

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS  
AMBIENTES SEDIMENTARIOS**

**Trabajo final  
Formación Marcelina  
Ambientes Sedimentarios**

Participante:  
Aurora B. Piña D.  
C.I.: 13.126.747

Caracas, enero de 2009

## Formación Marcelina Generalidades

La Formación Marcelina se encuentra al norte del estado Zulia, como se muestra en la figura 1.

Figura 1: Localización de la Formación Marcelina, estado Zulia



Fuente: Léxico estratigráfico, <http://www.pdvsa.com/lexico/m21w.htm>, consulta 24/01/09

Según la información contenida en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (1997), el nombre de esta formación fue propuesta por Sutton (1946), para designar la unidad denominada por Garner (1926) Paquete de Carbón de La Rosa. Tal como fue descrita por Sutton, la formación equivale a la parte inferior de la Formación Paso Diablo de Hedberg y Sass (1937).

Sutton (*op. cit.*) describe la litología de la formación como una intercalación de areniscas, lutitas, lutitas arenosas y capas de carbón. En la base de la unidad, las areniscas son macizas, gruesas, de color gris claro y localmente calcáreas. Más arriba se hacen delgadas, están intercaladas con lutitas color gris y presentan planos de estratificación con mica y carbón. Las lutitas son de color gris oscuro a negro, con fractura concoidal o de lápices. Tanto en las areniscas como en las lutitas, se encuentran nódulos de arenisca y caliza arenosa de color gris azulado, de forma alargada y midiendo de 1.2 a 2.4 m de largo por 0.6 a 1.2 m de diámetro. El carbón es de tipo subbituminoso a bituminoso, y se presenta principalmente hacia la base de la formación, en capas de 2 hasta 10 m de espesor. En el río Socuy, Miller y San Juan (*op. cit.*) mencionan además capas de caliza y areniscas calcáreas con restos de moluscos. Las calizas son generalmente delgadas, aunque en la parte inferior de la sección, señalan una capa de 3 m. Ruíz (1983), describe en detalle la litología de la Formación Marcelina a partir de núcleos, en el área tipo, y señala areniscas gris claro a blancuzco, de grano muy fino a medio, subangulares, moderadamente escogidas, con pequeñas cantidades de mica y feldespatos; areniscas limosas gris oscuro, a veces

micáceas; conglomerados oligomícticos (asperones) y polimícticos; lodolitos y lutitas gris oscuro a negro, arcilla gris y carbón. Dicho autor indica la existencia de 25 a 30 mantos importantes de carbón, con espesores de 1 a 13 m.

En la Formación Marcelina se observa un conjunto de rocas alteradas por el calor de la oxidación (combustión) de mantos de carbón, las cuales fueron señaladas por Hedberg y Sass (*op. cit.*) González de Juana (*op. cit.*) y Sutton (*op. cit.*). Interpretadas erróneamente como de origen ígneo, fueron estudiadas en forma detallada por Moticska (1977), quien determinó tres tipos principales: porcelanitas producto de limolitas carbonáceas y en parte de areniscas finas, calizas y conglomerados; brechas soldadas y flujos de brechas formados por fragmentos líticos embebidos en roca fundida, y lavas (para-lavas) formadas por la fusión completa del material rocoso. Todas estas variedades presentan diversas tonalidades de rojo, marrón y ocre.

### **Ambientes sedimentarios para la formación de carbón** **Ambientes palustres o paludales**

Méndez (2006) explica que los ambientes paludales constituyen los medios sedimentarios que forman los pantanos, los cuales se desarrollan en aguas someras sobre zonas muy llanas. La escasa profundidad del agua permite la formación de una vegetación característica que se puede extender por gran parte del pantano. Además de la existencia de una depresión, se requiere abundancia o frecuencia de lluvias o del agua dulce derivados de los ríos y deltas que inundan las llanuras fluviales y deltaicas. Los sedimentos que se acumulan son muy finos, predominando las arcillas con una gran acumulación de materia orgánica de los desechos vegetales, lo cual en muchas zonas del pantano origina condiciones reductoras y con la materia orgánica forman turberas, las cuales son los primeros comienzos de carbón.

Los pantanos se pueden agrupar en dos grandes grupos: pantanos marinos y pantanos de agua dulce. Pensamos que los pantanos formadores de la Formación Marcelina corresponden a pantanos marinos, pues esta formación tiene cantidades importantes de minerales piríticos.

Los pantanos marinos se forman cuando en la zona de la costa con características de llanura o depresión, ésta queda aislada en forma directa del mar por una barrera de arena y limo. De esta forma el agua marina penetra en forma intermitente por las zonas permeables del subsuelo. Muchos de estos pantanos también reciben aportes de agua dulce de pequeños ríos y lógicamente durante la estación de lluvias, con lo cual pueden ser de aguas salobres.

En los pantanos marinos además de la acumulación de materia orgánica que pueden formar minerales característicos como la pirita (como las presentes en las lutitas carbonosas de la Formación Marcelina), derivada de la acción de bacterias reductoras de sulfatos.

Los pantanos de agua dulce se pueden formar en zonas lacustres aisladas y de muy poca profundidad o en zonas depresivas de llanuras fluviales que se llenan de agua durante las inundaciones en la época de lluvia, o a través de las zonas permeables del subsuelo cercano a los ríos. Algunos pantanos de agua dulce se derivan de pantanos originalmente relacionados con el medio marino, principalmente en ambientes deltaicos. A medida que el

delta avanza o prograda en dirección al mar, estos pantanos quedan aislados de la línea de costa y solamente se nutren de las aguas del río o caños del delta.

### **Facies en los deltas. Submedio palustre (Méndez, 2006)**

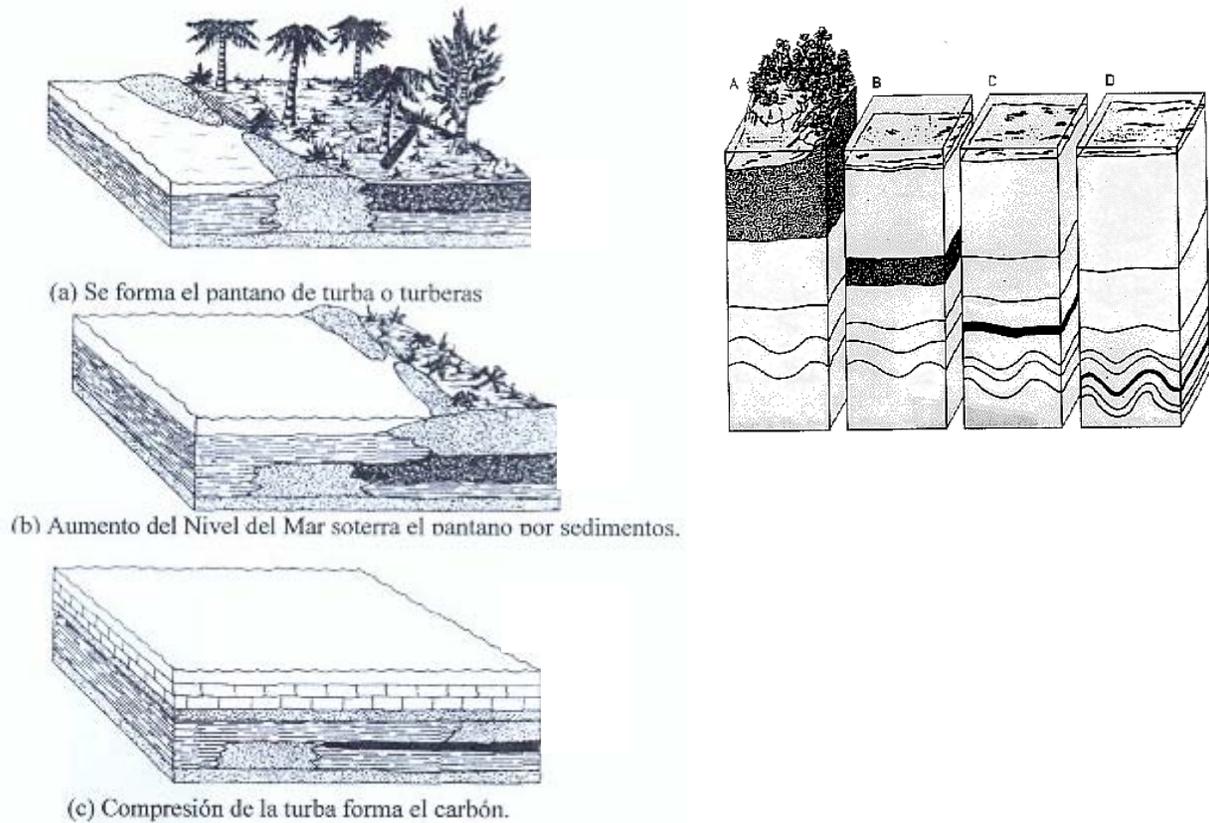
Engloba aquellas áreas pantanosas donde existe una sedimentación orgánica (vegetal) muy intensa. La mayor parte, en extensión, de la llanura deltaica está ocupada por este submedio. En la actualidad y en la mayor parte de los deltas, esta zona posee un gran interés económico por hallarse intensamente explotada agrícolamente.

El submedio palustre engloba toda una extensa gama de áreas pantanosas o lacustrinas de características a veces muy dispares. De todas formas, en los sedimentos fósiles, vendrá caracterizado por una gran abundancia de materia orgánica (carbonosa). Algunas de las zonas lacustrinas pueden tener comunicación con el mar, ya sea permanentemente, ya esporádicamente, dando lugar a lagos salobres. En todos ellos la sedimentación detrítica es de elementos finos y en la mayoría de los casos, abundante materia orgánica, ya sea en forma de niveles, ya mezclada con el sedimento por la bioturbación, especialmente producida por las plantas. En estas áreas son a veces muy abundantes los restos de moluscos y ostrácodos especializados, representados por una gran abundancia de individuos y una relativa pobreza de especies. Las bahías interdistributarias son áreas abiertas o comunicadas con el mar y limitadas por diques de canales (levees), o bien por áreas pantanosas (marshes). Puede producirse una sedimentación de tipo detrítico fino y de sedimentos más gruesos en forma de abanicos, así como materia orgánica y algunas conchas. Cuando actúa el oleaje, presenta una laminación tipo rizadura (ripple), la cual da lugar a una estratificación lenticular. Es así mismo la laminación paralela, ya sea de color o textural. Estas estructuras primarias se hallan frecuentemente destruidas, parcial o totalmente por la bioturbación.

### **Procesos de formación de carbón**

El carbón es formado por vegetación, la cual es consolidada entre otros estratos de rocas y alteradas por los efectos combinados de la presión y temperatura, por millones de años hasta formar lentes de carbón (WCI). La producción de limos y de otros sedimentos, junto a los movimientos de la corteza terrestre (conocidos como movimientos tectónicos), soterran a estos pantanos y marismas, frecuentemente a grandes profundidades. Esto causa cambios físicos y químicos en la vegetación, transformándola en turba y luego en carbón, como lo vemos en la figura 2.

Figura 2: Diagrama idealizado mostrando los procesos mediante los cuales los restos de plantas (turba) son transformados de carbón.

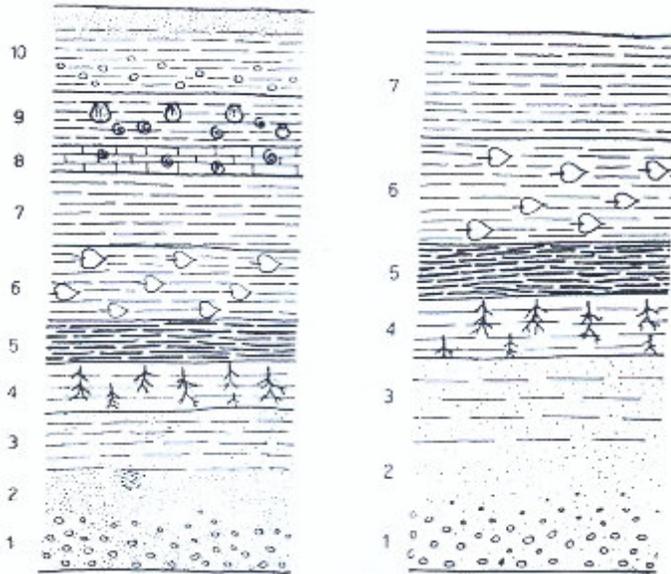


Fuente: Taller de Génesis del Carbón (2006)

En conjunto, la formación de una capa de carbón constituye un episodio especial dentro del ciclo general sedimentario o ciclo de la cuenca de sedimentación donde se desarrolló el bosque carbonífero o hullero. Esta es la razón por la cual, la capa de carbón se encuentra siempre intercalada entre otras rocas sedimentarias: areniscas, lutitas y limolitas, y como el ciclo de sedimentación se suele repetir varias veces seguidas, normalmente se formaran varias capas de carbón superpuestas en una misma cuenca.

Un ciclo de hullero o turbas se inicia (como se muestra en la figura 3) por distintos materiales detríticos: conglomerados y areniscas, continuándose por un depósito de arenas y limos, más finos cuando más avanza el ciclo sedimentario (limolitas arenosas y arcillosas), terminando esta primera fase de la sedimentación con el depósito de limos, sobre los cuales se desarrolla la vegetación palustre en los bordes de la laguna o en toda su extensión si la profundidad es adecuada.

Figura 3: Ciclotemas correspondientes al depósito de carbón en una cuenca “parállica” (a la izquierda con varios niveles marinos y a una cuenca “límnicca” (a la derecha) exclusivamente continental. 1. Conglomerados; 2. Areniscas; 3. Limolitas; 4. Lutitas con raíces (suelo de vegetación fósil); 5. Capas de carbón; 6. Lutita con fósiles vegetales; 7. Lutita estéril; 8 y 9. Calizas y lutitas con fósiles marinos; 10. Lutitas ferruginosas en la base y limolítica en la parte superior.



Fuente: Taller de Génesis del Carbón (2006)

La capa de carbón se forma como consecuencia de la destrucción del bosque hullero, generalmente cuando la profundidad excesiva del agua impide el desarrollo de la vegetación, acumulándose así grandes masas de vegetales, necesarias para la formación de hulla. Las turberas son depresiones existentes en regiones de abundante pluviosidad y temperaturas medias anuales bajas, se acumula el agua formando lagunas permanentes de escaso fondo, en las que se desarrolla una vegetación especial de plantas herbáceas, que al acumularse en el fondo, dan lugar a la formación de masas vegetales en descomposición, para dar como resultado la formación de una masa. Luego continua el ciclo sedimentario, a medida que se realiza el proceso general de subsidencia o hundimiento de la cuenca de sedimentación, con depósitos de limos, posteriormente transformados en lutitas y limolitas, que conservan restos de vegetales fósiles y terminan por ser completamente estériles.

En las cuencas de sedimentación situadas en el interior de las áreas continentales, llamada límnicas (lacustres), donde se depositan de preferencia limos y arenas, el ciclo sedimentario termina aquí, y puede repetirse muchas veces consecutivas, mientras las condiciones geográficas y climáticas se mantengan favorables. Pero en otras situaciones, las depresiones donde se forman las cuencas carboníferas, están situadas en llanuras costeras (cuencas parállicas) y en ellas se producen invasiones periódicas del mar, como consecuencia del mismo fenómeno de subsidencia ya indicado, continuándose entonces el ciclo sedimentario con el depósito de calizas u margas que pueden contener fósiles marinos, lutitas y limolitas ferruginosas y finalmente, lutitas, como se muestran en la figura 3.

## **Condiciones ambientales para la formación de carbón**

Los requerimientos esenciales para la formación de turba que pueden llevar a depósitos de carbón son: climas de temperatura cálida o tropical para el crecimiento continuo y exuberante de plantas en un marco de hundimiento, con un suelo inundado con aguas tranquilas donde la acumulación de turba puede tener lugar. Geológicamente, estas condiciones se encuentran en áreas bajas de depositación en contraste con las regiones levantadas por erosión. Las regiones menos estables de la plataforma circundantes a las áreas de los escudos dan condiciones de hundimiento, en las cuales tienen lugar la acumulación de turba, soterramiento y formación del carbón. Estos procesos ocurren en cuencas lacustres en el interior de los continentes llamados Cuencas Límnicas y sobre amplias regiones someras de la plataforma desarrollada en algunos márgenes continentales llamados Ambientes Parálisos.

Para la descripción de la Formación Marcelina, profundizaremos en mayor proporción en las cuencas de carbón paráliso, por ser la que corresponde al esquema de génesis de la Formación Marcelina.

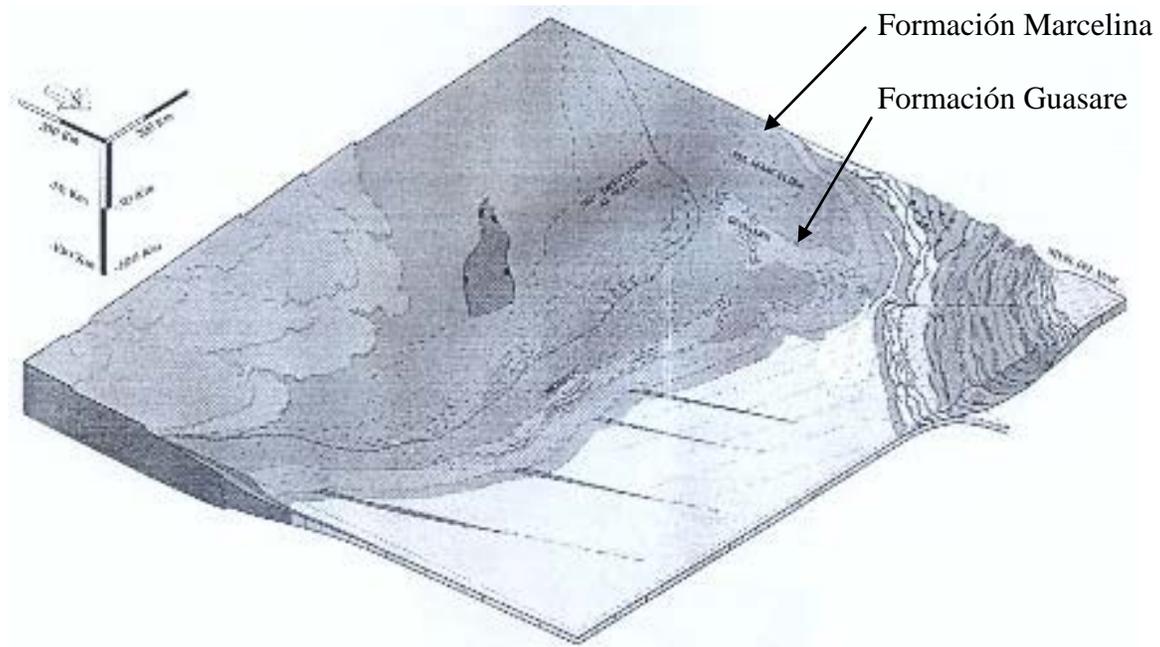
### **Cuencas de carbón paráliso**

La continua formación de turba y carbonización (coalification) a escala regional puede tener lugar en un ambiente paraliso en el borde de una plataforma marina somera de margen continental asísmica tipo Atlántica. Grandes cantidades de sedimentos clásticos erosionados de las tierras altas se necesitan para construir un plano costero aluvial amplio y una extensa margen continental marina para este desarrollo. El hundimiento regional de la plataforma es necesario, para permitir la construcción de una secuencia sedimentaria y la preservación de los pantanos de turberas costeras. Los depósitos marinos en el ambiente paraliso, ocurren interestratificados con sedimentos deltaicos, lacustres y continentales. Los sedimentos parálisos son más trabajados que aquellos de las cuencas límnicas. Los conglomerados compuestos de pequeños guijarros y grandes espesores de arena, limo y arcilla construyen amplios deltas sobre o cerca del nivel del mar. Estos sedimentos progradan hacia el mar desde la línea de costa. Las progradaciones repetidas del delta llevan al desarrollo de una sedimentación cíclica con ciclotemas de carbón, lutitas, limos y arenas repetidos muchas veces en secuencias largas.

Los carbones de las formaciones Marcelina y Los Cuervos, ambas en el estado Zulia, son del tipo paráliso ya que la influencia marina esta evidenciada por algunas calizas interestratificadas en la columna tipo. En las figuras 4 y 5 podemos ver una configuración estructural durante el Paleoceno, en la parte norte de Venezuela y una vista desde el norte geográfico.



Figura 5: Vista noreste de la costa Suramericana en el Paleoceno.



Fuente: Taller de Génesis del Carbón (2006)

En la figura 6 podemos observar un mapa palimpástico para el bloque de Maracaibo durante el Paleoceno. En este gráfico podemos ver como el flujo de sedimentos desde el suroeste del bloque depositando a las formaciones continentales de Marcelina y Los Cuervos en comunicación con el ambiente marino de la Formación Guasare hacia la parte central del bloque.

Figura 6: Mapa palimpástico del Bloque de Maracaibo



Fuente: Taller de Génesis del Carbón (2006)

### **Factores que controlan la formación de turba y carbón, de importancia para entender la Formación Marcelina**

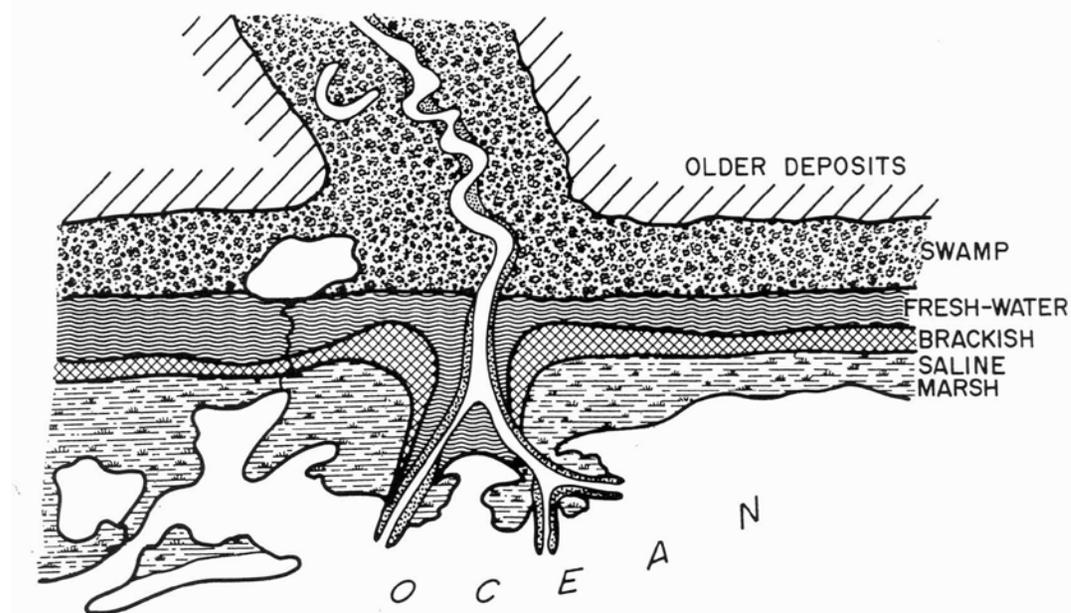
Para que la materia vegetal muerta sea preservada y transformada en carbón, debe ser protegida por flujos de detritos y la tabla de agua se encuentre cercana a la superficie, con pocos cambios en las condiciones climáticas. Idealmente, la tabla de agua debe moverse lentamente y continuo en las áreas de subsidencia. La materia vegetal se oxida rápidamente si es expuesta. Un bajo pH en las aguas de la turba pantanosa es crítica; la degradación total resulta en los valores mayores a 5.0 (Renton y Cecil, 1979). Siempre un decrecimiento temporal en la acidificación, puede degradar la superficie del pantano extendiendo los constituyentes inorgánicos de la estructura celular de la vegetación del pantano, concentrándose preferiblemente en la superficie del mismo, subsecuentemente preservado en capas de carbón y bandas de ceniza. Las intercapas autigénicas en las capas mayores pueden que aparezcan como quemadas o por oxidación emergente de la superficie de la

turba. La incursión marina prolongada es otro factor que reduce significativamente la preservación potencial de una turba (Cecil et al., 1976b).

El volumen de la turba puede tender a ser sumergido por colapso y decaimiento de la cobertura vegetal, siendo aumentadas en algunas áreas por algunos trozos de madera flotantes y otros trozos de materiales madereros. La tasa de acumulación de la turba depende en gran medida de las condiciones climáticas, los cuales pueden ser cuatro veces más rápidos en los bosques tropicales que en los pantanos con bajas precipitaciones. Los pantanos abiertos tienden a ser dominados por cañas y otras plantas herbáceas, además de la acumulación en grandes cantidades de esporas de fungus. Las marismas, por definición, son desprovistas de árboles, pero el resultado de los pantanos es que estos no tendrán material leñoso. Los pantanos contienen una cantidad variable de vegetación leñosa, la cual se incrementa en proporción en los bosques pantanosos y los bosques secos con densos árboles en pie de hileras de árboles. Las plantas acuáticas y semiacuáticas contribuyen con el material abandonado en los canales de los ríos, lagunas y lagos poco profundos, los cuales reciben importantes contribuciones de detritos transportados por sus corrientes. Estas acumulaciones de lagos poco profundos, incluyen los productos de la degradación de las capas pre-existentes en el pantano, a los cuales hay que adicionales las algas y las esporas (Moore, 1968).

La influencia marina en los pantanos tienden a incrementar el contenido de  $H_2S$ , haciendo por consiguiente carbones de alto contenido de azufre. Obviamente la cantidad de agua dulce es de gran importancia en los ambientes de formación de los carbones. Vemos en la figura 7 una zonación esquemática para carbones con influencia marina-fluvial Galloway y Hobday op. cit. (1983), modificado por Coates et al., (1980).

Figura 7: Zonación esquemática de salinas, marismas salados y de agua dulce y pantanos (Modificado después por Coates et al., 1980)



Fuente: Galloway y Hobday (1983)

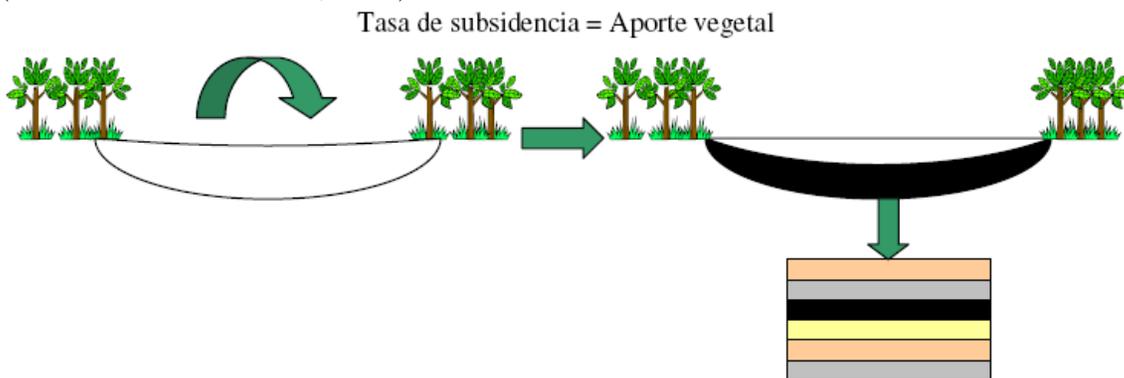
Muchos de los espesores de turba acumulada esta en relación directa con los pantanos de agua dulce, por lo tanto los carbones económicamente importantes, fueron probablemente de origen similar a los pantanos.

Otros factores inciden en menor grado en la acumulación y preservación de la turba como lo son: la tasa de erosión de la roca fuente, el relieve, las características geomorfológicas de la zona y los ambientes sedimentarios (Estévez y Martínez, 1997; op. cit. Quintero, 2005).

Quintero (2005) resume algunos de los factores que controlan la formación de turba y carbón:

1. Clima: Las condiciones climáticas ejercen un control vital sobre la acumulación del carbón. En efecto, factores asociados al clima como las temperaturas altas y la humedad favorecen la productividad primaria y por tanto la acumulación de materia orgánica en las cuencas sedimentarias. Sin embargo, y en contraposición a lo anterior, las bajas temperaturas retardan la descomposición de la materia orgánica, por lo que se presenta un compromiso entre los dos fenómenos: acumulación y preservación; ambos son favorecidos por situaciones climáticas opuestas (McCabe, 1991).
2. Tectónica: Para preservar la turba y formar carbón, es necesario que la tasa de subsidencia sea aproximadamente igual a la tasa de sedimentación del material vegetal (figura 8). Si la tasa de subsidencia es muy lenta, la cuenca se llenará de restos de vegetales, no se acumularán más y comenzarán procesos de degradación oxidativa en aquellos restos no sumergidos en agua, mientras que si la tasa de subsidencia es muy alta, la producción de materia orgánica no será suficiente y lo más probable a ocurrir es un cambio en el ambiente sedimentario (Estévez y Martínez, 1997)
3. Estabilidad del ambiente sedimentario: Para garantizar la acumulación de grandes cantidades de turba es necesario un régimen tectónico tranquilo, pero no tanto como para impedir una lenta subsidencia de la cuenca (Estévez y Martínez, 1997)

Figura 8: Dependencia de la acumulación del carbón con la tasa de subsidencia. (Modificado de Martínez, 2001)



Fuente: Quintero (2005)

## Ambiente sedimentario formador de la Formación Marcelina

Quintero (2005) describe en su trabajo haciendo referencia al trabajo de González de Juana, et al. (1980) que durante el Paleoceno, están definidas tres provincias sedimentarias en zona occidental de Venezuela, las cuales podemos ver en la figura 9.

Figura 9: Distribución de las provincias durante el Paleoceno Inferior y el Eoceno Inferior (modificado por González de Juana, et al., 1980)



Fuente: Quintero (2005)

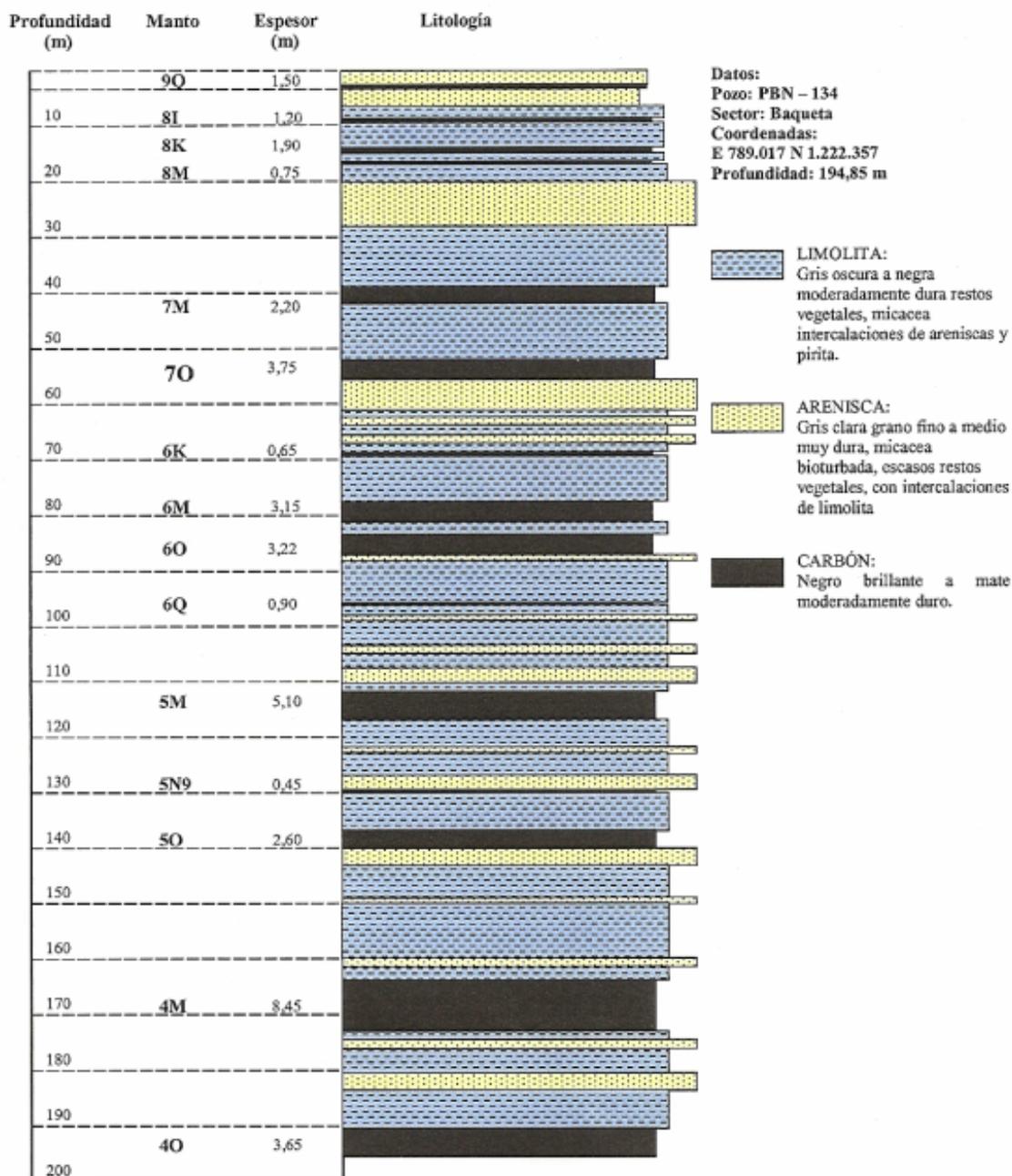
### La provincia de Plataforma

Desarrollada en los bordes del flanco norandino al este del Macizo Avispa y limitada al noroeste por la zona de bisagra de la Serranía de Trujillo. La provincia está caracterizada por ambientes de bancos calcáreos, interdigitados con facies clásticas marinas. La litología de esta provincia es principalmente intercalaciones de areniscas calcáreas y no calcáreas, lutitas e intervalos menores de calizas (Formación Guasare). En la parte noreste de la Formación Guasare es depositada una secuencia sedimentaria de ambiente parálico conocida como Formación Marcelina, la cual presenta numerosas capas de carbón, el contacto transicional de ambas formaciones es indicativo de suaves oscilaciones del nivel del mar y de programación deltaica (González de Juana et al., 1980).

### Secuencia estratigráfica de la Formación Marcelina

La figura 10 muestra una columna estratigráfica tipo de la Formación Marcelina, específicamente de la Mina Paso Diablo.

Figura 10: Columna tipo de la Mina Paso Diablo



Fuente: Ávila (2008) suministrado por la Gerencia Técnica de CBG.

La figura 11 muestra la ubicación estratigráfica de la Formación Marcelina en función de las formaciones suprayacentes y su espesor estratigráfico.

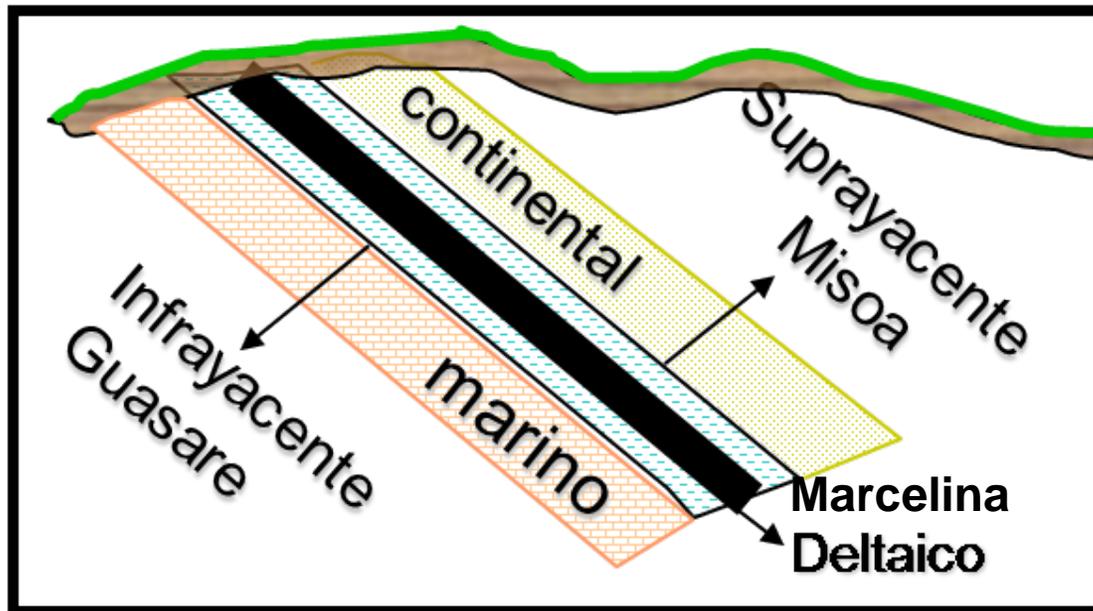
Figura 11: Ubicación estratigráfica de la Formación Marcelina en función de las formaciones suprayacentes y su espesor estratigráfico

<b>Formación</b>	<b>Espesor (m)</b>
La Villa	≈1000
Los Ranchos	≈1400
Cuiba	500
Macoa	150
La Sierra	100
Misoa	≈3000
Marcelina	550

Fuentes: Quintero (2005)

En la figura 12 vemos como se ha interpretado las secuencias de la Formación Marcelina como deltaica, con respecto a las formación suprayacentes e infrayacentes

Figura 12: Interpretación de la situación de la Formación Marcelina



Fuente: Superintendencia Técnica Carbones de la Guajira, SA (2005)

### **Composición mineralógica por análisis petrográficos en secciones finas de núcleos de la Formación Marcelina**

Las referencias utilizadas para esta sección se encuentran en Ávila (2008), correspondientes a dos pozos ubicados hacia el sur de la concesión de la Mina Paso Diablo al sur de la cuenca del Guasare, nombrados con la siguiente nomenclatura: PDS-003A y PDS-004A. Para los núcleos mencionados se analizaron al microscopio cuatro muestras (secciones finas). Para el núcleo PDS-003A, se describen las siguientes características:

#### **Muestra 1**

Las propiedades principales:

- Presenta intercalaciones de dos litologías predominantes (arenisca y lutita).
- Orientación isotrópica de los minerales constitutivos: Cuarzo (12%), feldspatos: plagioclasa, ortosa (5%), fragmentos de roca (49%), minerales accesorios: muscovita (2%), matriz: óxido de hierro (10%) y cemento: óxido de hierro (2%).
- Presencia de materia orgánica.
- Nivel medio de compactación.
- Minerales con leve meteorización.
- Porosidad mayoritaria por disolución y fractura.

#### **Muestra 2**

Propiedades principales:

- Predominancia de lutita como litotipo principal
- Orientación isotrópica de minerales constitutivos: Cuarzo (3%), feldespatos: plagioclasa, ortosa (1%), fragmentos de roca (60%), minerales accesorios: muscovita (1%), matriz: óxido de hierro (10%) y cemento: óxido de hierro (2%).
- Presencia de materia orgánica.
- Nivel medio de compactación.
- Porosidad por disolución mayoritariamente.
- Litología predominante de lutita.

#### Muestra 3

##### Propiedades principales:

- Presencia de matriz compuesta por óxido de hierro y predominancia de
- dolomita.
- Orientación isotrópica de minerales constitutivos: Cuarzo (33%), feldespatos: plagioclasa, ortosa (5%), fragmentos de roca (10%), minerales accesorios: muscovita (2%), matriz: óxido de hierro: minerales de arcilla, óxido de hierro, dolomita (35%) y cemento: óxido de hierro, dolomita (2%).
- No existe presencia de materia orgánica.
- Nivel medio de compactación.
- Porosidad por disolución mayoritariamente.

#### Muestra 4

##### Propiedades principales:

- Presencia de bandas alternadas de arenisca y lutitas.
- Orientación isotrópica de minerales constitutivos: Cuarzo (35%), feldespatos: plagioclasa, ortosa (8%), fragmentos de roca (35%), minerales accesorios: muscovita (2%), matriz: óxido de hierro (8%) y cemento: óxido de hierro (2%).
- Presencia de materia orgánica.
- Nivel medio a bajo de compactación.
- Porosidad por disolución mayoritariamente.

Para el núcleo PDS-004A, se describen las siguientes características:

#### Muestra 1

##### Propiedades principales:

- Presencia de fragmentos de roca con moderado grado de metamorfismo.
- Orientación isotrópica de minerales constitutivos: Cuarzo (15%), feldespatos: plagioclasa, ortosa (5%), fragmentos de roca: metamórfico (3%), sedimentario (33%), minerales accesorios: muscovita (2%), matriz: óxido de hierro y material carbonático (10%) y cemento: óxido de hierro, mineral calcáreo y minerales arcillosos (22%).
- Presencia de materia orgánica.
- Nivel medio a alto de compactación.

- Los fragmentos de roca no presentan indicios de intercalaciones.
- Presencia de minerales con cierto grado de alteración.

#### Muestra 2 y 3

Estas muestras poseen idénticas propiedades entre las que se mencionan:

- Presencia predominante de lutitas con intercalaciones de arenisca.
- Orientación isotrópica de minerales constitutivos: Cuarzo (12%), feldespatos: plagioclasa, ortosa (6%), fragmentos de roca: (45%), minerales accesorios: muscovita (2%), matriz: óxido de hierro (10%) y cemento: óxido de hierro (5%).
- Nivel medio de compactación.

#### Muestra 4

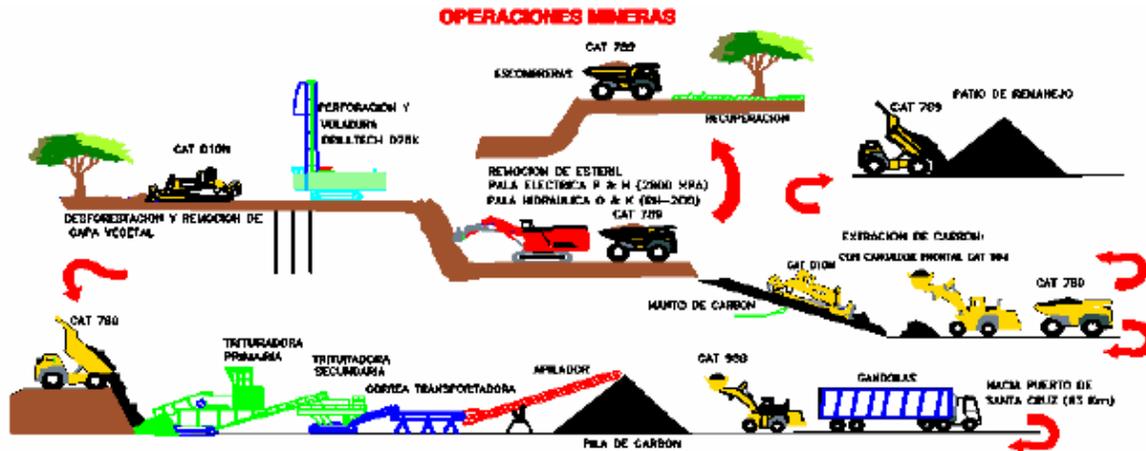
Propiedades principales:

- Presencia de fragmentos de roca sedimentaria con moderado grado de metamorfismo y cemento variado.
- Orientación isotrópica de minerales constitutivos: Cuarzo (20%), feldespatos: plagioclasa, ortosa (5%), fragmentos de roca: (13%), minerales accesorios: muscovita (2%), matriz: óxido de hierro y material carbonatico (15%) y cemento: cuarzo, óxido de hierro, mineral calcáreo y minerales arcillosos (25%).
- Presencia de materia orgánica.
- Nivel medio de compactación.

### **Método de explotación aplicable en los carbones de la Formación Marcelina**

Las reservas de carbón de la Formación Marcelina, tienen una alta relación de sobrecarga (proporción de estéril/carbón). Por esta razón las mismas se encuentran delimitadas en reservas minables a cielo abierto y reservas minables subterráneas. Las reservas minables a cielo abierto se encuentran hasta aproximadamente la cota (-120), por lo cual se emplea el método tradicional de minería a cielo abierto, donde se realizan las operaciones unitarias de arranque: perforación y voladura; carga y acarreo con palas hidráulicas, eléctricas y camiones mineros; construcción de escombreras para disposición de desechos y estériles; y las operaciones de beneficio de minerales: reducción de tamaño del carbón. La figura 13 muestra una visión general del proceso productivo en la Mina Paso Diablo, en la empresa Carbones del Guasare, SA.

Figura 13: Ciclo productivo del carbón en CDG, Mina Paso Diablo



Fuente: Superintendencia de Ingeniería y Producción, CDG. Citado por Ávila (2008)

Los mantos de carbón de la Formación Marcelina, fueron sometidos a intensos eventos tectónicos, que produjeron plegamientos de considerables tamaños en especial hacia el norte del yacimiento, además de cantidades importantes de fallas que han desplazados los carbones en niveles diferentes en campo. La explotación de este yacimiento se hace compleja, debido a que los mantos o capas se encuentran en ángulo, que puede variar desde aproximadamente N10°E con buzamiento entre 10° y 18°. Algunas de las más importantes fallas de este yacimiento son de rumbo N45°O, sobre todo en las registras en la Mina Paso Diablo, mientras en Mina Norte el elemento estructural de mayor importancia lo constituye un anticlinal ubicado entre las fallas Miraflores y Buenavista. Las figuras 14 y 15 muestran la complejidad en el minado de los carbones en las minas que operan en la Formación Marcelina.

Figura 14: Operaciones mineras en Mina Norte, donde se muestra las operaciones de destape de mantos de carbón. Podemos observar la inclinación de los mantos.



Figura 15: Operaciones de minado de carbón en Mina Paso Diablo. Obsérvese la inclinación de los mantos de carbón, en operaciones de limpieza para minado por un tractor CAT D9.



### **Reconocimiento de yacimientos carboníferos similares a la Formación Marcelina**

Una de las principales características a tomar en cuenta son los espesores, las estructuras sedimentarias, las bioturbaciones y fósiles en las areniscas y en otros estratos de la formación. La segunda característica es la presencia de minerales piríticos o pirita en las lutitas en el piso y techo de los mantos de carbón, los cuales indicarían que estamos en presencia de un ambiente palúdico marino. La porosidad no es un elemento que cobre importancia en el método de explotación, mas sin embargo, uno de los principales problemas de este tipo de minería, es la acumulación de considerables cantidades de agua en las fosas abiertas y la imposibilidad de enviarlas a los cursos de agua naturales, que en el caso de este yacimiento sería el río Guasare, por lo que se ha estado considerando la inyección de aguas en algunos de estratos de la formación, análogos a los que se hacen en la industria petrolera; en este caso la porosidad cobra gran importancia.

## **Bibliografía**

GALLOWAY Y HOBDDAY (1983) "Terrigenous Clastic Depositional Systems". Capítulo 12: Coal. Pag. 253-297. Springer-Verlag. New York.

MENDEZ (2006) "Petrología – Ambientes sedimentarios". Parte IV: Ambientes sedimentarios. Pag.235 y 247. Imprenta universitaria de la UCV. Caracas.

ÁVILA (2008) "Diseño y plan de desarrollo de escombreras para el área sur de la Mina Paso Diablo, municipio Mara, estado Zulia". Tesis, Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería, UCV. Inédito.

QUINTERO (2005) "Geoquímica orgánica de los carbones del yacimiento Paso Diablo (Formación Marcelina – Paleoceno), estado Zulia. Venezuela". Tesis, Departamento de Geoquímica, Escuela de Química. Facultad de Ciencias, UCV. Inédito.

ESTEVEZ (2006) "Taller de Génesis del Carbón". CREE. Maracaibo-Zulia.

DIESSEL (1992) "Coal Bearing Depositional Systems". Springer-Verlag. Germany.

CARBONES DE LA GUAJIRA. Superintendencia de Técnica. Presentaciones Institucionales 2005.

## **Referencias internet**

<http://www.pdvsa.com/lexico/m21w.htm>, consulta 24/01/2009