

## Geoquímica Orgánica de las unidades sedimentarias de la Cuenca Central de Falcón

Manuel Martínez 1, Jean Montero 2, José Vicente Gutiérrez1, y César González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Av. Los Ilustres, Los Chaguaramos, Caracas.

<sup>2</sup> Université Lille 1, Sciences de la Terre, UMR 8110 and FR1818, bâtiment SN5, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France.

[manmarti@ciens.ucv.ve](mailto:manmarti@ciens.ucv.ve)

### Resumen

La Cuenca Central de Falcón está conformada por una espesa secuencia sedimentaria terciaria, que contiene varios intervalos de arcillitas con materia orgánica, así como carbones. En vista de la ocurrencia de numerosos menes y campos petrolíferos, es importante establecer el tipo, cantidad y calidad de la materia orgánica en la cuenca, pues puede ayudar a orientar estudios exploratorios posteriores. En base a lo anterior y aprovechando que se cuenta con un total de aproximadamente 800 muestras colectadas durante 5 años para un estudio quimioestratigráfico integrado de la secuencia, se efectuó un estudio de la materia orgánica extraíble (bitumen) en un total de 30 muestras seleccionadas por su alto contenido de carbono orgánico, entre lutitas, margas y carbones, colectadas de puntos estratigráficamente controlados provenientes de las formaciones El Paraíso, Pecaya, Pedregoso, Agua Clara, Cerro Pelado, Querales, Socorro y Urumaco, correspondientes todas al intervalo Oligoceno-Mioceno. Los bitúmenes fueron sometidos a fraccionamiento SARA, y se analizaron las respectivas fracciones de hidrocarburos saturados y aromáticos, por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, inspeccionando en detalle la distribución de los biomarcadores n-alcenos, isoprenoides, esteranos, terpanos, naftalenos y fenantrenos, mediante los iones m/z 113, 142, 156, 178, 191, 192, 217, entre otros de interés. Materia orgánica continental es la característica principal de las formaciones Cerro Pelado, Urumaco y Socorro; las restantes unidades exhiben materia orgánica eminentemente marina y / o mixta. Las formaciones El Paraíso, Pecaya y Pedregoso están sobremaduras; Agua Clara y Cerro Pelado se hallan en ventana de petróleo, si bien Cerro Pelado está apenas entrando en catagénesis; las unidades suprayacentes son totalmente inmaduras. Las lutitas de Agua Clara se perfilan como las mejores rocas fuente de entre las estudiadas.

### Abstract

The Falcon Central Basin comprises a thick tertiary sedimentary sequence, containing several black-

organic shale strata, as well as coals. Occurrence of oil seeps and petroleum fields require the establishment of type, amount and quality of organic matter inside this basin, helping to a better orientation in exploratory studies. On the basis of that, and taking in account the accumulative inventory of around 800 rock samples collected during last 5 years for an integrated chemostratigraphic study of the sequence, a study of the extracted organic matter (bitumen), in 30 samples selected on the basis of high carbon content, including argillite, marl, and coal samples, collected from stratigraphically controlled points, from the formations El Paraíso, Pecaya, Pedregoso, Agua Clara, Cerro Pelado, Querales, Socorro and Urumaco, all them from the Oligocene – Miocene interval. Bitumen extracts from the samples were subject to SARA conventional fractionation, and the saturates and aromatic fractions were analyzed by GC-MS, inspectioning with detail the distribution of n-alkanes, isoprenoids, steranes, terpanes, naphthalenes and phenantrenes, by monitoring the ions m/z 113, 142, 156, 178, 191, 192, 217, among others. Continental organic matter (terrestrial vegetation) is the main feature in Cerro Pelado, Urumaco and Socorro formations; the other studied units exhibit predominantly marine organic matter; some cases, mixed organic matter. Formations El Paraíso, Pecaya and Pedregoso are overmature; Agua Clara and Cerro Pelado are in the oil window (catagenesis stage), although Cerro Pelado is beginning in this stage; more younger units are all immature. Mudstones from Agua Clara Formation show good features as source rock.

**Palabras clave:** Cuenca de Falcón, roca fuente, sistema petrolífero, madurez, tipo de materia orgánica

### Introducción

La Cuenca de Falcón se ubica al noroeste de Venezuela. Es una cuenca terciaria, con una extensión geográfica de aproximadamente 36.000 km<sup>2</sup> y un volumen de sedimentos de 161.000 km<sup>3</sup> (González de Juana et al., 1980). Entre las cuencas petrolíferas de

## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón

Venezuela, la de Falcón es la que menores reservas de hidrocarburos líquidos posee; por el contrario, presenta significativas reservas de gas y yacimientos de carbón.

En la columna estratigráfica de la Cuenca Central de Falcón, son varias las unidades que poseen materia orgánica preservada (Boesi y Goddard, 1991). Destacan las formaciones Agua Clara, Pecaya, Cerro Pelado y Pedregoso; otras unidades contienen también materia orgánica, aunque limitada a reducidas secciones (formaciones El Paraíso, Querales). La presencia de menes y campos petroleros en la región, con diferentes características geoquímicas, hacen sospechar de la presencia de más de un sistema petrolífero en esta compleja cuenca. En la literatura geológica son reducidos los trabajos dirigidos hacia el estudio geoquímico de las diferentes unidades que conforman la secuencia central de Falcón, y son prácticamente inexistentes las evaluaciones geoquímicas de madurez o condiciones de acumulación de materia orgánica en estas formaciones. Los muy escasos trabajos encontrados consisten en informes internos de PDVSA, o tesis de grado aisladas.

En este trabajo se realiza un estudio de la composición y distribución de biomarcadores sobre la fracción soluble de la materia orgánica contenida en carbones, lutitas, calizas y margas, que se encuentra preservada en secuencias oligo-miocenas de la Cuenca Central de Falcón. La finalidad del estudio es la determinación de los estados de madurez alcanzados por las distintas unidades que aparecen expuestas en el anticlinorio de Falcón, y establecer estimaciones aproximadas de la dependencia de la madurez con la edad y / o con la profundidad alcanzada por la secuencia.

### Experimental

Como producto de un conjunto de tesis de grado financiadas por varios proyectos PDVSA Visión País (VIPA) y por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV, se ha logrado acumular un conjunto de más de 800 muestras de roca, estratigráficamente controladas, provenientes de las distintas unidades que conforman la Cuenca de Falcón Central. Se hizo una selección de 30 muestras, representativas de diferentes tramos de la columna general de la cuenca, y que tuviesen como característica química fundamental, la presencia de carbono orgánico; desde el punto de vista litológico, que estuviesen totalmente frescas, y fuesen litotipos de

grano fino (arcillitas, lodolitas calcáreas). Con estas premisas, se pudo contar con muestras distribuidas a lo largo de la secuencia, como se aprecia en la figura 1.

Las distintas muestras, preparadas para los ensayos químicos, fueron sometidas a extracción Soxhlet exhaustiva, utilizando diclorometano destilado y seco como solvente; unos cuantos hilos de cobre (previamente activado con HCl 2 M por 15 minutos) se añadieron al balón para atrapar el posible azufre arrastrado con el solvente. Luego de rotaevaporar el mismo, el bitumen obtenido fue cuantificado y fraccionado, mediante precipitación de los asfaltenos y cromatografía de columna sobre los maltenos, a fin de separar las familias de saturados y aromáticos.

Las fracciones de hidrocarburos saturados y aromáticos fueron llevadas a un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (CG-EM) Agilent modelos 6890 y 5973N respectivamente. Se empleó una columna HP-1 de 30 m de longitud, diámetro interno 0,25mm., espesor del material activo 0,25 $\mu$ m. Se utilizó helio como gas de arrastre. La presión del sistema fue de 9,38 psi. El programa de calentamiento fue: una temperatura inicial de 80°C por 10 minutos; una 1ª tasa de calentamiento de 4°C/min. hasta llegar a 270°C, manteniéndose luego el horno isotérmico a esta temperatura por 30 minutos, para luego iniciar una segunda tasa de calentamiento de 4°C/min. hasta llegar a 300°C, manteniendo esta última temperatura por 10 min., para un tiempo total de análisis de 105 minutos. El cromatógrafo de gases se programó en la modalidad impacto de electrones (IE) con una energía de ionización de 70 eV. La cantidad de muestra utilizada fue de 0,2  $\mu$ L. Los datos de los espectros de masas fueron obtenidos y procesados utilizando el software *ChemStation* propio del equipo CG-EM.

### Resultados

#### *Distribución de n-alcenos e isoprenoides*

Las muestras con el mayor contenido de bitumen extraíble, excluyendo a los carbones por razones obvias, fueron las de la Formación Agua Clara. En contraste, la concentración de bitumen extraíble a partir de las lutitas y carbones de la Fm. El Paraíso fue apenas perceptible; en su lugar, se obtuvo cristales bien desarrollados de azufre monoclinico, variedad inorgánica que es soluble en diclorometano, el solvente utilizado para las extracciones del bitumen.

## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón

La distribución de biomarcadores en la fracción de hidrocarburos saturados proporciona información extensa sobre el tipo de materia orgánica y las condiciones de acumulación y preservación; igualmente arroja luces sobre las condiciones de maduración de los restos orgánicos. La distribución de n-alcenos (ión 113 en los fragmentogramas) indica claramente el predominio de materia orgánica continental en la Formación Cerro Pelado. En contraste, materia orgánica eminentemente marina es la precursora en las formaciones Pecaya, Pedregoso y Agua Clara; en las unidades Paraíso, Socorro y Urumaco, se detecta un aporte mixto.

La relación Pristano a Fitano (Pr/Fi) proporciona un estimado del grado de carácter óxico o anóxico del

medio sedimentario de acumulación de la materia orgánica: valores menores a 1 señalan condiciones anóxicas, mientras que valores superiores a la unidad reflejan condiciones más oxidantes. Los altísimos valores de pristano en las muestras de Cerro Pelado, Socorro y Urumaco son propios de medios continentales a transicionales, con aporte continental o mixto, donde predominan condiciones básicamente óxicas. La preservación de la materia orgánica es ocasionada más por la cantidad de biomasa acumulada que por sus condiciones reductoras. Estas condiciones son las típicas de medios de pantano y marismas, sobre todo si son formadas por domos de turberas, como en los medios modernos.

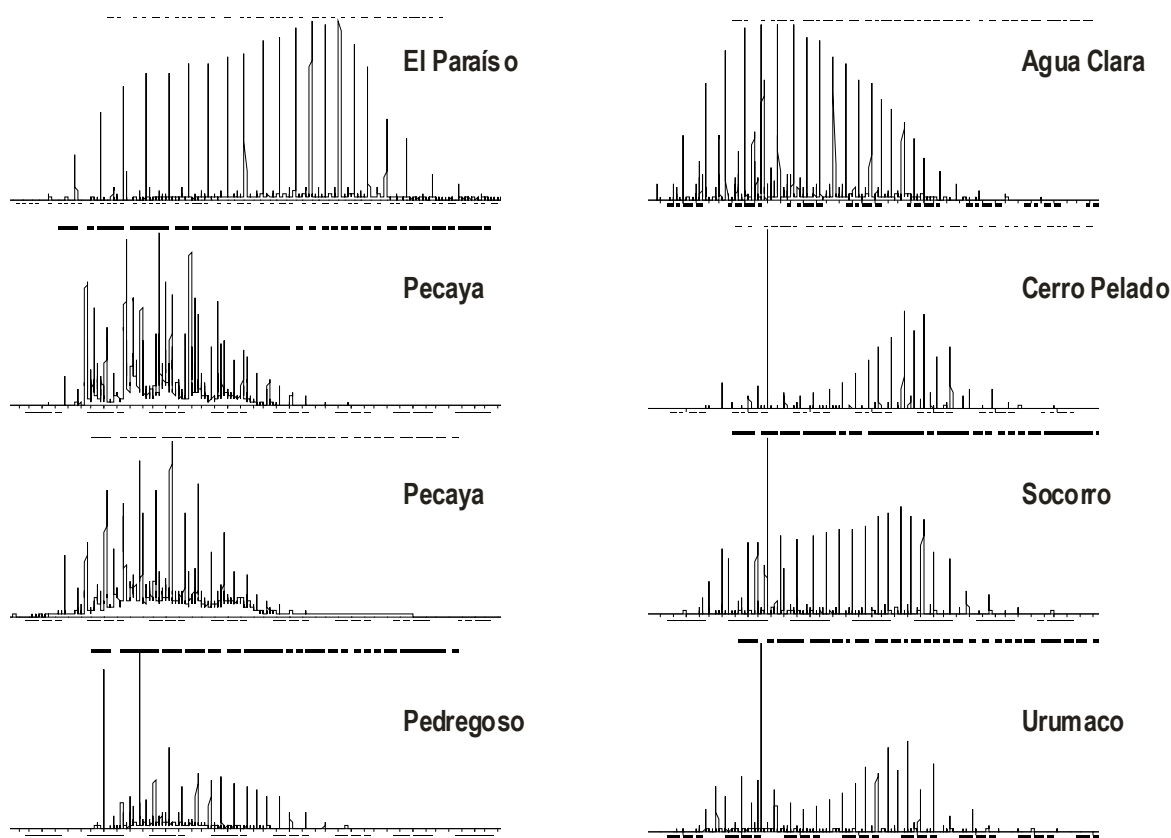


Figura 1: Distribución de n-alcenos e isoprenoides en las distintas unidades de la Cuenca de Falcón.

La figura 2 ya va delineando en forma aproximada las condiciones relativas de las distintas unidades, en lo concerniente a su materia orgánica presente. La distribución de las unidades revela que las condiciones más reductoras prevalecieron durante la depositación de Pedregoso y Pecaya; las condiciones más óxicas se presentaron en Cerro Pelado.

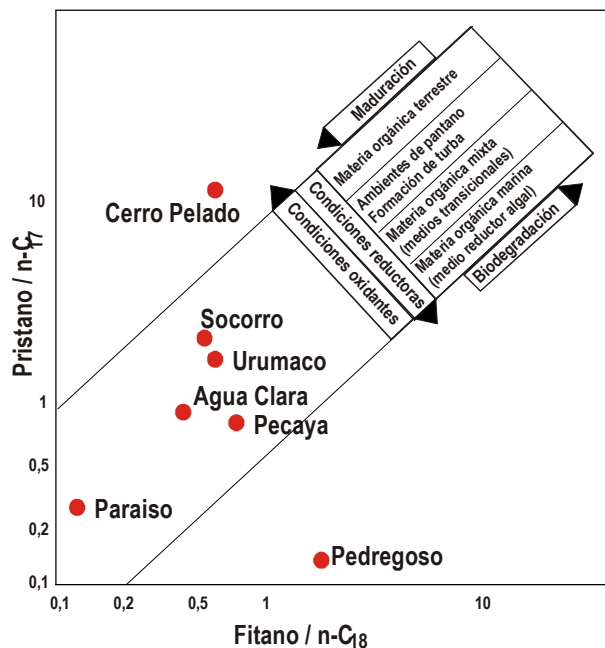


Figura 2: Relación Pristano/nC<sub>17</sub> vs. Fitano/nC<sub>18</sub> para las unidades de la Cuenca de Falcón

Orden estratigráfico      Orden de madurez

<b>Tope</b>	Urumaco	Cerro Pelado
	Socorro	Socorro
	Cerro Pelado	Urumaco
	Agua Clara	Pecaya
	Pedregoso	Agua Clara
	Pecaya	Pedregoso
<b>Base</b>	Paraíso	Paraíso

Las relaciones utilizadas para la construcción del gráfico de la figura 2 constituyen sólo una guía aproximada, pues están influenciadas por otros factores; por esta razón, como se verá más adelante, son los hidrocarburos aromáticos los que aportan información más fidedigna acerca de las condiciones de madurez de la materia orgánica.

### Distribución de esteranos y terpanos

El ión 191 permite visualizar la distribución de los terpanos tri, tetra y pentacíclicos. En la figura 3 se presenta un fragmentograma típico, correspondiente a este ión. Un índice importante extraído del análisis de este ión es la relación 22S/(22R + 22S) en el hopano C<sub>31</sub>.

Tabla 1: Índices obtenidos a partir de los hopanoides

Unidad	22S/(22R + 22S) Hopano C <sub>31</sub>	17[αβ] / (17[αβ] + 17[βα]) en hopanoides C <sub>30</sub>
Paraíso	0,6	0,90
Pecaya	0,6	0,87
Pedregoso	0,6	0,87
Agua Clara	0,5	0,78
Cerro Pelado	0,5	0,76
Socorro	0,6	0,75
Urumaco	0,6	0,64

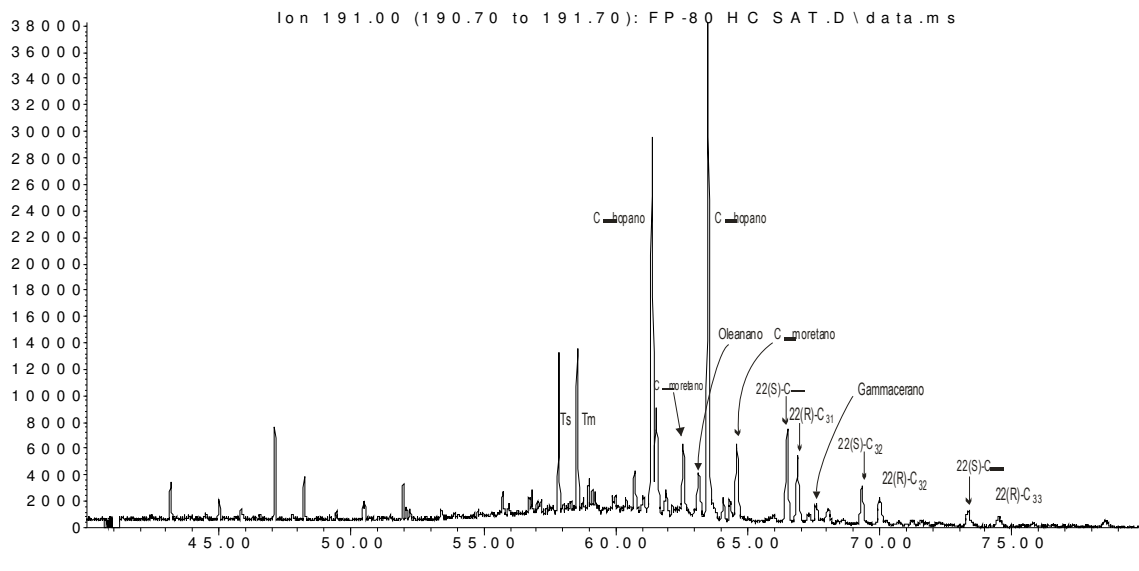
Como se puede apreciar de la tabla anterior, para todas las muestras se ha evidenciado la racemización completa de los carbonos quirales en el hopano C<sub>31</sub>. Resultado idéntico (no mostrado en la tabla) se apreció con el hopano C<sub>32</sub>. Contrariamente a la relación anterior, la proporción relativa de hopano C<sub>30</sub> a su homólogo moretano (Killops et al., 2003) mostró una tendencia de incremento sostenido con el aumento de la madurez, como se aprecia en la misma tabla.

La distribución de esteranos (ión 217) es muy pobre para la mayoría de las muestras estudiadas, siendo muy pocas en las que se pudo elucidar las señales.

### Distribución de hidrocarburos aromáticos

Fueron monitoreados los iones 128, 142, 156 y 180, a fin de determinar la distribución del naftaleno y sus derivados alquilados (metil, dimetil, y trimetil naftalenos). Sin embargo, estos aromáticos son de utilidad limitada debido a su alta sensibilidad a la alteración por lavados y meteorización, así como su relativamente alta volatilidad, lo que los hace poco atractivos para estudios geoquímicos, a pesar de que la literatura abunda en índices y parámetros calculados a partir de estas moléculas. Para las muestras analizadas en el presente trabajo, sólo se detectó el conjunto completo de biomarcadores en las muestras de Pedregoso y Agua Clara.

Abundance



Time -->

Figura 3: Fragmentograma (ión 191) correspondiente a la distribución de terpanos en una muestra de la Formación Pedregoso, en la que se aprecian bien resueltos los principales hopanoides.

Las señales correspondientes a los triaromáticos fenantreno y los metil fenantrenos (iones 178 + 192) aparecen bien resueltos en todas las muestras. A partir de las intensidades relativas del fenantreno y de los distintos metilfenantrenos (figura 4) se calcularon varios parámetros de interés geoquímico, que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2: Parámetros derivados de fenantrenos

Muestra	MPR	MPI-1	%R <sub>c</sub>
Paraíso	1,25	0,52	1,98
Pecaya	1,66	0,80	1,81
Pedregoso	3,33	0,37(?)	
Agua Clara	1,66	1,05	1,03
Cerro Pelado	1,03	0,73	0,84
Socorro	1,00	0,61	0,77
Urumaco	0,80	0,44	0,66

$$\text{MPR} = 2\text{MP} / 1\text{MP}$$

$$\text{MPI-1} = 1,5 * [(2\text{MP}+3\text{MP})/(P+1\text{MP}+9\text{MP})]$$

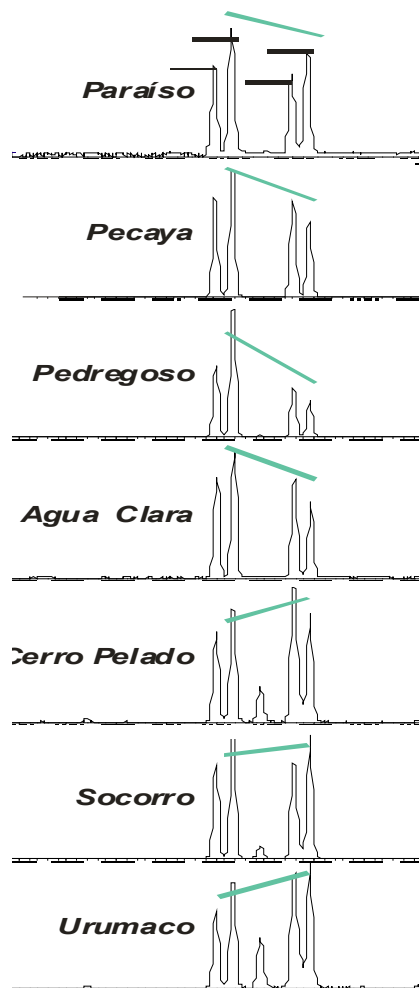
$$\%R_c = (0,60 * \text{MPI-1} + 0,40) \text{ Ecuación 1 (para } R_o < 1,35)$$

$$(-0,60 * \text{MPI-1} + 2,30) \text{ Ecuación 2 (para } R_o > 1,35)$$

Donde

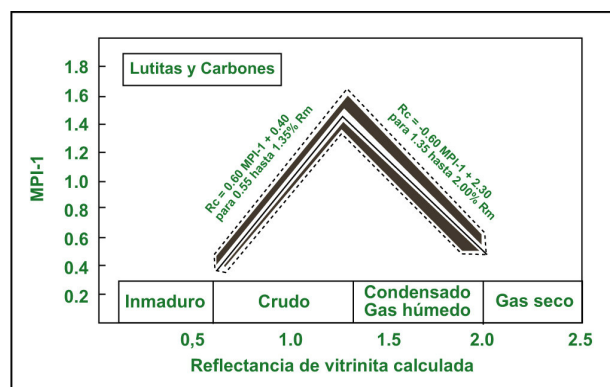
P	Fenantreno	MPR	Relación de metilfenantrenos
1MP	1-Metilfenantreno	MPI-1	Índice de metilfenantrenos
2MP	2-Metilfenantreno	%R <sub>c</sub>	Reflectancia calculada
3MP	3-Metilfenantreno	%R <sub>o</sub>	Reflectancia de vitrinita
9MP	9-Metilfenantreno		

Figura 4: Distribución de los metilfenantrenos en las distintas unidades. Se aprecia el predominio de los isómeros geológicos (2MP, 3MP) sobre los biológicos (1MP, 9MP) en las muestras son más maduras. La señal central corresponde a antraceno.



## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón

La tabla anterior permite establecer que los índices derivados de los fenantrenos aislados (el MPR) no proporcionan información coherente sobre madurez. Ya Radke y Welte (1981) puntualizaron que este parámetro no es sólido como indicador térmico, contrariamente al Índice de metilfenantrenos (MPI-1), uno de los mejores estimadores conocidos de madurez a partir de biomarcadores. El MPI-1 guarda una relación estrecha lineal con la Reflectancia de la vitrinita (%Ro), y de hecho a partir de este parámetro puede obtenerse una reflectancia calculada (%Ro) (figura 5).



**Figura 5: Dependencia del MPI-1 con la reflectancia calculada.**

Se calcularon las reflectancias a partir de los valores de MPI-1 (tabla 2). Un rápido vistazo a estos valores permite apreciar que la herramienta está arrojando valores altos (al menos 0,2 unidades por encima de los esperados) para las muestras muy inmaduras – caso de Urumaco, Socorro y Cerro Pelado). A partir de Agua Clara, los resultados son cónsonos tanto con la literatura como con los análisis inmediatos en los carbones de Paraíso (del Olló, 1994; Canónico et al., 2004; Lastra, 2004; Montero, 2007).

Las formaciones Urumaco y Socorro son inmaduras; la Formación Cerro Pelado está entrando en ventana de petróleo; Agua Clara se encuentra en etapa de generación. Las restantes unidades, Pedregoso, Pecaya y Paraíso se hallan sobremaduras. La Formación Agua Clara es la que presenta, de entre todas las unidades estudiadas, las mejores características para perfilarse como roca fuente de hidrocarburos, tanto por la calidad y cantidad de la

materia orgánica contenida, como por la madurez en la que se halla.

### *Relación entre la madurez medida y la profundidad*

La Cuenca de Falcón, y en particular la sección central destaca por el número relativamente grande de unidades sedimentarias y los espesores de las secuencias medidas en el campo. Y este hecho se hace más relevante al recordar que es una cuenca muy joven, que se independiza de la sedimentación de la Cuenca del Lago de Maracaibo hacia el Eoceno – Oligoceno (transición Jarillal – Paraíso en Purureche; Jarillal – Castillo en Baragua).

Los estimadores de madurez obtenidos a partir de la distribución de fenantrenos proporcionan un orden sólido de maduración. Cabe ahora constatar la posible relación entre la madurez medida y la profundidad de soterramiento alcanzada por las distintas unidades de la secuencia.

**Tabla 3: Espesores de las unidades de la Cuenca de Falcón, y su acumulación en la columna.**

UNIDAD	Espesor de la unidad (m)	Espesor acumulado (m)
San Gregorio	570	570
Codore	750	1320
Urumaco	1670	2990
Socorro	1570	4560
Querales	570	5130
Cerro Pelado	1000	6130
Agua Clara	1700	7830
Pedregoso	680	8510
Pecaya	2000	10510
Paraíso	1000	

Asumiendo los espesores reportados en la bibliografía para las distintas unidades de la Cuenca de Falcón, se obtienen los espesores acumulados que se presentan en la tabla 3, y que sirven de base para elaborar los nomogramas de las figuras 6 y 7.

Como se puede apreciar, los valores de madurez calculados en este trabajo no apoyan los valores de profundidad calculados a partir de los espesores acumulados de la tabla 3. Si se asume un gradiente geotérmico razonable para la Cuenca de Falcón de 30°C/Km, tan sólo Socorro y Urumaco coinciden en sus estimaciones de madurez obtenidas a través de la reflectancia calculada con las profundidades determinadas con este gradiente. Ya a partir de Cerro

## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón

Pelado aparecen inconsistencias, que se agravan a medida que se profundiza en la cuenca.

La línea de tendencia que uniría los puntos de cada unidad en la figura 6 (también en la figura 7) no se corresponde con ningún valor de gradiente geotérmico, lo que significa que, o bien ocurrieron cambios en el valor de gradiente geotérmico a lo largo del tiempo geológico de acumulación de la Cuenca, o lo que parece más plausible, que los espesores no son correctos.

*¿Cómo interpretar la discrepancia en los espesores?*

Aunque en el análisis de este trabajo no se están tomando en cuenta otros aspectos de la historia y evolución de la cuenca, como por ejemplo, la actividad tectónica singular que ha sufrido, la inversión de la misma, así como la erosión verificada a partir del Plioceno, los resultados indican que los espesores reales de la secuencia sedimentaria en la Cuenca de Falcón son mucho menores que los que derivan de la suma de los espesores de las unidades individuales. Con un gradiente geotérmico de 30 °C / Km, la Formación El Paraíso, la más antigua y que debe haber sufrido la diagénesis más intensa, debió llegar a una profundidad entre los 5 y 6 Km, dependiendo de cuál de los nomogramas anteriores se tome como más cercano a la situación de la Cuenca de Falcón. Sin embargo, el espesor acumulado proporciona para esta unidad un valor mayor a los 11 Km. En otras palabras, existe una sobreestimación en los espesores del orden del doble.

El análisis de la secuencia en el campo permite apreciar que algunas secciones no son nada fáciles de medir. Un ejemplo es la Formación Cerro Pelado, una unidad sin afloramientos continuos, y sometida a una compleja tectónica, que muy fácilmente proporcionaría valores sobreestimados de espesor, por repetición de secuencia.

Un segundo caso muy elocuente es Pecaya. Esta unidad gobernada por lutitas, monótona, puede fácilmente ocultar sobrecorrimientos, que no se identifican a falta de afloramientos apropiados que los revelen. En la carretera Purureche – Pedregal se encuentra uno de los pocos lugares donde puede seguirse esta unidad, y aún aquí, son mucho mayores los intervalos cubiertos que los que exhiben afloramientos.

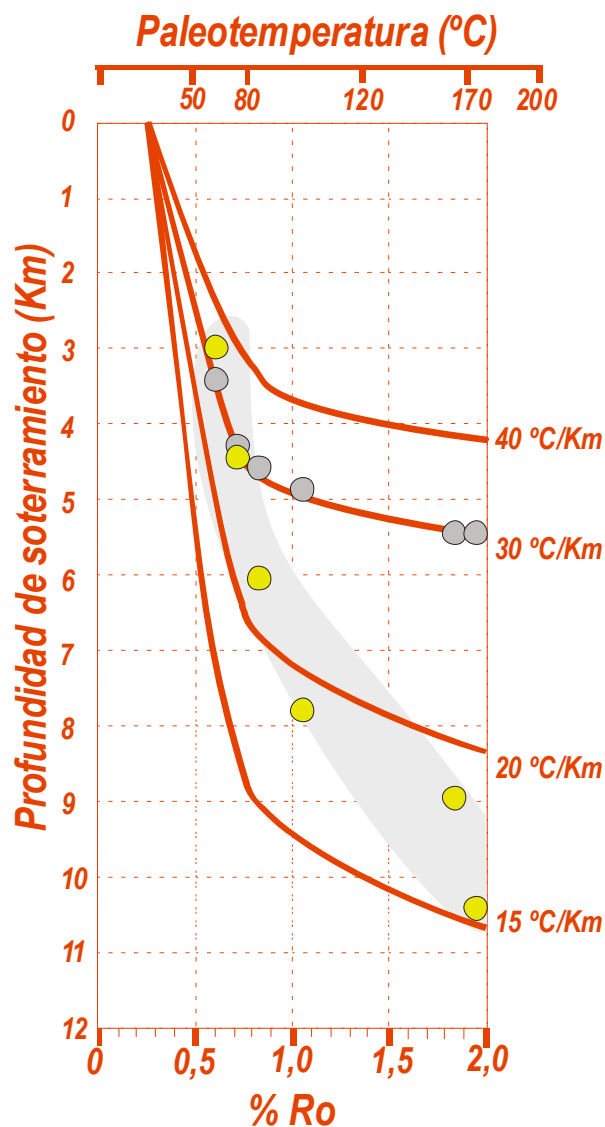
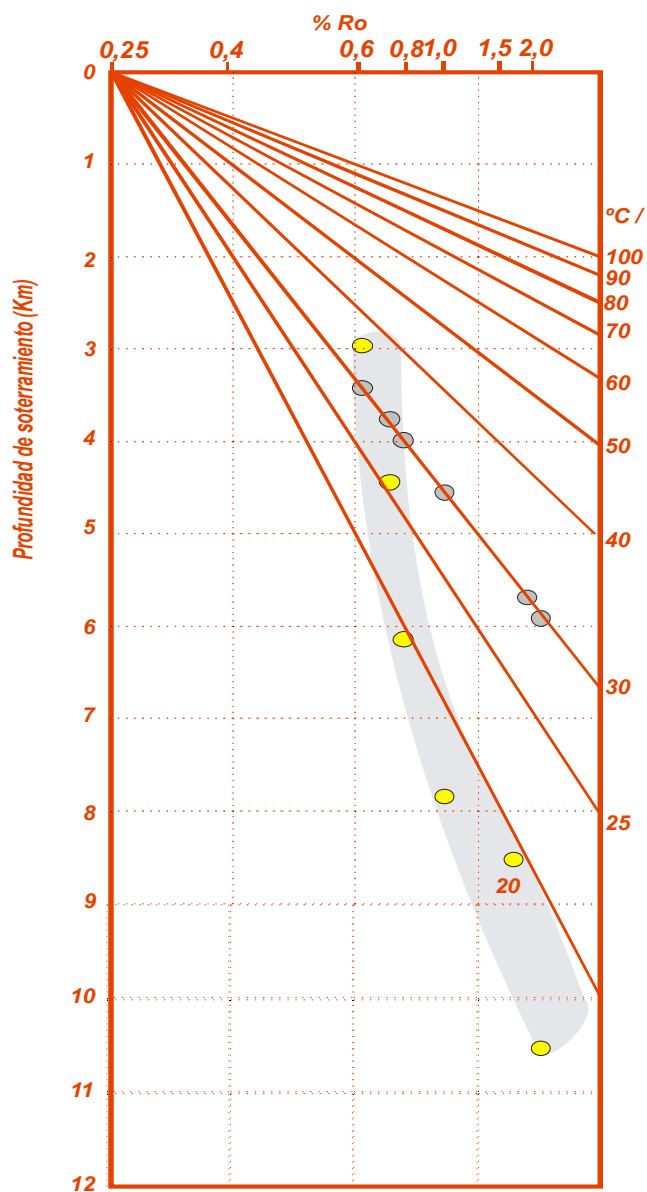


Figura 6: Nomograma que relaciona la reflectancia de vitrinita con la profundidad de soterramiento, y con el gradiente geotérmico. Los puntos en gris proporcionan los valores de profundidad esperados para las unidades de la Cuenca de Falcón admitiendo un gradiente de 30 °C/Km; los puntos amarillos corresponden a las profundidades calculadas admitiendo los espesores de la tabla 3.

*Fuentes de error en los resultados obtenidos*

Es importante destacar aquí que la aplicabilidad de algunos de los biomarcadores utilizados depende del

## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón



**Figura 7:** Nomograma similar al de la figura 6, y que al igual que el anterior, revela que las profundidades derivadas de los espesores acumulados no son correctas.

contexto en el que se encuentran. La litología puede afectar la distribución de ciertos biomarcadores, específicamente los tiofenos y sus derivados fenílicos, razón por la que no fueron utilizados en este trabajo, aún cuando fueron detectados y estudiados. Las relaciones de pristano a fitano, así como las proporciones de estos isoprenoides a los n-alcenos dependen tanto del tipo de materia orgánica

como de la madurez, razón por la cual uno de estos parámetros debería estar fijo al momento de utilizarlos. Por otra parte, el tipo de materia orgánica puede ser responsable de la dispersión arrojada por algunos de los datos mostrados en este trabajo. No obstante, no invalidan las tendencias mostradas aquí, sobre todo porque los resultados son coherentes entre sí, aún cuando provienen de biomarcadores independientes entre ellos (por ejemplo, relaciones entre hidrocarburos aromáticos y alifáticos).

### Conclusiones

Los resultados derivados del estudio de la composición orgánica de las rocas de la Cuenca de Falcón ha permitido concluir que:

\*La materia orgánica contenida en las unidades oscila entre marina (Pecaya, Pedregoso y Agua Clara), continental (Cerro Pelado) y mixta (Urumaco, Socorro, Paraíso).

\*Predominaron condiciones reductoras en Pedregoso, y en menor grado en Pecaya. Medios más ricos en oxígeno estuvieron presentes durante la acumulación de la materia orgánica de Cerro Pelado, Socorro y Urumaco.

\*Los valores de madurez obtenidos a partir de distintos parámetros de geoquímica orgánica, y muy particularmente la distribución de metilfenantrenos, revela que las formaciones Urumaco y Socorro son inmaduras; Cerro Pelado está entrando en ventana de petróleo; Agua Clara se encuentra en etapa de generación, mientras que Pedregoso, Pecaya y Paraíso están sobremaduras.

\* La Formación Agua Clara es la que presenta, de entre todas las unidades estudiadas, las mejores características para perfilarse como roca fuente de hidrocarburos, tanto por la calidad y cantidad de la materia orgánica contenida, como por la madurez en la que se halla.

\*La madurez alcanzada por la materia orgánica contenida en las distintas unidades de la Cuenca de Falcón no se corresponde con la profundidad aparente alcanzada. Este hecho es particularmente notable en las unidades más antiguas: Paraíso, Pecaya, Pedregoso y en menor medida Agua Clara.



## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón

Según los valores de madurez, la Formación Paraíso, por ejemplo, llegó a una profundidad no mayor a 6 Km, en fuerte contraste con la profundidad calculada para esta unidad, de 10,5 Km (el tope).

### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el CDCH de la UCV a través del Proyecto PI-03.00.5857.2005, y por el FONACIT, a través del Proyecto de Fortalecimiento al Instituto de Ciencias de la Tierra, año 2006.

### Referencias

Amijaya, H., Schwarzbauer, J., Littke, R. (2006). Organic geochemistry of the Lower Suban coal seam South Sumatra Basin, Indonesia: palaeoecological and thermal metamorphism implications. *Organic Geochemistry* 37, 261-279.

Armstroff, A., Wilkes, H., Schwarzbauer, J., Littke, R. Hornsfield, B. (2006) Aromatic hydrocarbon biomarkers in terrestrial organic matter of Devonian to Permian age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 240, 253-274.

Audemard, F. (1995). La Cuenca Terciaria de Falcón, Venezuela Noroccidental: síntesis estratigráfica, génesis e inversión tectónica. IX Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Venezuela. Volumen de resúmenes.

Boesi T. and Goddard D. (1991) A new geology model related to the distribution of hydrocarbon source rocks in the Falcón Basin, Northwestern Venezuela. *American Association of Petroleum Geology Memoirs*, 52, 303-319.

Canónico, U., Tocco, R., Ruggiero, A. y Suárez, H. (2004) Organic geochemistry and petrology of coals and carbonaceous shales from western Venezuela. *International Journal of Coal Geology* 57, 151-165.

Del Olló, D., Escandón, D. y Galarraga, F. (1994) Origen del petróleo en la Cuenca de Falcón. Memorias del V Simposio Bolivariano de Exploración petrolera en las cuencas subandinas, 408-410.

Díaz de Gamero, M. (1977) Estratigrafía y micropaleontología del Oligoceno y Mioceno Inferior

del Centro de la Cuenca de Falcón, Venezuela. *Geos* 22, 3-60.

Díaz de Gamero, M. (1989) El Mioceno Temprano y Medio de Falcón Septentrional. *Geos* 29, 25-35.

González de Juana C., Arozena J. y Picard C. (1980) Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves, Caracas. Tomo I y II, 1031 p.

Montero, J. (2007). Geoquímica Orgánica de la Formación Pedregoso (Mioceno Temprano), Cuenca Central de Falcón, noroeste de Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias y Facultad de Ingeniería, Postgrado en Geoquímica, Trabajo de Grado de Maestría, 117 p.

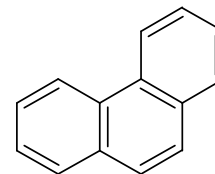
Killops, S., Cook, R., Raine, I., Weston, R., Woolhouse, T. (2003) A tentative New Zealand chemostratigraphy for the Jurassic-Cretaceous based on terrestrial plant biomarkers. *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, 46, 63-77.

Radke, M. y Welte, D. (1981) The methylphenantrene index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. *Advances in Organic Geochemistry*. 504-512.

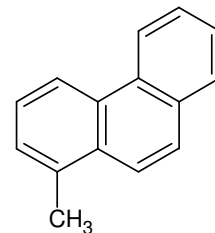
Suggate, R. (1998) Relations between depth of burial, vitrinite reflectance and geothermal gradient. *Journal of Petroleum Geology*, 22(1), 5-32.

### Apéndice

Estructura de algunos compuestos nombrados:  
Fenantreno:

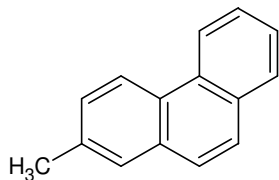


1-Metilfenantreno  
(1-MP)

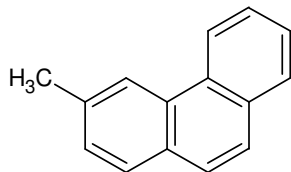


## Geoquímica Orgánica en la Cuenca de Falcón

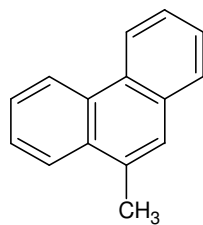
2-Metilfenantreno  
(2-MP)



3-Metilfenantreno  
(3-MP)



9-Metilfenantreno  
(9-MP)



Antraceno

