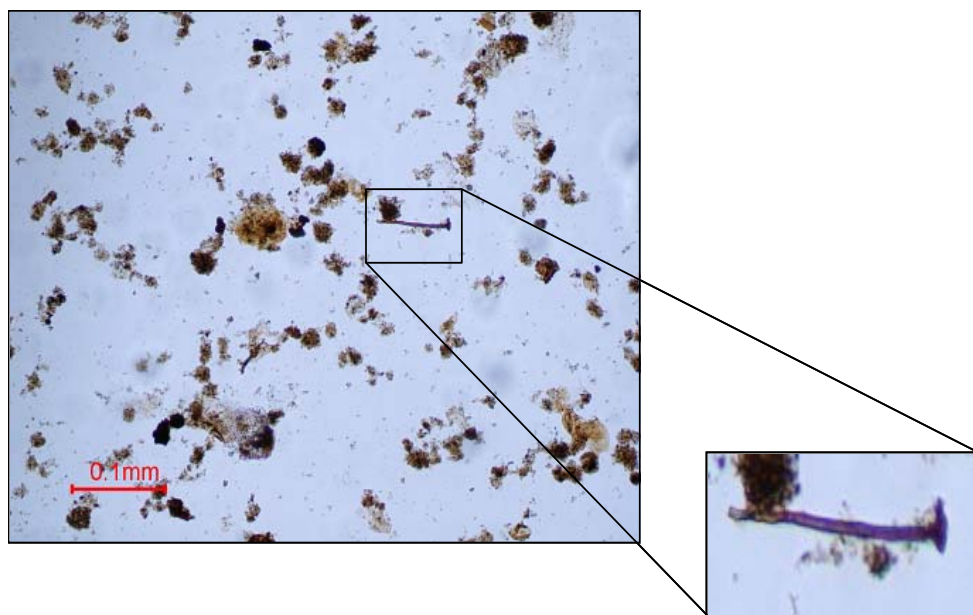
b) Granos de esporas



c) Materia orgánica leñosa



d) Trazas de tejidos de hongos.



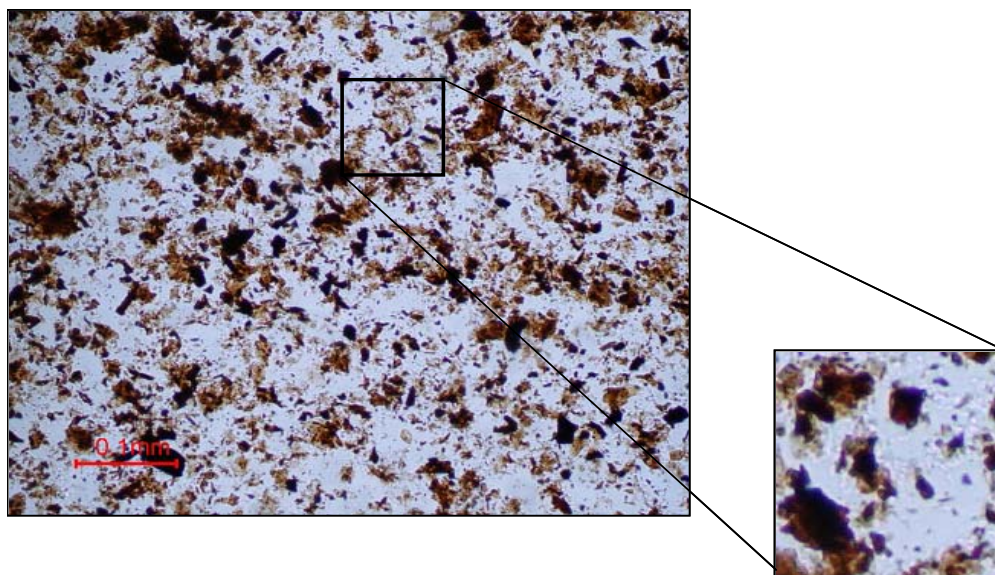
Muestra	% COT	S1	S2	S3	Tmáx	PI	IH	IO
PIN 72+120	0,72	0,02	0,41	0,38	431	0,05	56,72	52,57

MUESTRA PIN 34-50 DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA

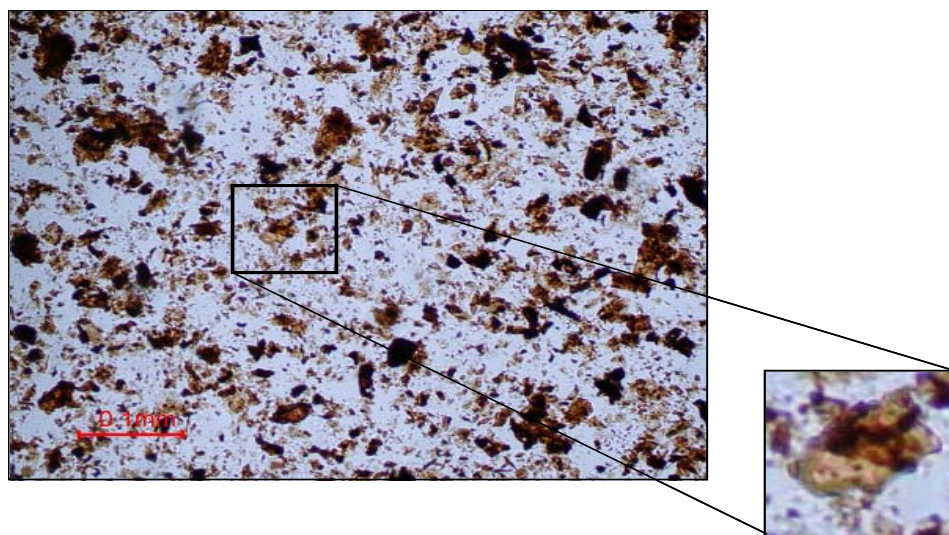
Presenta una composición de kerógeno: vitrinita 65%, materia orgánica amorfa (MOA) del 30 % mostrando una leve fluorescencia, liptinita 5 % (granos de polen, esporas y tejidos cuticulares con una leve fluorescencia), también se observan trazas de tejidos de hongos (Ver Figura 20).

Figura 20. Microfotografía de la materia orgánica con luz transmitida. Aumento 20X. Sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), muestra PIN 34-50. a) Materia orgánica amorfa, b) Granos de polen esporas.

a) Materia orgánica amorfa.



b) Granos de esporas.



Muestra	% COT	S1	S2	S3	Tmáx	PI	IH	IO
PIN 34-50	5,46	0,19	16,08	1,64	431	0,01	294,45	30,03

4.4. CARACTERIZACIÓN DEL BITUMEN

4.4.1. Conocimientos previos

El bitumen en las rocas es toda la materia orgánica extractable con solventes orgánicos comunes, por ejemplo, cloroformo, benceno, diclorometano y n-hexano. Una pequeña parte del bitumen se origina de los componentes lipídicos de organismos antiguos, pero la mayoría se genera por cracking (disociación termal) del kerógeno. El bitumen está constituido por cuatro fracciones principales que son: hidrocarburos saturados y aromáticos, resinas y asfaltenos. En la Tabla 21 se resumen los principales compuestos químicos constituyentes de las fracciones.



Tabla 21. Fracciones de bitumen y sus compuestos químicos constituyentes. Tomada de Waples (1985).

FRACCIONES	CLASES DE COMPUESTOS
Hidrocarburos saturados.	Parafinas normales, isoprenoides, otros compuestos ramificados, alilcíclicos incluyendo esteranos, diterpanos y triterpanos.
Hidrocarburos aromáticos	Naftenoaromáticos y aromáticos simples
Resinas	Porfirinas y ácidos grasos.
Asfaltenos	Asfaltenos

El análisis del extracto de roca (bitumen) comprende como primera medida la recuperación del extracto soluble de materia orgánica de la roca. Esta técnica generalmente suministra suficientes cantidades de extracto para análisis complementarios, principalmente la cromatografía líquida en columna abierta, cromatografía de gases, cromatografía gases acoplada a un detector de masas. La cantidad y composición de la extracción dependerán de la cantidad de materia orgánica, de las facies orgánicas, el medio de deposito y la madurez térmica, entre otros.

En la extracción, los compuestos de interés se recuperan del volumen de muestra y la porción de solvente puede removerse del extracto recuperado, sin afectar la composición de la muestra.

Técnicas cromatográficas para el análisis de bitumen

La cromatografía es un método físico de separación, en el cual, los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la “*fase estacionaria*”, de gran área superficial, y la otra es un fluido “*fase móvil*” que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria. Los compuestos eluyen de la fase estacionaria según su interacción con ésta, que basa su poder de resolución en propiedades como la polaridad y volatilidad de los analitos.



- **Cromatografía líquida en columna abierta**

La cromatografía líquida es un método de análisis en una columna que permitió separar crudos y bitúmenes en compuestos del tipo saturados, aromáticos y resinas+asfáltenos. El contenido de cada fracción es expresado en porcentaje (%). A continuación, se describe cada una de estas fracciones.

Saturados: parafinas o alcanos, son moléculas orgánicas formadas únicamente por átomos de carbono e hidrógeno sin funcionalización alguna, es decir, sin la presencia de grupos funcionales como el carbonilo, carboxilo, amida, etc. La fórmula general es C_nH_{2n+2} . Esto hace que su reactividad sea muy reducida en comparación con otros compuestos orgánicos; todos los enlaces dentro de las moléculas de saturados son de tipo simple o sigma, es decir, covalentes por compartición de un par de electrones en un orbital s. En los saturados se encuentran buena parte de los biomarcadores: Terpenoides y esteranos.

Aromáticos: Compuestos obtenidos por síntesis de tejidos de plantas simples. Los anillos le dan mayor estabilidad a los enlaces dobles. El peso molecular de los aromáticos es ligeramente mayor que el de los saturados. El aromático más conocido es el benceno.

Resinas: Fracción más pesada del crudo, conocidos como HC polares. Son solubles en solventes orgánicos excepto en alcoholes. Normalmente constituidos por dos (2) a seis (6) anillos de benceno, pueden ser muy complejos.

Asfáltenos: Son la fase sólida del petróleo, viajan en una fracción coloidal (sólidos en suspensión) dentro de los saturados lo que hace que sean fáciles



de separar. Forman moléculas complejas con las resinas que pueden romperse fácilmente.

Este procedimiento permitió realizar posteriormente, el análisis de los biomarcadores pertenecientes a las familias de los triterpenoides, el cual no sería posible a partir de crudos totales, debido a las bajas concentraciones de estos compuestos.

- **Cromatografía de gases acoplada a un detector de masas**

La cromatografía de gases es un método de separación y detección de compuestos orgánicos en mezclas, con base, principalmente, en sus volatilidades. Durante la separación, los componentes son arrastrados por medio de un gas inerte (fase móvil) a través de la columna donde interactúan con un material polimérico que la recubre (fase estacionaria), “*dividiéndose*” entre las dos fases. La separación tiene lugar, principalmente, debido a diferencias en la solubilidad de los componentes de la muestra en la fase estacionaria. Así, la columna retiene algunos componentes más que otros, y consecuentemente, pasan mayor o menor tiempo en ella.

La detección se realizó mediante el registro de una serie de picos cromatográficos que aparecen según la relación área vs. tiempo de retención, donde el área del pico es proporcional a la cantidad presente del compuesto y el tiempo de retención, corresponde al tiempo transcurrido desde su inyección hasta la obtención del pico máximo. Ésta técnica provee información de tipo cualitativa y cuantitativa de los componentes individuales presentes en la muestra. (Tomado de <http://www.inlab.com.ar/Cromatografia.htm>). Los componentes básicos de un sistema cromatográfico completo incluyen:



Fuentes de gases con válvulas de control (gas carrier): se elige de modo que no interfiera con las mediciones que se realizan. Los gases más usados son hidrógeno, helio y nitrógeno.

Inyector: pequeña cámara colocada inmediatamente antes de la(s) columna(s) de separación, donde se accede mediante una jeringa adecuada o con una válvula de inyección.

Columna analítica y horno: Cada columna se diseña para aprovechar alguna propiedad de los diferentes componentes que resulte adecuada para generar distintas velocidades de avance durante el recorrido de la columna. En el caso de los hidrocarburos se suele usar la volatilidad. Para aprovechar esta propiedad se emplea una fase líquida estacionaria que queda retenida en la columna mientras el gas carrier circula por ella. Si esta fase estacionaria es no polar (siliconas, hidrocarburos de elevado peso molecular) la tendencia a disolverse en ella crece al bajar la volatilidad de los compuestos analizados. De este modo las moléculas de los componentes pesados permanecen más tiempo (en término medio) en la fase líquida que en el gas carrier que circula permanentemente. Debido a esta característica, las moléculas de los componentes menos volátiles avanzan más lentamente que las de los componentes más volátiles, a la misma temperatura. En forma simplificada puede afirmarse que las columnas de este tipo actúan como sistemas de destilación de muy elevada eficiencia y los diferentes compuestos las recorren empleando tiempos que son proporcionales a sus respectivos puntos de ebullición. El sistema de columnas cromatográficas está encerrado en un horno de temperatura variable para optimizar la velocidad a la que se producen los procesos de separación.

Detector: Los detectores empleados en cromatografía gaseosa son de varios tipos, pero los dos principales son los siguientes:



Detector de ionización de Llama (FID): es un detector de muy alta sensibilidad sólo apto para HC pues permitió detectar los iones de carbono que se forman durante la combustión a alta temperatura. Este detector presenta la característica de poseer un factor de respuesta (en masa) casi idéntico para todos los HC. La misma masa de distintos componentes produce la misma intensidad de señal en el detector. Esta característica transforma al FID en un detector de mucha utilidad pues no es necesario conocer la fórmula de un componente para conocer su aporte a la masa total del sistema. Su máxima limitación reside en la imposibilidad de su empleo para detectar H_2O , N_2 y CO_2 en las mezclas de hidrocarburos. El empleo de los diferentes detectores se discute en los desarrollos de aplicación específicos. Entre los detectores más utilizados en el análisis de petróleos se encuentran: el detector de ionización en llama (FID), detector de captura de electrones (EDC) y el detector selectivo de masas (MSD) (Bauch, 1993).

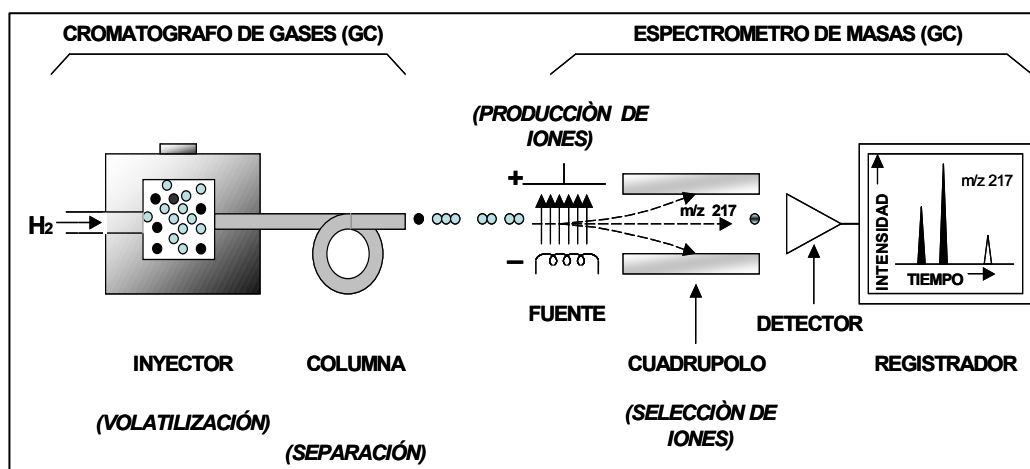
Sistema de colección de datos: Compuesto por el integrador, un PC y el software para adquisición de datos.

En el análisis de biomarcadores por cromatografía de gases acoplada a un detector de masas, se usa un detector de masas altamente selectivo y sensible (Ver Figura 21). El análisis se puede realizar de dos formas: *Full Scan* y *Selective Ion Monitoring* (SIM). El modo *Full Scan*, permite monitorear la corriente iónica total (TIC) y el modo SIM, consiste en el monitoreo de iones específicos generados de la fragmentación primaria en función del tiempo (Bauch, 1993).

El análisis de muestras de crudo total o de fracciones de saturados por *Full Scan* permite observar la distribución de componentes de acuerdo al número de átomos de carbono y a las características estructurales de los compuestos (hidrocarburos normales o parafinas y ramificados o isoparafinas), pero no

permite el análisis de biomarcadores cíclicos debido a que estos ocurren en concentraciones muy bajas en las muestras de crudo, siendo los compuestos parafínicos los dominantes en las muestras. Por esto, el análisis de estos últimos se realizó monitoreando iones característicos, que son específicos para familias de compuestos.

Figura 21. Diagrama esquemático de un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas. Tomado de Waples y Machihara (1991).



En geoquímica, el análisis de biomarcadores se emplea en la correlación, estudiando algunas relaciones entre los picos observados en un fragmentograma, el cual; aunque no representa concentraciones relativas, son comparables entre si. De igual manera, el análisis de fragmentogramas de compuestos individuales no es empleado en trabajos de correlación.

BIOMARCADORES

Los biomarcadores son un grupo de compuestos, principalmente hidrocarburos, encontrados en aceites, extractos de roca, de sedimentos recientes y extractos de suelo. A diferencia de los demás compuestos presentes en aceites, se denominan “*fósiles moleculares*”; sirven como

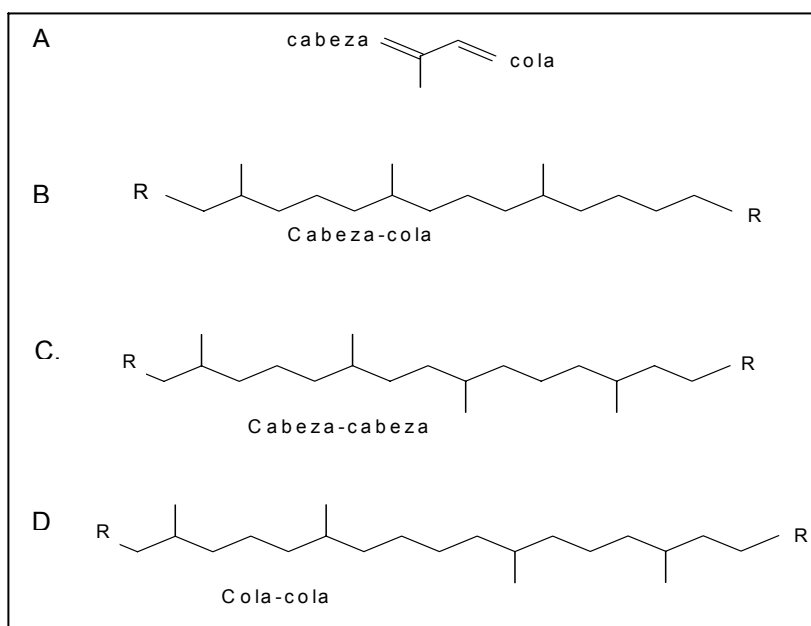


indicadores biológicos proporcionando información acerca de los tipos de organismos que contribuyen a la materia orgánica incorporada en los sedimentos. Estas moléculas aunque se encuentran en cantidades pequeñas, dan información relacionada con el origen y los procesos responsables de la formación de hidrocarburos, de esta manera, se pueden emplear en caracterización, correlación y / o reconstrucción del medio de depósito. Su unidad fundamental es el isopreno, molécula compuesta por 5 átomos de carbono. Los biomarcadores se encuentran como saturados (esteranos y hopanos) y aromáticos. (monoaromáticos y triaromáticos).

Cualquiera que sea el grupo de compuestos seleccionado para una correlación, debe ser fácil de separar y caracterizar además de poseer propiedades fisicoquímicas similares (polaridad, solubilidad y peso molecular). Con base en estos criterios, los biomarcadores o fósiles geoquímicos de la fracción de hidrocarburos saturados, son los más indicados para realizar la correlación (Jhons, 1986; Waples. y Machihara, 1991; Philp, 1985).

- **Isoprenoides acíclicos:** Los isoprenoides son compuestos formados biosintéticamente a partir de unidades isopreno (Figura 22A). Existen tres tipos principales de isoprenoides acíclicos presentes en aceites y extractos de rocas generadoras. Los más abundantes son los isoprenoides regulares, los cuales enlazan cabeza-cola (Figura 22B) e incluyen compuestos tales como el farnesano (C_{15}), Pristano ($Pr-C_{19}$), Fitano ($Fi-C_{20}$) y otros posteriores al C_{40} , los isoprenoides que enlazan cola-cola (Figura 22D), y un tercer tipo, el cual ha sido observado en bacterias termofílicas (De Rosa, 1977 en Philp, 1985) y aceites crudos (Moldowan y Seiffert, 1979 en Philp, 1985) que enlaza cabeza-cabeza (Figura 22C) (Philp, 1985; Waples. y Machihara , 1991).

Figura 22. A. Unidad de isopreno; B. Estructura formada por unidades de isopreno enlazadas cabeza-cola; C. Estructura formada por unidades de isopreno enlazadas cabeza-cabeza.; D. Estructura formada por unidades de isopreno enlazadas cola-cola. Tomado de Philp (1985).

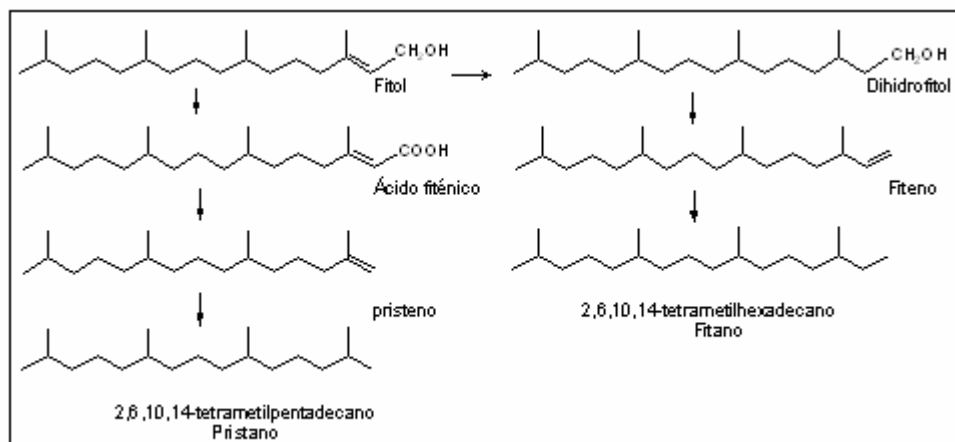


En la naturaleza, el fitol se considera como fuente de isoprenoides con 20 o menos átomos de carbono, entre los cuales se consideran el Pristano y Fitano. La formación del Pristano ocurre, por medio de varias reacciones de oxidación y descarboxilación, mientras que la formación del Fitano transcurre por reacciones de hidrogenación y deshidratación (Figura 23) (Illich, 1983 en R. P. Philp, 1985; Jhons, 1986; Peters y Moldowan, 1993).

La relación entre estos dos isoprenoides se considera una guía útil para determinar que las muestras con $Pr/Fi < 1$, muy probablemente se depositaron en un ambiente reductor y las muestras con relación $Pr/Fi > 1$ en un ambiente oxidante tales como turbas pantanosas. (Illich, 1983 en R. P. Philp, 1985; Jhons, 1986; Peters y Moldowan, 1993). Esta relación ha sido usada como

un indicador de ambientes depositacionales de la materia orgánica que conforma las rocas generadoras de HC.

Figura 23. Reacción propuesta en la formación del Pristano y Fitano. Tomado de Johns (1986).



Adicionalmente, la relación $Fi/n-C_{17}$ proporciona información acerca de la madurez de la materia orgánica ya que decrece significativamente con el incremento en el grado de madurez térmica, al igual que la relación $Pr/n-C_{18}$; debido a que en él craqueo de la materia orgánica se generan en mayor proporción las n -parafinas $n-C_{17}$ y $n-C_{18}$ que los isoprenoides (Peters y Moldowan, 1993).

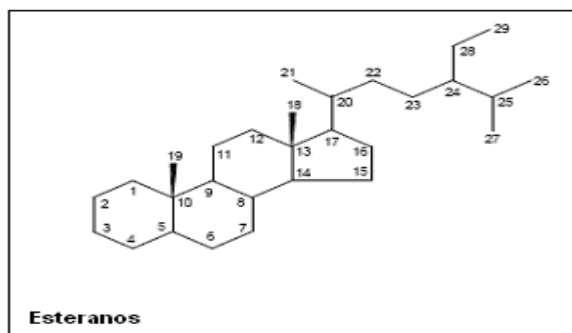
Los cocientes entre las áreas de Pr y Fi y los HC normales coeluyentes ($Pr/n-C_{17}$ y $Fi/n-C_{18}$) también se relacionan con el material original pero debido a las diferentes estructuras químicas de isoprenoides y n -parafinas son indicadores de variación de madurez y especialmente de biodegradación. Por otro lado, la relación del índice de preferencia de carbonos (IPC), cuantifica la proporción de parafinas normales con cantidad impar de átomos de carbono a parafinas normales con cantidad par de átomos de carbono. El IPC se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IPC = \frac{C_{31} + C_{21} + 2 * (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29})}{2 * (C_{22} + C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30})}$$

Si el IPC es mayor a la unidad, indica un predominio impar en el contenido de parafinas normales (Marteau *et al.*, 2002).

- **Esteranos (Triterpanos):** Son moléculas saturadas de 30 átomos de carbono y provienen de una molécula de triterpanos que pueden ser regulares (unión de cabeza con cola C1-C5) o irregulares (unión cabeza con cabeza C1-C1; o cola con cola C5-C5) su origen esta ligado a los esteroides (alcoholes compuestos por cuatro anillos de benceno) relacionado a membranas celulares, y concentrados en el colesterol, ligado a algas y plantas superiores capaces de producir esteroides y se encuentran en el rango entre C27 y C30. Durante los procesos de diagénesis los hidrógenos son reemplazados por OH indicando mayor madurez térmica (Ver Figura 24).

Figura 24. Estructura característica de los Esteranos. Tomado de <http://www.franquiciapemex.com/octanaje/cultcien7.html>.



- **Pentacíclicos:** Se encuentran representados por los hopanoides (hopanos, moretanos) los cuales tienen 5 átomos de carbono unidos al anillo



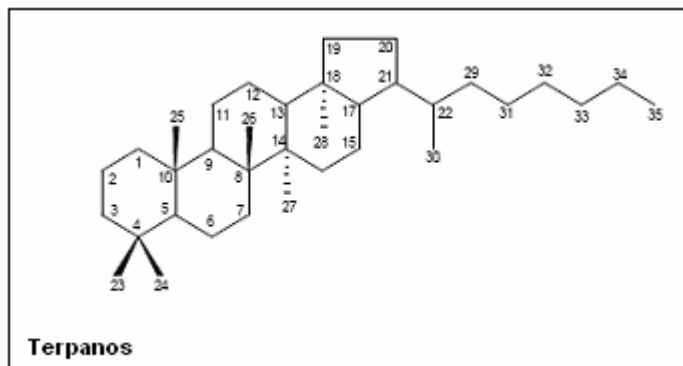
pentacíclico; los no hopanoides (gamaceranos y oleananos) los cuales tienen 6 átomos de carbono unidos al anillo pentacíclico y los terpanos.

Hopanos: Son derivados de organismos procariotas (bacterias y cianobacterias) y hacen parte de los lípidos de la membrana celular; son de origen marino. Son comunes los pentacíclicos (formados por 40 átomos de carbono) distribuidos en cadenas alifáticas. Durante los procesos de diagénesis los hopanos pierden los dobles enlaces, empezando la aromatización donde son más estables por los anillos de benceno (con mayor presión y temperatura); aquí se forman los primeros compuestos β - β , los cuales son más estables que los α - α ; pero las combinaciones α - β son más estables porque crean simetría y provienen de bacterias. Los hopanos y moretanos son relativamente fáciles de detectarlos en mezclas complejas debido a la formación de dos fragmentos mayores en el ión origen del espectrómetro de masas.

Homohopanos: C_{30} - C_{35} . Son indicadores de anoxia o subanoxia, en el fondo del depósito en el momento de la diagénesis. En el C_{35} el ambiente es más reductor. El índice de los homohopanos compara la siguiente relación $C_{35}/(C_{31}-C_{35})$ %; a medida que el porcentaje sea mayor, mayor será la anoxicidad del medio. A medida que la madurez térmica aumenta el índice disminuye.

Terpanos: Son de origen de bacterial razón por la cual se encuentran en cualquier crudo y es útil para determinar el ambiente de depósito de la materia orgánica. Entre estos los más importantes son:

Figura 25. Estructura característica de los Terpanos. Tomado de <http://www.franquiciapemex.com/octanaje/cultcien7.html>



Los terpanos tetracíclicos los cuales presentan significado ecológico o paleoambiental; comprendidos del C_{24} al C_{27} y su abundancia representa ambientes de deposito carbonatiticos o evaporíticos. Su estructura característica se puede apreciar en la Figura 25.

Gamaceranos: Son compuestos indicadores de ambientes hipersalinos, se deriva de compuestos lipídicos, de bacterias de ambientes lacustres muy restringidos.

Oleananos: Son compuestos derivados de plantas superiores, derivadas de las angiospermas (Cretáceo Superior). Se usa para diferenciar entre aceites de rocas del Cretáceo y más antiguas.

En la tabla 22, se pueden apreciar las principales relaciones de biomarcadores con sus respectivas interpretaciones.



Tabla 22. Principales relaciones de biomarcadores y su interpretación. Tomado de (Peters y Moldowan, 1993).

RELACIÓN	INTERPRETACIÓN
Pr/Fi	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
Ts/Tm	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
C29/C30 Hopano	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
Oleanano/C30 Hopano	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
Gamacerano/C30 Hopano	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
C35/C34 Hopano	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
Diasteranos/Esteranos	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
C29abb/C29abb+aaa Esterano	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
C30/C29 Esterano	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).
C27, C28, C29 Esteranos	Relaciones >1 indican condiciones óxicas en el ambiente de depósito. Relaciones <1 indican condiciones subóxicas a anóxicas. Cuanto más alta la relación mayor influencia de materia orgánica derivada del continente (ambientes marino deltáicos a lacustres de agua dulce).



4.4.2. Extracción del bitumen

Las cantidades de bitumen en gramos y porcentaje extraídas de cada una de las muestras se pueden observar en la Tabla 23. Para el pozo Arauca-3, se analizaron dos muestras para extracto; cuyos porcentajes en bitumen son 0.048 y 0.167% respectivamente. Para la sección La Piñalerita se analizaron cuatro muestras cuyos % de bitumen son entre 0.036 y 0.193%.

Tabla 23. Cantidades del extracto obtenido en las muestras de las dos secciones para el intervalo Paleoceno Superior (Fm. Los Cuervos).

MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO BITUMEN (g)	% BITUMEN
ARAUCA-3	17925	0,032	0,048
ARAUCA-3	17920.6 -17921.5	0,094	0,167
PIÑALERITA	NA2	0,018	0,036
PIÑALERITA	PIN 24-90	0,097	0,193
PIÑALERITA	PIN-38-130	0,077	0,152
PIÑALERITA	PIN-34-50	0,049	0,094

La muestra NA2, de la sección La Piñalerita, se descarto para realizar análisis de cromatografía líquida en columna abierta, ya que el extracto obtenido es muy poco.

4.4.3. Caracterización del bitumen

4.4.3.1. Cromatografía líquida en columna abierta

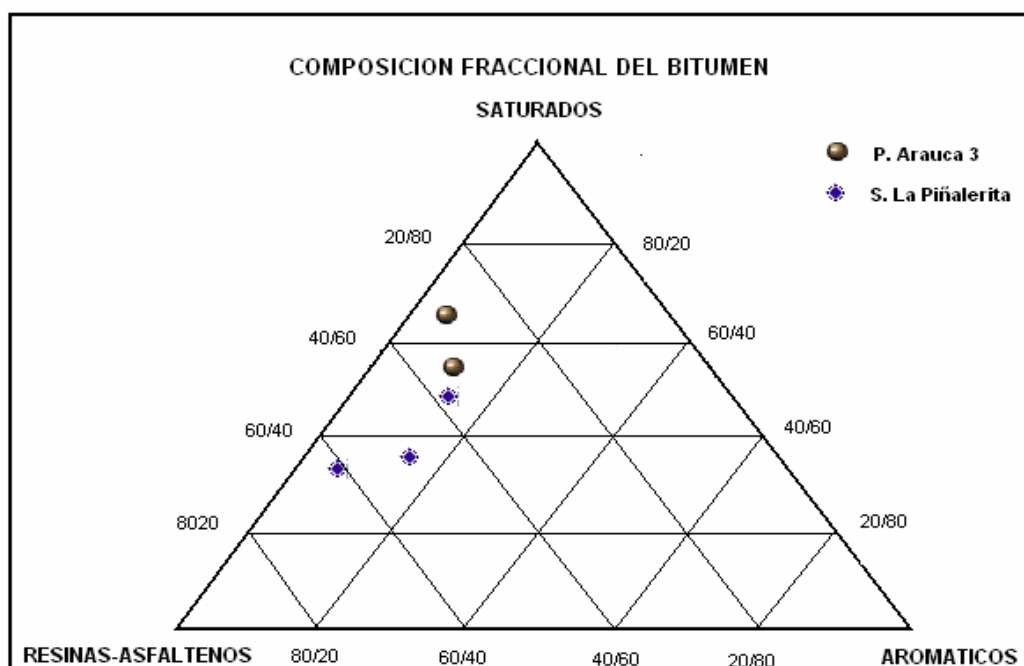
La caracterización se inició determinando la distribución de las fracciones (hidrocarburos saturados, hidrocarburos aromáticos y resinas más asfaltenos) para 5 muestras de extracto de bitumen obtenidas (Ver Tabla 24, Figura 26). Como se puede observar para las dos muestras de el pozo Arauca-3 la fracción que predomina en el bitumen son los saturados. En las

tres muestras analizadas para la sección La Piñalerita las dos primeras muestras respecto a la Tabla 24, muestran mayor % en la fracción resinas + asfaltenos, mientras la última muestra de la Tabla 24 presenta mayor % en la fracción saturados.

Tabla 24. Composición porcentual de las fracciones en las muestras de bitumen resultantes.

Pozo/Sección	PROFUNDIDAD	% SATURADOS	% AROMATICOS	% RESINAS + ASFALTENOS
ARAUCA-3	17925	66,05	5,47	28,46
ARAUCA-3	17920.6 -17921.8	58,72	10,61	30,66
PIÑALERITA	PIN 24-90	31,12	9,51	59,36
PIÑALERITA	PIN-38-130	38,03	13,17	48,79
PIÑALERITA	PIN-34-50	52,41	10,34	37,24

Figura 26. Ilustración de la distribución fraccional del bitumen obtenido mediante diagramas ternarios.





4.4.3.2. Cromatografía de gases (GC)

El análisis de las fracciones saturadas de las muestras de bitumen por cromatografía de gases (GC) permitió adquirir la distribución de los n-alcános isoprenoides presentes en las 5 muestras de extracto, donde se estudió específicamente las relaciones Pristano/Fitano (Pr/Fi, Pr/n-C₁₇ y Fi/n-C₁₈), ver Tabla 25.

Tabla 25. Relaciones de Pristano/Fitano, obtenidas por cromatografía de gases.

MUESTRA	PRISTANO (Pr)	FITANO (Fi)	n-C17	n-C18	Pr/Fi	Pr/n-C17	Fi/n-C18
17925	227,75	280,21	168,74	255,24	0,81	1,35	1,09
17920.6 - 17921.8	428,08	509,05	235,44	436,72	0,84	1,81	1,16
PIN 24-90	514,41	186,83	159,74	229,31	2,75	3,22	0,81
PIN 38-130	200,56	27,78	40,84	40,78	7,22	4,91	0,68
PIN 34-50	715,61	395,31	316,12	395,31	1,81	2,26	1,00

La distribución de las muestras en el gráfico que relaciona el % Saturados vs. Pristano/Fitano, en la Figura 27; esta relación sugiere el ambiente de depósito para la Fm. Los Cuervos en el pozo Arauca-3 y la sección La Piñalerita.

Otra relación usada como parámetro de comparación es el índice de preferencia de carbonos (IPC), que indica características del tipo de materia orgánica y madurez de la roca generadora. En la Tabla 26, se puede apreciar los valores obtenidos para las dos muestras del pozo Arauca-3 y las tres muestras de la sección La Piñalerita. En todas las muestras el IPC es mayor a la unidad.

Figura 27. Relación entre % Saturados vs. Pristano/Fitano en las muestras evaluadas.

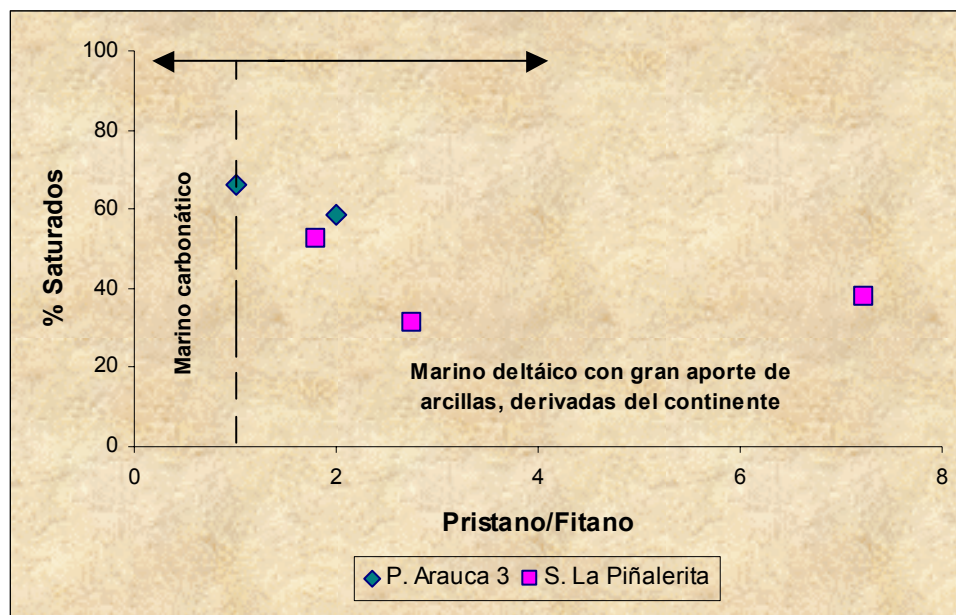


Tabla 26. Índice de preferencia de carbono (IPC) para las muestras analizadas de la Fm. Los Cuervos.

Pozo/Sección	Muestra	IPC
Arauca-3	17925	1,16
Arauca-3	17920,6 - 17921,5	1,13
La Piñalerita	PIN24-90	1,75
La Piñalerita	PIN38-130	2,16
La Piñalerita	PIN34-50	1,66

4.4.3.2.1. Pozo Arauca-3

Para el pozo Arauca-3 se analizaron por cromatografía de gases 2 muestras de extracto. En el Anexo 3 se pueden observar los cromatogramas obtenidos por (GC) con su respectiva información. Las relaciones de Pristano/Fitano para las muestras de esta sección se encuentran en la Tabla 25.



Las relaciones calculadas entre los isoprenoides Pristano y Fitano indican características del tipo de materia orgánica y el ambiente de depositación de la roca generadora. En este caso los valores de la relación Pr/Fi para las muestras de Arauca-3 son ≤ 2 ; como los datos se encuentran entre el intervalo 0.8-2.5; no es recomendable usarlo (Peter y Moldowan, 1993).

La homogeneidad o no de la línea base de los cromatogramas de las muestras analizadas (Anexo 3), es un factor que indica si las muestras presentan o no biodegradación.

4.4.3.2.2. Sección La Piñalerita

En la sección La Piñalerita se analizaron por cromatografía de 3 muestras de extracto. En el Anexo 3, se pueden observar los cromatogramas obtenidos por (GC). Las relaciones de Pristano/Fitano para las muestras de esta sección se encuentran en la Tabla 25.

Las relaciones calculadas entre los isoprenoides Pristano y Fitano indican características del tipo de materia orgánica y el ambiente de depositación de la roca generadora. En esta sección los valores de la relación Pr/Fi para las dos muestras son ≥ 3 , el dato PIN 34-50 se descarta ya se encuentran entre el intervalo 0.8-2.5; no es recomendable usarlo. Para las tres muestras la relación de Pr/n-C17 es $>$ de 0.6 y la relación Fi/n-C18 es $>$ 0.3.

La homogeneidad o no de la línea base de los cromatogramas de las muestras analizadas (Anexo 3), es un factor que indica si las muestras presentan o no biodegradación.

4.4.3.3. Cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (GC/MS)

Para cada una de las muestras de extractos obtenidos por GC-MS, se presenta un reporte con las relaciones de biomarcadores indicadores de litología, tipo de materia orgánica, madurez y biodegradación; adicionalmente se representa en forma de histograma el perfil de los fragmentogramas obtenidos por GC/MS. (Anexo 4). En la Tabla 27, se presenta de forma general las principales relaciones de los biomarcadores en la Fm. Los Cuervos, obtenidos por GC/MS para las muestras analizadas. En las Figuras 28 y 29, se muestran las relaciones de Diasteranos/ Esteranos vs. Pr/Fi y C_{35}/C_{34} Hopano vs. Diasteranos / Esteranos, respectivamente. En estas figuras se observa la distribución de los extractos de bitumen, lo que permitió hacerse a una idea del tipo de ambiente que predomina para cada una de las secciones.

Figura 28. Relación de Diasteranos / Esteranos vs. Pr/Fi.

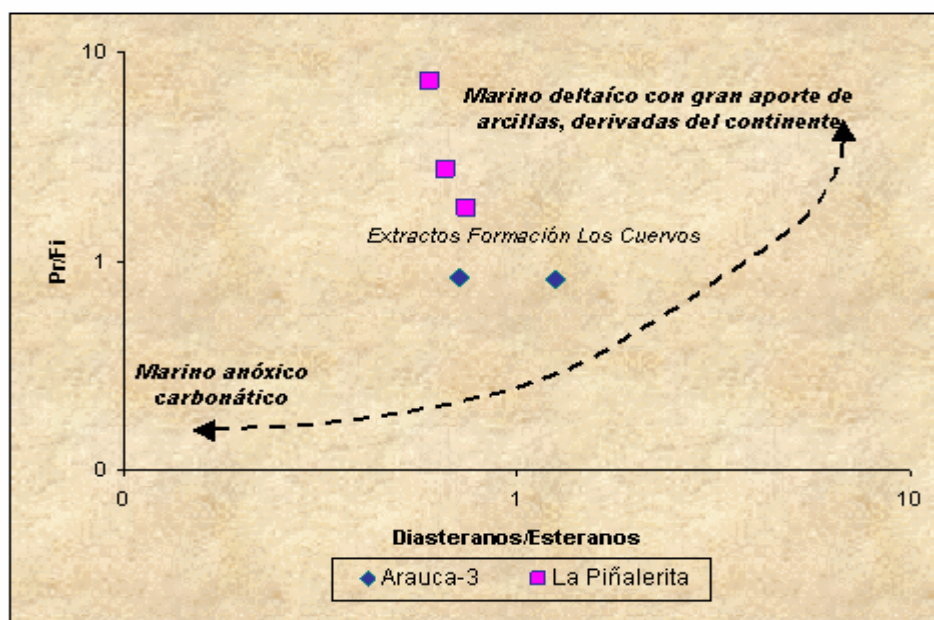


Tabla 27. Relaciones de los biomarcadores para la Fm. Los Cuervos, obtenidos por GC/MS, para las muestras evaluadas.

Pozo/sección	Muestra	Ts/Tm	Diasteranos/Esteranos Regulares	C35/C34 Hopanos Extendidos	Terpanos Tricíclicos/Hopanos	C27 Esteranos (%)
Arauca-3	17925 pies	0,17	1,25	0,01	2,21	33,80
Arauca-3	17920.6 -17921.8 pies	0,07	0,71	0,01	0,31	25,82
La Piñalerita	PIN 24-90	0,29	0,66	0,04	0,16	8,87
La Piñalerita	PIN 38-130	0,27	0,60	0,05	0,08	9,20
La Piñalerita	PIN 34-50	0,15	0,75	0,01	0,06	11,51
Pozo/sección	Muestra	C28 Esteranos (%)	C29 Esteranos (%)	C30/C29 Esteranos	C24 Tetracíclicos/ C26 Tricíclicos	C23Tricíclicos/ C24 Tetracíclicos
Arauca-3	17925 pies	29,58	36,53	0,05	0,56	10,33
Arauca-3	17920.6 -17921.8 pies	28,08	46,10	0,08	0,81	7,48
La Piñalerita	PIN 24-90	39,72	51,40	1,07	1,58	1,13
La Piñalerita	PIN 38-130	47,42	43,38	1,43	8,14	0,28
La Piñalerita	PIN 34-50	25,05	63,44	1,31	3,18	0,88
Pozo/sección	Muestra	C29 Norhopano/ C30 Hopano	Oleanano/C30 Hopano	Gamacerano/C30 Hopano	Esteranos/ Hopanos	Esteranos S/(S+R)
Arauca-3	17925 pies	0,08	0,05	0,04	0,34	0,31
Arauca-3	17920.6 -17921.8 pies	0,07	0,08	0,05	0,13	0,07
La Piñalerita	PIN 24-90	0,79	0,22	0,04	0,13	0,18
La Piñalerita	PIN 38-130	0,91	0,17	0,07	0,07	0,10
La Piñalerita	PIN 34-50	1,04	0,17	0,07	0,06	0,28
Pozo/sección	Muestra	Hopanos S/S+R	Ts/Ts+Tm	Esteranos de Cadena Corta (%)	C29bb/bb+aa	C29 25-Norhopano / C30 Hopano
Arauca-3	17925 pies	0,50	0,17	52,50	2,21	0,03
Arauca-3	17920.6 -17921.8 pies	0,53	0,07	24,89	0,31	0,02
La Piñalerita	PIN 24-90	0,22	0,29	12,30	0,16	0,06
La Piñalerita	PIN 38-130	0,28	0,27	8,72	0,08	0,04
La Piñalerita	PIN 34-50	0,24	0,15	3,98	0,06	0,04

Figura 29. Relación de C_{35}/C_{34} Hopano vs. Diasteranos / Esteranos.

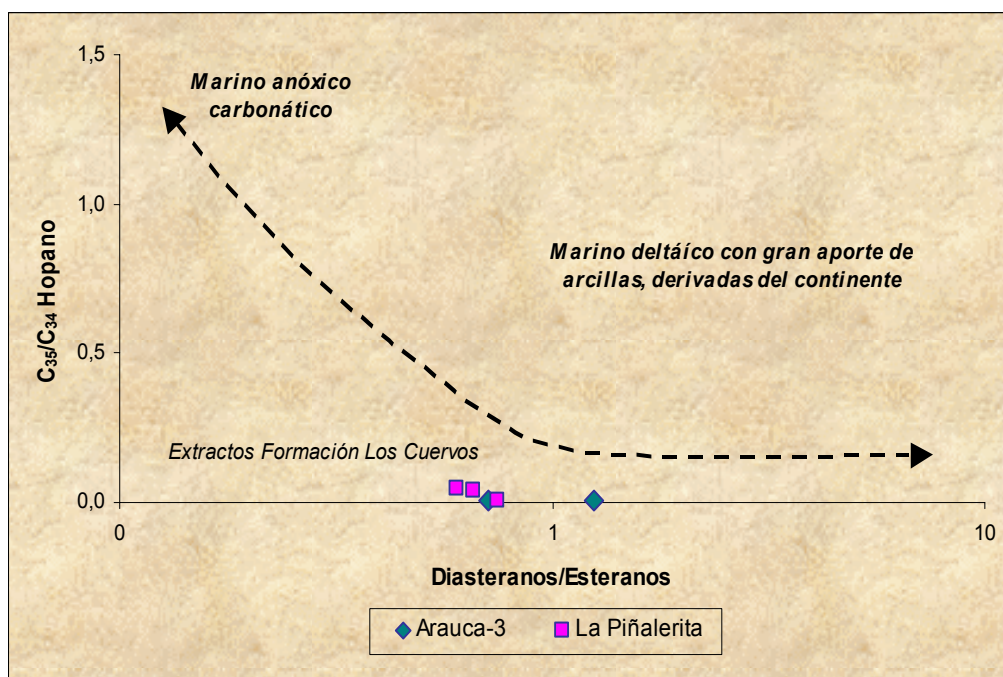
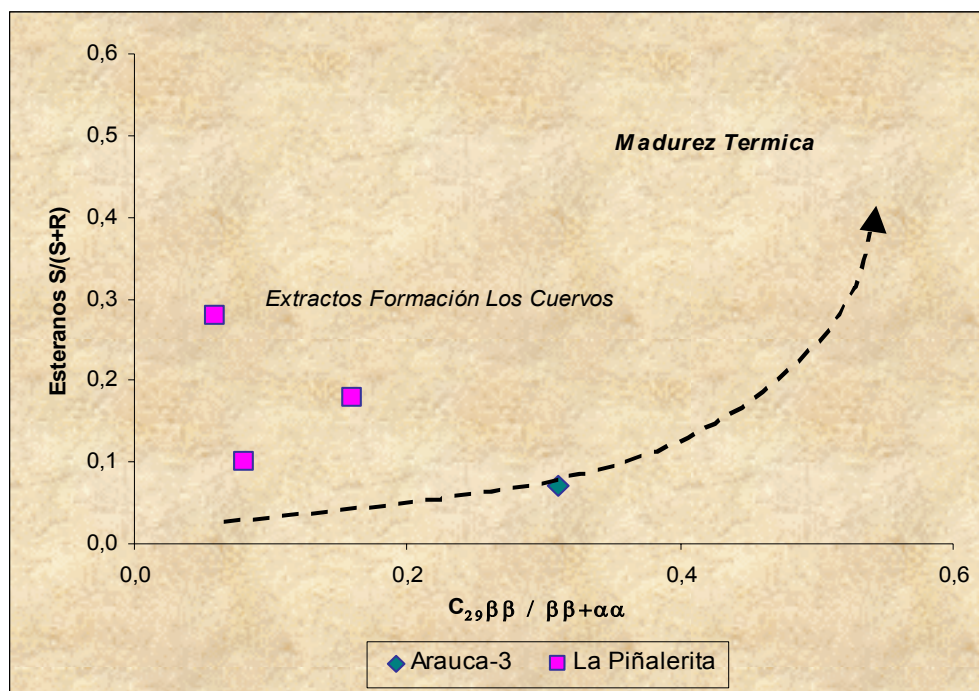


Figura 30. Relación de $C_{29} \beta\beta / \beta\beta + \alpha\alpha$ vs. Esteranos $S/(S+R)$.





En la Figura 30, se muestra la relación de $C_{29} \beta\beta / \beta\beta + \alpha\alpha$ vs. Esteranos $S/(S+R)$, la cual permitió tener idea de cómo es la madurez de los extractos de bitumen, las relaciones para las muestras del pozo Arauca-3 y la sección La Piñalerita son menores de 0.6.

4.4.3.3.1. Pozo Arauca-3

Para el pozo Arauca-3 se analizaron por cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (GC/MS) 2 muestras de extracto. En el Anexo 4 se pueden observar los fragmentogramas obtenidos por (GC/MS) con su respectiva información. Las relaciones de biomarcadores para cada muestra se presentan a continuación:

Muestra Arauca-3 (17925 pies)

Litología

La relación Ts/Tm es <1 , indicando un ambiente carbonático. La relación diasterano/Esterano regular es de 1.25, indica que el ambiente de depósito está influenciado por arcillas. La relación C_{35}/C_{34} Hopano extendido es de 0.01, indicando litología siliciclástica y un avance marino sobre el continente. La relación Terpano Tríciclico/Hopano es de 2.21, indica rocas carbonáticas.

Facies Orgánicas

El parámetro %C₂₉ es el mayor (36.53%), indica proximidad al continente. La relación C_{30}/C_{29} Esterano es de 0.05, indica un ambiente continental; la presencia de C₂₄ y de oleanano indica el aporte de plantas superiores. La relación Esterano/Hopano es de 0.34, indica retrabajamiento de la MO debido a la acción bacteriana en el fondo del depósito o por aporte terrígeno.



Madurez

Las relaciones de S/S+R Esteranos y S/S+R Hopanos, indican que las muestras están inmaduras.

Muestra Arauca-3 (17920.6 – 17921.8)

Litología

La relación Ts/Tm es <1 , indicando un ambiente carbonático. La relación diasterano/Esterano Regular es de 0.71, indica litología siliciclástica, y avance marino sobre continente. La relación C35/C34 Hopano Extendido es de 0.01, indicando litología siliciclástica y un avance marino sobre el continente. La relación Terpano Tríciclico/Hopano es de 0.31, indica rocas carbonáticas e hipersalinas.

Facies Orgánicas

El parámetro %C29 es el mayor (46.10%), indica proximidad al continente. La relación C30/C29 Esterano es de 0.08, indica un ambiente continental; la presencia de C24 y de oleanano indica el aporte de plantas superiores. La relación Esterano/Hopano es de 0.13, indica retrabajamiento de la materia orgánica debido a la acción bacteriana en el fondo del depósito o por aporte terrígeno.

Madurez

Las relaciones de S/S+R Esteranos y S/S+R Hopanos, indican que las muestras están inmaduras.



4.4.3.3.2. Sección La Piñalerita

Para la sección La Piñalerita se analizaron por cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (GC/MS) 3 muestras de extracto. En el Anexo 4 se pueden observar los fragmentogramas obtenidos por (GC/MS) con su respectiva información para cada muestra. Las relaciones de biomarcadores se presentan a continuación:

Muestra Piñalerita (PIN 24-90)

Litología

La relación Ts/Tm es menor 1, indicando un ambiente carbonático. La relación diasterano / Esterano Regular es de 0.66, indica que el ambiente de depósito está influenciado por arcillas. La relación $C35/C34$ Hopano Extendido es de 0.04, indicando litología siliciclástica y un avance marino sobre el continente. La relación Terpano Tríciclico/Hopano es de 0.16, indica rocas carbonáticas e hipersalinas.

Facies Orgánicas

El parámetro %C29 es el mayor (51.40%), indica proximidad al continente. La relación $C30/C29$ Esterano es de 1.07, indica un ambiente marino; la presencia de C24 y de oleanano indica el aporte de plantas superiores. La relación Esterano/Hopano es de 0.13, indica retrabajamiento de la materia orgánica debido a la acción bacteriana en el fondo del depósito o por aporte terrígeno.



Madurez

Las relaciones de S/S+R Esteranos y S/S+R Hopanos, indican que las muestras están inmaduras.

Muestra Piñalerita (PIN 38-130)

Litología

La relación Ts/Tm es <1 , indicando un ambiente carbonático. La relación diasterano / Esterano Regular es de 0.6, indica que el ambiente de depósito está influenciado por arcillas (carbonático?), avance marino sobre continente. La relación C35/C34 Hopano Extendido es de 0.05, indicando litología siliciclástica y un avance marino sobre el continente. La relación Terpano Tríciclico/Hopano es de 0.08, indica rocas carbonáticas e hipersalinas.

Facies Orgánicas

El parámetro %C28 es el mayor (47.42%), la materia orgánica es de origen marino. La relación C30/C29 Esterano es de 1.43, indica un ambiente marino; la presencia de C24 y de oleanano indica el aporte de plantas superiores. La relación Esterano/Hopano es de 0.07, indica retrabajamiento de la materia orgánica debido a la acción bacteriana en el fondo del depósito o por aporte terrígeno.

Madurez

Las relaciones de S/S+R Esteranos y S/S+R Hopanos, indican que las muestras están inmaduras.



Muestra Piñalerita (PIN 34 – 50)

Litología

La relación Ts/Tm es <1 , indicando un ambiente carbonático. La relación Diasterano/Esterano Regular es de 0.75, indica que el ambiente de depósito está influenciado por arcillas (carbonático?). La relación C35/C34 Hopano Extendido es de 0.01, indicando litología siliciclástica y un avance marino sobre el continente. La relación Terpano Tríciclico/Hopano es de 0.06, indica rocas carbonáticas e hipersalinas.

Facies Orgánicas

El parámetro %C29 es el mayor (63.44%), indica proximidad al continente. La relación C30/C29 Esterano es de 1.31, indica un ambiente marino; la presencia de C24 y de oleanano indica el aporte de plantas superiores. La relación Esterano/Hopano es de 0.06, indica retrabajamiento de la materia orgánica debido a la acción bacteriana en el fondo del depósito o por aporte terrígeno.

Madurez

Las relaciones de S/S+R Esteranos y S/S+R Hopanos, indican que las muestras están inmaduras.



5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. POZO ARAUCA-3

El pozo Arauca-3, se caracteriza por presentar contenidos de materia orgánica entre regular (30%), pobre (25%), bueno (20)%, muy bueno (10%) y excelente (15%). La calidad de la materia orgánica indica un predominio de kerógeno tipo III (57%) con contenidos menores de kerógeno tipo II/III (29%) y II (14%). El análisis de la madurez térmica indica que las muestras se encuentran en su mayoría inmaduras (99%).

La información obtenida de la cromatografía líquida en columna abierta, muestra que la fracción que predomina en el bitumen son los saturados, indicando influencia de tipo continental. La relación del % Saturados vs. Pristano/Fitano, sugiere que el ambiente de depósito para la Fm. Los Cuervos en este pozo tiene cierta influencia marino carbonático, siendo más importante el aporte de arcillas derivadas del continente. La relación de IPC en las muestras es mayor a la unidad, indicando un predominio impar en el contenido de parafinas normales. Este predominio está relacionado a una participación de material orgánico continental en el kerógeno y a un petróleo inmaduro.

La relación de $Pr/n-C_{17}$ es mayor a 0.6 para ambas muestras, lo que sugiere que la materia orgánica es de origen continental. La relación $Fi/n-C_{18}$ para ambas muestras es mayor de 0.3, indicando que la roca fuente es carbonática (Peters y Moldowan, 1993). Por otro lado, la línea base de los cromatogramas de las muestras analizadas no es homogénea, este factor indica que la muestra presenta biodegradación.



En cuanto a las relaciones de los biomarcadores, el pozo Arauca-3 presenta relaciones bajas de Diasteranos/Esteranos (1.25-0.71), C_{35}/C_{34} Hopanos (0.01) y una relativa abundancia de C_{27} Esteranos (33.80-25.82%), lo que sugiere que las condiciones del ambiente de depósito de estas facies orgánicas tienen influencia marina; aunque la presencia del C_{29} Esteranos (36.53-46.1%), en porcentajes considerables indica un aporte continental. Las relaciones de C_{24} Tetracíclico/ C_{26} Tricíclico (0.56-0.81) y Ts/Tm (0.17-0.07) indican que la roca se depositó en un ambiente marino anóxico con influencia carbonática y con aporte de materia orgánica derivada del continente. La relación C_{30}/C_{29} Esteranos (0.05-0.08) indica un ambiente marino deltáico proximal con aporte de arcillas. La presencia de rocas carbonáticas y de kerógeno tipo II, puede ser debido a incursiones marinas, pero las condiciones dominantes en este pozo son de tipo continental.

5.2. SECCIÓN LA PIÑALERITA

La sección La Piñalerita presenta contenidos de materia orgánica que varían entre pobre (77%), regular (con 13%), muy bueno (con 5%) y excelente (5%). La calidad de la materia orgánica indica un predominio de kerógeno tipo III (45%) con contenidos menores de kerógeno tipo IV (22%), II/III (22%) y II (11%). El análisis de la madurez térmica indica que esta sección se encuentra inmaduras (67%).

El análisis visual del kerógeno muestra predominio de la materia orgánica amorfa hasta en un 95%, trazas de liptinita (3%) y vitrinita (2%). Las trazas de liptinita (granos de esporas y trazas de tejidos de hongos) presentan una leve fluorescencia; lo que indica que probablemente esté oxidada.

La información obtenida de la cromatografía líquida en columna abierta, muestra mayor % en la fracción resinas + asfaltenos. La relación de IPC en



las muestras es mayor a la unidad, indicando un predominio impar en el contenido de parafinas normales. Este predominio está relacionado a una participación de material orgánico continental en el kerógeno y a un petróleo inmaduro.

La relación del % Saturados vs. Pristano/Fitano, sugiere que el ambiente de depósito para la Fm. Los Cuervos en la sección La Piñalerita es de tipo marino deltáico con gran aporte de arcillas, derivadas del continente. Los valores de la relación Pr/Fi (mayor a 3), Pr/n-C17 (mayor a 0.6) indican una materia orgánica de origen continental, la relación además indica un ambiente oxigenado. La línea base de los cromatogramas de las muestras analizadas no es homogénea, este factor indica que la muestra presenta biodegradación.

Las muestras de la sección La Piñalerita (Fm. Los Cuervos), presentan relaciones altas de C_{24} Tetracíclico/ C_{26} Tricíclico (1.58, 3.18 y 8.14), abundancia del C_{29} Esteranos (43.38, 51.40 y 63.44%) y bajo porcentaje de C_{27} Esteranos (8.87, 92.0 y 11.51) lo que sugiere un ambiente marino deltáico proximal con gran aporte de arcillas. Las relaciones de Diasteranos/Esteranos (0.60, 0.66 y 0.75) y C_{30}/C_{29} Esteranos (1.07, 1.31 y 1.43) indican un avance del dominio marino sobre el continental. Las relaciones C_{35}/C_{34} Hopanos (0.01, 0.04 y 0.05) y Ts/Tm (0.15, 0.27 y 0.29) menores a uno sugiere litologías tipo shales.

La información obtenida de la petrografía orgánica indica que la Fm. Los Cuervos en esta sección es de tipo continental ya que se observan trazas de hongos, material leñoso y esporas.



6. CONCLUSIONES

Caracterización geoquímica

En el pozo Arauca-3, el contenido de materia orgánica para la Formación Los Cuervos es muy variado: pobre 25%, regular 30%, bueno 20%, muy bueno 10% y excelente 15%. En general el %COT varía de pobre a bueno (0.5 - 2%). En la sección La Piñalerita el %COT varía de pobre a regular (0.1 – 0.85%).

Para las dos secciones la materia orgánica se encuentra inmadura ($<435^{\circ}\text{C}$) y las relaciones IH vs. IO e IH vs. T_{máx}, indican un predominio de kerógeno tipo III y en menor proporción kerógeno II/III.

En el pozo Arauca-3 el potencial generador es bajo, excepto para las muestras (17920.6; 17921.5; 17922.8; 17923.8; 17924.5 y 17925); las cuales presentan características de buena roca fuente de aceite. El potencial generador de las muestras de la sección La Piñalerita es bajo, excepto para la muestra (PIN 38-100).

Análisis visual del kerógeno

En la S. La Piñalerita predomina la MOA (95%), con presencia de MO leñosa, esporas y tejidos de hongos. Indicando un aporte de tipo continental.

Características generales de los extractos

En las dos secciones el % de HC saturados es relativamente alto, la relación de Pr/n-C17 es mayor a 0.6 (Hunt, 1995), lo que indica influencia de tipo continental.



Resultado de la cromatografía de gases en la fracción saturados

Para las dos secciones se observa una línea base del cromatograma elevada y ausencia de n-alcenos de bajo peso molecular lo que indica baja madurez.

Respecto a los biomarcadores

Edad de los extractos

La presencia de oleanano en la Fm. Los Cuervos para las dos secciones, limitan la edad de la roca fuente al Terciario o al Cretácico Superior y ambiente sedimentario muy proximal.

Ambiente de depósito

Las relaciones de los biomarcadores sugieren un ambiente marino deltáico proximal con gran aporte de arcillas. La S. La Piñalerita, presenta mayor influencia de tipo continental, en comparación con el P. Arauca-3.

La presencia de C35/C34 Hopanos y C29 Esteranos son correlacionables con litologías de carácter siliciclástico (shales) y las relaciones de C24 Tetracíclico/C26 Tricíclico y Ts/Tm indican influencia carbonática. La presencia de rocas carbonáticas puede ser debido a incursiones marinas.

Tipo de materia orgánica

En la Fm. Los Cuervos se observa el predominio de hopanos respecto a los esteranos, indicando predominio de kerógeno bacterial (kerógeno III) con relación al algal.

Madurez térmica

Las relaciones de S/S+R Esteranos y S/S+R Hopano, indican que las muestras están inmaduras (Peters y Moldowan, 1993).



BIBLIOGRAFIA

ARIANA LTDA., (2000). Evaluación del Piedemonte Llanero. Informe Final para ECOPETROL. p. 14-15.

BAUCH, P. J. (1993). Gas Chromatography: A practical Approach. Series Editors D. Rickwood y B.P Hames. Editorial Oirl Press at Oxford University Press New York.

British Petroleum Company. (2001). WELL Review Cusiana–Cupiagua. Reporte de Perforación.

CARO, M., GARCÍA, D., MESA, A., RUBIANO, J., (2004). Flujo Regional de Fluidos y Migración de Petróleo: Informe Final / ECOPETROL- ICP. Piedecuesta.

CASTRO, Egon. (1993). Proyecto Nell. Evaluación geoquímica cuenca de los Llanos Orientales sector central. Piedecuesta, Santander. p. 34-35.

COOPER, M., ADDISON, F., ÁLVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R., HAYWARD, A., HOWE, S., MARTINEA, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A., y TABORDA, A. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, eastern cordillera and middle Magdalena valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologist, vol. 79: 1421-1443.

DE PORTA, J. (1974). Lexique Stratigraphique International. Volume V. Amérique Latine. Fascicule 4b. Colombie.



DURAND, Bernard. (1980). Kerogen: Insoluble organic matter from sedimentary rocks. Paris.

ECOPETROL-BEICIP. (1995). Cuenca de los Llanos Orientales. Estudio Geológico Regional. Vol. 1. Santa Fé de Bogotá. p. 32, 40.

ECOPETROL-ICP., (1998). Evaluación geoquímica Bloque Medina Tierra Negra, cuenca Llanos Orientales. Capítulo 2, 7, 8. Piedecuesta, Santander.

FAJARDO, A., RUBIANO, J., REYES, A., ASESOR DR. TIMOTHY CROSS; (1993). Estratigrafía de secuencias de las rocas del Cretáceo Tardío al Eoceno Tardío en el sector central de la cuenca de los Llanos Orientales departamento del Casanare, ECOPETROL-ICP. Informe interno

FAJARDO, A., ROJAS, L., CRISTANCHO, J., (2000). Definición del modelo estratigráfico en la cuenca de los llanos orientales Piedemonte llanero: Informe Final / ECOPETROL- ICP. Piedecuesta.

GARCIA, Diego., GIRALDO. Blanca N. (1999). Geoquímica del Sector Capachos, cuenca Llanos Orientales. Piedecuesta, Santander. p. 8-32.

JARAMILLO, C. (1999). Middle Paleogene palynology of Colombia, South America; biostratigraphic, sequence stratigraphic, and diversity implications: Thesis Doctoral, University of Florida. Gainesville, FL, United States. Pages: 417.

JARAMILLO M, Carlos. DILCHER. David. (2000). Microfloral Diversity Patterns of the Late Paleocene-Eocene Interval in Colombia, Northern South América. Geology; V. 28 No. 9. p. 815 - 818.



JARAMILLO M, Carlos., RUEDA. Milton., (2003 a). Palinología del Paleógeno del Norte de la cuenca de Los Llanos Orientales: Sector Niscota, Gibraltar, Caño Limón.

JARAMILLO M, Carlos., RUEDA. Milton., (2003 b). Análisis Palinológico de los pozos Niscota-1 Gibraltar-1, Arauca-1, Arauca-3, Arauca-4. Piedecuesta.

JOHNS R.B. (1986). Biological Markers in the sedimentary record. Methodos in geochemistry and geophisics. Elsevier Science Publishers B.V. p.11 – 42.

LIJMBACH G. W. H., (1986). On the Origin of Petroluem. Proc 9th world Pet. Congr., 2, 1975. 357-369.Citado por: JOHNS R.B. Biological Markers in the sedimentary record. Methodos in geochemistry and geophisics. Elsevier Science Publishers B.V. p.23 - 24.

MARTÍNEZ, J., (2003). Modelamiento Estructural 3D y Aplicaciones en la Exploración y Explotación de Hidrocarburos en el Cinturón de Cabalgamiento del Piedemonte Llanero, Cordillera Oriental, Colombia., En ACGGP, ed., VIII Simposio Bolivariano de Exploración en las cuencas Subandinas. Cartagena de Indias, p. 106-117.

MARTEAU, Victor., GROBA, Cristian., ROMERA, Walter., LABAYÉN, Inés., CROTTI, Marcelo y BOSCO Sergio. (2002). Utilización de la geoquímica de reservorios para determinar la heterogeneidad de los petróleos de producción de la formación Rayoso, cuenca Neuquina. Argentina.

MORA, Cesar., GIRALDO, Blanca Nubia. (2001 a). Evaluación Geoquímica de los pozos Floreña N-2F, Floreña- 3F y Golconda 1A. Piedecuesta, Santander.



MORA, Cesar., GIRALDO, Blanca Nubia., BLANCO, Yolima., y PASSOS. Sandra. (2001 b). Evaluación Geoquímica de Secciones Estratigráficas en el Sector de Tauramena, Piedemonte Llanero. Piedecuesta, Santander. p. 4-12, 25, 26, 30.

MORA, Cesar., GIRALDO, Blanca N., Y GONCALVES, Félix. (2002). Muestreo y Estudio Geoquímico de Pozos y Columnas para Caracterización Geoquímica de Unidades del Terciario y Cretáceo. Piedecuesta, Santander. p. 1, 4, 7, 12-17.

MORA, Cesar., (2003). Evaluación de Crudos en las cuencas Llanos Orientales y Valle Superior y Medio del Magdalena, Colombia: Caracterización geoquímica e implicaciones exploratorias. ECOPETROL, ICP. Piedecuesta, Santander.

NOTESTEIN, F., HUBMAN, C., AND BOWLER, J., (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Geol. Soc. Amer. B 11., V. 55.

PETERS E, Kenneth. MOLDOWAN, Michael J. (1993). The Biomarker Guide. Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments.

PETERS E, Kenneth. Y CASSA, M. R. (1994). Applied Source Rock Geochemistry. En: MAOON, L.B. Y DOW W. G. The petroleum System-from source to trap. AAPG Memoir 60.

PHILP R. B. (1985). Fossil fuel Biomarkers: Applications and spectra. methods in geochemistry and geophysics. Elsevier science publishers B.V.



RANGEL, Antonio., GIRALDO, Blanca Nubia. (1991). Evaluación Geoquímica de la cuenca Llanos Oriental. Volumen 1. Caracterización y Evaluación de Rocas Fuente. Piedecuesta, Santander.

RANGEL, Antonio., GIRALDO, Blanca Nubia. (2000). Estratigrafía Química y Facies Orgánica del Terciario Inferior y Cretácico Superior del Piedemonte Llanero y Valle Medio Oriental del Magdalena. Piedecuesta. Santander. p. 5-42,151-171.

RANGEL, Antonio., PASSOS, Sandra. (2003). Caracterización de hidrocarburos y ocurrencia de crudos pesados en el sur de la cuenca llanos Orientales y Yarí Caguán. Piedecuesta, Santander. p. 15-17.

ROJAS, L., (2002): Interpretación Estructural Piedemonte Central cuenca Llanos Orientales: Reporte Interno / ECOPETROL. Santa Fé de Bogotá D.C.

TERREI J, David. Cultura Científica [ON LINE]. Fósiles nucleares y moleculares en la exploración del petróleo. México. Instituto Mexicano del petróleo. <http://www.franquiciapemex.com/octanaje/cultcien7.html>.

TISSOT, Bernard., WELTE, Dietrich., (1984). Petroleum Formation and Occurrence. New York.

V. D. HAMMEN, T., (1958). Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos: Boletín Geológico, Santa Fe de Bogotá, Cundinamarca. v. 6, p. 67-128.



VÁSQUEZ, Cesar., (1983). Geología del Paleoceno Superior en la Margen occidental de la cuenca de los Llanos Orientales. Santa Fe de Bogotá, Cundinamarca. p. 69-74.

VERGARA, L., (1997). The upper Cretaceous and Lower Paleocene of the Eastern Bogota plateau and Llanos thrustbelt, Colombia: Alternative Appraisal to the nomenclature and sequence stratigraphy. Geología Colombiana No. 22, Ingeominas, Santa Fe de Bogotá, Cundinamarca .

VIRGILIO A., y NARANJO J. (2004). “Compilación y síntesis estratigráfica de los Llanos Orientales”, GEOCONSULT Ltda.

WAPLES, D., (1985). Geochemistry in petroleum exploration. Boston: International Human Resources Development.

WAPLES W. D. Y MACHIHARA T., (1991). Biomarkers for Geologists-A practical guide to the Application of steranes and triterpanes in Petroleum Geology. The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. No.9.

<http://www.inlab.com.ar/Cromatografia.htm>



ANEXO 1.

**RECOPIACION DE DATOS GEOQUÍMICOS (COT, IH, T_{máx}) DE POZOS
CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FORMACIÓN LOS
CUERVOS).**



RECOPILACION DE DATOS DE COT DE POZOS CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS).

POZO	ESTE	NORTE	# MUESTRAS	ESPESOR MUESTREADO	COT (mediaponderada por espesor)
P. Río Chitamera	1149360	1037058	13	315,1666667	0,6606055
P. Arauca 2	1247279	1261508	5	5,4	1,65462963
P. Arauca-3	1249892	1264960	15	172,5	0,775835294
P. Buenos Aires C3	1148024	1042647	66	601,75	0,871613128
P. Floreña 1	1183054	1096034	8	780	0,21974359
P. Floreña N2F	1180372	1096266	16	945	0,709
P. Buenos Aires X-14	1150890	1043360	42	410	0,444512195
P. Guavio-1	1104813	1015669	16	1100	0,388931818
P. Golconda-1	1153767	1072070	12	1125	0,689324324
P. La María	1173736	1052840	9	700	5,885
P. Gibraltar 1	1210410	1270754	28	1650	0,321363636
P. Dele-1	1172901	1087282	34	1370	0,929562044
P. Cumaral 1AX	1088602	980990	2	200	3,62
P. Coporo 1	1089400	983134	18	630	0,326492063
P. Cusiana 1	1158204	1046382	3	101	0,427079208
P. El Morro 1	1182931	1096535	5	560	0,465982143
P. Anaconda 1	1041521	948854	24	230	0,258695652
P. Medina 1	1104357	1014423	2	500	0,715
P. Leticia 1	1163517	1040709	2	100	0,67
P. Cusiana 5	1157539	1057117	18	51,98	1,312595229
P. Morichal -1	1199912	1074756	2	35,00	0,44
P. Tamara 1 ST3	1235453	1144610	2	30,00	0,492857143
P. Tocaría 2	1212326	1085304	3	420,00	1,5075
P. Tocoragua-1	1251944	1186146	3	420,00	1,5075



RECOPILACION DE DATOS DE IH DE POZOS CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS).

POZO	ESTE	NORTE	# MUESTRAS	ESPEJOR MUESTREADO	IH (mediaponderada por espesor)
P. Río Chitamera	1149360	1037058	9	315,17	56,78350837
P. Arauca-3	1249892	1264960	6	150,5	232,0913621
P. Buenos Aires C3	1148024	1042647	49	601,75	139,4067885
P. Floreña N2F	1180372	1096266	7	840	14,91
P. Guavio-1	1104813	1015669	16	1100	18,24545455
P. Golconda-1	1153767	1072070	12	1110,00	304,1756757
P. La María	1173736	1052840	6	105,00	272,5357143
P. Gibraltar 1	1210410	1270754	3	150	73,66666667
P. Dele-1	1172901	1087282	17	680	126
P. Cumaral 1AX	1088602	980990	2	200	294,5
P. Coporo 1	1089400	983134	18	630	115,9138889
P. Cusiana 1	1158204	1046382	3	101	224,8762376
P. El Morro 1	1182931	1096535	2	210	48,5
P. Cusiana 5	1157539	1057117	18	51,98	71,41121585
P. Tamara 1 ST3	1235453	1144610	2	30,00	108,4285714
P. Tocoragua-1	1251944	1186146	3	420,00	247,9642857

RECOPILACION DE DATOS DE T_{máx} DE POZOS CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FORMACIÓN LOS CUERVOS).

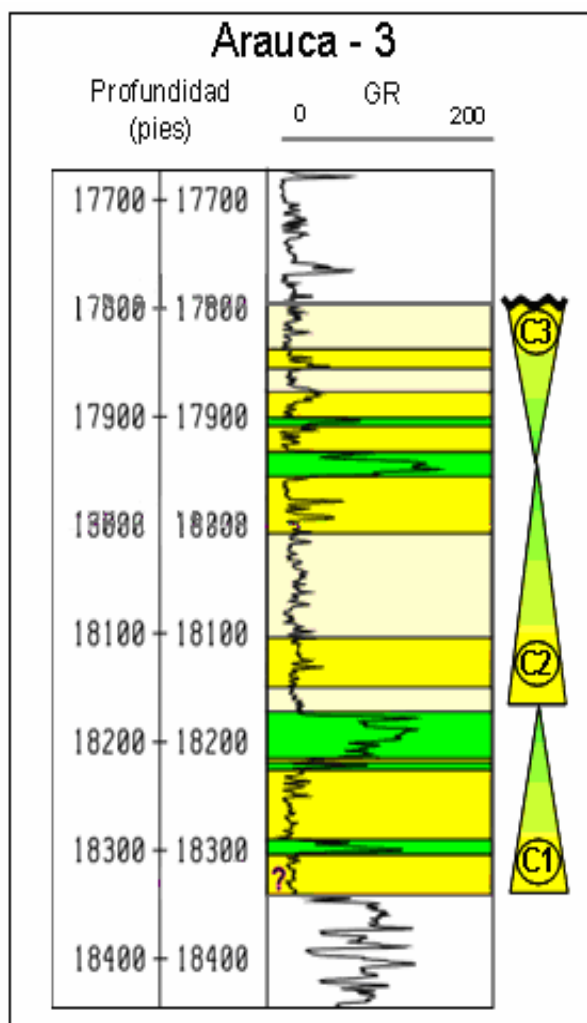
SECCION	ESTE	NORTE	# MUESTRAS	T _{máx.} (promedio)
P. Río Chitamera	1149360	1037058	7	415,8
P. Arauca-3	1249892	1264960	6	431,8
P. Buenos Aires C3	1148024	1042647	47	433,6
P. Floreña N2F	1180372	1096266	10	426,8
P. Guavio-1	1104813	1015669	15	417,4
P. Golconda-1	1153767	1072070	12	433,2
P. La María	1173736	1052840	13	434,2
P. Gibraltar 1	1210410	1270754	3	335,6
P. Dele-1	1172901	1087282	17	434,4
P. Coporo 1	1089400	983134	20	431,4
P. Cusiana 1	1158204	1046382	15	411,2
P. Tocoragua-1	1251944	1186146	3	435



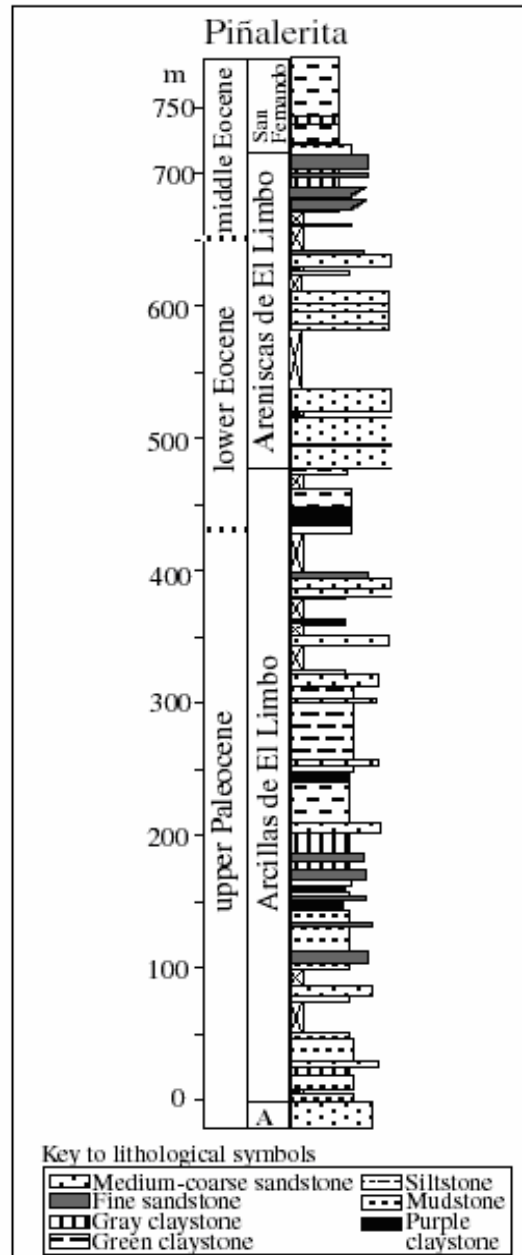
ANEXO 2.

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS GENERALIZADAS CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS)

Intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos), pozo Arauca - 3. Tomado y modificado de Gonzales y Jimenez (2005).



Intervalo Paleoceno Superior (Arcillas de El Limbo, Formación Los Cuervos), sección La Piñalerita. Tomado y modificado de Jaramillo (1999).





ANEXO 3.

REPORTES DE LOS CROMATOGRAMAS DE LA FRACCIÓN SATURADA, OBTENIDOS POR GC PARA LOS EXTRACTOS DE LAS MUESTRAS DEL POZO ARAUCA-3 Y LA SECCIÓN LA PIÑALERITA CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS).



REPORTE DE DATOS DEL POZO ARAUCA-3 (17925 pies).

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\WG1804C\280405A.D Sample Name:
280405a

GC-FID-FPD 5/12/05 4:36:21 PM ABM/LE

Abril 28 de 2005
Arauca-3 Profundidad (17925 pies)
Fracción Saturada Extracto Bitumen

```
=====
Injection Date : 4/28/05 11:17:47 AM      Seq. Line : 2
Sample Name    : 280405a                  Location : Vial 1
Acq. Operator  : ABM/LE                   Inj : 1
                                           Inj Volume : 1 µl
Different Inj Volume from Sequence !      Actual Inj Volume : 2 µl
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed   : 4/27/05 3:58:37 PM by ABM/LE
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed   : 5/12/05 4:36:12 PM by ABM/LE
                    (modified after loading)
ANALISIS DE SATURATE EXTRACTS.
FRACTION[Whole Oil]
INJVOL[0.2UL]
COLUMN[HP-1 60m x .25mm x .25um]
GC_OVEN[35/H5/@3 to 320/H20]
GC_INJ[SPLIT:38.5:1 FLOW @2.0ML/275/HE]
```

```
=====
Normalized Percent Report
=====
```

```
=
Sorted By      :      Retention Time
Calib. Data Modified :      Thursday, May 12, 2005 4:21:28 PM
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
```

Signal 1: FID1 A,

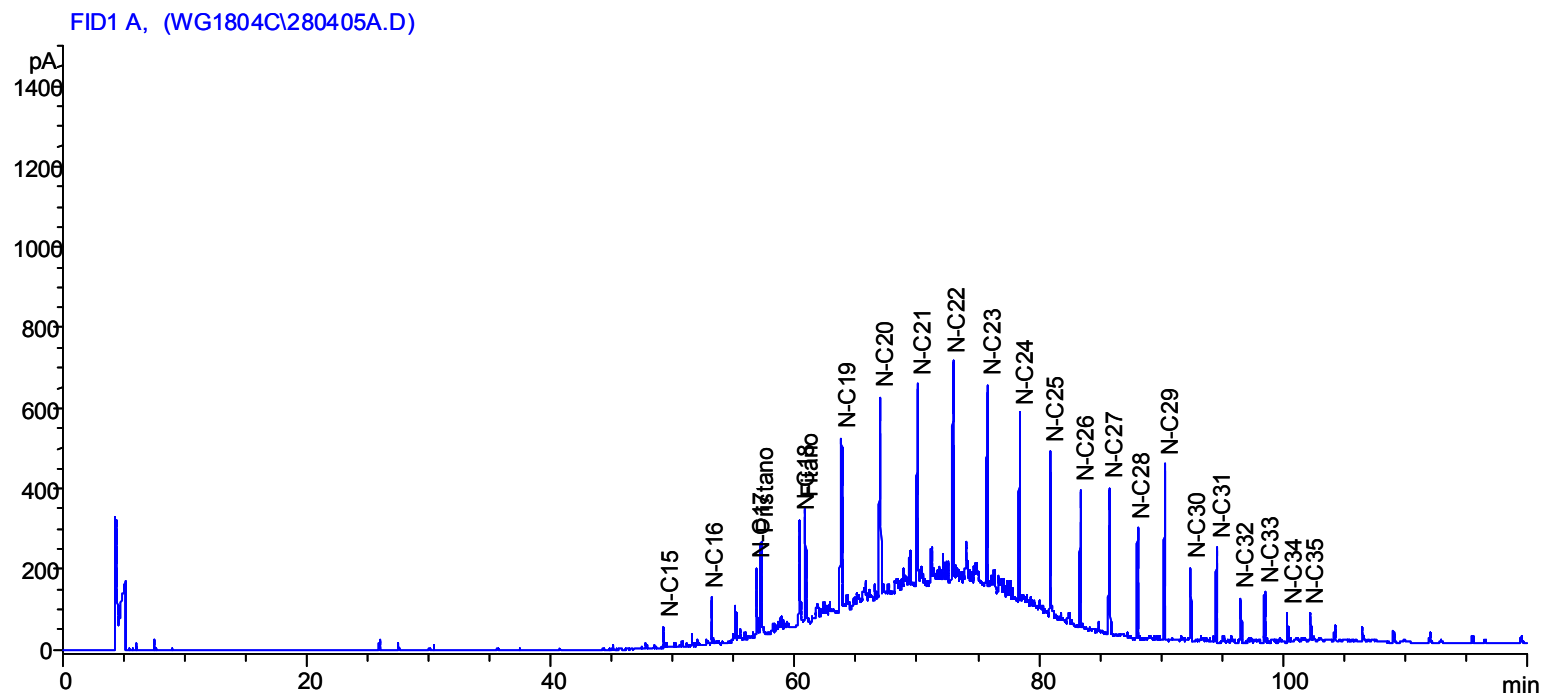
RetTime [min]	Sig	Type	Height [pA]	Amt/Height	Norm %	Grp	Name
31.216	1		-	-	-		N-C11
36.164	1		-	-	-		N-C12
40.803	1		-	-	-		N-C13
45.161	1		-	-	-		N-C14
49.251	1	BB	51.44313	5.74527e-3	0.305170		N-C15
53.152	1	BB	109.94991	6.24550e-3	0.709033		N-C16



56.862	1	BB	168.74126	6.58547e-3	1.147395	N-C17
57.239	1	BBA	227.75261	1.81124e-2	4.259347	Pristano
60.401	1	PBA	255.23970	7.23740e-3	1.907374	N-C18
60.868	1	PB	280.21329	4.43604e-2	12.834793	Fitano
63.783	1	PB	423.95657	7.80099e-3	3.414884	N-C19
67.004	1	BB	489.72482	8.14587e-3	4.119025	N-C20
70.065	1	BB	495.02322	8.80915e-3	4.502608	N-C21
72.986	1	BB	534.96490	9.38682e-3	5.184995	N-C22
75.760	1	BB	501.67429	9.79633e-3	5.074464	N-C23
78.411	1	BB	462.75183	1.06453e-2	5.086414	N-C24
80.956	1	BB	409.30215	1.13067e-2	4.778439	N-C25
83.402	1	BB	338.06494	1.21491e-2	4.240826	N-C26
85.787	1	BBA	365.11020	1.26171e-2	4.756520	N-C27
88.067	1	BB	274.63361	1.40522e-2	3.984778	N-C28
90.328	1	BBA	437.87955	1.48505e-2	6.714295	N-C29
92.420	1	BBA	178.24779	1.76156e-2	3.242093	N-C30
94.517	1	BBA	233.75278	2.06458e-2	4.983020	N-C31
96.504	1	BB	104.84753	3.19964e-2	3.463894	N-C32
98.473	1	BB	124.43941	3.72270e-2	4.783224	N-C33
100.358	1	BBA	68.00084	6.34645e-2	4.456046	N-C34
102.225	1	BBA	68.85027	8.51222e-2	6.051361	N-C35
Totals :					100.000000	

*** End of Report ***

CROMATOGRAMA DE ISOPRENOIDES DE LA FRACCIÓN SATURADA DEL POZO ARAUCA-3 (17925 pies).





REPORTE DE DATOS DEL POZO ARAUCA-3 (17920.6 - 17921.8 pies).

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\WG1804C\280405B.D Sample Name: 280405b
GC-FID-FPD 5/12/05 4:49:52 PM ABM/LE

Abril 28 de 2005
Arauca-3 (17920.6-17921.8 pies)
Fraccion Saturada Extracto Bitumen

=====

Injection Date : 4/28/05 3:03:30 PM Seq. Line : 4
Sample Name : 280405b Location : Vial 2
Acq. Operator : ABM/LE Inj : 1
 Inj Volume : 1 µl
Different Inj Volume from Sequence ! Actual Inj Volume : 2 µl
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 4/27/05 3:58:37 PM by ABM/LE
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 5/12/05 4:49:41 PM by ABM/LE
(modified after loading)

ANALISIS DE SATURATE EXTRACTS.
FRACTION[Whole Oil]
INJVOL[0.2UL]
COLUMN[HP-1 60m x .25mm x .25um]
GC_OVEN[35/H5/@3 to 320/H20]
GC_INJ[SPLIT:38.5:1 FLOW @2.0ML/275/HE]

=====

=

Normalized Percent Report

=====

=

Sorted By : Retention Time
Calib. Data Modified : 5/12/05 4:46:46 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: FID1 A,

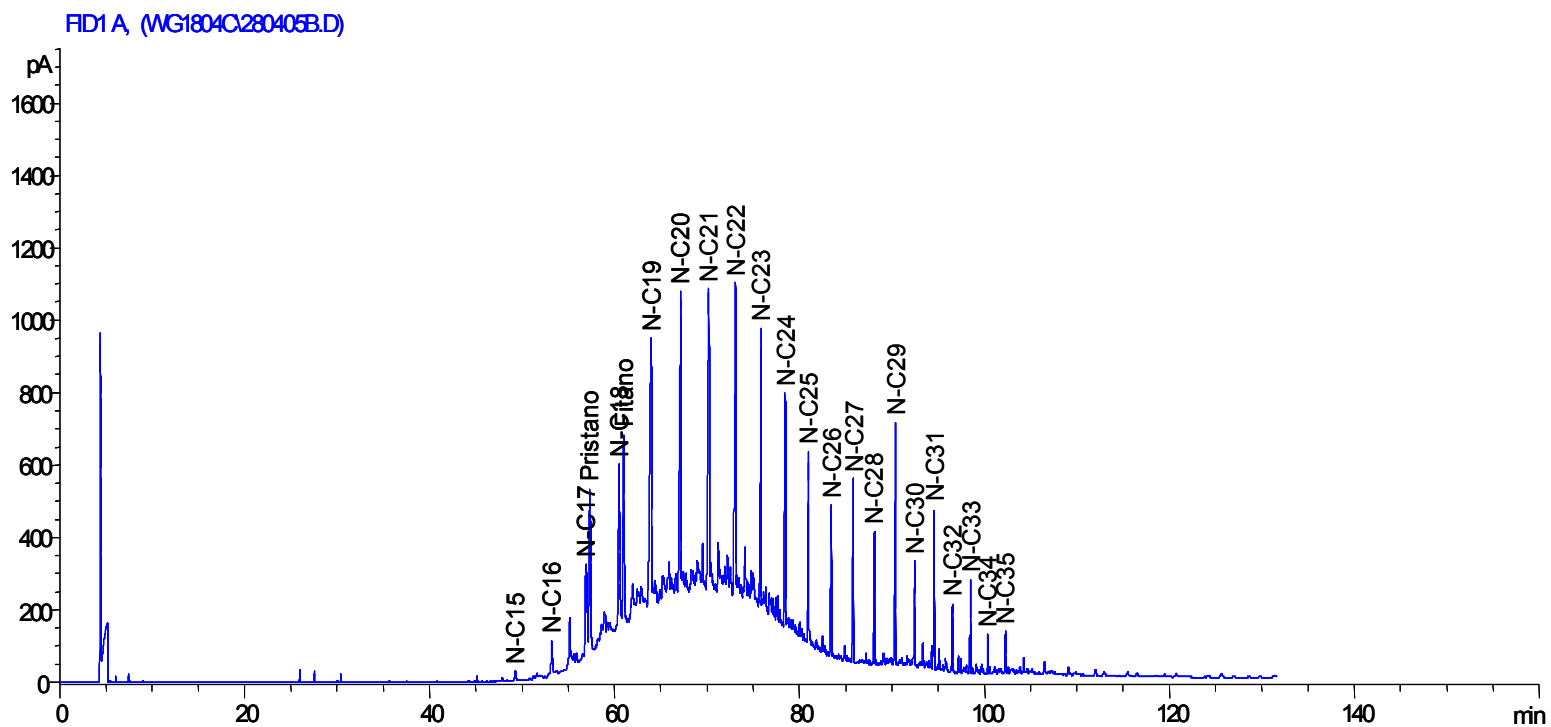
RetTime [min]	Sig	Type	Height [pA]	Amt/Height	Norm %	Grp	Name
31.216	1		-	-	-		N-C11
36.164	1		-	-	-		N-C12
40.803	1		-	-	-		N-C13
45.161	1		-	-	-		N-C14
49.268	1	BBA	22.15846	5.74527e-3	0.086234		N-C15
53.176	1	BBA	92.82269	6.24550e-3	0.392691		N-C16
56.923	1	BB	235.43988	6.58547e-3	1.050261		N-C17



57.325	1	BB	428.08215	1.81124e-2	5.252090	Pristano
60.502	1	BB	436.72876	7.23740e-3	2.141040	N-C18
60.993	1	BB	509.05460	4.43604e-2	15.296424	Fitano
63.930	1	BB	710.74536	7.80099e-3	3.755728	N-C19
67.143	1	BB	804.87537	8.14587e-3	4.441160	N-C20
70.195	1	BB	801.83936	8.80915e-3	4.784663	N-C21
73.096	1	BB	838.35626	9.38682e-3	5.330612	N-C22
75.848	1	BB	761.67114	9.79633e-3	5.054302	N-C23
78.469	1	BB	638.86877	1.06453e-2	4.606814	N-C24
81.000	1	BB	506.01837	1.13067e-2	3.875553	N-C25
83.435	1	PB	415.88699	1.21491e-2	3.422560	N-C26
85.835	1	BB	510.86328	1.26171e-2	4.366118	N-C27
88.107	1	BB	365.02423	1.40522e-2	3.474542	N-C28
90.408	1	BB	667.06586	1.48505e-2	6.710269	N-C29
92.471	1	BB	277.74112	1.76156e-2	3.314110	N-C30
94.311	1	BB	59.56990	2.06458e-2	0.833083	N-C31
96.542	1	BB	181.83252	3.19964e-2	3.940972	N-C32
98.514	1	BB	258.01309	3.72270e-2	6.506238	N-C33
100.383	1	PBA	106.40705	6.34645e-2	4.574369	N-C34
102.248	1	BB	117.76266	8.51222e-2	6.790167	N-C35
Totals :					100.000000	

*** End of Report ***

CROMATOGRAMA DE ISOPRENOIDES DE LA FRACCIÓN SATURADA DEL POZO ARAUCA-3 (17920.6 - 17921.8 pies).





REPORTE DE DATOS DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA (PIN 24-90).

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\WG1804C\280405C.D Sample Name: 280405c
GC-FID-FPD 5/13/05 10:49:44 AM ABM/LE

Abril 28 de 2005
Pinalerita 24-90
Fraccion Saturada Extracto Bitumen

=====

Injection Date : 4/28/05 6:50:46 PM Seq. Line : 6
Sample Name : 280405c Location : Vial 3
Acq. Operator : ABM/LE Inj : 1
Inj Volume : 1 µl
Different Inj Volume from Sequence ! Actual Inj Volume : 2 µl
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 4/27/05 3:58:37 PM by ABM/LE
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 5/13/05 10:49:42 AM by ABM/LE
(modified after loading)

ANALISIS DE SATURATE EXTRACTS.
FRACTION[Whole Oil]
INJVOL[0.2UL]
COLUMN[HP-1 60m x .25mm x .25um]
GC_OVEN[35/H5/@3 to 320/H20]
GC_INJ[SPLIT:38.5:1 FLOW @2.0ML/275/HE]

=====

=

Normalized Percent Report

=====

=

Sorted By : Retention Time
Calib. Data Modified : 5/13/05 10:47:39 AM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: FID1 A,

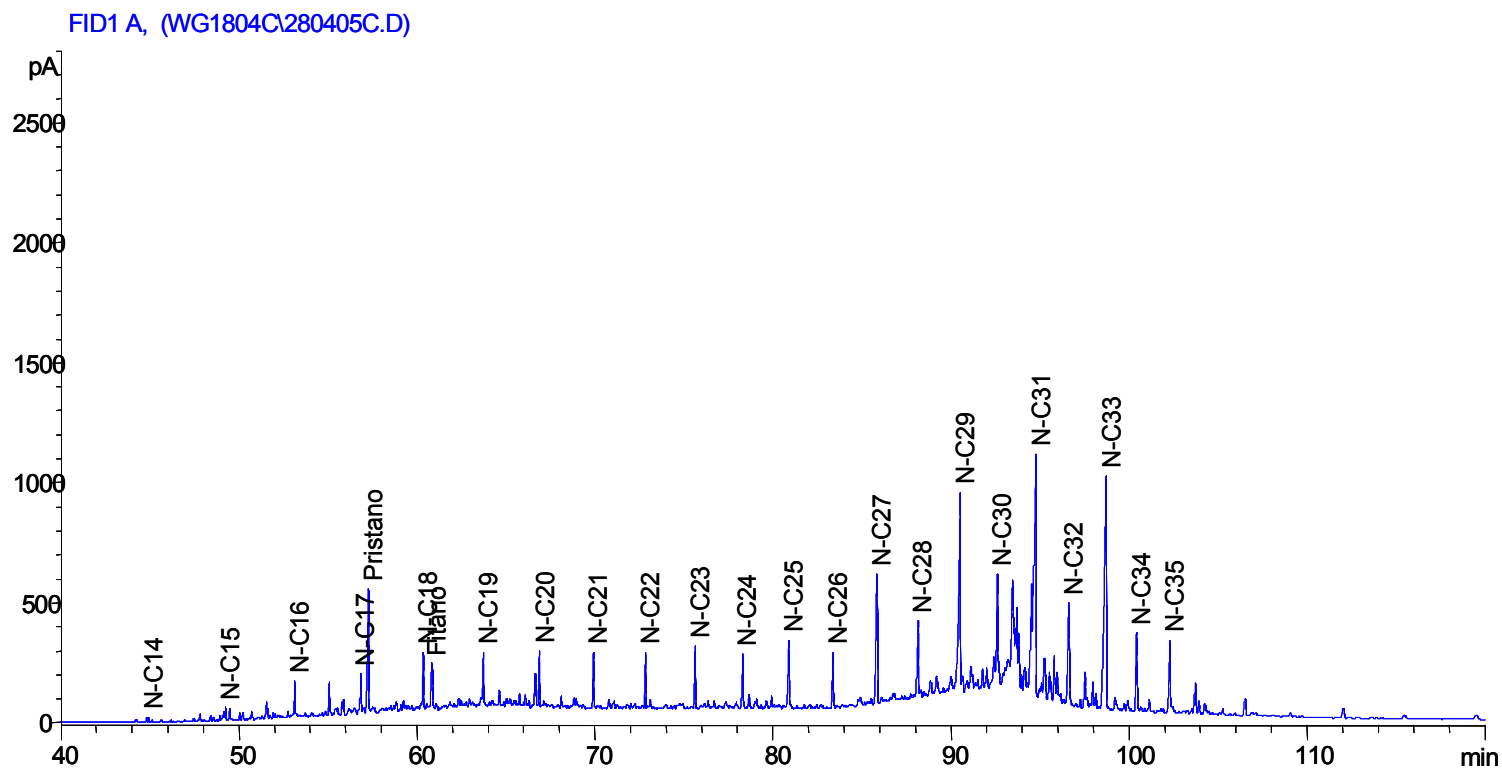
RetTime [min]	Sig	Type	Height [pA]	Amt/Height	Norm %	Grp	Name
31.216	1		-	-	-		N-C11
36.164	1		-	-	-		N-C12
40.803	1		-	-	-		N-C13
44.968	1	BB	21.45004	5.92735e-3	0.069564		N-C14
49.262	1	BB	47.61980	5.74527e-3	0.149690		N-C15
53.163	1	BB	140.66608	6.24550e-3	0.480674		N-C16
56.863	1	BB	159.74388	6.58547e-3	0.575579		N-C17



57.299	1	BB	514.41815	1.81124e-2	5.097825	Pristano
60.386	1	BB	229.31946	7.23740e-3	0.908066	N-C18
60.855	1	BB	186.83032	4.43604e-2	4.534574	Fitano
63.735	1	BB	204.14352	7.80099e-3	0.871323	N-C19
66.906	1	BB	231.11563	8.14587e-3	1.030056	N-C20
69.944	1	BB	230.13260	8.80915e-3	1.109189	N-C21
72.854	1	BB	229.14772	9.38682e-3	1.176868	N-C22
75.655	1	BB	261.74319	9.79633e-3	1.402919	N-C23
78.323	1	BB	230.82355	1.06453e-2	1.344413	N-C24
80.909	1	BB	263.68103	1.13067e-2	1.631210	N-C25
83.391	1	BB	232.46968	1.21491e-2	1.545274	N-C26
85.856	1	BB	541.60120	1.26171e-2	3.738815	N-C27
88.159	1	BB	310.85916	1.40522e-2	2.390028	N-C28
90.543	1	BB	802.73480	1.48505e-2	6.522392	N-C29
92.612	1	BB	382.91010	1.76156e-2	3.690516	N-C30
94.773	1	BB	911.13641	2.06458e-2	10.292200	N-C31
96.646	1	BB	419.21698	3.19964e-2	7.338956	N-C32
98.737	1	BB	964.95355	3.72270e-2	19.654327	N-C33
100.444	1	BB	327.36115	6.34645e-2	11.367148	N-C34
102.320	1	BB	280.81345	8.51222e-2	13.078393	N-C35
Totals :					100.000000	

*** End of Report ***

**CROMATOGRAMA DE ISOPRENOIDES DE LA FRACCIÓN SATURADA DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA
(PIN24 – 90).**





REPORTE DE DATOS DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA (PIN 38 - 130).

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\WG1804C\280405D.D Sample Name: 280405d
GC-FID-FPD 5/12/05 5:20:15 PM ABM/LE

Abril 28 de 2005
Pinalerita 38-130
Fraccion Saturada Extracto Bitumen

=====

Injection Date : 4/29/05 10:51:50 AM	Seq. Line : 8
Sample Name : 280405d	Location : Vial 4
Acq. Operator : ABM/LE	Inj : 1
Inj Volume : 1 µl	

Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 4/27/05 3:58:37 PM by ABM/LE
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 5/12/05 5:19:18 PM by ABM/LE
(modified after loading)

ANALISIS DE SATURATE EXTRACTS.
FRACTION[Whole Oil]
INJVOL[0.2UL]
COLUMN[HP-1 60m x .25mm x .25um]
GC_OVEN[35/H5/@3 to 320/H20]
GC_INJ[SPLIT:38.5:1 FLOW @2.0ML/275/HE]

=====

=

Normalized Percent Report

=====

=

Sorted By	:	Retention Time
Calib. Data Modified	:	5/12/05 5:18:27 PM
Multiplier	:	1.0000
Dilution	:	1.0000

Signal 1: FID1 A,

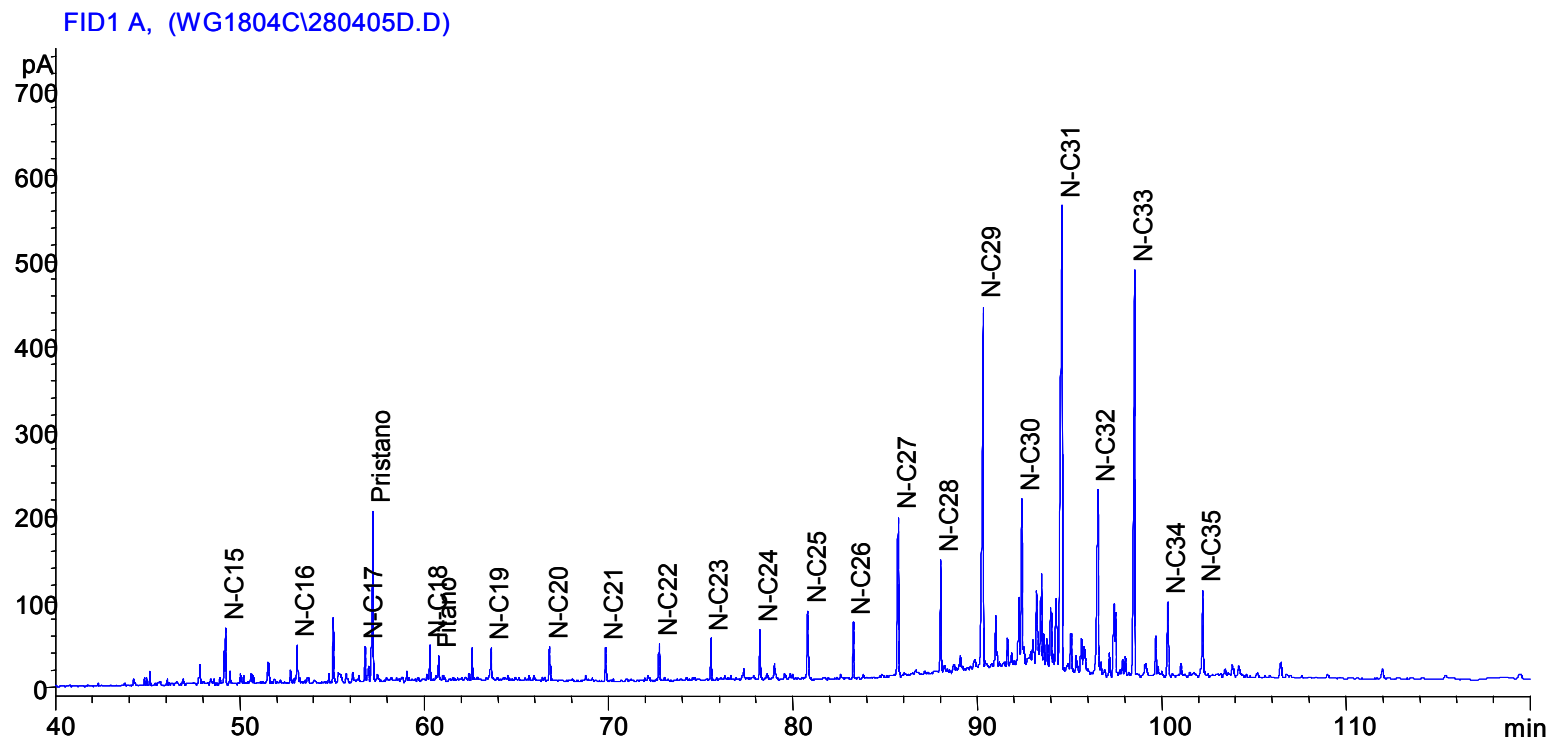
RetTime [min]	Sig	Type	Height [pA]	Amt/Height	Norm %	Grp	Name
31.216	1		-	-	-		N-C11
36.164	1		-	-	-		N-C12
40.803	1		-	-	-		N-C13
45.161	1		-	-	-		N-C14
49.251	1	BB	56.26512	5.74527e-3	0.437978		N-C15
53.134	1	BB	43.40725	6.24550e-3	0.367310		N-C16
56.815	1	BB	40.84420	6.58547e-3	0.364435		N-C17
57.217	1	BB	200.56676	1.81124e-2	4.921945		Pristano
60.312	1	BB	40.78931	7.23740e-3	0.399974		N-C18



60.784	1	BB	27.77953	4.43604e-2	1.669642	Fitano
63.644	1	BB	37.55298	7.80099e-3	0.396915	N-C19
66.821	1	BB	39.37899	8.14587e-3	0.434615	N-C20
69.859	1	BBA	39.16786	8.80915e-3	0.467484	N-C21
72.770	1	BBA	42.93738	9.38682e-3	0.546081	N-C22
75.562	1	BBA	48.46219	9.79633e-3	0.643235	N-C23
78.242	1	BBA	58.61279	1.06453e-2	0.845384	N-C24
80.824	1	BBA	78.79437	1.13067e-2	1.207078	N-C25
83.303	1	BBA	65.31205	1.21491e-2	1.075082	N-C26
85.726	1	BBA	186.33035	1.26171e-2	3.185277	N-C27
88.032	1	BB	131.23485	1.40522e-2	2.498606	N-C28
90.338	1	BB	423.76794	1.48505e-2	8.526525	N-C29
92.437	1	BB	179.27997	1.76156e-2	4.278891	N-C30
94.600	1	BB	543.91803	2.06458e-2	15.214843	N-C31
96.537	1	BB	213.36427	3.19964e-2	9.249671	N-C32
98.561	1	BB	477.36469	3.72270e-2	24.077492	N-C33
100.359	1	BBA	87.57207	6.34645e-2	7.530074	N-C34
102.231	1	BBA	101.11309	8.51222e-2	11.661463	N-C35
Totals :					100.000000	

=====
*** End of Report ***

**CROMATOGRAMA DE ISOPRENOIDES DE LA FRACCIÓN SATURADA DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA
(PIN38-130).**





REPORTE DE DATOS DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA (PIN 34 - 50).

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\WG1804C\280405E.D Sample Name: 280405e
GC-FID-FPD 5/12/05 5:38:08 PM ABM/LE

Abril 28 de 2005
Piñalerita PIN 34-50
Fraccion Saturada Extracto Bitumen

=====

Injection Date : 4/29/05 2:40:24 PM	Seq. Line : 10
Sample Name : 280405e	Location : Vial 5
Acq. Operator : ABM/LE	Inj : 1

Inj Volume : 1 µl
Different Inj Volume from Sequence ! Actual Inj Volume : 2 µl
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 4/27/05 3:58:37 PM by ABM/LE
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ISOPWG02.M
Last changed : 5/12/05 5:38:05 PM by ABM/LE

(modified after loading)
ANALISIS DE SATURATE EXTRACTS.
FRACTION[Whole Oil]
INJVOL[0.2UL]
COLUMN[HP-1 60m x .25mm x .25um]
GC_OVEN[35/H5/@3 to 320/H20]
GC_INJ[SPLIT:38.5:1 FLOW @2.0ML/275/HE]

=====

=

Normalized Percent Report

=====

=

Sorted By	:	Retention Time
Calib. Data Modified	:	5/12/05 5:31:44 PM
Multiplier	:	1.0000
Dilution	:	1.0000

Signal 1: FID1 A,

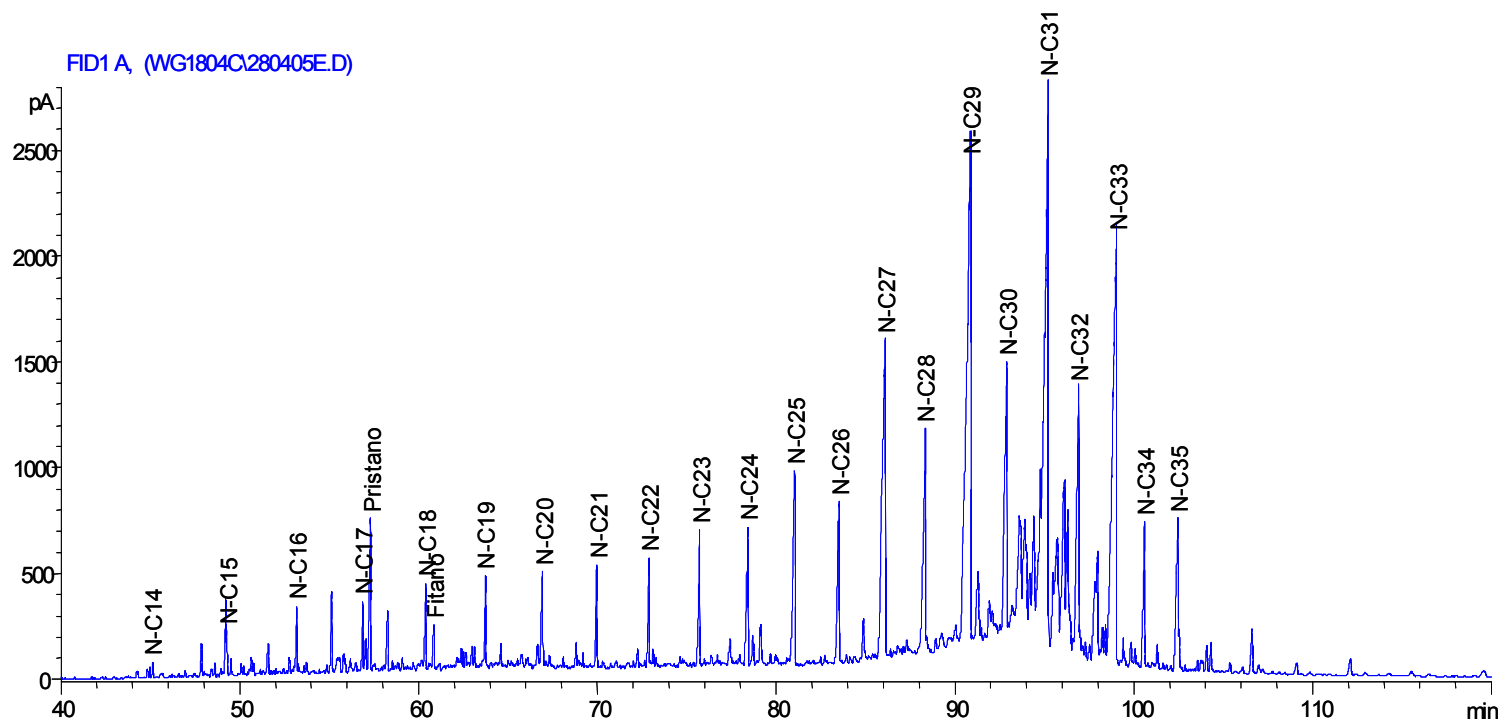
RetTime [min]	Sig	Type	Height [pA]	Amt/Height	Norm %	Grp	Name
31.216	1		-	-	-		N-C11
36.164	1		-	-	-		N-C12
40.803	1		-	-	-		N-C13
45.148	1	BB	72.66047	5.92735e-3	0.100675		N-C14
49.291	1	BB	86.89565	5.74527e-3	0.116700		N-C15
53.193	1	BB	293.25467	6.24550e-3	0.428130		N-C16
56.896	1	BB	316.12064	6.58547e-3	0.486635		N-C17



57.333	1	BB	715.61420	1.81124e-2	3.029825	Pristano
60.413	1	BB	395.31830	7.23740e-3	0.668796	N-C18
60.856	1	BB	203.62453	4.43604e-2	2.111491	Fitano
63.759	1	BB	415.13300	7.80099e-3	0.757009	N-C19
66.943	1	BB	442.78845	8.14587e-3	0.843136	N-C20
69.989	1	BB	483.00784	8.80915e-3	0.994608	N-C21
72.909	1	BB	501.73074	9.38682e-3	1.100912	N-C22
75.734	1	BB	647.66571	9.79633e-3	1.483127	N-C23
78.424	1	BB	652.59412	1.06453e-2	1.623924	N-C24
81.052	1	BB	913.25781	1.13067e-2	2.413762	N-C25
83.522	1	BB	757.98901	1.21491e-2	2.152644	N-C26
86.092	1	BB	1476.57751	1.26171e-2	4.354925	N-C27
88.355	1	BB	1006.61914	1.40522e-2	3.306546	N-C28
90.884	1	BB	2387.05200	1.48505e-2	8.286415	N-C29
92.914	1	BB	1254.58020	1.76156e-2	5.166052	N-C30
95.238	1	BB	2540.20703	2.06458e-2	12.259251	N-C31
96.937	1	BB	1230.29724	3.19964e-2	9.201857	N-C32
99.046	1	BB	2014.90955	3.72270e-2	17.533852	N-C33
100.607	1	BB	687.91083	6.34645e-2	10.205318	N-C34
102.471	1	BB	571.63971	8.51222e-2	11.374410	N-C35
Totals :					100.000000	

=====
*** End of Report

**CROMATOGRAMA DE ISOPRENOIDES DE LA FRACCIÓN SATURADA DE LA SECCIÓN LA PIÑALERITA
(PIN34 – 50).**





ANEXO 4.

REPORTES DE LOS FRAGMENTOGRAMAS DE LA FRACCIÓN SATURADA, OBTENIDOS POR GC/MS PARA LOS EXTRACTOS DE LAS MUESTRAS DEL POZO ARAUCA-3 Y LA SECCIÓN LA PIÑALERITA CON EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR (FM. LOS CUERVOS).



SATURATED BIOMARKER REPORT

DATA FILE:120405A.D

SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17925 pies)

DATE: 12/04/2005

MASS 191.2

COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A C20 Tricyclic Terpane	48,36	4844	Ts/Tm	0,15
B C21 Tricyclic Terpane	51,44	7654	Gammacerane/Hopane	0,05
C C22 Tricyclic Terpane	54,14	2365	C29/C30 Hopane	0,08
D C23 Tricyclic Terpane	57,14	16521	Oleanane/Hopane	0,05
E C24 Tricyclic Terpane	58,70	10460	Tet24/Hopane	0,22
F C25 Tricyclic Terpane	61,76	4016	Tet24/Tri26	0,59
G C24 Tetracyclic Terpane	63,73	1258	C20/C23 Tricyclics	0,29
H C26 Tricyclic Terpane (C22)	63,99	2115	C23tri/Hopane	2,85
I C26 Tricyclic Terpane (C22)	64,16	2147	25Nor/Hopane	0,02
J C28 Tricyclic Terpane (C22)	68,82	1009	C31S/S+R Hopanes	0,51
K C28 Tricyclic Terpane (C22)	69,30	62	C29 Ts / C29 Hopane	0,12
L C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,21	833		
M C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,71	159		
N C27 18a(H) Trisnorhopane (	71,58	558		
O C27 17a(H) Trisnorhopane (	72,46	3682		
P C30 Tricyclic Terpane (C22)	73,27	1254		
Q C30 Tricyclic Terpane (C22)	74,72	182		
R C29 17a(H), 21b(H) 25-Norh	74,85	145		
S C29 17a(H), 21b(H)-Norhopa	75,58	461		
T C29 17b(H), 21a(H)-Normore	76,60	198		
U OLEANANE	76,97	280		
V C30 17a(H), 21b(H)-Hopane	77,25	5807		
W C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,33	2610		
X C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,59	2469		
Y GAMMACERANE	80,03	271		
Z C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	80,98	845		
a C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,50	136		
b C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	82,86	332		
c C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	83,34	398		
d C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	84,88	815		
e C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	85,40	215		
f C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	86,74	87		
g C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	87,52	332		
h C29 Ts	75,71	56		



SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17925 pies)

MASS 217.2

COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A C21 abb Sterane	54,56	3242	S21/29R	7,79
B C22 abb Sterane	57,84	1632	DIA27/27R	1,18
C C27 ba Diasterane (20S)	66,42	973	29S/29R	0,46
D C27 ba Diasterane (20R)	67,35	181	29S/29S+R	0,32
E C27 ab Diasterane (20S)	68,48	356	29BB/R	0,70
F C27 ab Diasterane (20R)	68,82	225	29BB/29BB+R	0,63
G C27aaa Sterane (20S)	70,08	513	BB/AA+BB C29	0,32
H C27abb Ster (20R)+ C29 ba	70,54	528	27/29BB	1,50
I C27abb sterane (20S)	70,64	95	28/29BB	1,06
J C27 aaa Sterane (20R)	71,03	822	30/29BB	0,12
K C29 ba Diasterane (20R)	71,53	75		
L C28aaa Sterane (20S)	72,33	203	%27	34,48
M C28abb Sterane (20R)	72,81	343	%28	29,79
N C28abb Sterane (20S)	73,03	103	%29	35,73
O C28aaa Sterane (20R)	73,46	262		
P C29aaa Sterane (20S)	74,09	192	SUM STER/SUM HOPANES	0,27
Q C29abb Sterane (20R)	74,63	265	SUM TRI/SUM HOPANES	2,54
R C29abb Sterane (20S)	74,85	27		
S C29aaa Sterane (20R)	75,41	416		
T C30aaa Sterane (20R)	76,30	71		
U C27abb Sterane (20S) m/z 2	70,54	818		
V C27abb Sterane (20R) m/z 2	70,67	65		
W C28abb Sterane (20R) m/z 2	72,81	580		
X C28abb Sterane (20S) m/z 2	73,03	183		
Y C29abb Sterane (20R) m/z 2	74,50	547		
Z C29abb Sterane (20S) m/z 2	74,63	368		
a C30abb Sterane (20R) m/z 2	76,13	67		



Organic Geochemical Analysis

Summary Parameter

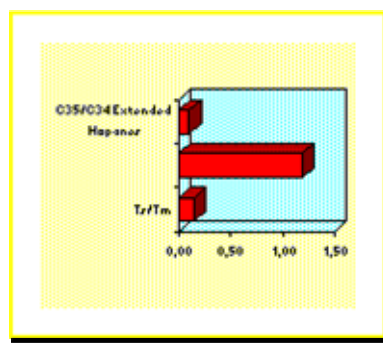
SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17925 pies)

Depositional Environment

Parameters

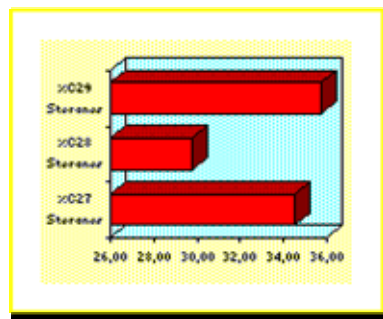
Lithology

Ts/Tm	0,15
Diasterane/Regular Sterane	1,18
C35/C34 Extended Hopanes	0,11
Tricyclic Terpanes/Hopanes	2,54



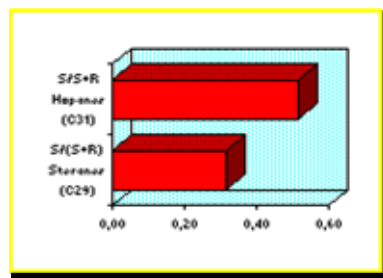
Organic Facies

%C27 Steranes	34,48
%C28 Steranes	29,79
%C29 Steranes	35,73
C30/C29 Steranes	0,12
C24 Tetracyclic/C26 Tricyclic Terpane	0,59
C23 Tricyclic/C24 Tetracyclic Terpane	13,13
C29 Norhopane/C30 Hopane	0,08
Oleanane/C30 Hopane	0,05
Gammacerane/C30 Hopane	0,05
Steranes/Hopanes	0,27



Maturity Parameters

S/(S+R) Steranes (C29)	0,32
S/(S+R) Hopanes (C31)	0,51
Ts/Tm	0,15
Tricyclic Terpanes/Hopanes	2,54
% short Chain Steranes	86,27



Biodegradation Parameters

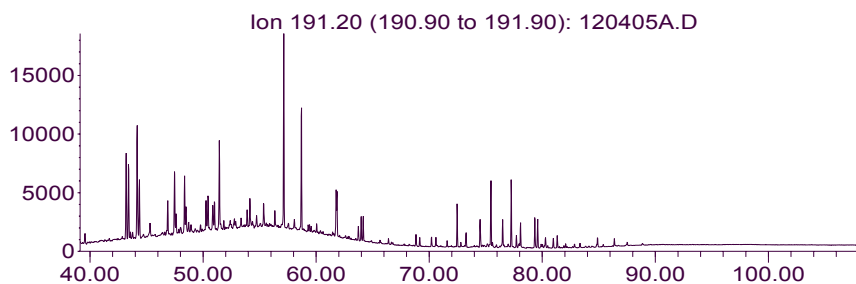
C29 25-Norhopane/C30 Hopane	0,02
-----------------------------	------



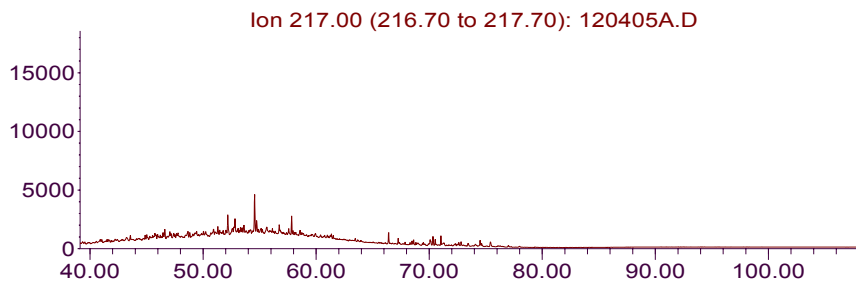
SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17925 pies)

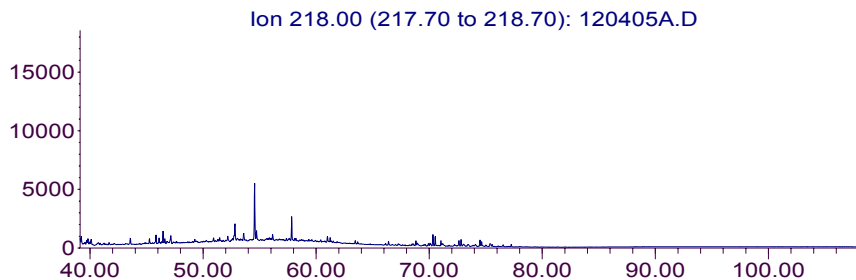
Abundance



Time-->
Abundance



Time-->
Abundance



Time-->



SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17925 pies)





SATURATED BIOMARKER REPORT

DATA FILE:070405B.D

SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17920.6-17921.8 pies)

DATE:

ANALYST:LMG/AMC

MASS 191.2

	COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A	C20 Tricyclic Terpane	48,45	1787	Ts/Tm	0,07
B	C21 Tricyclic Terpane	51,39	77	Gammacerane/Hopane	0,05
C	C22 Tricyclic Terpane	54,10	74	C29/C30 Hopane	0,07
D	C23 Tricyclic Terpane	57,25	5076	Oleanane/Hopane	0,08
E	C24 Tricyclic Terpane	58,79	3524	Tet24/Hopane	0,07
F	C25 Tricyclic Terpane	61,91	1423	Tet24/Tri26	0,81
G	C24 Tetracyclic Terpane	63,79	679	C20/C23 Tricyclics	0,35
H	C26 Tricyclic Terpane (C22)	64,03	834	C23tri/Hopane	0,50
I	C26 Tricyclic Terpane (C22)	64,21	761	25Nor/Hopane	0,02
J	C28 Tricyclic Terpane (C22)	68,97	36	C31S/S+R Hopanes	0,53
K	C28 Tricyclic Terpane (C22)	69,19	354	C29 Ts / C29 Hopane	0,91
L	C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,36	105		
M	C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,73	210		
N	C27 18a(H) Trisnorhopane (	71,59	389		
O	C27 17A(H) Trisnorhopane (	72,50	5903		
P	C30 Tricyclic Terpane (C22)	73,28	2503		
Q	C30 Tricyclic Terpane (C22)	74,69	186		
R	C29 17a(H), 21b(H) 25-Norh	74,91	250		
S	C29 17a(H), 21b(H)-Norhopa	75,62	686		
T	C29 17b(H), 21a(H)-Normore	76,53	5410		
U	OLEANANE	77,01	842		
V	C30 17a(H), 21b(H)-Hopane	77,29	10176		
W	C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,35	7032		
X	C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,61	6324		
Y	GAMMACERANE	80,02	522		
Z	C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,13	28		
a	C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,50	424		
b	C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	82,84	874		
c	C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	83,32	1152		
d	C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	84,88	3235		
e	C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	85,59	33		
f	C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	86,98	29		
g	C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	87,50	1602		
h	C29 Ts	75,62	626		



SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17920.6-17921.8 pies)

MASS 217.2

	COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A	C21 abb Sterane	54,64	879	S21/29R	1,04
B	C22 abb Sterane	57,92	606	DIA27/27R	0,71
C	C27 ba Diasterane (20S)	66,44	477	29S/29R	0,07
D	C27 ba Diasterane (20R)	67,37	85	29S/29S+R	0,07
E	C27 ab Diasterane (20S)	68,50	237	29BB/R	1,17
F	C27 ab Diasterane (20R)	68,65	273	29BB/29BB+R	0,51
G	C27aaa Sterane (20S)	70,10	235	BB/AA+BB C29	0,52
H	C27abb Ster (20R)+ C29 ba	70,36	560	27/29BB	0,76
I	C27abb sterane (20S)	70,55	303	28/29BB	0,45
J	C27 aaa Sterane (20R)	71,05	669	30/29BB	0,08
K	C29 ba Diasterane (20R)	71,55	235		
L	C28aaa Sterane (20S)	72,35	172	%27	25,82
M	C28abb Sterane (20R)	72,83	231	%28	28,08
N	C28abb Sterane (20S)	73,02	162	%29	46,10
O	C28aaa Sterane (20R)	73,44	371		
P	C29aaa Sterane (20S)	74,26	60	SUM STER/SUM HOPANES	0,13
Q	C29abb Sterane (20R)	74,52	731	SUM TRI/SUM HOPANES	0,31
R	C29abb Sterane (20S)	74,67	263		
S	C29aaa Sterane (20R)	75,43	847		
T	C30aaa Sterane (20R)	76,23	55		
U	C27abb Sterane (20S) m/z 2	70,36	982		
V	C27abb Sterane (20R) m/z 2	70,66	91		
W	C28abb Sterane (20R) m/z 2	72,83	583		
X	C28abb Sterane (20S) m/z 2	72,83	584		
Y	C29abb Sterane (20R) m/z 2	74,52	1296		
Z	C29abb Sterane (20S) m/z 2	74,67	620		
a	C30abb Sterane (20R) m/z 2	76,06	105		



Organic Geochemical Analysis

Summary Parameter

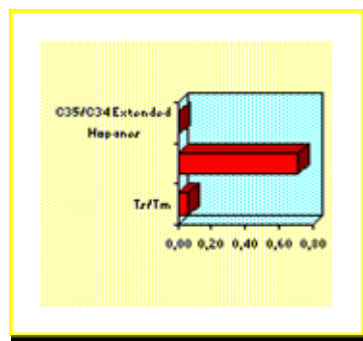
SAMPLE NAME: Extracto Arauca-3 (17920.6 - 17921.8)

Depositional Environment

Parameters

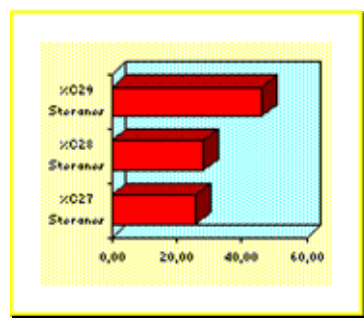
Lithology

Ts/Tm	0,07
Diasterane/Regular Sterane	0,71
C35/C34 Extended Hopanes	0,01
Tricyclic Terpanes/Hopanes	0,31



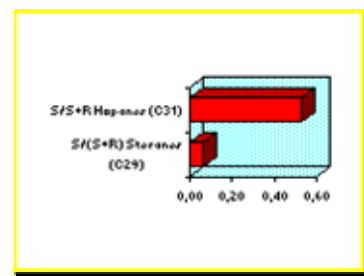
Organic Facies

%C27 Steranes	25,82
%C28 Steranes	28,08
%C29 Steranes	46,10
C30/C29 Steranes	0,08
C24 Tetracyclic/C26 Tricyclic Terpane	0,81
C23 Tricyclic/C24 Tetracyclic Terpane	7,48
C29 Norhopane/C30 Hopane	0,07
Oleanane/C30 Hopane	0,08
Gammacerane/C30 Hopane	0,05
Steranes/Hopanes	0,13



Maturity Parameters

S/(S+R) Steranes (C29)	0,07
S/(S+R) Hopanes (C31)	0,53
Ts/Tm	0,07
Tricyclic Terpanes/Hopanes	0,31
% short Chain Steranes	24,89



Biodegradation Parameters

C29 25-Norhopane/C30 Hopane	0,02
-----------------------------	------



SATURATED BIOMARKER REPORT

DATA FILE:210405B.D

SAMPLE NAME:Extracto La Piñalerita PIN 38-130

DATE:21/04/2005

ANALYST:LMG/AMC

MASS 191.2

	COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A	C20 Tricyclic Terpane	48,41	5417	Ts/Tm	0,27
B	C21 Tricyclic Terpane	51,44	993	Gammacerane/Hopane	0,07
C	C22 Tricyclic Terpane	54,10	468	C29/C30 Hopane	0,91
D	C23 Tricyclic Terpane	57,12	1669	Oleanane/Hopane	0,17
E	C24 Tricyclic Terpane	58,68	1884	Tet24/Hopane	0,07
F	C25 Tricyclic Terpane	61,76	3413	Tet24/Tri26	8,14
G	C24 Tetracyclic Terpane	63,75	5980	C20/C23 Tricyclics	3,25
H	C26 Tricyclic Terpane (C22)	64,03	735	C23tri/Hopane	0,02
I	C26 Tricyclic Terpane (C22)	64,25	1177	25Nor/Hopane	0,04
J	C28 Tricyclic Terpane (C22)	68,98	1643	C31S/S+R Hopanes	0,28
K	C28 Tricyclic Terpane (C22)	69,28	3160	C29 Ts / C29 Hopane	0,42
L	C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,28	8708		
M	C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,64	25400		
N	C27 18a(H) Trisnorhopane (	71,94	7463		
O	C27 17a(H) Trisnorhopane (	72,55	27604		
P	C30 Tricyclic Terpane (C22)	73,40	90213		
Q	C30 Tricyclic Terpane (C22)	74,63	103695		
R	C29 17a(H), 21b(H) 25-Norh	75,02	3796		
S	C29 17a(H), 21b(H)-Norhopa	75,50	79488		
T	C29 17b(H), 21a(H)-Normore	76,65	48563		
U	OLEANANE	77,12	15139		
V	C30 17a(H), 21b(H)-Hopane	77,38	87237		
W	C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,46	46905		
X	C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,72	120822		
Y	GAMMACERANE	80,11	6537		
Z	C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,04	6561		
a	C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,41	30590		
b	C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	82,99	5191		
c	C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	83,38	9547		
d	C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	84,94	34562		
e	C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	85,44	4336		
f	C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	86,79	1559		
g	C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	87,54	10190		
h	C29 Ts	75,74	33736		



SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 38-130

MASS 217.2

	COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A	C21 abb Sterane	54,54	2158	S21/29R	0,25
B	C22 abb Sterane	57,92	2477	DIA27/27R	0,60
C	C27 ba Diasterane (20S)	66,44	1024	29S/29R	0,12
D	C27 ba Diasterane (20R)	67,28	551	29S/29S+R	0,10
E	C27 ab Diasterane (20S)	68,52	1064	29BB/R	2,47
F	C27 ab Diasterane (20R)	68,65	783	29BB/29BB+ R BB/AA+BB	0,63
G	C27aaaa Sterane (20S)	70,10	898	C29	0,69
H	C27abb Ster (20R)+ C29 ba	70,38	1940	27/29BB	0,21
I	C27abb sterane (20S)	70,69	738	28/29BB	0,84
J	C27 aaa Sterane (20R)	71,12	1720	30/29BB	1,43
K	C29 ba Diasterane (20R)	71,36	3199		
L	C28aaa Sterane (20S)	72,51	1819	%27	9,20
M	C28abb Sterane (20R)	72,75	3876	%28	47,42
N	C28abb Sterane (20S)	72,92	1749	%29	43,38
O	C28aaa Sterane (20R)	73,57	3255		
P	C29aaa Sterane (20S)	74,20	988	SUM STER/SUM HOPANES SUM TRI/SUM HOPANES	0,07
Q	C29abb Sterane (20R)	74,65	10486		
R	C29abb Sterane (20S)	74,65	10394		
S	C29aaa Sterane (20R)	75,54	8467		
T	C30aaa Sterane (20R)	76,15	233		
U	C27abb Sterane (20S) m/z 2	70,41	995		
V	C27abb Sterane (20R) m/z 2	70,60	456		
W	C28abb Sterane (20R) m/z 2	72,70	4031		
X	C28abb Sterane (20S) m/z 2	72,92	3449		
Y	C29abb Sterane (20R) m/z 2	74,46	4816		
Z	C29abb Sterane (20S) m/z 2	74,76	2027		
a	C30abb Sterane (20R) m/z 2	76,19	6908		



Organic Geochemical Analysis

Summary Parameter

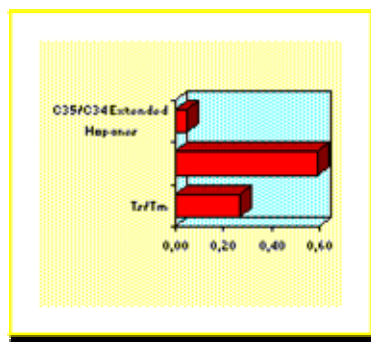
SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 38-130

Depositional Environment

Parameters

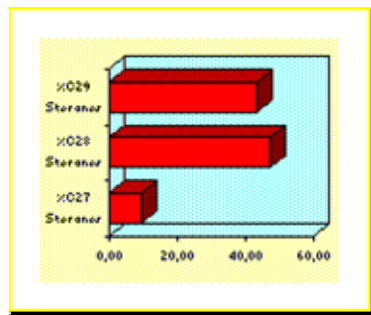
Lithology

Ts/Tm	0,27
Diasterane/Regular Sterane	0,60
C35/C34 Extended Hopanes	0,05
Tricyclic Terpanes/Hopanes	0,08



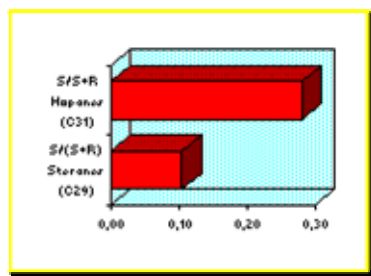
Organic Facies

%C27 Steranes	9,20
%C28 Steranes	47,42
%C29 Steranes	43,38
C30/C29 Steranes	1,43
C24 Tetracyclic/C26 Tricyclic Terpane	8,14
C23 Tricyclic/C24 Tetracyclic Terpane	0,28
C29 Norhopane/C30 Hopane	0,91
Oleanane/C30 Hopane	0,17
Gammacerane/C30 Hopane	0,07
Steranes/Hopanes	0,07



Maturity Parameters

S/(S+R) Steranes (C29)	0,10
S/(S+R) Hopanes (C31)	0,28
Ts/Tm	0,27
Tricyclic Terpanes/Hopanes	0,08
% short Chain Steranes	8,72



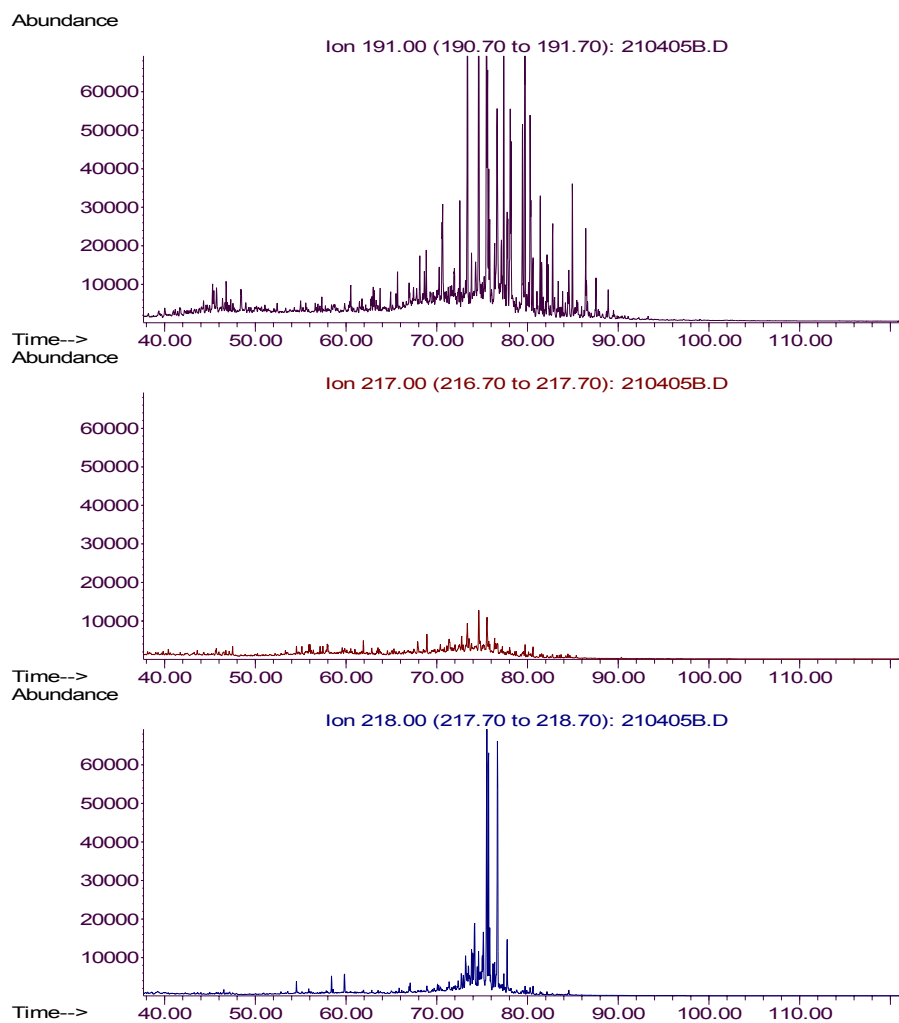
Biodegradation Parameters

C29 25-Norhopane/C30 Hopane	0,04
-----------------------------	------



SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 38-130





SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 38-130





SATURATED BIOMARKER REPORT

DATA FILE:070405E.D

SAMPLE NAME:Extracto La Piñalerita PIN 34-50

MASS 191.2

	COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A	C20 Tricyclic Terpane	48,42	2655	Ts/Tm	0,15
B	C21 Tricyclic Terpane	51,56	160	Gammacerane/Hopane	0,07
C	C22 Tricyclic Terpane	54,10	275	C29/C30 Hopane	1,04
D	C23 Tricyclic Terpane	57,23	646	Oleanane/Hopane	0,17
E	C24 Tricyclic Terpane	58,77	90	Tet24/Hopane	0,03
F	C25 Tricyclic Terpane	61,82	197	Tet24/Tri26	3,18
G	C24 Tetracyclic Terpane	63,69	734	C20/C23 Tricyclics	4,11
H	C26 Tricyclic Terpane (22S)	64,08	231	C23tri/Hopane	0,03
I	C26 Tricyclic Terpane (C22)	64,27	165	25Nor/Hopane	0,04
J	C28 Tricyclic Terpane (22S)	68,80	2362	C31S/S+R Hopanes	0,24
K	C28 Tricyclic Terpane (C22)	69,19	259	C29 Ts / C29 Hopane	0,33
L	C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,38	324		
M	C29 Tricyclic Terpane (C22)	70,62	1742		
N	C27 18a(H) Trisnorhopane (	71,90	1085		
O	C27 17a(H) Trisnorhopane (	72,51	7219		
P	C30 Tricyclic Terpane (C22)	73,37	19811		
Q	C30 Tricyclic Terpane (C22)	74,56	1219		
R	C29 17a(H), 21b(H) 25-Norh	75,00	826		
S	C29 17a(H), 21b(H)-Norhopa	75,56	23510		
T	C29 17b(H), 21a(H)-Normore	76,69	12399		
U	OLEANANE	77,14	3908		
V	C30 17a(H), 21b(H)-Hopane	77,42	22593		
W	C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,48	9443		
X	C31 17a(H) 21b(H)-Homohopa	79,79	30568		
Y	GAMMACERANE	79,96	1522		
Z	C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,06	1410		
a	C32 17a(H) 21b(H)-bishomoh	81,41	9047		
b	C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	82,99	987		
c	C33 17a(H) 21b(H)-trishomo	83,38	2442		
d	C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	84,96	13227		
e	C34 17a(H) 21b(H)-tetrahom	85,53	731		
f	C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	86,78	135		
g	C35 17a(H) 21b(H)-pentaomo	87,52	3596		
h	C29 Ts	75,73	7717		



SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME:Extracto La Piñalerita PIN 34-50

MASS 217.2

	COMPOUND	TIME	HEIGHT	RATIO	
A	C21 abb Sterane	54,66	76	S21/29R	0,03
B	C22 abb Sterane	57,99	323	DIA27/27R	0,75
C	C27 ba Diasterane (20S)	66,70	276	29S/29R	0,40
D	C27 ba Diasterane (20R)	67,41	118	29S/29S+R	0,28
E	C27 ab Diasterane (20S)	68,45	424	29BB/R	0,64
F	C27 ab Diasterane (20R)	68,76	149	29BB/29BB+R	0,63
G	C27aaaa Sterane (20S)	70,27	767	BB/AA+BB C29	0,31
H	C27abb Ster (20R)+ C29 ba	70,27	766	27/29BB	0,21
I	C27abb sterane (20S)	70,64	114	28/29BB	0,34
J	C27 aaa Sterane (20R)	71,08	369	30/29BB	1,31
K	C29 ba Diasterane (20R)	71,25	370		
L	C28aaa Sterane (20S)	72,35	724	%27	11,51
M	C28abb Sterane (20R)	72,74	277	%28	25,05
N	C28abb Sterane (20S)	72,96	608	%29	63,44
O	C28aaa Sterane (20R)	73,55	510		
P	C29aaa Sterane (20S)	74,26	866	SUM STER/SUM HOPANES	0,06
Q	C29abb Sterane (20R)	74,63	504	SUM TRI/SUM HOPANES	0,06
R	C29abb Sterane (20S)	74,80	893		
S	C29aaa Sterane (20R)	75,56	2183		
T	C30aaa Sterane (20R)	76,10	101		
U	C27abb Sterane (20S) m/z 2	70,36	312		
V	C27abb Sterane (20R) m/z 2	70,56	184		
W	C28abb Sterane (20R) m/z 2	72,68	488		
X	C28abb Sterane (20S) m/z 2	72,90	591		
Y	C29abb Sterane (20R) m/z 2	74,56	1454		
Z	C29abb Sterane (20S) m/z 2	74,80	1279		
a	C30abb Sterane (20R) m/z 2	76,21	1907		



Organic Geochemical Analysis

Summary Parameter

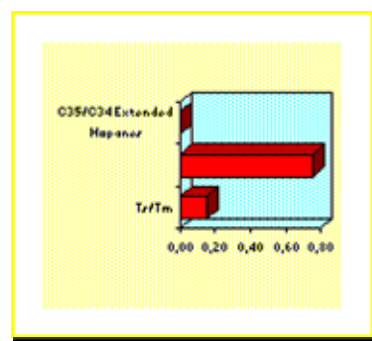
SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 34-50

Depositional Environment

Parameters

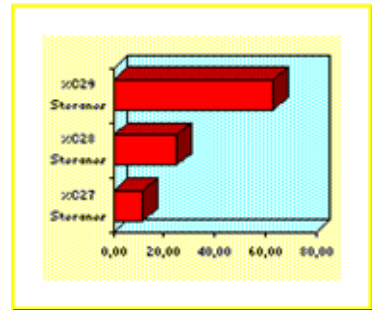
Lithology

Ts/Tm	0,15
Diasterane/Regular Sterane	0,75
C35/C34 Extended Hopanes	0,01
Tricyclic Terpanes/Hopanes	0,06



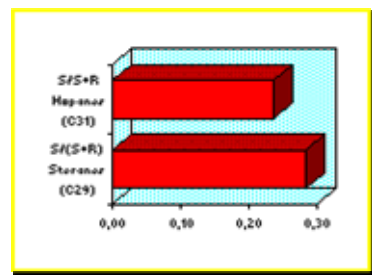
Organic Facies

%C27 Steranes	11,51
%C28 Steranes	25,05
%C29 Steranes	63,44
C30/C29 Steranes	1,31
C24 Tetracyclic/C26 Tricyclic Terpane	3,18
C23 Tricyclic/C24 Tetracyclic Terpane	0,88
C29 Norhopane/C30 Hopane	1,04
Oleanane/C30 Hopane	0,17
Gammacerane/C30 Hopane	0,07
Steranes/Hopanes	0,06



Maturity Parameters

S/(S+R) Steranes (C29)	0,28
S/(S+R) Hopanes (C31)	0,24
Ts/Tm	0,15
Tricyclic Terpanes/Hopanes	0,06
% short Chain Steranes	3,98



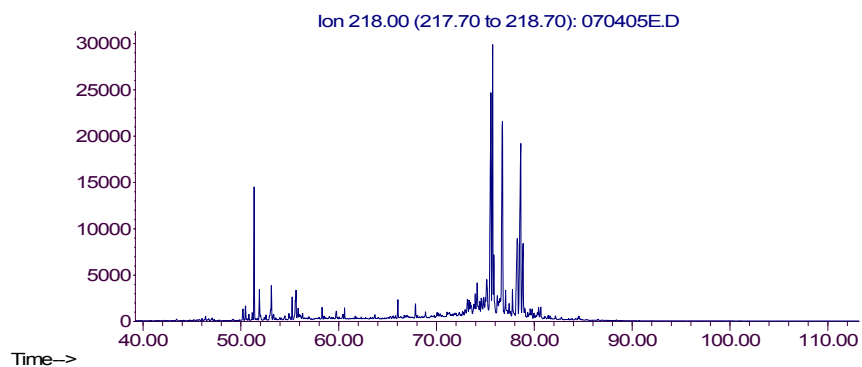
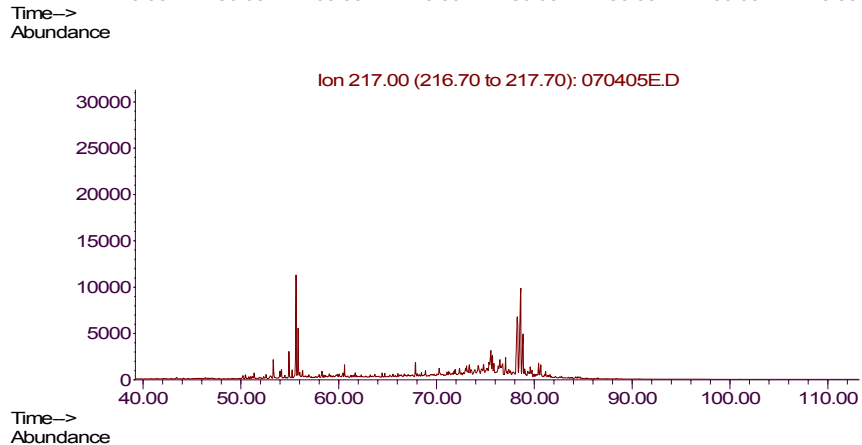
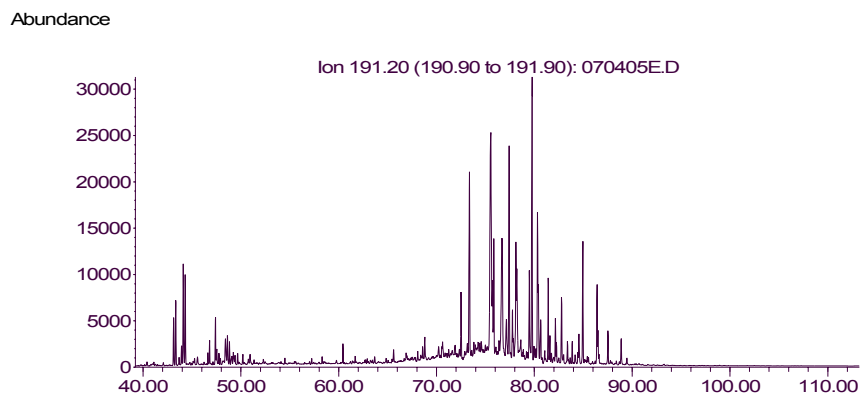
Biodegradation Parameters

C29 25-Norhopane/C30 Hopane	0,04
-----------------------------	------



SATURATED BIOMARKER REPORT

SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 34-50





SAMPLE NAME: Extracto La Piñalerita PIN 34-50



