

EVOLUCIÓN TÉRMICA DE LA SUBCUENCA DE LA BAJA GUAJIRA

CONTRATO N° 56 de 2008 UIS-ANH



INFORME FINAL

Mario García González, Ph.D.
Luis E. Cruz Guevara, Ph.D.
Ricardo Mier Umaña, Esp.
Mauricio Vásquez Pinto, Geol.
Miguel Jiménez Jácome, Geol.
Mario Moreno Castellanos, Geol.

*Grupo de Investigaciones en Geología de hidrocarburos y Carbones
Universidad Industrial de Santander*





TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	8
2. LOCALIZACIÓN	15
3. ANTECEDENTES EXPLORATORIOS Y HALLAZGO DE HIDROCARBUROS	15
3.1 Información sísmica y de pozo	16
3.2 Información de pozos	18
3.3 Reportes de pozo.	19
3.3.1 Recopilación de informes de pozo por título y autor	19
3.4 Procesamiento de la información	20
4. MARCO GEOLÓGICO	22
5. ESTRATIGRAFÍA	24
5.1 Unidades del Triásico Superior – Jurásico Inferior	29
5.2. Unidades del Cretácico	37
5.3 Unidades del Paleógeno- Neógeno	48
5.4 Correlaciones estratigráficas	57
6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.	60
6.1. Subcuencas de la Baja Guajira	61
6.2. Fallas de la Subcuenca de la Baja Guajira	61
6.2.1. Fallas de dirección N-NE a NE	64
6.2.2. Fallas de dirección E-W a NW-SE	65
7. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	67
8. PROSPECTIVIDAD DE HIDROCARBUROS	69
8.1 Roca generadora.	69
8.2 Roca reservorio	71
8.3 Trampas	71
8.4 Roca sello	72
8.5 Roca de sobrecarga	72
8.6. Sistemas petrolíferos	72
9. GEOQUIMICA	72
9.1 Caracterización geoquímica de las rocas fuente	72



9.2 Grado de maduración termal de las rocas fuente	79
9.3 Origen del gas en la Subcuenca de la Baja Guajira	86
10. RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA PALEOTERMAL DE LA SUBCUENCA DE LA BAJA GUAJIRA	87
10.1 Régimen termal actual en la Subcuenca de la Baja Guajira	87
10.2. Reconstrucción de la historia termal para la Subcuenca de la Baja Guajira con base en análisis de reflectancia de vitrinita	89
10.3. Reconstrucción de la historia termal para la Subcuenca de la Baja Guajira basado en análisis de huellas de fisión en apatito y zircón	95
10.4 Interpretación de resultados de los análisis de huellas de fisión en apatitos y zircones, Subcuenca de la Baja Guajira	97
10.5 Reconstrucción de la historia termal para la Subcuenca de la Baja Guajira a partir de huellas de fisión de zircón	100
10.6 Reconstrucción termal para la Subcuenca de la Baja Guajira a partir de muestras de pozo	101
11. MODELAMIENTO GEOQUÍMICO PARA LA SUBCUENCA DE LA BAJA GUAJIRA	108
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
13. REFERENCIAS CITADAS	124
14. ANEXOS	



TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1. Localización de pozos y campos petroleros en la Guajira	16
Figura 4.1 Posición del Gran Arco del Caribe	23
Figura 4.2. Mapa de la Península de la Guajira,	24
Figura 5.1 Mapa geológico de la Subcuenca de la Baja Guajira.	26
Figura 5.2 Convenciones mapa geológico de la Subcuenca de la Baja Guajira.	27
Figura 5.3. Columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca de la Baja Guajira	28
Figura 5.4. Carta de correlación cronoestratigráfica de las unidades presentes en la Subcuenca de la Baja Guajira. Tomada de Ecopetrol (2000).	58
Figura 5.5 ilustra la correlación cronoestratigráfica entre la Subcuenca de la baja Guajira y la Cuenca de Maracaibo en Venezuela	59
Figura 6.1. Corte regional SW- NE de la Península de La Guajira en donde se puede ver con claridad la parte norte de la Cuenca de Cesar Ranchería y las Subcuencas de la Baja y la Alta Guajira.	62
Figura 6.2. Geología área de la Serranía de Cosinas mostrando las fallas principales de la región.	63
Figura 8.1. Columna estratigráfica generalizada y sistemas petrolíferos de las subcuencas de la Baja y Alta Guajira.(Barrero <i>et al.</i> 2007).	70
Figura 8.2. Carta de eventos para la Subcuenca de la Baja Guajira	71
Figura 9.1 Diagramas de TOC vs. Profundidad en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira y del offshore.	77
Figura 9.2. Diagrama de HI vs. Profundidad en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira	79
Figura 9.3. Diagramas de % Ro vs. profundidad en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira	81
Figura 9.4. Mapa preliminar de Iso-reflectancia de vitrinita al Mioceno temprano para la Subcuenca de la Baja Guajira.	83
Figura 9.5. Mapa preliminar de Iso-reflectancia de vitrinita al Mioceno medio para la Subcuenca de la Baja Guajira.	84
Figura 9.6. Mapa preliminar de Iso-reflectancia de vitrinita al Mioceno tardío para la Subcuenca de la Baja Guajira.	85
Figura 10.1 Gradiente geotérmico lineal para la Subcuenca de la Baja Guajira	88



Figura 10.2 Paleotemperaturas máximas calculadas a partir de datos de Ro en muestras de afloramiento de la Serranía de Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.	91
Figura 10.3 Reflectancia (%Ro) en función de profundidad para pozos perforados en la Subcuenca de la Baja Guajira.	92
Figura 10.4 Datos de Ro de 15 pozos de la Subcuenca Baja Guajira y del offshore, graficados en función de la profundidad actual. Todas las muestras provienen de secuencias del Mioceno	94
Figura 10.5 Localización de las muestras recolectadas para los análisis de HFA, HFZ y de reflectancia de vitrinita en la Serranía Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.	97
Figura 10.6 Secuencia de episodios de enfriamiento de la Subcuenca de la Baja Guajira, basados en análisis de HFA Y HFZ en muestras de afloramiento.	98
Figura 10.7 Historia termal derivada del análisis de huellas de fisión en apatito. Muestra de la Formación Yuruma, Serranía Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.	99
Figura 10.8 Reconstrucción de la historia termal de la muestra (GC1047-23) a partir de análisis HFA. Muestra del Grupo Cogollo,	100
Figura 10.9 Edades de huellas de fisión (HFA) (cuadros rojos) y edades estratigráficas de muestras de los pozos Dorado-1 y Tayrona-1, Subcuenca de la Baja Guajira.	103
Figura 10.10. Relación entre las edades de huellas de fisión en apatitos y zircones en función de la edad estratigráfica de las muestras de afloramientos de la Serranía de Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.	104
Figura 10.11. Paleotemperaturas para la Subcuenca de la Baja Guajira derivadas de análisis de HFA, HFZ y Ro. Los puntos de color rojo corresponden a temperaturas de Ro.	105
Figura 11.1 Localización de pozos perforados y del perfil sísmico en la Subcuenca de la Baja Guajira.	110
Figura 11.2. Diagrama de soterramiento para el pseudopozo Cosinas-1. Nótese los eventos de levantamiento de la Subcuenca de la Baja Guajira,	111
Figura 11.3. Diagrama de variación de la temperatura con la profundidad y el tiempo, para el pseudopozo Cosinas	112
Figura 11.5. Diagrama de tiempo-temperatura del pozo Calamar-1 en la Subcuenca de la Baja Guajira.	115
Figura 11.6. Calibración del modelo 1D con medidas de reflectancia de la vitrinita (Ro) a diferentes profundidades del pozo Calamar	116



Figura 11.7. Calibración del modelo 1D del Pozo Calamar-1, con datos de temperaturas de fondo, Subcuenca de la Baja Guajira.	117
Figura 11.8. Modelo Geoquímico 1D del pozo Calamar-1.	118
Figura 11.9. Perfil sísmico obtenido de la línea sísmica	119
Figura 11.10. Modelo variación de la temperatura en profundidad para el perfil sísmico con orientación NS de la Subcuenca de la Baja Guajira.	120
Figura 11.11. Modelo geoquímico 2D del perfil sísmico de la Subcuenca de la Baja Guajira.	121



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Inventario de información sísmica en la Cuenca de la Guajira	17
Tabla 3.2 Inventario de la información de pozo en la Subcuenca de la Baja Guajira.	18
Tabla 3.3 Informes descargados en el EPIS de la Cuenca de la Guajira.	19
Tabla 3.4 Topes, bases y espesores de las formaciones en los pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira.	20
Tabla 9.1 Resultados de análisis de pirólisis Rock Eval, Ro y TOC de pozos en la Subcuenca de la Baja Guajira y en la Cuenca de la Guajira offshore.	73
Tabla 9.2 Resultados de análisis de pirólisis Rock Eval, Ro y TOC de muestras de afloramiento en la Serranía de Cosinas.	78
Tabla 9.3 Datos de Ro de muestras de afloramiento de la Serranía de Cosinas	81
Tabla 10.1 Profundidades de fondo de pozo (BHT) en la Subcuenca de la Baja Guajira.	87
Tabla 10.2 Máxima paleotemperatura obtenida de datos de Ro en muestras de la Serranía Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira, Colombia	89
Tabla 10.3 Paleotemperaturas máximas a partir de datos de Ro en muestras de pozo de la Subcuenca de la Baja Guajira	90
Tabla 10.4 Relación entre enterramiento adicional y paleotemperatura para diferentes gradientes geotermales	93
Tabla 10.5 Resumen del análisis de paleotemperaturas: Datos de HFA obtenidos de muestras de afloramiento, Subcuenca de la Baja Guajira	95
Tabla 10.6 Datos de huellas de fisión de zircón en muestras de afloramiento de la Cuenca de la Guajira, Colombia	101
Tabla 10.7 Resumen del análisis de paleotemperatura: Datos de AFTA de muestras de pozo, Subcuenca de la Baja Guajira	102
Tabla 11.1 Eventos erosivos para la Subcuenca de la Baja Guajira identificados con análisis de huellas de fisión en apatitos y zircones.	108



RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se adopta la subdivisión de cuencas sedimentarias de Colombia presentada por **Pardo et al. (2007)**, en la cual se denomina Subcuenca de la Baja Guajira, con un área: 8145 km², a la parte sur de la “Onshore Guajira Basin” de **Barrero et al. (2005-2006)**, limitada al norte por el tren de fallas de Cuisa, al sur por la falla de Oca, hacia el oeste limita con el Mar Caribe, que hace parte de la denominada Cuenca de la Guajira Costa Afuera y hacia el este su límite es el Golfo de Venezuela (Cuenca del Golfo de Venezuela según **Almarza, 1997**).

La evolución tectónica de la Cuenca de la Guajira y el margen continental esta directamente relacionada con la tectónica del caribe sur, en donde el principal rasgo tectónico es el Gran Arco del Caribe.

En el margen continental del Caribe Colombiano, las áreas costeras y la Serranía del Sinú, hacen parte del denominado cinturón deformado del Caribe sur, con dos estilos estructurales predominantes (**López, 2005a**). El primer estilo estructural se localiza entre el Arco de Panamá y Santa Marta, correspondiendo a un sistema transpresivo, de cuñas sedimentarias adosadas de manera oblicua al margen norte de la placa Suramericana que transportan a cuetas espesas cuencas sedimentarias o “*piggy back basin*”. El segundo estilo estructural desde Santa Marta y hacia el nororiente, dominado por fallas de rumbo dextrales que conforman un gran sistema transtensivo en la región de la baja Guajira, limitado al sur por la Falla de Oca y al norte por la Falla de Cuisa.

Tres eventos de deformación afectan la región de la Guajira: 1) “**Rifting**” del **Eoceno tardío**, en una dirección E-W que produce “Half-grabens” en la parte norte del área; 2) **Transtensión del Oligoceno** en la parte sur del área, expresado por fallamiento lateral derecho y formación de cuencas extensionales; 3) **Transtensión del Mioceno temprano y medio**, y 3) Levantamiento Andino del Mioceno tardío – Plioceno temprano y relleno clástico de las cuencas tanto de la región continental “Onshore” como de costa afuera “Offshore” (**Vence, 2008**).

En la Subcuenca de la Baja Guajira las rocas premesozoicas y mesozoicas afloran en la parte norte, en la parte sur estas unidades se hallan parcialmente presentes debajo de una cobertera sedimentaria del Paleógeno y Neógeno (F. Jimol y Castilletes). El basamento premesozoico aflora en la parte más noroeste de subcuenca al oeste Serranía de Cosinas y de la Falla de Paralapo. Las rocas del Triásico (Grupo Cojoro: F. Guasasapa y F. Rancho Grande), del Triásico-Jurásico de la F. Uitpana y del Jurásico (F. Cheterló, Cajú, Chinapa y Jipi) afloran en la parte noreste de la subcuenca en la Serranía de Cosinas. Las unidades del Jurásico también afloran en la región conocida como el “Surco de la Guajira”, indicados en el mapa Geológico de **Raasveldt (1963)**. En relación con la presencia de unidades del Triásico y Jurásico en la parte más sur de la subcuenca, **Rubio et al. (1998)** reporta en el pozo Saure-1 la presencia de la Formación La Quinta (formaciones Guasasapa y Rancho grande).



En relación con las unidades Cretácicas aflorantes en la Subcuenca de la Baja Guajira se reportan la Formación Kesima en el área del Surco de la Guajira, según **Rodríguez y Londoño (2002)** las formaciones Palanz, Moina, Yuruma, Apón, Macara, La Luna y Guaralamai afloran en la Serranía de Cosinas. En la parte sur de esta subcuenca se reporta la presencia de unidades del Cretácico en los algunos de los pozos perforados, según **Rubio et al. (1998)** en el Pozo Guitapa-1, sobre la discordancia del Pre-Cretácico se depositaron sedimentos de las formaciones Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma), Cogollo, Maraca y La Luna; y en el Pozo Los Manantiales-1 reportan la presencia de la Formación Colón (F. Guaralamai). Según **Rubio et al. (1998)** “estas unidades litoestratigráficas en el área de estudio están restringidas a la parte sureste cerca a la Falla de Oca”, y “en la Subcuenca de la Baja Guajira no se han reportado unidades litoestratigráficas de edad Maestrichtiano- Mioceno temprano”. Sin embargo; En el pozo Perico-1 **Robertson (1982 en Rubio et al., 1998)** reportan la presencia de unidades sedimentarias de edad Eoceno?-Oligoceno.

La prospectividad de la subcuenca, se puede resumir de la siguiente manera:

Las principales roca fuentes de Cretácico Superior son; el Grupo Cogollo, la Formación La Luna y la Formación Colón (Formación Guaralamai). Las rocas generadoras del Neógeno podrían ser las formaciones Simana, Uitpa y Jimol.

Las rocas reservorios del Cretácico son: 1) El Grupo Cogollo, constituido por shales, limolitas arcillosas con calizas limo arenosas interestratificadas y, 2) La Formación La Luna, constituida principalmente por calizas estratificadas y chert intercalados con capas delgadas de calizas negras.

Las rocas reservorios del Neógeno son: 1) La Formación Siamana constituida por calizas arenosas, calizas arrecifales, calizas margosas, margas y shales arcillosos. 2) La Formación Uitpa constituida por margas glauconíticas y lodolitas limosas, areniscas calcáreas arcillosas, calizas y limolitas y areniscas hacia el tope. 3) La Formación Jimol está constituida por calizas arenosas, areniscas calcáreas y cantidades menores de arcillolita.

Estructuralmente la Subcuenca de la Baja Guajira se caracteriza por dos sistemas de fallas; uno de dirección N-NE a NE asociado a fallas de cabalgamiento y otro de dirección de dirección E - W a NW – SE caracterizado por fallas de alto ángulo con un importante movimiento vertical y algunas con un movimiento de rumbo lateral derecho.

De acuerdo a **Barrero et al. (2007)** las trampas de edad Cretácica son de tipo estratigráfico, mientras que las trampas de edad Neógena son de tipo estructural y están asociadas a las fallas de calgamiento y fallas verticales con desplazamiento lateral.

Las intercalaciones de shales de la Formación Guaralamai del Cretácico se han propuesto como rocas sello, así como las intercalaciones de shales del Neógeno de las formaciones Siamana, Uitpa, Jimol y Castilletes.



La reconstrucción de la historia paleotermal de la Subcuenca de la Baja Guajira se realizó empleando tres métodos: 1) Cálculo del gradiente geotérmico y flujo de calor actuales en la Subcuenca de la Baja Guajira, 2) reflectancia de vitrinita, y 3) huellas de fisión en apatitos y zircones.

El gradiente geotérmico actual se calculó con base en las temperaturas de fondo de pozos (BHT) reportadas en registros de pozo de la subcuenca.

El flujo de calor actual se calculó por medio de la ecuación de Fourier a partir de las temperaturas de fondo (BHT) tomadas de los pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira y de las conductividades térmicas de las unidades litoestratigráficas identificadas en las líneas sísmicas de la Subcuenca de la Baja Guajira.

La reconstrucción paleotermal de la Subcuenca de la Baja Guajira se obtuvo con base en nuevos análisis de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita, identificándose cuatro eventos termales con las siguientes características:

- El evento termal más antiguo se presentó en el Cretácico Superior entre 95 y 65 Ma, en donde se registra un enfriamiento de 50°C que afectó a las formaciones del Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. La paleo-temperatura máxima registrada en la Formación Cajú es de 155°C .
- El Segundo evento termal se presentó en el Eoceno Superior entre 40 a 35 Ma, en donde las formaciones del Jurásico y Cretácico registran un enfriamiento de 30°C en donde la paleotemperatura máxima registrada durante este evento es de 130°C .
- El tercer evento termal ocurrió en el Mioceno Inferior a medio entre 22 a 15 Ma, en donde las formaciones sufrieron un enfriamiento de 30°C , en el cual la paleotemperatura máxima registrada es de 115°C .
- El cuarto y último evento termal tuvo lugar en el Mioceno Superior entre 10 y 5 Ma, en donde la secuencia sedimentaria sufre un importante evento de enfriamiento de hasta 70°C . La máxima paleotemperatura de este evento fué de 90°C .

Los eventos termales de enfriamiento coinciden con cuatro discordancias previamente identificadas: 1) la discordancia al tope de la Formación Guaralamai del Cretácico Superior, 2) la discordancia a la base de la Formación Siamana en el Eoceno superior, 3) la discordancia al tope de la Formación Siamana en el Mioceno inferior y medio, y 4) la discordancia al tope de la Formación Castilletes en el Mioceno superior.

La determinación de las paleotemperaturas así como también del régimen termal actual permito la elaboración de modelos geoquímicos calibrados lo cual asegura que los resultados obtenidos se acercan a una situación real.



El régimen paleotermal de la Subcuenca de la Baja Guajira indica que las formaciones generadoras han estado expuestas a altas temperaturas entre 90 y 160°C, consecuentemente el resultado del modelo geoquímico 1D del pozo Calamar-1, indica que las formaciones Guaralamai, Macaro y Siamana están en la ventana de generación de petróleo, mientras que la Formación Uitpa está en la fase temprana de la ventana de generación de petróleo.

Los modelos geoquímicos de la Subcuenca de la Baja Guajira indican que los gases presentes en los campos Chuchupa y Ballena son de origen termal, en los cuales el gas ha migrado de cocinas más profundas situadas en la plataforma continental hacia el occidente de la Subcuenca de la Baja Guajira en donde de acuerdo a la evolución tectónica del Caribe sería factible encontrar antiguas plataformas calcáreas con rocas generadoras del Cretácico Superior y del Paleógeno.

Se propone la existencia de dos sistemas petrolíferos: 1) El Sistema Cretácico Superior- Castilletes y 2) el Sistema Siamana-Macarao-Castilletes.

Estos dos sistemas han generado hidrocarburos, El sistema petrolífero del Neógeno, correspondiente a las formaciones Jimol-Castilletes no es factible ya que la Formación Jimol no está en la ventana de generación de hidrocarburos de acuerdo con los modelos geoquímicos.

El resultado del modelo geoquímico 2D de migración indica que el petróleo y el gas, han migrado desde la base de la secuencia hacia la superficie alcanzando la Formación Castilletes. La ocurrencia de los campos de gas en la plataforma continental de la Subcuenca de la Baja Guajira requiere la presencia de capas sello de shales en la Formación Castilletes. Sin embargo en la revisión de la información de pozos no se reporta la presencia de un grueso nivel de shales que actúe como sello en esta formación.

Con el objeto de tener un mayor entendimiento de los procesos de generación y migración de hidrocarburos en la Subcuenca de la Baja Guajira se recomienda adelantar un modelamiento geoquímico en tres dimensiones el cual debe estar calibrado con los datos de los estudios de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita.



1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo, elaborado por el Grupo de Investigación en Geología, Hidrocarburos y Carbones, de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS), se hace la recopilación de la información geológica y geoquímica existente y la reconstrucción de la historia térmica de la Subcuenca de la Baja Guajira.

Igualmente se presenta nueva información, a partir de muestras de zanja, correspondientes a pozos perforados en el área de estudio y de muestras de roca recolectadas en afloramientos de la Serranía de Cosinas, de las cuales se obtuvieron datos de huellas de fisión en apatitos y zircones, y análisis de reflectancia de vitrinita. También se utilizó el software Petromod, el cual permite establecer modelos de generación de hidrocarburos a partir de la información paleotérmica de la subcuenca. Utilizando la anterior información se reconstruye la historia térmica de la Subcuenca de la Baja Guajira, cumpliendo con el objetivo fundamental del contrato 056 del 2008 UIS-ANH.

En el área de estudio se han realizado algunos trabajos de investigación en la temática de la geología y la estratigrafía de los cuales merece mencionar en orden cronológico los siguientes:

Hedberg (1931), como resultado del estudio de las calizas del Cretácico como posible roca origen de hidrocarburos en el NW de Venezuela, aporta a la descripción petrográfica de las F. Cogollo y “Luna limestone” (F. La Luna a partir de **Hedberg y Sass, 1937**) y la categorización de la F. La Luna como posible roca origen de hidrocarburos y la F. Cogollo como roca almacenadora, donde los hidrocarburos migraron de otra fuente.

Hedberg y Sass (1937), realizan un estudio de las formaciones de la parte oeste del la Cuenca de Maracaibo Basin, denominan y describen la sección tipo de las formaciones Río Negro y La Luna.

Sutton (1946), realiza el estudio geológico de la Cuenca de Maracaibo, presenta una compilación de las unidades, incluye descripciones completas, amplia información paleontológica con fotos de numerosos ejemplares tipo y propone la edad de cada unidad. Utiliza la denominación Grupo Cogollo, incluye en él las formaciones Apón, Aguardiente y Capacho.

Rod y Maync (1954), presenta una revisión de la estratigrafía y una comparación bioestratigráfica del Cretácico Inferior de Venezuela, especialmente para la parte oeste. Utiliza la denominación de Grupo Cogollo y propone como unidades integrantes de él, las F. Mara, Lisure y Apón, propone algunas especies de valor bioestratigráfico y para correlación, principalmente de foraminíferos bentónicos.

Bürgl (1955), estudia la microfauna del pozo Ranchería 1 y data la F. Monguí.



Renz (1956 y 1960), realiza un intenso trabajo en las unidades estratigráficas Cretácicas en el oeste de Venezuela y en la Guajira (Colombia). Propone la nomenclatura de la estratigráfica para la mayoría de las unidades litológicas de este período que afloran en la Península de la Guajira, les asigna edad y la sección tipo a cada una de ellas: Grupo Cojoro, subdividido en las formaciones Guasasapa, Rancho Grande y Uitpana ; Grupo Cosinas, lo separa en Shale de Cuisa y Formación Chinapa; Formaciones Kesima y Palanz; Grupo Yuruma, subdividido en Formación Moina y Formación Yuruma; introduce en la Guajira los términos de las formaciones Cogollo, La Luna, Siamana, Uitpa y Jimol. Adicionalmente describe las principales estructuras presentes en la Península de la Guajira como ejemplo, el Sistema de fallas de Cosinas.

Bürgl (1958), propone la evolución tectono sedimentaria de la Península de la Guajira, describe de manera general la geología de las serranías de Macuira, Jarara, Carpintero, Cocinas (Cosinas) y Cojoro, de la “fosa de la Guajira” y de los “gravens oligocenos”: fosa de Sanache (Subcuenca de Cocinetas 2) y fosa de Camama (Subcuenca de Camama). Describe las principales unidades geológicas de la Península de la Guajira separándolas por períodos a partir de dataciones realizadas utilizando diversos fósiles, principalmente ammonitas, sin dar referencia a unidades estratigráficas formales.

Renz (1959), denomina Formación Guaralamai en la Península de la Guajira de edad campaniana a maestrichtiana.

Rollins (1960 y 1965), realiza un estudio estratigráfico y estructural en la Península de la Guajira. Propone la evolución tectónico sedimentaria de la región y reevalúa la estratigrafía presentada por **Renz (1956 y 1960)**, presenta nuevas evidencias geológicas que complementan la información ya existente: propone nuevas unidades estratigráficas y secciones tipo, divide el Grupo Cosinas en las formaciones Cheterló, Cajú, Chinapa y Jipi (Shale de Cuisa); determina ambientes de formación y precisa la edad de algunas de las unidades estratigráficas (F. Rancho Grande, F. Uitpana, G. Cogollo, entre otras).

MacDonald (1964), en su trabajo de tesis doctoral estudia la geología de la Serranía de Macuira. Propone la presencia en esta región de la Guajira de la formación La Quinta, complementa las descripciones de las formaciones Uitpana y propone edades de las formaciones Cheterló, La Luna y Macarao; incluye para Punta Espada las formaciones Apón y Maraca; y describe las fallas de Ororio, Litujuru, Uraitchipa, Puralapo, Macuira, Nazareth y Huimatirra.

Lockwood (1965), en su trabajo de tesis doctoral estudia la geología de la Serranía de Jarara. Propone la edad de la F. Siamana; complementa la descripción de las formaciones Siamana y Uitpa; documenta la presencia de las fallas de Ororio, Simarúa y Narap, y define la Falla de Alas en la Serranía de Jarara; y postula una edad Cretácico tardío - Paleógeno para la Falla Nazareth.

Álvarez (1967), como parte de su tesis doctoral realizó estudios de la geología de las áreas de Simarua y Carpintero. Describe y propone correlación de las unidades estratigráficas y define diferentes fallas presentes en esta área (F. Santa Ana, Kasipoch, Simarúa, etc).



Julivert (1968), compila toda la información existente en ese momento de las unidades estratigráficas del Mesozoico en el área de estudio.

Stainforth, et al. (1970), compila toda la información existente en ese momento de las unidades estratigráficas del territorio venezolano.

Hall y Cediell (1971), proponen la evolución tectono-sedimentaria para el Cenozoico de la Península de La Guajira y el posible significado económico de los sedimentos marinos paleógenos, neógenos y recientes.

Thomas (1972a y b), en su estudio del Paleógeno de la Península de la Guajira, estudia las formaciones Macarao, Uitpa, Jimol y Castilletes; y colecta abundante macrofauna de moluscos y vertebrados fósiles en la Formación Castilletes.

De Porta (1974), compila toda la información existente en ese momento de las unidades estratigráficas del Cenozoico en el área de estudio.

Martínez (1985), estudia la estratigrafía y propone los paleoambientes de formaciones Cogollo y La luna en la sección del Río Molino (Guajira).

Herrera y Buchelli (1988), realizan el levantamiento de secciones geológicas de las formaciones Orocho, Monguí y de la unidad informal que denominan "Terciario indiferenciado" en el área de la Subcuenca de la Baja Guajira.

Gutiérrez y Osorio (1988), en su trabajo de grado realizan estudios sobre la geología y la evaluación del potencial de hidrocarburos de la Cuenca de la Guajira.

Buchelli et al. (1989), presentan la geología de la Subcuenca de Cocinetas.

Pulido et al. (1991), realizan para la ANH una recopilación y el análisis de la Cuenca de la Guajira (Onshore), presentan como resultado un sistema petrolífero mostrando un buen potencialidad para la producción de hidrocarburos, principalmente de gas, para esta región.

Macellari (1995), plantea un modelo tectónico-sedimentario para el Caribe Colombo venezolano para el Cenozoico, integrado por una serie de cuencas "pull-apart" episuturales. Divide la sucesión depositada durante el Eoceno al Reciente en cuatro secuencias deposicionales limitadas por inconformidades. Estos ciclos son: (1) el Eoceno superior- Oligoceno inferior, (2) Oligoceno superior -Mioceno inferior, (3) Mioceno medio- superior, y (4) Plioceno- Reciente.

Rubio et al. (1998), realizan para Ecopetrol trabajos de geología y la evaluación del potencial de hidrocarburos de la Cuenca de la Guajira.

Rangel et al. (2001 y 2003), realizan para Ecopetrol trabajos de geología y la evaluación del potencial de hidrocarburos de la Cuenca de la Guajira.

Barrero et al. (2005- 2006), realizan para la ANH una recopilación y el análisis de la Cuenca de la Guajira (Onshore), presentan como resultado el sistema petrolífero mostrando un buen potencial para la producción de hidrocarburos, principalmente de gas, para esta región.

Ramírez (2006), realizan para Ecopetrol trabajos de geología y la evaluación del potencial de hidrocarburos de la Cuenca de la Guajira.



Los mapas geológicos publicados del Departamento de La Guajira son: **Raasveldt (1963); Irving (1972); Mercado (1999); Mercado (2003); Gómez et al. (2007a y b)**. Las memorias publicadas del mapa geológico del Departamento de La Guajira son: **Rodríguez y Londoño (2002) y Mercado (2003)**.

2. LOCALIZACIÓN

El territorio departamental de la Guajira corresponde en su mayor parte a la Península de la Guajira, con un relieve que incluye montañas, acantilados, planicies y dunas. El Departamento de La Guajira ha sido subdividido geográficamente por su configuración territorial en tres grandes regiones de noreste a suroeste correspondientes a: Alta Guajira, Media Guajira y Baja Guajira (**Rodríguez y Londoño, 2002**). Según esta división la Alta Guajira, se sitúa en el extremo norte peninsular, es semidesértica, con serranías que no sobrepasan los 650 m sobre el nivel del mar, como son las serranías de Macuira, Jarará, Carpintero y Cosinas. La segunda región o Media Guajira, abarca la parte central del departamento, de relieve plano y ondulado. La tercera región o Baja Guajira, corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta y en la parte Colombiana a los Montes de Oca (la parte más norte de la Serranía de Perija).

En el presente trabajo se adopta la subdivisión de cuencas sedimentarias de Colombia presentada por **Pardo et al. (2007)**, en la cual se denomina Subcuenca de la Baja Guajira a la parte sur de la "Onshore Guajira Basin" de **Barrero et al. (2005-2006)**, limitada al norte por el tren de fallas de Cuisa, al sur por la falla de Oca, hacia el oeste limita con el Mar Caribe, que hace parte de la denominada Cuenca de la Guajira Costa Afuera y hacia el este su límite es el Golfo de Venezuela (Cuenca del Golfo de Venezuela según **Almarza, 1997**)

3. ANTECEDENTES EXPLORATORIOS Y HALLAZGO DE HIDROCARBUROS

La exploración petrolera en esta subcuenca se inició con la perforación del pozo Ranchería-1 en 1948. A la fecha han sido perforados 18 pozos exploratorios y se han descubierto dos campos de gas, llamados Ballena y Riohacha, un tercer campo denominado Chuchupa se encuentra costa afuera, en la zona denominada Guajira offshore, Ver figura 3.1.



Figura 3.1. Localización de pozos y campos petroleros en la Guajira. Modificado de Rubio *et al.* (1998).

La ocurrencia más importante de hidrocarburos gaseosos (97% metano), la componen los campos productores de Chuchupa, Ballena y Riohacha. Así mismo **ECOPETROL (2000)** reporta la existencia del campo gasífero Santa Ana, no comercial, localizado en plataforma marina del extremo noreste de la Subcuenca de Alta Guajira. En la parte central de la Subcuenca de la Baja Guajira, varios pozos como: Almeja-1, Aruchara-1, Calamar-1, Epehin-1, presentaron manifestaciones de gas durante su perforación.

Los reservorios con acumulaciones comerciales de gas, se encuentran en las rocas calcáreas de la Formación Siamaná de edad Mioceno medio, en los Campos Ballena y Riohacha y en los niveles arenosos de la secuencia clástica basal de edad Mioceno temprano en el Campo Chuchupa en las Formaciones Uitpa y Jimol.

3.1 Información Sísmica y de pozo.

Dentro de la información sísmica correspondiente a la Subcuenca de la Baja Guajira y la zona de la Guajira Costa Afuera (off shore) descargada del EPIS, se cuenta con la información de los siguientes siete programas sísmicos: Aruchara 89, Guajira 90, Sorpresa 2D-2002, Maicao 90, Maicao 69, Majayura 72, Camarones 88, con sus correspondientes archivos segy y sus respectivas versiones, ukooas, así como 164 imágenes de cada una de las líneas sísmicas. También se encontraron 62 reportes técnicos de operaciones y de procesamiento sísmico en formato pdf. En la Tabla 3.1 se observa con detalle el inventario de la información sísmica existente en la Subcuenca de la Baja Guajira.



Tabla 3.1. Inventario de información sísmica en la Subcuenca de la Baja Guajira (La celda en color amarillo indica la existencia del archivo)

PROGRAMA	LINEA	SEGY	UKOOS	IMAGEN
MAICAO 1969	L-1969-07			4
	L-1969-08			7
	L-1973-19			5
	L-1973-21			8
	L-1973-23			8
	L-1973-25			5
	L-1973-27			3
	L-1973-29			3
	L-1973-34			5
	L-1974-01			
MAJAYURA 1972	M-1972-06			3
	M-1972-07			2
	M-1972-08			3
	M-1972-09			3
	M-1972-11			2
	M-1972-13			3
	M-1972-12			3
CAMARONES 1988	TC-1988-110			1
	TC-1988-112			1
	TC-1988-113			1
	TC-1988-115			1
	TC-1988-116			1
ARUCHARA 1989	A-1987-1140			6
	A-1988-1490E			6
	A-1988-1505			4
	A-1989-1365			3
	A-1989-1420E			3
	A-1989-1460E			3
	A-1989-1490E			3
	A-1989-1505N			3
	A-1989-1505S			3
	A-1989-1550			2
	A-1989-1580			2
	A-1989-1630E			3
	A-1989-1665E			6
	A-1989-1725			3
	A-1989-1810E			3
A-1989-1850E			3	
GUAJIRA 1990	G-1990-970			
	G-1990-990			
	G-1990-1300			
	G-1990-1320			
	G-1990-1400			
	G-1990-1410			



PROGRAMA	LINEA	SEGY	UKOOS	IMAGEN
	G-1990-1430			
	G-1990-1600			
	G-1990-1620			
	G-1990-1640			
SORPRESA 2D-2002	GS-2002-520			2
	GS-2002-740			2
	GS-2002-780			2
	GS-2002-915			2
	GS-2002-1150			2
	GS-2002-1220			
	GS-2002-1300			2
	GS-2002-1370			2
	GS-2002-1112			2
MAICAO 1990	HUMA-1190-01			2
	HUMA-1190-02			4
	HUMA-1190-03			2
	HUMA-1190-04			2
	HUMA-1190-05			2
	HUMA-1190-07			2
	HUMA-1190-09			4
	HUMA-1190-11			4

3.2 Información de pozos

De los pozos correspondientes a la Subcuenca de la Baja Guajira se descargaron informes geológicos generales y regionales, información geoquímica, bioestratigrafía, reportes de perforación, estado de pozo, descripción de muestras de zanja, corazones y rípios. En la Tabla 3.2 y 3.3 se observa el inventario de la información de pozos correspondientes a la Subcuenca de la Baja Guajira,

Tabla 3.2. Inventario de la información de pozo en la Subcuenca de la Baja Guajira.

INFORMACIÓN DE POZOS SUBCUENCA DE LA BAJA GUAJIRA								
POZOS	DOCUMENTO TÉCNICOS				COOR	IMAG	LOGS	CHECK SHOT
	BIOES	D. MTRA	GEOQ.	GRAL				
Almirante-1								
Aruchara-1						8		
Aruchara-2						2		
Ballena-1						16		
Los Manantiales								
Manaure-1								
Molino deViento-1						8		
Perico-1						4		
Ranchería-1						33		



Riohacha-1						7		
Siruma-1						6		
Sorpresa-1						5		
Tinka-1						3		
Epehin-1								
Guaitapa-1								
Maicao-1								
Saure-1								

(Las celdas en color amarillo indican la existencia del archivo correspondiente)

3.3 Reportes de pozo.

Estos informes hacen referencia a procesos y datos de cada uno de los pozos, como actas de inicio, bit records, análisis de muestras de zanja y corazones, estudios de biozonas, análisis petrográficos, reportes geológicos diarios, semanales y mensuales, reportes de terminación y abandono, entre otros. Una compilación de estos reportes se presenta en el Anexo 1. Adicionalmente se realizó una recolección de muestras de zanja en la Litoteca Nacional con el objeto de realizar análisis de reflectancia de vitrinita y huellas de fisión. (Anexo 2)

3.3.1 Recopilación de informes de pozo por título y autor

La siguiente tabla muestra los informes descargados del EPIS, ordenados cronológicamente con sus respectivos autores y títulos (Tabla 3.3). Estos informes están relacionados y referenciados en el texto y en la bibliografía final.

Tabla 3.3. Informes descargados del EPIS de la Subcuenca de la Baja Guajira.

AÑO	AUTOR	TITULO
1974	Ecopetrol	Exploración. Informe Anual
1975	Ecopetrol	Resumen sobre Exploración Petrolífera en la Guajira
1975	Quintero, A	Resumen Exploración Petrolífera en La Guajira
1975	Ecopetrol	Processing Report Digital land Seismic Survey Prospect Guajira
1977	Ecopetrol	Informe Sobre las Actividades de Exploración de Ecopetrol y las Compañías Asociadas
1977	Texaco-Ecopetrol	Guajira Area "A" Iniciación Explotación Campo de Ballena
1979	Ecopetrol	Reporte Operaciones de Campo Área Ranchería
1988	Ecopetrol	Informe Geológico N° 1947
1989	Texaco	Contrato de Asociación Camarones. Informe Técnico Anual
1989	Teknica Seislog Study	Reporte Preliminar en el procesamiento e interpretación de las líneas A87-1140, A87-1280 y 73-24 de la Baja Guajira
1990	Digicon geophysical corp	Informe Impacto Ambiental Proyecto Guajira 90



AÑO	AUTOR	TITULO
1990	Ecopetrol	Proyecto Cesar Ranchería Informe Final Geofísica
1991	Huilex	Área de Asociación Maicao. Informe Anual
1992	Texaco	Contrato de Asociación Rancherías Informe Técnico Anual
1992	Roberson, Lindon	Report Cocinetas Basin Guajira Peninsula
1993	Texaco	Contrato de Asociación Rancherías Informe Técnico Anual
1993	Hocol S.A.	Portete Association Contract Evaluation Report
1999	Ecopetrol	Informe Técnico Asociación Nazareth
1999	Duque Caro Ltda	Biostratigraphy Study Integrating Seismic Data of the Guajira Region
2000	Ecopetrol	Estudio Geoquímico de Gases de la Guajira
2001	Ecopetrol	Evaluación Geoquímica y Origen de las Impregnaciones de Crudo en Suelos de la Cuenca Baja Guajira. Informe Final.
2001	Cocinetas-Petrobras	Origen de los Gases y de los Microrezumaderos de Aceite de la Cuenca de la Baja Guajira.
2001	Ecopetrol	Estudio de los Shows en los Pozos Ballena-1 y Aruchara-1. Cuenca de la Baja Guajira.
2001	Ecopetrol	Estudio del Crudo Asociado al Campo Chuchupa y Ballena. Cuenca de La Baja Guajira. Costa Afuera
2002	ChevronTexaco	Pruebas PBU Año 2002 Campos: Ballena-Chuchupa Pozos: Ballena 4-8-9-12, Chuchupa 2-11-12. Costa Afuera
2005	Solana Petroleum Exploration Colombia Limited	Contrato Salinas Cuenca de la Guajira. Informe Técnico Anual
2006	Omimex de Colombia, Ltda	Bloque Corales (Cuenca Guajira, Colombia) Reporte Final
2006	Ecopetrol	Evaluación Geoquímica de los Pozos Mero-1 y San José-1. Pozos costa afuera.

3.4 Procesamiento de la información

La anterior información recopilada fue revisada y clasificada tomando los principales datos estratigráficos, geoquímicos y de geología del petróleo.

De la revisión de los reportes técnicos, de los registros y de los análisis bioestratigráficos de cada uno de los pozos, se extrajeron los datos de topes, bases y espesores de cada formación (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Topes, bases y espesores de las formaciones en los pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira.

FORMACION	TOPE (Pies)	BASE (Pies)	ESPESOR (Pies)
EPEHIN-1			
Cuaternario	0	1800	1800
Castilletes	1800	3520	1720
Uitpa-Jimol	3520	6180	2660



Siamaná	6180	8120	1940
Basamento Met.	8120	8210	90
GUAITAPA-1			
Castilletes	0	1947	1947
Jimol	1947	3584	1637
Uitpa	3584	5348	1764
Palanz	7081	7380	299
Basamento	7380	7454	74
MAICAO-1			
Cuaternario	0	1390	1390
Castilletes	1390	3930	997
Basamento	3930	3976	46
SAURE-1			
Castilletes	0	2223	2223
Jimol	2223	3775	1552
Macarao	3775	7574	3799
La Quinta	7574	8016	442
Basamento Ígneo	8016	8084	68
MANAURE-1			
Castilletes	0	800	800
Jimol-Uitpa	800	1950	1150
Siamaná	1950	3240	1290
Basamento Met.	3240	3262	22
LOS MANANTIALES-1			
Terciario-Rec.	0	4897	4897
Cretácico Sup.	4897	7177	2280
Basamento	7177	7952	775
BALLENA-1			
Cuaternario	0	100	100
Castilletes	100	4500	4400
Jimol	4500	6220	1720
Uitpa	6220	6810	590
Basamento	6830	6942	112
BALLENA-2			
Castilletes	0	5140	5140
Jimol	5140	6630	1490
Basamento	6630	6750	120
MOLINO DE VIENTO-1			
Cuaternario	0	2920	2920
Castilletes	2920	4070	1150
Jimol	4070	8853	4783
Uitpa	8853	8910	57
Basamento	8910	8950	40
SIRUMA-1			
Cuaternario	0	668	668
Castilletes	668	4236	3568
Jimol	4236	6634	2398
Uitpa	6634	7362	728



Siamaná	7632	7638	276
RIOHACHA-1			
Castilletes	0	6060	6060
Jimol	6060	6190	130
Basamento	6190	6310	120
RANCHERÍA-1			
Castilletes	0	6140	6140
Jimol	6140	6170	30
Basamento	6170	6260	90
PERICO-1			
Cuaternario	0	800	800
Castilletes	800	1980	1180
Jimol	1980	5780	3800
Uitpa	5780	5850	70
Basamento	5850	11185	5335
ARUCHARA-1			
Cuaternario	0	600	600
Castilletes	600	8700	8100
Jimol	8700	9670	1070
SORPRESA-1			
Castilletes	0	1087	1087
Jimol	1087	1312	225
Uitpa	1312	2662	1350
Siamaná	2662	4342	1680
ARUCHARA-2			
Castilletes	0	8640	8640
Jimol	8640	9012	372
TINKA-1			
Castilletes	0	9200	9200
Jimol	9200	9400	200
Basamento	9400	9545	145
ALMIRANTE-1			
Castilletes	0	3010	3010
Jimol	3010	4950	1940
Uitpa	4950	7800	2850
Siamaná	7800	8700	900
Basamento	8700	9000	300
Macarao	4342	4600	258

4. MARCO GEOLÓGICO

La evolución tectónica de la Cuenca de la Guajira y el margen continental esta directamente relacionada con la tectónica del caribe sur, en donde el principal rasgo tectónico es el Gran Arco del Caribe, ver figura 4.1.



En la figura 4.1 se infiere la posición del borde del Gran Arco del Caribe (GAC) desde el Cretácico Superior hasta el reciente, la cual se sustenta en dataciones radiométricas del basamento cristalino que indican que las rocas disminuyen de edad de Oeste a Este. De acuerdo a **Mann (1999)** las edades radiométricas varían desde 73 +/- 3 M.a. en la isla de Araba a 44 +/- 5 M.a. en la isla de los testigos. En el extremo Oeste, los afloramientos del basamento en la Isla los Monjes dan edades de 114 a 116 Ma, En la Serranía de Carpintero las edades radiométricas son de 74Ma y en la Sierra Nevada de Santa Marta las edades son de 110 a 128 Ma. (**MacDonald, 1971**).

También se incluye la localización de las cuencas tipo foreland formadas por la durante la colisión del Gran Arco del Caribe, también conocido como Placa Caribe, con la placa Suramericana.

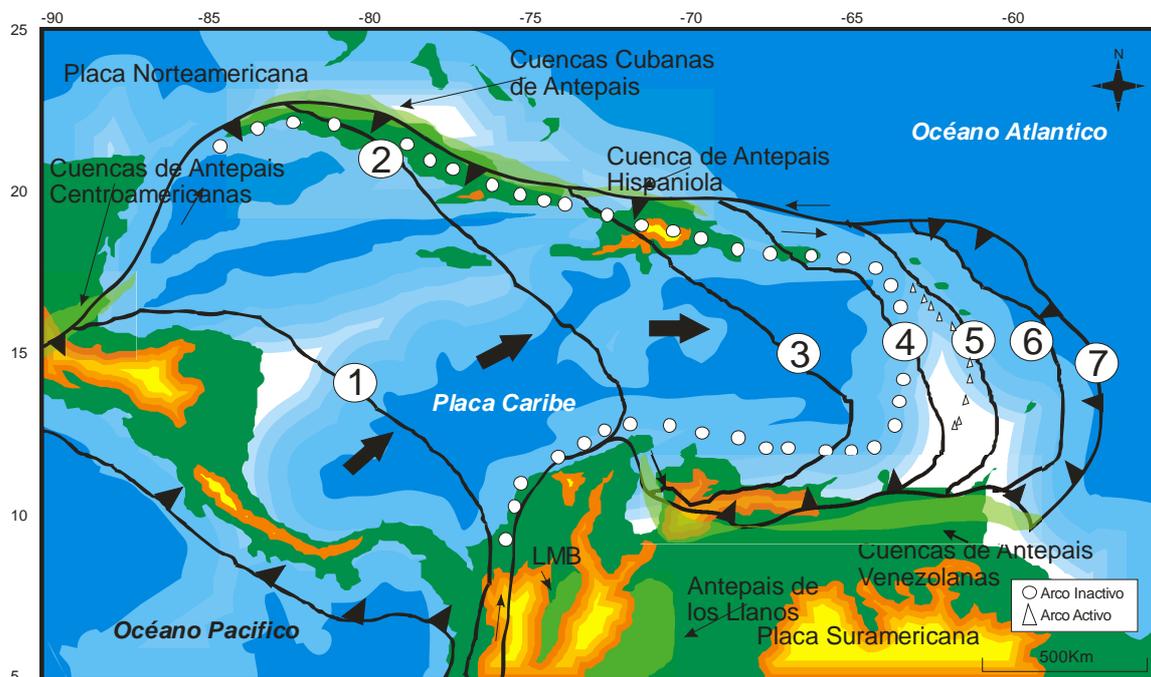


Figura 4.1 Posición del Gran Arco del Caribe, Placa Caribe, desde el Cretáceo tardío (1) Paleógeno (2), Eoceno (3), Oligoceno (4) Mioceno (5), Plioceno (6) y Reciente (7). Mapa modificado de **Mann (1999)**. Las áreas en amarillo indican la posición de cuencas tipo foreland.

Según **Pardo et al. (2007)** la Subcuenca de la Baja Guajira hace parte de la Cuenca de la Guajira, figura 4.1, esta subcuenca está limitada al norte por la Falla de Cuiza y en las regiones costa afuera con sus prolongaciones. El límite sur lo constituye la Falla de Oca y costa afuera con sus prolongaciones. Los principales rasgos fisiográficos de la región son: al sur la Sierra Nevada de Santa Marta, la Cuenca Ranchería y la Serranía de Perijá; al norte las Serranías de Cosinas, Jarara y Macuira y las subcuencas de Portete y Cocinetas, ver figura 4.2.



Figura 4.2. Mapa de la Península de la Guajira, mostrando los rasgos fisigráficos y tectónicos que caracterizan y delimitan la Subcuenca de la Baja Guajira. 1) Sierra Nevada de Santa Marta, 2) Serranía de Perija, 3) Serranía de Cosinas, 4) Serranía de Jarara, 5) Serranía de Macuira, 6) Subcuenca Rancheria, 7) Subcuenca de Portete y 8) Subcuenca de Cocinetas. Tomado de **Rubio et al. (1998).**

5. ESTRATIGRAFÍA

La Península de La Guajira está caracterizada por una serie de macizos aislados, rodeados por regiones planas y cuencas sedimentarias de edad Cenozoica. Geológicamente estos macizos pueden dividirse en tres dominios litotectónicos coherentes (**Álvarez, 1967; Lockwood, 1965, MacDonald, 1964**) de SE a NE incluyen: (1) un dominio de basamento constituido por rocas metamórficas Mesoproterozóicas y Paleozóicas, cortado por un plutonismo Jurásico (**Cardona-Molina et al., 2006**); (2) una serie de unidades metavolcano-sedimentarias de edad Cretácica integrada por las formaciones Jarara y Etpana, asociadas a rocas máficas y ultramáficas de carácter plutónico y cortadas por rocas magmáticas de edad Eocena (**Cardona et al., 2007**); y (3) un segmento poco deformado constituido por rocas sedimentarias Mesozoicas correlacionables con los sistemas depositacionales de la margen autóctona de Suramérica (**Villamil, 1999**).

Particularmente para la Subcuenca de la Baja Guajira las rocas premesozoicas y mesozoicas afloran en la parte norte de la subcuenca, en la parte sur estas unidades se hallan parcialmente presentes debajo de una cobertera sedimentaria del Paleógeno y Neógeno (F. Jimol y Castilletes). El basamento preMesozoico aflora en la parte más noroeste de subcuenca al oeste Serranía de Cosinas y de la Falla de Paralapo. Las rocas del Triásico (Grupo Cojoro: F. Guasasapa y F. Rancho Grande), del Triásico- Jurásico de la F. Uitpana y del Jurásico (F. Cheterló, Cajú, Chinapa y Jipi) afloran en la parte noreste de la subcuenca en la



Serranía de Cosinas. Las unidades del Jurásico también afloran en la región conocida como el “Surco de la Guajira”, indicados en el mapa Geológico de **Raasveldt (1963)**. En relación con la presencia de unidades del Triásico y Jurásico en la parte más sur de la subcuenca, **Rubio et al. (1998)** reporta en el pozo Saure-1 la presencia de la Formación La Quinta (formaciones Guasasapa y Rancho grande).

En relación con las unidades Cretácicas aflorantes en la Subcuenca de la Baja Guajira se reportan la Formación Kesima en el área del Surco de la Guajira, según **Rodríguez y Londoño (2002)** las formaciones Palanz, Moina, Yuruma, Apón, Macara, La Luna y Guaralamai afloran en la Serranía de Cosinas. En la parte sur de esta subcuenca se reporta la presencia de unidades del Cretácico en los algunos de los pozos perforados, según **Rubio et al. (1998)** en el Pozo Guitapa-1, sobre la discordancia del Pre-Cretácico se depositaron sedimentos de las formaciones Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma), Cogollo, Maraca y La Luna; y en el Pozo Los Manantiales-1 reportan la presencia de la Formación Colón (F. Guaralamai). Según **Rubio et al. (1998)** “estas unidades litoestratigráficas en el área de estudio están restringidas a la parte sureste cerca a la Falla de Oca”, y “en la Subcuenca de la Baja Guajira no se han reportado unidades litoestratigráficas de edad Maestrichtiano- Mioceno temprano”. Sin embargo; En el pozo Perico-1 **Robertson (1982)** en **Rubio et al., (1998)** reportan la presencia de unidades sedimentarias de edad Eoceno?-Oligoceno.

La cartografía de las unidades geológicas aflorantes en la Península de La Guajira aparece en el mapa geológico de **Raasveldt et al. (1963)**. En los mapas geológicos publicados por el INGEOMINAS (**Mercado, 1999** y **Gómez et al., 2007** a y b) aparece la cartografía de las unidades geológicas en un sentido cronoestratigráfico (figuras 5.1, 5.2).

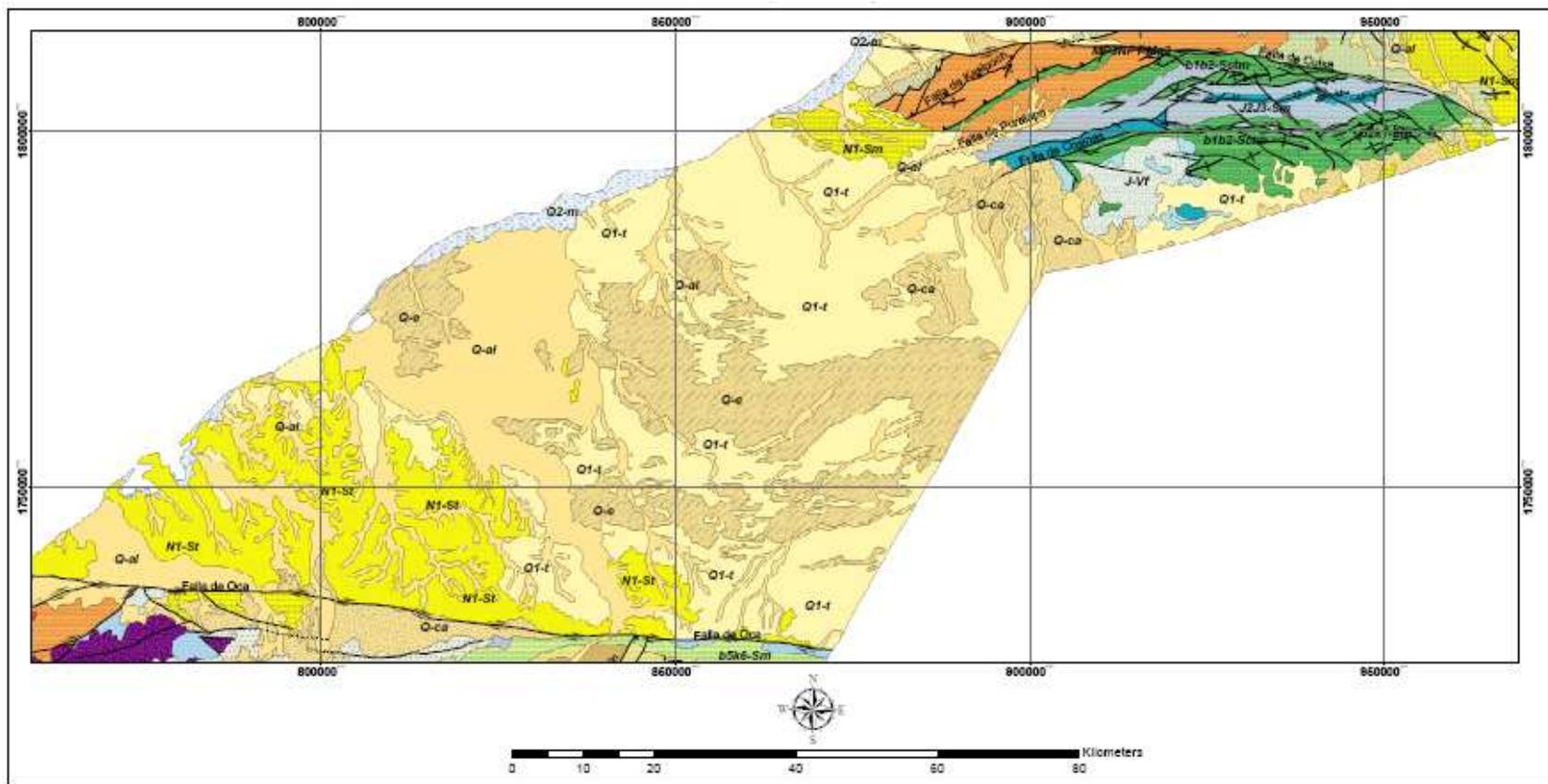


Figura 5.1 Mapa geológico de la Subcuenca de la Baja Guajira. Modificado del Atlas Geológico, Gómez *et al.* (2007 a y b).

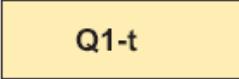
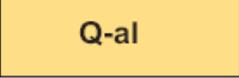
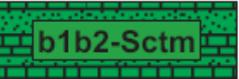
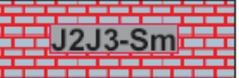
	Terrazas aluviales. Fm. Gallinas.
	Depósitos aluviales y llanuras aluviales. Fm. Castilletes y Fm. Monguí
	Arcillolitas, limolitas, arenitas y conglomerados. Fm. Uitpa y Fm. Jimol
	Calizas intercaladas con arenitas calcáreas y arcillolitas limosas. Fm. Siamaná y Macarao
	Capas rojas de conglomerados, arenitas líticas y feldespáticas, y cuarzoarenitas interestratificadas con lodolitas. Localmente biohemas y calizas arenosas. Grupo Cogollo, Fm. La Luna y Fm. Guaralamai
	Shales con yeso, cherts intercalados con calizas y arenitas. Grupo Yuruma
	Riolitas del Jurásico.
	Shales, limolitas, arenitas y calizas. Gr. Cocinas
	Neises cuarzofeldespáticos, migmatitas, granulitas, anfibolitas, ortoneises, cuarcitas y mármoles. Basamento Paleozoico.

Figura 5.2 Convenciones mapa geológico de la Subcuenca de la Baja Guajira. Tomado del Atlas Geológico, **Gómez et al. (2007 a y b).**

Los estudios más completos de la estratigrafía y sedimentología de las unidades presentes en la Península de La Guajira aparecen compilados en las memorias del mapa geológico del Departamento de La Guajira de **Rodríguez y Londoño (2002)** y **Mercado (2003)**. Estos trabajos se relacionan con los afloramientos que se presentan en las serranías de Macuira, Jarara, Simarúa (Alta Guajira) y Cosinas (Baja Guajira), en las que predominan las rocas del pre-Cenozoico. En la Subcuenca de la Baja Guajira, los afloramientos son escasos, por lo cual el conocimiento Geológico se basa tanto en la interpretación de datos del subsuelo obtenidos mediante las perforaciones de pozos, como en los afloramientos presentes en la Serranía de Cosinas.

La descripción litológica de las formaciones que afloran en la Cuenca de la Guajira se basa en los trabajos de **Garner (1926)**, **Renz (1956, 1960)**, **Rollins (1960, 1965)**, **MacDonald (1964)**, **Lockwood (1965)**, **Álvarez (1967)**, **Tschanz, et al., (1969)**, **Hall y Cediell (1971)**, **Forero (1972)** y **Herrera y Buchelli (1988)**, documentados principalmente en **Rod y Maync (1954)**, **Julivert (1968)**, **Stainforth et al. (1970)**, **De Porta (1974)**, **Macellari (1995)**, **Rubio et al. (1998)**, **Rodríguez y Londoño (2002)**, **Mercado (2003)** y **López (2005b)**.



Las formaciones presentes en la Subcuenca de la Baja Guajira comprenden el rango de edades va desde el Jurásico Inferior hasta el reciente, abarcando ambientes de depósito continentales y marinos (Ver figura 5.3). **Pulido et al. (1991)** considera que en términos generales, la secuencia Mesozoica de la Subcuenca de la Baja Guajira es similar a la descrita para la Cuenca de Maracaibo.

La descripción generalizada de la secuencia presente en la Subcuenca de la Baja Guajira utilizada en este trabajo se presenta a continuación e incluye exclusivamente las formaciones presentes en la Subcuenca de la Baja Guajira:

PERIODO	EPOCA	UNIDAD	LITOLOGIA	
NEOGENO	HOLOCENO			
	PLEISTOCENO	Fm. Mongui		
	PLIOCENO			
	MIOCENO		Fm. Castilletes	
			Fm. Jimol Fm. Uitpa	
PALEOGENO	OLIGOCENO	Fm. Siamana		
	EOCENO			
	PALEOCENO			
CRETACICO	MAAST			
	CAMP	Fm. Guaralamai		
	SAN			
	CON			
	TUR	Fm. La Luna		
	CEN	Fm. Maraca		
	ALB	Gr. Cogollo Fm. Apón		
	APT			
	BARR	Gr. Yanumal Fm. Yaruma		
	HAU	Fm. Moina		
	VAL			
	BERR	Fm. Palanz Fm. Kezima		
	JURASICO	SUP	Gr. Cocinas Fm. Jipi Fm. Chinapa Fm. Caju Fm. Cheterló	
MED				
INF		Fm. Uitpana		
TRIASICO	SUP	Gr. Cojono Fm. Rancho Grande		
	INF	Fm. Guasabapa		
		BASAMENTO		

Figura 5.3. Columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca de la Baja Guajira.



5.1 Unidades del Triásico Superior- Jurásico Inferior

Las rocas del Triásico (Grupo Cojoro: F. Guasasapa y F. Rancho Grande), del Triásico- Jurásico de la F. Uitpana y del Jurásico (F. Cheterló, Cajú, Chinapa y Jipi) afloran en la parte noreste de la subcuenca en la Serranía de Cosinas. Las unidades del Jurásico también afloran en la región conocida como el “Surco de la Guajira” (ver mapa Geológico de **Raasveldt, 1963**). En relación con la presencia de unidades del Triásico y Jurásico en la parte más sur de la subcuenca **Rubio et al. (1998)** reporta en el pozo Saure-1 la presencia de la Formación La Quinta (formaciones Guasasapa y Rancho Grande).

GRUPO COJORO

Autor: Garner (1926) Propuso la unidad “Arenisca de Cojoro” para designar un intervalo de areniscas de unos 152 m que afloran en el Cerro Cojoro (Cerro Ipuana) en la Serranía de Cosinas. **Renz (1960, en Rollins, 1965)** la elevó a rango de grupo, subdividiéndolo en las formaciones Guasasapa, Rancho Grande y Uitpana y designó como localidad tipo la ladera sur del Cerro Cojoro. **Rollins (1965)** utiliza el término Grupo Cojoro, pero reconoció solamente las formaciones Rancho Grande y Uitpana. A partir de **Geyer (1977)** se adoptó esta última subdivisión. Aquí se adopta la subdivisión integrada por las formaciones Guasasapa, Rancho Grande y Uitpana.

Edad: Renz (1960, en Rollins, 1965) asignó el grupo al Triásico. **Geyer (1977)** consideró que la Formación Rancho Grande abarca desde el Triásico tardío, al Jurásico temprano y la Formación Uitpana, del Jurásico medio al tardío. **Mojica y Dorado (1987)** opinan que el límite Triásico-Jurásico hace parte de la Formación Rancho Grande, quedando el resto del grupo en el Jurásico.

Localidad tipo: Garner (1926) En la ladera sur del Cerro Cojoro (Cerro Ipuana) al noroeste de la población de Cojoro (Venezuela) y al norte de Rancho Grande (Colombia), a unos 3 km de la frontera colombo-venezolana, en la porción sureste de la Cerranía de Cosinas (Península de La Guajira).

Descripción litológica: Julivert (1968) “**Renz (1960, en Rollins, 1965)** subdivide el Grupo Cojoro en tres formaciones. La inferior (Formación Guasasapa) está formada por conglomerados, areniscas y lutitas continentales, asociadas con lavas dacíticas. La intermedia (Formación Rancho Grande) consta de calizas y lutitas, y representa un episodio marino. La superior (Formación Uitpana) consta de conglomerados y areniscas de origen lagunar o deltaico”. El espesor de la Formación Rancho Grande es de más de 240 m y el de la Formación Uitpana de más de 500 m; **Renz (1960, en Rollins, 1965)** no da el espesor de la Formación Guasasapa”.

Contactos: El Grupo Cojoro yace discordantemente sobre el basamento granítico, Batolito de Siapana, según **Mojica y Dorado (1987)**. En el tope está cubierto por la Formación Palanz, del Cretácico (**Renz, 1960 en Rollins, 1965**).



Ambiente de Formación: Renz (1960 en Rollins, 1965) lo considera como un ciclo sedimentario que va de continental a marino y luego a deltáico, coincidiendo con eventos volcánicos (lavas dacíticas) presentes en las dos formaciones.

Correlación: Geyer (1977) propuso la correlación del Grupo Cojoro, con el Grupo Cosinas de **Renz (1956)** de la Guajira colombiana. **Stainforth et al. (1970)** “por su posición estratigráfica, su ambiente sedimentario en parte no marino, y la presencia de rocas extrusivas ácidas, se presume su correlación con las formaciones La Quinta y Girón.

FORMACIÓN GUASASAPA

Autor: Renz (1960, en Rollins, 1965) introdujo el término Formación Guasasapa, para designar a la unidad basal del Grupo Cojoro, en la zona sureste de la Península de la Guajira.

Edad: Renz (1960, en Rollins, 1965) asignó la Formación Guasasapa, con el resto del Grupo Cojoro, al Triásico. **Mojica y Dorado (1987)** concluyen, que el límite Triásico Jurásico está contenido en la Formación Rancho Grande, lo cual significa una edad Triásico tardío para la Formación Guasasapa.

Localidad tipo: Loma Guasasapa, sobre la frontera entre Colombia y Venezuela, a unos 3 km al sur del Cerro Cojoro (Cerro Ipuana), en la parte sureste de la Península de la Guajira. Esta formación se presenta en una serie de pequeños afloramientos aislados en el Cerro de Cojoro y en lomas de poco relieve, al sur de ésta.

Descripción litológica: Renz (1960, en Rollins, 1965) dándole la categoría de formación, la describe como “areniscas arcósicas de grano medio a grueso, de color castaño rojizo a púrpura, micáceas, con vetillas de guijarros, conglomerados de guijarros de granitos, anfibolitas y cuarcitas y limolitas micáceas de color púrpura. En la base de la formación, e intercalado con las rocas clásticas, se encuentran flujos de lava dacítica. Se observa estratificación cruzada, nódulos de arcilla y restos de troncos de árboles silicificados en la parte superior”.

En la descripción original de **Renz (1960, en Rollins, 1965)** no se indica el espesor de la formación.

Contactos: De acuerdo con la descripción original de **Renz (1960, en Rollins, 1965)**, la Formación Guasasapa yace discordantemente sobre el basamento granítico (Batolito de Siapana, según **Mojica y Dorado, 1987**). En el tope, pasa transicionalmente a la Formación Rancho Grande.

Ambiente de depósito: En base a su litología y contenido de restos vegetales, **Renz (1960, en Rollins, 1965)** considera que la Formación Guasasapa representa un ambiente fluvio-terrestre y lagunal, y es el inicio de un ciclo sedimentario completo integrado por el Grupo Cojoro en su totalidad. **Rodríguez y Londoño (2002)** indican un ambiente continental dadas las características de estos depósitos, refiriéndose a lo que aquí se denomina Formación Guasasapa.



Correlación: La Formación Guasasapa se correlaciona con la Formación La Quinta (**Stainforth et al., 1970**).

FORMACIÓN RANCHO GRANDE

Autor: Nombre introducido por **Renz (1960, en Rollins, 1965)** para referirse a la unidad intermedia del Grupo Cojoro, en la parte SE de la Península de La Guajira, que subyace la Formación Uitpana y suprayace la Formación Guasasapa. **Rollins (1965)** describió la unidad incluyendo en ella la Formación Guasasapa.

Edad: **Renz (1960, en Rollins, 1965)** consideró una posible edad Triásico temprano para la unidad. **Rollins (1965)** considera esta formación de edad triásica por correlación con la Formación La Quinta (de edad Triásico Superior al Jurásico Inferior según **Sutton, 1946**). **Geyer (1973)** al correlacionar el Grupo Cojoro con el Grupo Cosinas, le da una edad Jurásica. **Mojica y Dorado (1987)** concluyen que la edad de la Formación Rancho Grande, iría del Triásico tardío al Jurásico temprano. **Rodríguez y Londoño (2002)** consideran que puede ser del Jurásico temprano.

Localidad: **Rollins (1965)** localiza la sección de referencia en afloramientos del Cerro Cojoro (Cerro Ipuana). La formación toma su nombre del caserío Rancho Grande en territorio colombiano, a unos 7 km al noreste de la población venezolana de Cojoro y a 2 km de la frontera. La sección tipo está en su vertiente meridional del Cerro Cojoro (Cerro Ipuana), a unos 4 km al noreste del Rancho Grande (**Geyer, 1973**). La Formación Rancho Grande se conserva como remanentes erosionales en los cerros de la Serranía de Cosinas (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

Descripción litológica: En la descripción original de la formación, **Renz (1960, en Rollins, 1965)** describe areniscas duras, quebradizas y macizas, de color gris oscuro, en la parte inferior, seguidas por calizas fosilíferas color gris, limosas a arenosas, limolitas arenosas y areniscas de grano fino. En el tope de la formación se encuentran calizas gris azulado, intercaladas con lutitas negras fosilíferas. **Rollins (1965)** menciona además, sills riolíticos, flujos y diques en varios niveles en la localidad tipo, (**Geyer 1973**) menciona intercalaciones de lutitas duras y arcillolitas en toda la secuencia. El espesor de esta unidad es de más de 240 m.

Contactos: Según la descripción original de **Renz (1960 en Rollins, 1965)**, la formación yace concordantemente sobre la Formación Guasasapa y por debajo de la Formación Uitpana. **Rodríguez y Londoño (2002)** menciona “de acuerdo con **Rollins (1965)** y **Geyer (1973)** la Formación Rancho Grande es suprayacida en discordancia por la Formación Uitpana en el área del Cerro Cosinas y Cerro Cojoro (Cerro Ipuana)” y **Rollins (1965)** reporta que en el área de Rancho Grande, es suprayacida en discordancia angular de ángulo alto por la Formación Palanz del Cretácico Inferior.

Ambiente de depósito: **Renz (1960 en Rollins, 1965)** considera que esta formación se depositó en un ambiente marino, "en parte lacustre o lagunal".



Correlaciones: **Rollins (1965)** consideran que esta formación es correlacionable con la Formación La Quinta de Los Andes de Mérida y la Sierra de Perijá en Venezuela y con la Formación Girón en el Macizo de Santander. Para **Rodríguez y Londoño (2002)** esta formación corresponde en la Serranía de Macuira a lo que **MacDonald (1964)** denominó como Formación La Quinta. **MacDonald y Opdyke (1972)** denominan esta unidad como Capas Rojas de Ipapure en la región de Ipapure.

FORMACIÓN UITPANA

Autor: Nombre asignado por **Renz (1960, en Rollins, 1965)** para agrupar las capas de areniscas y conglomerados que afloran en el Cerro Uitpana (Cerro Cojoro o Cerro Ipuana).

Edad: **Rollins (1965)** le ha asignado una edad del Triásico a Jurásico temprano con base en relaciones estratigráficas, debido a la falta de fauna fósil en esta formación.

Localidad: **Stainforth et al. (1970)** “Forma la cresta de la Serranía de Cojoro o Cerro Uitpana, del cual toma su nombre”. **MacDonald (1964)** “esta unidad aflora, como un cuerpo irregular, en el extremo más occidental de la Península de La Guajira, al norte de la Población de Ichipa, en la Serranía de Macuira”.

Descripción litológica: Según **Rollins (1965)** está constituida principalmente por areniscas de cuarzo limpias, bien seleccionadas, de grano medio hasta conglomeráticas de guijarros, bien cementadas, de color pardo claro; en capas masivas con estratificación cruzada (**MacDonald, 1964**). Hacia la base algunas calizas conglomeráticas compuestas por guijarros subangulares de caliza cristalina fina de color gris oscuro, en una matriz de arena pobremente seleccionada (**Rollins, 1965**). **Stainforth et al. (1970)** reporta en las capas de arenisca un tronco de árbol silicificado de 2 metros de longitud y restos de plantas.

El espesor aproximado de esta formación, medido en una sección incompleta, es de 532 m. (**Rollins, 1965**).

Contactos: Según **Renz (1960 en Rollins, 1965)** es concordante sobre la Formación Rancho Grande y discordante bajo la Formación Palanz, opinión que comparte **Rollins (1965)**. **MacDonald (1964)** indica que se encuentra en contacto fallado de bajo ángulo con las rocas metamórficas del Grupo Macuira y reposa, al parecer, disconforme sobre la Formación La Quinta.

Ambiente de depósito: Para **Rollins (1965)** la litología de la Formación Uitpana, es característica de un ambiente marino de playa.

Correlaciones: **Rollins (1965)** considera que esta formación puede ser correlacionada con la parte superior de la Formación La Quinta en Los Andes de Mérida en Venezuela, aunque no existen muchas evidencias que soporten esta idea (**Rodríguez y Londoño, 2002**).



GRUPO COSINAS

Autor: **Renz (1956, en Rollins, 1965)** utiliza el nombre de Grupo Cosinas para agrupar las rocas del Jurásico que afloran en la población de Ararieru, sin hacer una división formal del mismo, pero posteriormente, **Renz (1960, en Rollins, 1965)**, la separa en Shale de Cuisa y Formación Chinapa, aunque lo hace en secciones falladas. **Rollins (1965)** conserva la denominación de Grupo Cosinas y lo divide en las formaciones Cheterló, Cajú, Chinapa y Jipi (Shale de Cuisa), división que se adopta aquí.

Edad: **Renz (1956, en Rollins, 1965)** las considera como rocas del Jurásico; **Bürgl (1958 y 1961)** considera de edad berriasiana la parte más superior del Grupo Cocinas; **Etayo et al. (1983)** asigna una edad Jurásica; **Almarza (1997)** Propone para el Grupo Cocinas una edad del Jurásico superior.

Localidad: **Renz (1956, en Rollins, 1965)** "dos kilómetros la norte del Caserío Ararieru" situado en el Surco de La Guajira.

Descripción litológica: **Raasveldt (1963)** describe la unidad como lutitas, limolitas y lutitas calcáreas; **Almarza (1997)** facies lutíticas marinas y complejos arrecifales transgresivos.

Contactos: **Almanza (1997)** El grupo Cocinas pasa transicionalmente a la Formación Palanz (Cretácico inferior). **Julivert (1968)** indica que la base de esta unidad no aflora debido a fenómenos tectónicos.

Ambiente de depósito: **Almarza (1997)** marino y arrecifal.

FORMACIÓN CHETERLÓ

Autor: **Rollins (1960)** crea el término "Cheterlo Formation" y **Rollins (1965)** describe dicha formación. **Rollins (1960)** dio este nombre a la unidad compuesta por la intercalación de shales, arcillolitas de color pardo, gris verdoso y rojo, y areniscas, que afloran en el centro del Anticlinal de Cosinas.

Edad: **MacDonald (1964)** le asigna una edad pre-Kimmeridgiano; **Rollins (1965)** le asigna una edad Jurásico Inferior a Medio con base en relaciones estratigráficas, ya que no se ha encontrado fauna diagnóstica que permita asignar claramente su edad, con excepción de *Ostrea* sp; **Etayo et al. (1983)** le asigna una edad Jurásico Inferior o Medio (?).

Localidad: **Rollins (1965)** sitúa la localidad tipo a 1,5 km al sur del pueblo de Cheterló (Península de la Guajira). **MacDonald (1964)** reporta que esta formación también aflora en la Serranía de Macuire, en el núcleo de un anticlinal, en el Arroyo Kayashpánu y al sur entre las fallas de Cuisa y Cosinas, al norte de la Población de Cajú y a 7 km de la Población de Hauaraiashimana.

Descripción litológica: Esta unidad está constituida según **Rollins (1965)** hacia la parte inferior por una intercalación de arcillolitas rojas y verdes y algunas de areniscas de cuarzo de grano fino a muy fino y hacia la parte superior por areniscas de cuarzo de grano fino a muy fino intercaladas con shales limosos de



color pardo, micáceos y ligeramente carbonáceos. Las areniscas son de color gris a gris verdoso y localmente verde claro, muy densas, resistentes y bien estratificadas.

En la localidad tipo tiene un espesor aproximado de 485 m y en la quebrada Patama en otra sección alcanza un espesor aproximado de 1.285 m.

Contactos: De acuerdo a **Rollins (1965)** el contacto inferior no se conoce, ya que la parte más inferior de la unidad no aflora y el contacto superior con la Formación Cajú es conforme y gradual. Al sur, en el área de Cosinas, el contacto con la Formación Moina del Cretácico está marcado por la Falla Cosinas.

Ambiente de depósito: Rollins (1965) considera que la Formación Cheterló se depositó bajo condiciones marinas cercanas a la costa, que habrían llegado a ser continentales en algún tiempo. Para este autor, los restos de *Ostrea* indican un ambiente marino parcial y sugiere que los limos y shales limosos micáceos de color gris verdoso, con algunas arenas intercaladas, fueron depositados en bahías que posteriormente, debido a cambios eustáticos fueron expuestas a condiciones oxidantes que generaron el tono rojizo característico de la unidad.

Correlaciones: Según **Rollins (1965)**, la Formación Cheterló no tiene equivalentes en las otras cuencas de Colombia y Venezuela y, por lo tanto, no es posible establecer correlaciones.

FORMACIÓN CAJÚ

Autor: Rollins (1960 en Rollins (1965)) crea el término "Caju Formation". **Rollins (1965)** describe la Formación Cajú como una secuencia gruesa de shales verde oliva parduzco.

Edad: Rollins (1965) menciona para el área de Cosinas la presencia en la parte superior de la Formación Cajú, 450 m. por debajo del techo, de *Exogyra* u *Ostrea*, *Astarte*, *Crassatella*, y algunos amonites no identificables en la base que no permiten asignar una edad precisa, aunque (**Creole Petroleum Co. en Rollins, 1965**) ha reportado la presencia de *Perisphinctes* cf. *biplex* Sowerby del Jurásico tardío. **Rollins (1965)** considera que esta formación es al menos del Jurásico Superior y posiblemente Jurásico Medio, con base en relaciones estratigráficas. **Etayo et al. (1983)** asignan una edad Jurásico Superior (y Medio?).

Localidad: Rollins (1960 en Rollins (1965)) sitúa localidad tipo a unos 0,5 km al W del pueblo de Cajú. Esta unidad aflora en el Anticlinal de Cosinas.

Descripción litológica: Según **Rollins (1965)** está constituida principalmente por limolitas y shales de color verde oliva parduzco, con algunas intercalaciones de areniscas y calizas. En los 300 m. inferiores es frecuente la presencia de calizas arenosas grises, de nódulos calcáreos de tonalidades gris oscuro, así como de concreciones limoníticas. Los shales de la parte media son abundantes en micas, y los de la parte superior son de color gris claros limosos y micáceos. Areniscas de cuarzo de granos finos y finamente estratificados, ocurren principalmente en la parte superior de la formación. A lo largo de toda la formación



se presentan capas delgadas y muy fracturadas de calizas dolomíticas de color pardo amarillento. Según **Rollins (1965)** esta unidad alcanza un espesor de 992 m.

Contactos: “La Formación Cajú manifiesta un paso gradual tanto respecto a la Formación Cheterló, sobre la que se apoya, como respecto a la Formación Chinapa situada encima de ella” (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

Ambiente de depósito: **Rollins (1965)** por sus características litológicas, considera un ambiente de depósito bajo condiciones marinas poco profundas para la Formación Cajú.

Correlaciones: Según **Rollins (1965)** la Formación Cajú no tiene equivalentes en las otras cuencas de Colombia y Venezuela y, por lo tanto, no se pueden establecer correlaciones.

FORMACIÓN CHINAPA

Autor: **Renz (1960)** utiliza informalmente el nombre de Formación Chinapa para las areniscas de cuarzo, duras que afloran en el Anticlinal de Cosinas. Posteriormente, **Rollins (1965)** redefine esta unidad bajo el nombre de F. Pachepa y conserva su posición estratigráfica debajo del Shale de Cuisa y dentro del Grupo Cosinas.

Edad: **Rollins (1965)** con base en relaciones estratigráficas se le ha asignado a esta unidad una edad del Jurásico medio, debido a la ausencia en ella de fauna diagnóstica. **Julivert (1968)** le asigna una edad de Jurásico Sup. (o Berriasiano ?). **Etayo et al. (1983)** le asignan una edad Jurásico Superior – Berriasiano (?).

Localidad: **Renz (1960)** la sección tipo aflora al norte del caserío de Chinapa. **Rollins (1965)** localiza la sección de referencia cerca al cerro Pachepa, al sur de la población de Cajú. La Formación Chinapa aflora al sur de la población de Cajú y se extiende hasta la Falla Cosinas (**Rollins, 1965**); al norte, en la Serranía de Macuira (**MacDonald, 1964**) se presenta un pequeño afloramiento al noreste de Ichipa y en la costa 7 km al sur de Punta Espada.

Descripción litológica: Según **Rollins (1965)** la Formación Chinapa está constituida por areniscas de cuarzo de grano medio a grueso, bien estratificadas con espesor variable, de colores pardo amarillento a pardo grisáceo, y por conglomerados bien cementados de guijarros subangulares a subredondeados de granitos, rocas metamórficas y conglomerados retrabajados, con una matriz de arena pobremente seleccionada, en capas masivas y resistentes. Intercalados con algunos niveles de shales limosos, micáceos, finamente estratificados de color gris hacia la base de la unidad y de calizas pardo amarillentas, localmente con restos de conchas y bivalvos, en la parte media de la unidad. Hacia la base de la unidad aparecen también areniscas cuarzo feldespáticas de grano fino, micáceas y arcillosas.



Rollins (1965) reporta en la sección de referencia un espesor de 1.177 m y en otra sección cerca a la población de Jipi un espesor de 664 m. Más al occidente de la sección de referencia la unidad aumenta de espesor.

Contactos: Rollins (1965) la Formación Chinapa suprayace la Formación Cajú en contacto gradacional concordante y grada, tanto lateral como verticalmente, a la F. Shale de Cuisa (Formación Jipi, **Rollins, 1960** en **Julivert, 1968**). **Rollins (1965)** La Formación Chinapa se encuentra muy afectada tectónicamente por fallas y pliegues, por lo cual no aflora en el flanco norte del Anticlinal de Cosinas. **Julivert (1968)** “la Lutita de Cuisa (en su sección tipo) se apoya concordante sobre la Formación Chinapa”.

Ambiente de depósito: Las presencia de clastos gruesos y la gradación inversa sugieren un probable ambiente continental cercanamente litoral a marino poco profundo (**Rollins, 1965**).

Correlaciones: La Formación Chinapa no tiene equivalentes en las otras cuencas de Colombia y Venezuela, por lo tanto, no se pueden establecer correlaciones (**Rollins, 1965**).

FORMACIÓN JIPI

Autor: Definida originalmente como “Lutita de Cuisa” por **Renz (1960** en **Rollins, 1965)** como parte del Grupo Cosinas; **Rollins (1960)** la nombra como Formación Jipi; **Rollins (1965)** como “Cuisa shale”; **Julivert (1968)** como “Lutita de Cuisa”; **Etayo et al. (1983)** como “Formación Jipi”; **Rodríguez y Londoño (2002)** como “Formación Cuisa o Shale de Cuisa”.

Edad: En esta unidad se han encontrado asociaciones faunísticas que indican una edad de Jurásico tardío (Kimmeridgiano y Portlandiano) para esta formación (**Rollins, 1965**). **Etayo et al. (1983)** asignan a la F. Jipi (Shale de Cuisa) una edad Jurásico Superior.

Localidad: Renz (1956, en Rollins, 1965) ubica la sección tipo de esta unidad cerca a la Población de Kesima y posteriormente, **Rollins (1965)** señala dos secciones de referencia: una al sur del Cerro Pachepa y la segunda en la Población de Jipi, en la parte sur del Anticlinal de Cosinas. También aflora en la Serranía de Macuira (**MacDonald, 1964**), cerca a las poblaciones de Punta Espada y Parajimaruhu y al sur en los alrededores de la Laguna de Cuisa.

Descripción litológica: De acuerdo con **Rollins (1965)**, el Shale de Cuisa está constituido principalmente por una secuencia gruesa de shales finamente laminados, duros, limosos, micáceos, ligeramente carbonáceos, con fracturamiento astilloso, de color gris oscuro y pardo; intercalados con areniscas, limolitas y con algunas calizas arenosas, calizas y calizas dolomíticas de color pardo amarillento. Hacia la parte superior de la unidad se encuentran areniscas de color pardo grisáceo a verde oliva parduzca y limolitas micáceas que contienen restos de microfósiles. Hacia el oeste y noroeste aumenta lateralmente el



contenido de arena y pasan a ser areniscas las rocas predominantes en la formación.

Cerca a la Falla Cosinas en la parte más superior de la formación, se presentan bancos de biohermas coralinas muy densas, de color gris oscuro a negro con ínter digitaciones de shales y areniscas calcáreas, dentro de los cuales se presentan areniscas calcáreas con abundantes restos de corales, conchas y “bolsillos” con amonites (**Rollins, 1965**).

Rollins (1965) en la sección del Anticlinal de Cosinas, se midió para esta unidad un espesor de 1.008 m., aunque precisa que puede alcanzar hasta 1.200m. No se observa el techo debido a una falla, pero en otras zonas, este mismo autor reporta espesores de 549m.

Contactos: Suprayace en contacto conforme la Formación Chinapa e infrayace, dentro de la Cuenca de Cosinas, en contacto conforme la Formación Palanz; pero al sur de la Falla Cuisa se pincha y la Formación Palanz reposa directamente sobre el basamento (**Rollins, 1965**).

Ambiente de depósito: Los sedimentos y las asociaciones faunísticas encontradas en esta formación indican un ambiente de depósito marino poco profundo (**Rollins, 1965**).

Correlaciones: Para **Rollins (1965)** esta formación no tiene equivalentes estratigráficos en la Cordillera Oriental en Colombia ni en el occidente de Venezuela.

5.2. Unidades del Cretácico

Los sedimentos Cretácicos, cubren aproximadamente 10% de la superficie de la Península de la Guajira. En la Subcuenca de la Baja Guajira se reportan unidades Cretácicas de la F. Kesima del Berriasiano-Valanginiano (ξ) en el área del Surco de la Guajira. Según **Rodríguez y Londoño (2003)** las formaciones Palanz del Berriasiano tardío -Valanginiano temprano, Moina del Valanginiano-Hauteriviano, Yuruma del Barremiano, Apón del Aptiano inferior, Macara del Albiano superior-Cenomaniano, La Luna del Turoniano – Santoniano y Guaralamai del Campaniano-Maestrichtiano afloran en la Serranía de Cosinas y en los algunos de los pozos perforados en la parte sur de esta subcuenca. Según **Rubio et al. (1998)** en el Pozo Guitapa-1, sobre la discordancia del Pre-Cretácico se depositaron areniscas cuarzosas, calizas y shales de las formaciones Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma), Cogollo, Maraca y La Luna; y en el Pozo Los Manantiales-1 reportan la presencia de la Formación Colón (F. Guaralamai). Según **Rubio et al. (1998)** “estas unidades litoestratigráficas en el área de estudio están restringidas a la parte sureste cerca a la Falla de Oca”, y “en la Subcuenca de la Baja Guajira no se han reportado unidades litoestratigráficas de edad Maestrichtiano- Mioceno temprano”.

FORMACIÓN KESIMA



Autor: **Renz (1960 en Rollins, 1965)** a una sucesión de calizas con intercalaciones de margas. **Rollins (1965)** redefine esta unidad y propone denominar las areniscas y conglomerados como Formación Palanz y Miembro Kesima a las calizas que **Renz (1960, en Rollins, 1965)** denominó como Formación Kesima. **Julivert (1968)** y **Etayo et al. (1983)** retoman la división propuesta por **Renz (1960)**. Aquí adoptaremos los términos F. Kesima y F. Palanz.

Edad: **Renz (1960)** le asigna una edad Valanginiana; **Julivert (1968)** le asigna una edad Berriasiano al Valanginiano basándose en la edad otorgada por **Bürgl (1958 y 1961)** a la siguiente fauna del Miembro Kesima citada por **Rollins (1965)** y recolectada en diversas localidades: *Isognomon* cf. *ricordeana*, *Exogyra tamaulipana*, *Trigonia* n. sp.? y *Ostrea* sp. En el área de Trijajain cita: *Ostrea* sp., *Trigonia* n. sp.?, *Argentiniceras* cf. *noduliferum* y *Astrocoenia* sp. **Etayo et al. (1983)** mantienen esta asignación al Berriasiano – Valanginiano (¿).

Localidad: La sección tipo está situada por **RENZ (1960)** al norte del caserío de Kesima en la región de la cuña de Cuiza. Esta formación sólo se presenta en la zona del surco de la Guajira.

Descripción litológica: la parte inferior de la unidad por areniscas de cuarzo de grano grueso, pardas, con algunas intercalaciones de calizas coralinas, descrita como la parte basal de la F. Palanz (**Rodríguez y Londoño, 2002**), la parte superior denominada como F. Kesima es descrita por **Julivert (1968)** y **Etayo et al. (1983)** como “Calizas grises muy fosilíferas y detríticas, interestratificadas con margas grises también fosilíferas. Según **Rodríguez y Londoño (2002)** “el Miembro Kesima está conformado por calizas arrecifales algáceas y coralinas **Renz (1960, en Julivert, 1968)**”, su espesor varía según la localidad; en su sección tipo alcanza 150 m de espesor; más hacia el oeste a lo largo del mismo flanco, al norte de la laguna de Cuiza, presenta 200 m de potencia. Hacia Guanilupana, en la parte oeste de la cuña de Cuiza, sólo tiene 80 m de espesor y en el sur no llega a los 50 m”.

Contactos: **Julivert (1968)** “en la localidad tipo, se sitúa entre la Lutita de Cuiza (F. jipi) infrayacente y la Formación Palanz suprayacente y sus contactos están muy bien definidos”. Según **Rollins (1965)**, en la plataforma de la Guajira, el miembro Kesima se apoya directamente sobre las rocas del basamento.

Ambiente de depósito: Plataforma calcárea muy somera, por el tipo de litología y de fósiles encontrados en ella.

Correlaciones: según **Rollins (1965 en Rodríguez y Londoño, 2002)** “La Formación Palanz (F. Kesima y F. Palanz), en conjunto con las calizas de la Formación Yuruma, en la Península de La Guajira, han sido correlacionadas por litología con la Formación Río Negro en la Serranía de Perijá en Venezuela y con la Formación Arcabuco en la Cordillera Oriental en Colombia y con base en el contenido fosilífero con las areniscas del Grupo Cáqueza de la Cordillera Oriental en Colombia”.



FORMACIÓN PALANZ

Autor: Esta formación fue definida inicialmente por **Renz (1960, en Rollins, 1965)** como una sucesión gruesa de areniscas de color pardo rojizo y de conglomerados que forman escarpes al norte de la carretera Cojoro - Ranchería. Posteriormente, **Rollins (1965)** redefine esta unidad y propone denominar las areniscas y conglomerados como Formación Palanz. Aquí se utiliza el término F. Palanz con los criterios dados por **Renz (1960)**, utilizados por **Julivert (1968)** y **Etayo et al., (1983)**.

Edad: (**Renz, 1960 en Rollins, 1965**) en la columna estratigráfica de la sección tipo, cita también en la parte alta de la formación foraminíferos (*Glomospira*, *Arenobulimina* y *Dorothia*) y algas calcáreas y le atribuye a esta formación una edad valanginiana. **Etayo et al. (1983)** asigna una edad Berrasiano-Valanginiano(?). **Guerrero (2002)** le asigna una edad Berriasiano tardío - Valanginiano temprano para esta unidad.

Localidad: (**Renz, 1960**) sitúa la localidad tipo 11 km al noreste de la triangulación de Cerro Guasasapa, en la frontera Colombo-Venezolana. En la Serranía de Cosinas, en el carretable entre Siamaná y Moyojoy, en los arroyos Parisimash, Chirumahana y Moina. La Formación Palanz aflora en la parte norte de la Península de La Guajira (**MacDonald, 1964**), al norte y noroeste de Punta Espada.

Descripción litológica: según **Julivert (1968)** la sección tipo consta de “areniscas de color púrpura a castaño, compuestas de cuarzo, ftanita, feldespatos y fragmentos de rocas; estos componentes son redondeados a angulares y de grano fino a grueso, cementados por calcita o bien por una matriz arcillosa”. **Rollins (1965, en Rodríguez y Londoño, 2002)** la unidad superior de la F. Palanz esta constituida por “conglomerados arcóscicos, de color pardo rojizo que pasan a areniscas conglomeráticas y areniscas cuarzosas, Localmente hacia la base se presentan calizas coralinas y hacia el tope calizas fosilíferas no coralinas, de color gris a negro, finamente estratificadas con intercalaciones de shales calcáreos y shales arcillosos de tono rojizo”.

El espesor de la formación (**Renz, 1960 en Julivert, 1968**) es de 300 m en la sección tipo, pero en otras localidades, como el borde S del surco de la Guajira y cuña de Cuiza, alcanza los 400 m; en el macizo de la Guajira central sólo alcanza 220 m.

El espesor de la Formación Palanz (F. Kesima y Palanz) varía en cada una de las secciones medidas por **Rollins (1965)** con valores de 794 m en la Quebrada Yoi al sur de la Serranía de Cosinas, 592 m cerca al Cerro Coyoi, en una sección incompleta en Trijajain 972 m, en las áreas de plataforma al sur de Cosinas 295 m y 450 m estimados en una sección incompleta en la Quebrada Borocho, en la parte norte de la Cuenca de Cosinetas. La unidad aumenta de espesor y desvanece hacia el este a lo largo de la línea de bisagra de Cosinas y forman una unidad continua de alternancia de calizas coralinas y areniscas calcáreas que alcanzan un espesor de 300 m.



Contactos: Según **Renz (1960)** la Formación Palanz en el surco de la Guajira se apoya sobre la Formación Kesima y se encuentra por debajo de la Formación Moina. Sin embargo, en la localidad tipo, esta formación se apoya discordante sobre rocas volcánicas posiblemente jurásicas.

Ambiente de depósito: (**Rollins, 1965** en **Rodríguez y Londoño, 2002**) “la Formación Palanz se depositó en un ambiente que varió de continental hacia el oeste a marino poco profundo hacia el este”.

Correlaciones: Según **Rollins (1965** en **Rodríguez y Londoño, 2002**) “La Formación Palanz (F. Kesima y F. Palanz), en conjunto con las calizas de la Formación Yuruma, en la Península de La Guajira, han sido correlacionadas por litología con la Formación Río Negro en la Serranía de Perijá en Venezuela y con la Formación Arcabuco en la Cordillera Oriental en Colombia y con base en el contenido fosilífero con las areniscas del Grupo Cáqueza de la Cordillera Oriental en Colombia”.

GRUPO YURUMA

Autor: Geólogos de la Richmond Exploration Company usaban este término en 1947 (**Julivert, 1968**). **Renz (1956** en **Julivert, 1968**) propone formalmente el término Grupo Yuruma, “Yuruma Formation” y divide esta unidad en F. Moina (Yuruma inferior) y F. Yuruma (Yuruma superior). Posteriormente, **Renz (1960)** le asigna el nombre de Formación Moina a la unidad Yuruma Inferior y Formación Yuruma a la unidad Yuruma Superior. **Rollins (1965)** propuso elevar el término Yuruma a la categoría de grupo y a su vez lo subdividió en Formación Moina (conservando los límites de **Renz, 1960**) y Formación Yuruma Superior (modificando su límite superior).

Localidad: Sección tipo en el Cerro Yuruma (**Rollins, 1965**), al sureste de la Península de la Guajira, al norte de la Ranchería de Guachari. **Renz (1956** en **Julivert, 1968**) “una secuencia de materiales calcáreos que afloran en el flanco W del Cerro Yuruma”. **Rodríguez y Londoño (2002)** “las rocas del Grupo Yuruma afloran en el área de Cosinas, al sur de la Falla Cuisa, donde se presentan falladas y forman bloques”.

Descripción litológica: El grupo Yuruma consta de dos partes (**Rollins, 1965**): una parte inferior de edad hauteriviana a la que denomina “Lower Yuruma” (F. Moina). **Etayo et al. (1983)** las describe como “calizas de color gris castaño, areniscas, parcialmente dolomíticas que alternan con margas y calizas nodulares algunas oolíticas y silíceas”; la parte superior de edad barremiana a la que **Rollins (1965)** denomina “Upper Yuruma” (F. Yuruma). **Renz (1960** en **Julivert, 1968**) la describe como “unos 120 m de margas fosilíferas gris-claras que alternan con calizas nodulares densas y grises. Las margas y calizas nodulares son muy ricas en moluscos y equínidos. Hacia el tope de la sucesión de margas aparecen unos 30m de lutitas foliadas negras y calcáreas, con restos de peces, cubiertos con vivianita, y algunas capas de calizas lenticulares”



A pesar de estar afectada tectónicamente, en la sección tipo se presenta la columna completa del grupo sin fallas, que alcanzan un espesor total de 576 m (**Rollins, 1965**). **Renz (1960, en Rollins, 1965)** afirma que el espesor total para estas formaciones es de 450 m.

Contactos: El Grupo Yuruma se encuentra en contacto conforme sobre la Formación Palanz y es suprayacido conforme por las rocas del Grupo Cogollo (**Rollins, 1965**).

Correlación: De acuerdo con **Stainforth et al. (1970)** por su posición similar, infrayacente al Grupo Cogollo, la Formación Río Negro (Serranía de Perija) y el Grupo Yuruma de la Península de la Guajira, aparentemente son correlativas, no obstante, sus litologías diferentes.

FORMACIÓN MOINA

Autor: **Renz (1960)** le asigna el nombre de Formación Moina a la unidad Yuruma Inferior definida por **Reinz (1956 en Rollins, 1965)**. **Rollins (1965)**, **Juliver (1968)** y **Etayo et al. (1983)** utilizan el término Formación Moina en el mismo sentido que **Renz (1960)**.

Edad: **Rollins 1965** le asigna una edad Valanginiano al Hauteriviano. **Julivert (1968)** y **Etayo et al. (1983)** utilizan también esta asignación. **Julivert (1968)** en la Formación Moina, a unos 400 m. de la base se han encontrado *Olcostephanus*, fósil que se considera Hauteriviano, por tanto le asigna una edad Valanginiano-Hauteriviano para esta unidad.

Localidad: El nombre de la formación deriva del caserío Moina, situado en la quebrada Moina 4 km al SE del Cerro Yuruma (**Renz 1960, en Julivert, 1968**). Las rocas del Grupo Yuruma afloran en el área de Cosinas, al sur de la Falla Cuisa.

Descripción litológica: **Rollins (1965)** subdivide la Formación Moina en tres unidades litológicas diferentes. La parte inferior constituida de calizas con textura de fina a gruesa, generalmente fosilíferas, de color pardo grisáceo a gris y negro, densas, resistentes, en parte masivas, con intercalaciones de shales margosos, blandos y fosilíferos, de color gris; la parte media consiste de margas y calizas margosas fosilíferas de color pardo grisáceo a gris; y la parte superior de calizas arenosas masivas, cristalinas gruesas y fosilíferas, muy resistentes, de color pardo grisáceo a gris oscuro, localmente se presentan capas de areniscas de cuarzo blanco de granos gruesos. Hacia el norte, entre Pochina y Cuisa, las margas contienen una cuña de areniscas de grano fino a grueso, calcáreas, resistentes, de color gris a pardo intercaladas con varias capas delgadas de caliza.

El espesor de esta unidad es de 307 m. (**Rollins, 1965**).

Contactos: Los límites de esta formación son: el inferior se encuentra hacia el contacto con las areniscas pardas rojizas de la Formación Palanz y el superior es hacia el tope de la caliza masiva y densa que infrayace una zona de margas blandas y calizas margosas (**Renz, 1960, en Rollins, 1965**).



Ambiente de depósito: Rollins (1965) plantea un ambiente marino poco profundo para la depósito del Grupo Yuruma; además, sugiere que por las variaciones presentadas en la litología de las formaciones que lo componen, el mar permaneció somero al momento de la depósito de la Formación Moina.

Correlaciones: Según **Rollins (1965 en Julivert, 1968)** el Grupo Yuruma se correlaciona en parte con la Formación Río Negro de la Cuenca de Maracaibo y sería una facies equivalente de la parte superior del Río Negro de la Sierra de Perijá. **Álvarez (1967)** correlaciona tentativamente las calizas del miembro Sorih de la Formación Poschachi, que afloran en la Serranía de Simarúa, con las calizas de la Formación Moina del Cretácico Inferior, que aflora en el área de Cosinas.

FORMACIÓN YURUMA

Autor: Renz (1960 en Rollins, 1965) propone el término Formación Yuruma para denominar la unidad "Upper Yuruma" de **Renz (1956)**. **Rollins (1965)** utiliza el término "Upper Yuruma" que no coincide con el término de "Upper Yuruma" de **Renz (1956)** porque le cambia el límite superior. **Julivert (1968)** y **Etayo et al. (1983)** utilizan el término como fue propuesto por **Renz (1960)**, aquí lo utilizaremos en este último sentido.

Edad: Rollins (1965) el "Upper Yuruma" (F. Yuruma) sería todo de una edad barremiana. **Julivert (1968)** "en la Formación Yuruma (sentido de **Renz, 1960**) se encuentran faunas barremianas con *Nicklesia*, *Pulchellia*, *Heinzia*".

Localidad: Rollins (1965) localidad tipo (al oeste del Cerro Yuruma). Las rocas del Grupo Yuruma afloran en el área de Cosinas, al sur de la Falla Cuisa.

Descripción litológica: Renz (1960 en Julibert, 1968) consta de "unos 120 m de margas fosilíferas gris-claras que alternan con calizas nodulares densas y grises. Las margas y calizas nodulares son muy ricas en moluscos y equínidos. Hacia el tope de la sucesión de margas aparecen unos 30m de lutitas foliadas negras y calcáreas, con restos de peces, cubiertos con vivianita y algunas capas de calizas lenticulares"

El espesor de esta unidad es de 269 m. (**Rollins, 1965 en Rodríguez y Londoño, 2002**). **Julivert (1968)** "en la localidad tipo la potencia del "Upper Yuruma" es de 576 m."

Contactos: Julivert (1968) "el "Upper Yuruma" se apoya sobre la Formación Moina y suprayacente al "Upper Yuruma" se presenta el Grupo Cogollo".

Ambiente de depósito: Rollins (1965) plantea que los sedimentos del Grupo Yuruma se depositaron en un ambiente marino poco profundo; además, sugiere que por las variaciones presentadas en la litología la Formación Yuruma Superior, indican que se depositó en un mar más profundo donde prevalecía un ambiente reductor evidente por la presencia de calizas bituminosas negras.

Correlación: Según **Rollins (1965 en Julivert, 1968)** la Formación Palanz junto con las calizas del Yuruma que se le superponen, parecen corresponder a la Formación Río Negro en su localidad tipo (Sierranía de Perijá).



GRUPO COGOLLO

Autor: Garner (1926) “Rio Cogollo limestone”. **Renz (1956 en Julivert, 1968)** introduce en la Guajira el término Formación Cogollo (derivado del Río Cogollo). **Renz (1960 en Julivert, 1968)** cambia esta denominación por la de Grupo Cogollo y da una descripción más detallada del mismo. **Sutton (1946)** utilizó la denominación Grupo Cogollo, e incluye las formaciones Apón, Aguardiente y Capacho; **MacDonald (1964)** incluye para Punta Espada las formaciones Apón y Maraca; **Mercado (2003)** utiliza la misma división y comenta que esta unidad aflora en la Guajira, en el sector oriental de la Serranía de Macuira y en el área de Cosinas. Aquí se ha tomado la subdivisión que hace **MacDonald (1964)** para la Península de la Guajira: Formación Apón y Formación Maraca.

Edad: Renz (1960 en Julivert 1968) considera el Grupo Cogollo como del Aptiano-Turoniano. **Raasveldt (1963)** asigna al Grupo Cogollo una edad del Aptiano-Albiano, la misma asignación que le da **Radelli (1962)**. **Julivert (1968)** “en La Guajira casi inmediatamente por debajo de la base del Cogollo se encuentra *Heinzia*”, unos 150 m por encima de la base del Grupo Cogollo (sentido de **Renz, 1960**) se encuentran *Colombiceras*, *Deshayesites*, *Puzosia*, *Crioceras*, *Uhligella* (Albiano medio, Inglaterra, **Casey, 1949**), indicadores de una edad del Aptiano-Albiano”. **Etayo et al. (1983)** le asignan una edad de Aptiano- Turoniano en la Guajira y Aptiano- Cenomaniano en Venezuela.

Localidad: La sección tipo se encuentra (**Rod y Maync, 1954**) en el Río Cogollo en la parte norte del lado este de la Serranía del Perija (Estado del Zulia). En la Guajira **Renz (1960 en Julivert 1968)** describe dos secciones del Grupo Cogollo, una que aflora en la plataforma de la Guajira y otra en la región de Punta Espada. Las rocas del Grupo Cogollo en La Guajira afloran en cuatro localidades (**Rodríguez y Londoño, 2002**): al sur y este del Cerro Yuruma; a lo largo de la Falla Cuisa; en Punta Espada; al sur en la Cuenca de Cesar - Ranchería y en la parte alta de la Serranía de Perijá. **Rubio et al. (1998)** reporta en la Cuenca de la Baja Guajira (Pozo Guitapa – 1), depositación de areniscas de cuarzo, calizas y shale de las Formaciones Río Negro, La Luna y del Gr. Cogollo, sobre la discordancia del Pre - Cretácico.

Descripción litológica: Rollins (1965 en Julivert, 1968) constituido en el área de la Guajira por la Formación Maraca y el “Lower Cogollo” (F. Apón) en la parte inferior. La primera consta según **Etayo et al. (1983)** de “calizas macizas densas, muy fosilíferas, de color marrón a gris, con algunas capas de shales calcáreos grises” y el “Lower Cogollo” según **Etayo et al. (1983)** consta de “Shales blandos calcáreos muy fosilíferos, de tonalidad marrón oscuro a negro y calizas arcillosas interestratificadas”.

Contactos: Rollins (1965) el Grupo Cogollo de la Península de la Guajira reposa concordantemente sobre el Grupo Yuruma y a su vez, es suprayacido en concordancia por la Formación La Luna.

Ambiente de depósito: Martínez (1985) indica que el Grupo Cogollo se depositó en un ambiente de barras costeras de alta energía.



Correlaciones: Según **Rodríguez y Londoño (2002)** “el tope del Grupo Cogollo en La Guajira puede correlacionarse con el tope del Grupo Cogollo en el Campo Mara - La Paz en Venezuela y con el tope de la Formación Maraca en la Serranía de Perijá. Además, la zona de *Orbilulina* de La Guajira es correlacionable con la misma zona en el Campo Mara en Venezuela. La base de este grupo en La Guajira no puede correlacionarse exactamente con el de la Cuenca de Maracaibo en Venezuela, puesto que en La Guajira es del Aptiano inferior, mientras que en el Campo Mara - La Paz es principalmente del Aptiano superior. Por lo anterior, se debe hacer énfasis en que la división de este grupo en las Formaciones Cogollo Inferior y Maraca no tiene subdivisiones equivalentes en la Cuenca de Maracaibo”.

FORMACIÓN APÓN

Autor: **Sutton (1946)** emplea el término (“Apón Formation” para referirse a la unidad inferior del Grupo Cogollo. **MacDonald (1964)** incluye para Punta Espada las formaciones Apón y Maraca, división que utiliza también **Mercado (2003)**, la cual se adopta aquí.

Edad: **Rollins (1965 en Rodríguez y Londoño, 2003)** la fauna de *Deshayesites* sp., *Deshayesites stutzeri* Riedel, *Colombiceras* sp., *Chelonicerias* sp. *Uhligella* encontrada en esta formación, y determinada por **Bürgli (1958)**, permite asignar la Formación Cogollo Inferior (F. Apón) al Aptiano inferior. **Stainforth et al. (1970)**, **Mercado (2003)** Aptiano inferior a Albiano superior.

Localidad: Localidad tipo (**Stainforth et al. 1970**) unos 10 km. Al oeste de Machiques, en el piedemonte este de la Serranía del Perijá (Venezuela). En la Guajira, **Rollins (1965)** levantó una sección completa de la Formación Apón (“Lower Cogollo”) al occidente unos 3,5 km de la Tienda Moyojoí, esta sección incluye cerca de la mitad de la Formación Maraca. **Macellari (1995)** reporta la presencia de esta unidad en el pozo QMC-1X, al norte de la Falla de Oca en la Cuenca del Golfo de Venezuela. **Rodríguez y Londoño (2003)** reportan que esta unidad aflora en la Serranía de Cosinas al sur de la falla de Cuisa en los cerros de Yuruma y Iruan. **Rubio et al. (1998)** reporta en la Cuenca de la Baja Guajira (Pozo Guitapa-1) depositación de areniscas de cuarzo, calizas y shale de las Formaciones Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma), Gr. Cogollo, y la Luna, sobre la discordancia del Pre – Cretácico.

Descripción litológica: **Rollins (1965 en Julivert, 1968)** describe el “Lower Cogollo” (Formación Apón) integrado por “shales con calizas arcillosas interestratificadas de tonalidades oscuras; las shales son blandas, calcáreas, muy fosilíferas y de tonalidad marrón oscuro a negro. Las calizas se hacen más abundantes hacia el techo del Lower Cogollo y están más finamente estratificadas; por encima se superponen calizas algo arenosas con *Ostrea* sp.; en cambio las calizas de la base del Lower Cogollo son más densas, bituminosas y tienen color negro”.

El espesor mínimo probable es de 1.000 m (**MacDonald, 1964**) y en la sección de Moyojoí es de 310 m (**Rollins, 1965**).



Contactos: Rollins (1965) el Grupo Cogollo de la Península de la Guajira reposa concordantemente sobre el Grupo Yuruma. De acuerdo a **Ecopetrol-Texas Petroleum Company (1999)** los contactos superior e inferior son claros y concordantes y están dados por los cambios de litología de lutita a caliza en la base y de caliza a lutita en el tope. **Mercado (2003)** “contacto gradacional concordante con la Formación Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma). El techo es la primera capa de arenisca gris pardo de la Formación Maraca que yace en forma concordante”.

Ambiente de depósito: Rollins (1965) considera que el carácter deposicional del Grupo Cogollo es ampliamente variable y que durante el depósito de la unidad Cogollo Inferior prevalecieron condiciones marinas de profundidades intermedias en un ambiente ligeramente reductor.

Correlación: Hubman y Bowler (1944 en Julivert, 1968) correlacionan esta unidad con las formaciones Tibú-Mercedez de la Concesión Barco.

FORMACIÓN MARACA

Autor: Rod y Maync (1954) proponen el término “Macara Formation”, para la sección aflorante en el Caño Maraca tributario del Río Yasa, vertiente venezolana de la Serranía del Perija (Cuenca de Maracaibo).

Edad: De acuerdo con **Rodríguez y Londoño (2002)** las calizas de la Formación Maraca en la Sección de Moyojoy y cerca de Punta Espada, contienen varias zonas fosilíferas de interés regional asignadas al Aptiano y Albiano. **Etayo et al. (1983)** asignan una edad de Albiano superior- Cenomaniano.

Localidad: La localidad tipo esta ubicada en el Caño Maraca, Serranía de Perijá (Venezuela). La Formación Maraca aflora al norte de la Península de La Guajira en la zona de Punta Espada y en la Serranía de Macuira; y al sur en el área de la Serranía de Cosinas, a lo largo de la Falla Cuisa. **Etayo et al. (2003)** reporta esta unidad en el área de la mina El Cerrejón y en el borde sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Descripción litológica. Rollins (1965) describe esta unidad como, calizas de color pardo grisáceo a gris y gris azulado, masivas, densas que varían de microcristalinas a gruesas y con intercalaciones de shale calcáreo blando de color gris. Las calizas fino granulares son fosilíferas, las de tonos claros presentan un débil olor a petróleo. Hacia el techo de la Formación Maraca se presenta una capa de caliza masiva con abundante *Exogyra* y *Ostrea*.

El espesor de esta unidad es de 508 m., en la sección localizada 4 km al noroeste de la Flor de La Guajira (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

Contactos: El contacto entre las Formaciones Maraca y Cogollo Inferior fue definido por Rollins (1965) en el tope de una gruesa secuencia de calizas arenosas de color pardo oscuro que contiene *Ostrea*, mientras que el contacto con la Formación La Luna suprayacente es concordante y está marcado por un estrato de calizas masivas con *Exogyra*.



Ambiente de depósito: Rod y Maync (1954) asociación sedimentaria típica de ambiente nerítico. **(Rollins, 1965)** el ambiente deposicional de la Formación Maraca fue de marino somero de aguas claras.

Correlación: Sutton (1946) correlaciona esta unidad con la Formación Capacho.

FORMACIÓN LA LUNA

Autor: Término introducido por **Garner (1926)** en Venezuela como "La Luna Limestone" para una sucesión de shale calcárea, negra, fosilífera con concreciones calizas negras. El nombre deriva de la Quebrada La Luna al W de la Casa La Luna, NW de Perijá, en el Estado Zulia (Venezuela). **Hedberg y Sass (1937)** hacen una descripción detallada de la misma y le dan el nombre de "La Luna Formation". **Renz (1956 en Rollins, 1965)** aplica el nombre a la Península de La Guajira.

Edad: Renz (1960 en Julivert 1968) considera la Formación La Luna para el área de la Guajira como del Coniaciano-Santoniano. Aproximadamente Turoniano en Punta Espada **(MacDonald, 1964)**. **Rollins (1965)** con base en el abundante contenido de microfauna le ha asignado una edad Cretácica tardía (Turoniano – Santoniano).

Localidad: La sección tipo de esta unidad se encuentra en la quebrada La Luna en territorio venezolano (ver **Rod y Maync, 1954**). La Formación La Luna en la Cuenca de La Guajira (ver **Rollins, 1965; y Renz, 1956 en Rollins, 1965**), aflora en la parte este de la Serranía de Macuira, 2 km al sur de la Población de Paráinkrein y al norte de Punta Espada; en el área de Cosinas aflora como una franja delgada al noroeste de La Flor de La Guajira; al sur del departamento en ambos flancos del Valle del Cesar - Ranchería y en la Serranía de Perijá; en estas dos últimas zonas fue cartografiada en conjunto con el Grupo Cogollo **(Miller, 1962; Tschanz et al., 1969; Ujueta y Llinás, 1990)**. **Macellari (1995)** reporta la presencia de esta unidad en el pozo QMC-1X, al norte de la Falla de Oca en la Cuenca del Golfo de Venezuela. **Rubio et al. (1998)** reporta en la Cuenca de la Baja Guajira (Pozo Guitapa-1) la depositación sobre la discordancia del Pre-Cretácico de areniscas de cuarzo, calizas y shale de las formaciones Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma), Apón y Maraca del Gr. Cogollo y la Luna.

Descripción litológica: Rollins (1965) describe la F. La Luna en la Guajira como: calizas hacia la base de grano fino, finamente estratificadas y laminadas, bituminosas, densas y piríticas con foraminíferos, de color negro; suprayacidas por una secuencia chert con estratificación fina, negros e intercalados con algunas capas delgadas de calizas negras con venas y nódulos de chert negro y es común encontrar a lo largo de la formación algunas concreciones discoidales de caliza microcristalina de color negro; y hacia el tope una delgada capa de conglomerado.

El espesor en el área de La Guajira varía de 79 y 180 m **(Rollins, 1965)** y entre 81 y 130 m **(Renz, 1956, en Rollins, 1965)** indicando un incremento de espesor



hacia el noreste, acorde con el incremento de espesor de la serie completa del Cretácico.

Contactos: En la Península de La Guajira, en la zona de la plataforma de la Guajira la Formación La Luna se sitúa por encima del Grupo Cogollo y por debajo de la Formación Guaralamai (**Julivert, 1968**), según (**Rollins, 1965** en **Rodríguez y Londoño, 2002**) el contacto es concordante con las rocas de Grupo Cogollo y el contacto superior con la Formación Guaralamai, aunque no se observa una discordancia estructural entre estas dos últimas unidades, la presencia de una delgada capa de conglomerado y la extensión regional de areniscas glauconíticas sugieren algún tipo de interrupción en la sedimentación, pero la ausencia de fósiles en este límite impide tener conclusiones definitivas.

Ambiente de depósito: Según **Rollins (1965)** la Formación La Luna probablemente se depositó en una cuenca cerrada con aguas estancadas en un fondo deficiente en oxígeno, mientras que en superficie, las aguas eran lo suficiente claras para que creciera la fauna de foraminíferos pelágicos. **Martínez (1985)** indica que esta formación se depositó en una plataforma amplia durante un evento transgresivo, donde se desarrollaron condiciones anóxicas del tipo sulfídrico, sedimentación pelágica y la conservación de la materia orgánica. El ambiente de depósito para La Luna no es bien entendido, algún tipo de cuenca restringida con oxígeno deficiente en un ambiente inhóspito para las especies bentónicas al fondo de la cuenca, pero en la superficie aguas claras que permitieron la existencia de foraminíferos pelágicos fluorizados.

Correlaciones: De acuerdo con **Julivert (1968)** el término Formación La Luna se emplea en el mismo sentido que en la zona occidental de Venezuela, en la Concesión Barco y en la parte septentrional del Valle Medio del Magdalena.

FORMACIÓN GUARALAMAI

Autor: **Renz (1959** en **Julivert, 1968)** denomina Formación Guaralamai a los materiales cretácicos que suprayacen la Formación La Luna en la Península de la Guajira ("Colón Limestone Member" de **Renz, 1956**). A esta unidad de calizas en el área Maracaibo y en la Serranía de Perijá se le ha denominado Miembro de caliza Socuy (**Sellier De Civrieux, 1952**), Colón Limestone (**Rod y Maync, 1954**) y Miembro Socuy (**Miller, 1960**).

Edad: **Renz (1959** en **Julivert, 1968)** atribuye a esta formación una edad campaniana a maestrichtiana. **Rollins (1965)** le asigna una edad de Campaniano.

Localidad: La sección tipo de la parte inferior de la formación se localiza cerca a la población de Guaralamai (Venezuela) y la parte superior aflora a 25 km más al este del mismo sitio. **Renz (1956, en Rollins, 1965)** reporta pequeños afloramientos de esta formación al noroeste de la Población de La Flor de La Guajira y al norte y noroeste de la Población de Moyojoy; y al norte, en la región de Punta Espada.



Descripción litológica: Rollins (1965), la Formación Guaralamai está constituida por calizas y shales. Las calizas son finas, algunas capas son más densas y de color negro, finamente estratificadas, planares y quebradizas. La mayoría de las calizas al romperlas presentan un débil olor a petróleo. Intercalados con las calizas, principalmente en la parte inferior de la formación, se presentan shales calcáreos de color pardo a negro, blandos y finamente estratificados.

Esta unidad alcanza un espesor total de 490 m (**Renz, 1956 en Rollins, 1965**).

Contactos: La base de la formación la constituyen calizas gris oscura que reposan concordantemente sobre la Formación La Luna (**Renz, 1959, en Julivert, 1968**); según **Rollins (1965)**, hacia la base de la formación se presenta una inconformidad, pero su intervalo de tiempo no es posible determinarlo debido a que el registro paleontológico está incompleto; la Formación Guaralamai está suprayacida en discordancia angular por la Formación Macarao del Eoceno y en otros sectores por la Formación Siamaná del Oligoceno.

Ambiente de depósito: Rollins (1965) plantea que el ambiente de depósito de la Formación Guaralamai es marino poco profundo donde prevaleció la depositación arcillosa. **Rodríguez y Londoño (2002)** durante la sedimentación alternaron períodos donde predominaron condiciones calcáreas con depósito de calizas arcillosas y condiciones clásticas durante las cuales se depositaron los shales.

Correlaciones: Rollins (1965) y Julivert (1968) correlacionan esta formación con la Formación Colón en la Cuenca de Maracaibo y posiblemente con la Formación Mito Juan, sin embargo, como su parte superior no está bien definida, no se sabe hasta dónde puede establecerse esta correlación.

5.3 Unidades del Paleógeno- Neógeno

Durante el Cretácico tardío y el Paleógeno temprano ocurrió una gran orogenia, la cual causó un marcado cambio en las condiciones de depósito en la Cuenca de La Guajira, de acuerdo a los estudios de las perforaciones en la Subcuenca de la Baja Guajira de la Asociación Nazareth, realizados por **ECOPETROL-TEXAS PETROLEUM COMPANY y SHELL (1999)**.

Durante el Paleógeno temprano la mayoría de La Guajira fue un área positiva. El Paleógeno más antiguo expuesto en La Guajira es la Formación Macarao en la Flor de La Guajira y la Formación Nazareth en el flanco norte de la Serranía de la Macuira, ambas de edad Eoceno Superior. Durante el post Eoceno y pre Oligoceno superior una fuerte deformación plegó la Formación Macarao cerca a la Flor de La Guajira, levantando las tres Serranías mayores, las cuales han permanecido así hasta el presente. Desde el Oligoceno al Mioceno Superior y aún dentro del Plioceno se ha venido acumulando en la Subcuenca de la Baja Guajira una espesa secuencia sedimentaria.



Según **Rodríguez y Londoño (2002)** el Paleógeno-Neógeno en la Península de La Guajira se caracterizó por el depósito durante el transcurso del Eoceno-Plioceno de secuencias sedimentarias de ambientes marinos poco profundos a salobres y continentales que dieron origen a las formaciones Macarao, Siamaná, Uitpa, Jimol y Castilletes.

Las rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno se preservan en las subcuencas Cocinetas, Portete y Chichibacoa (**Macellari, 1995**).

Para **Rubio et al. (1998)** “en la Subcuenca de la Baja Guajira no se han reportado unidades estratigráficas de edad Maestrichtiano- Mioceno temprano”, “desarrollándose una superficie de inconformidad en gran parte de la cuenca”. Sin embargo; **Robertson (1982 en Rubio et al., 1998)** reporta en el pozo Perico-1 una unidad por posición estratigráfica un cuerpo de roca de edad Eoceno?-Oligoceno.

Lozano y Lozano (1988 en Pulido et al., 1991) considera la unidad clástica basal y la unidad calcárea presentes en el campo Chuchupa y en el pozo Almirante-1, perteneciente a la Formación Siamana.

Pulido et al. (1991) reporta la presencia de la F. Uitpa en los pozos Epehin-1, Aruchara-1 y 2 y Almirante-1.

Rubio et al. (1998) reportan la depositación de “areniscas cuarzosas, lodolitas y calizas de la Formación Jimol (Mioceno Temprano, Burdigaliano) al Mioceno Tardío”, sobre la inconformidad Maestrichtiano- Mioceno en los pozos Sierra-1, Pavón-1, Chuchupa-1, Tinka-1, Aruchara-1 y 2, Manaure-1, Epehin-1, Sorpresa-1, Saure-1. **Pulido et al. (1991)** reporta la presencia de esta unidad en los pozos Tinka-1 y Almirante-1.

Rubio et al. (1998) reporta la presencia de las intercalaciones de arcillolita, limolita, arenisca y coquina de la Formación Castilletes suprayaciendo la Formación Jimol (en los pozos Sierra-1, Pavón-1, Chuchupa-1, Tinka-1, Aruchara-1 y 2, Manaure-1, Epehin-1, Saure-1, Almirante-1, Sorpresa-1 y Maicao-1.

A continuación se describirán las unidades estratigráficas presentes del Cenozoico presentes en la Subcuenca de la Baja Guajira.

FORMACIÓN SIAMANA

Autor: Renz (1960, en Rollins, 1965) definió esta formación en la Serranía de Cosinas.

Edad: Con base en la microfauna encontrada, *Miogypsinella complanata*, **Renz (1960, en De Porta, 1974)** le asigna una edad de Oligoceno medio, y discute que la parte inferior de la formación puede representar el Oligoceno inferior; **Lockwood (1965)** a partir de la presencia de *Globorotalia opima* y *Globigerina ciperoensis*, en las lodolitas de la parte superior, la formación sería del Oligoceno superior (Chattienense). Para **Rollins (1965)**, las asociaciones faunísticas y la posición estratigráfica de la Formación Siamaná indican que ésta pertenece al Oligoceno. “Una edad del Oligoceno superior está de acuerdo con la presencia de la Zona de *Globorotalia ciperoensis* y con la dispersión de *Miogypsinella*



complanata en Venezuela según los datos de **Clarke y Blow (1969)**” **De Porta, 1974**). **Duque-Caro (1974)** considera que esta formación es ligeramente más joven que la Zona de *Globigerina ciperensis*. **Pulido et al. (1991)** la consideran de edad Oligoceno tardío-Mioceno medio.

Localidad: Sección tipo, Siamana-Samuludo (**Renz, 1960**), cerca a la Población de Siamaná. **Renz (1960, en Rollins, 1965)** esta unidad aflora en la península de La Guajira, cerca a las rocas metamórficas de las serranías de Macuira, Jarara y Simarúa. En la Serranía de Macuira se encuentra cerca a las poblaciones de Parajimaruho, Ichipa y Anteshiruhu. En la Serranía de Jarara cerca al Cerro Karairapiau y en la base del Cerro Jimol, Uitpa y en el Arroyo Koushotpa. En la Serranía de Simarúa al sureste del Municipio de Taparájin y en la Serranía de Cosinas al oeste y noroeste de la población de la Flor de La Guajira. **Lozano y Lozano (1988 en Pulido et al., 1991)** considera la unidad clástica basal y la unidad calcárea presentes en el campo Chuchupa y en el pozo Almirante-1, perteneciente a esta formación.

Descripción litológica: En general la Formación Siamana (**De Porta, 1974**) se puede dividir en dos miembros. El miembro inferior formado por conglomerados de calizas, fñanitas cretáceas, cuarcitas del Grupo Cosinas y rocas metamórficas. El miembro superior está formado por calizas arenosas, calizas arrecifales, calizas margosas, margas y *shales* arcillosos (**Rollins, 1965**). Las calizas son relativamente duras, resistentes y de textura fina a gruesa, arenosas y con guijarros diseminados, a veces conglomeráticas (**Rollins, 1965**), con estratificación gruesa, algunas veces con granos de glauconita y fosilíferas con presencia de ostras, barnacles, gasterópodos, bivalvos, equinoides, macro foraminíferos, corales y restos de algas (**Lockwood, 1965**). Intercalados con las calizas se presentan shales limosos y arcillosos de color gris a pardo amarillento claro, en parte seleníticos (**Rollins, 1965**), en capas delgadas que varían en proporción y llegan a ser los constituyentes principales de la formación en algunas zonas; en estas rocas se presentan asociaciones ricas en foraminíferos bentónicos, *Pecten*, espinas de equinoides y algunos restos de vertebrados (**Lockwood, 1965**). Las margas son blandas, generalmente fosilíferas, en parte arenosas y en la parte baja de la formación son algo conglomeráticas (**Rollins, 1965**).

Las calizas arrecifales se presentan ampliamente distribuidas y forman en algunos sectores masas gruesas, mientras que en otros sitios son delgadas o pueden estar ausentes o ser reemplazadas por sedimentos de abanicos o material deltaico que impidieron el crecimiento de los arrecifes. A lo largo de los flancos sur y oeste de la Serranía de Jarara, la formación está representada, en su mayoría, por masas arrecifales, mientras que en el área de Cosinas éstas no se presentan tan bien desarrolladas (**Rollins, 1965**).

Pulido et al. (1991) describe la F. Siamana presente en el campo Chuchupa y en el pozo Almirante-1, constituida por la unidad clástica basal “compuesta por capas alternantes de areniscas calcáreas, lutitas y conglomerados locales” y la unidad calcárea “conformada por cuerpos esencialmente biomicríticos”.



Cerca a la población de Siamaná, donde se encuentra la localidad tipo tiene un espesor de 430 m (**Renz, 1960** en **Lockwood, 1965**); **Rollins (1965)**, en la misma región, reporta un espesor de 302 m y en la localidad de Uitpa, 247 m. En el pozo Guajira-1, en la Subcuenca de Cosinetas, tiene un espesor de 100m (**Macellari, 1995**).

Contactos: La base se ha fijado en un conglomerado basal de espesor variable que reposa discordantemente sobre la Formación Macarao (**Macellari, 1995**) y eocenas (**Rollins, 1965**) o también sobre formaciones más antiguas, rocas metamórficas que afloran en las serranías de Macuira, Jarara, Simarúa y Cosinas (**Lockwood, 1965**).

El contacto superior de esta unidad con la base de la Formación Uitpa es un contacto ligeramente inconforme en algunas zonas (**Rollins, 1965**; **Thomas 1972b**) y en otras el contacto es gradacional (**Rollins, 1965**).

Ambiente de depósito: Para **Rollins (1965** en **Rodríguez y Londoño, 2002**), “la Formación Siamaná fue depositada en una cuenca estrecha bajo condiciones marinas poco profundas que permitieron el crecimiento de los arrecifes de corales y la presencia de moluscos. La presencia de foraminíferos como *Miogypsina* y *Amphistegina* sp. indican condiciones de ambiente marino de baja profundidad”. **Zapata y Sarmiento (2009)** sustentan para las F. Siamana y Uitpa un ambiente arrecifal.

La presencia de clastos de material continental como rocas metamórficas y conglomerados gruesos de abanicos en la parte sur de la Serranía de Jarara, son evidencia de las corrientes que aportaban material a la cuenca desde la zona montañosa (**Rollins, 1965**).

Correlaciones: De acuerdo con **De Porta (1974)** Formación Siamana corresponde en general a las calizas de Uitpa en la nomenclatura de **Bürgl (1958)**. **Rollins (1965)** esta formación es correlacionable, en parte, con la Formación Guacharaca en territorio venezolano. **Stainforth (1971)** la Formación Carapita (Venezuela) es correlacionable con las formaciones Siamaca, Uitpa, Jimol, y Castillete, en la Península de la Guajira.

FORMACIÓN UITPA

Autor: **Renz (1960**, en **De Porta, 1974)** define la Formación Uitpa en la Península de la Guajira y allí agrupa las lutitas margosas a arcillosas y margas parcialmente arenosas y glauconíticas.

Edad: se considera Aquitaniense con base en foraminíferos planctónicos bien preservadas que cubren un intervalo de tiempo del Mioceno Inferior en las Zonas de *Catapsydrax stainforthi* y *Catapsydrax dissimilis* (**Becker y Dusenbury, 1958**, en **De Porta, 1974**).

También a la parte superior del Oligoceno medio con base en el estudio de *Miogypsina* (**Renz, 1960**, en **De Porta, 1974**). **Rollins (1965)** Oligo-Mioceno y Mioceno inferior, por la presencia de las Zonas de *Globorotalia kuglieri*,



Catapsydrax dissimilis y *Catapsydrax stainforthi*. **De Porta (1974)** el Oligoceno más superior y parte del Mioceno inferior. **Thomas (1972b)** y **Duque- Caro (1974)** Mioceno temprano. **Pulido et al. (1991)** Mioceno medio.

Localidad: Renz (1960 en De Porta, 1974) señala la sección tipo al norte del manantial de Uitpa, en la parte este de la Serranía de Jarara. Afloramientos de esta unidad se presentan también al noroeste de la población de Anteshiruhu, al este de Uitpa y en un carreteable que une esta población con Huinkuaru y al norte del área de Simarúa (**Rodríguez y Londoño, 2002**). **Pulido et al. (1991)** reporta la presencia de esta unidad en los pozos Epehin-1, Aruchara-1 y 2 y Almirante-1.

Descripción litológica: Rollins (1965) esta unidad presenta hacia la base margas glauconíticas y lodolitas limosas, seleníticas, con escasos lentes de areniscas de grano grueso con colores que varían de pardo grisáceo a gris, pardo y pardo amarillento; son comunes capas delgadas de areniscas calcáreas arcillosas, de grano fino, resistentes y fosilíferas, de color pardo grisáceo a pardo; Además, se encuentran algunas calizas capas delgadas de textura gruesa, porosas, arenosas o arcillosas y generalmente fosilíferas, de color pardo grisáceo a anaranjado pardo amarillento. Al este de Siamaná, las calizas son más abundantes, son “coquinoideas”, arenosas y en la parte media se desarrollan calizas de biostromas, que gradan hacia la parte superior de la unidad a limolitas y areniscas. Intercalaciones de areniscas calcáreas de grano fino son comunes en las partes alta y baja de esta formación (**Thomas, 1972b**).

Las margas en la base de la formación contienen abundantes fósiles como pequeñas ostras, bivalvos, ostrácodos, gasterópodos, dientes y vértebras de peces (**Lockwood, 1965**). **Pulido et al. (1991)** describe la F. Uitpa en los pozos Epehin-1, Aruchara-1 y 2 y Almirante-1 “compuesta por lutitas pardas a verdes oscuras, intercaladas con areniscas de grano fino”, lenticulares.

El espesor de la unidad en la sección tipo es de 342 m, el cual aumenta hacia el este en las partes más profundas de la cuenca y es más delgada hacia el noroeste (**Rollins, 1965**). Según **Lockwood (1965)** esta formación en el área de Uitpa alcanza un espesor de 200 m.

Contactos: El contacto superior con la Formación Jimol es concordante y gradacional en Uitpa (**Renz, 1960; Rollins, 1965; Thomas, 1972b**) y discordante en otras zonas. Esta formación suprayace inconforme la Formación Siamaná, es posible observar una discordancia angular a lo largo de los bordes de la cuenca, mientras que hacia el centro de la cuenca probablemente es conforme (**Rollins, 1965**). Discordante sobre rocas precenozoicas, con una posible leve discordancia sobre la Formación Siamaná (**MacDonald, 1964**).

Ambiente de depósito: Para **Rollins (1965)**, la formación Uitpa se depositó aparentemente en un ambiente marino nerítico a marino profundo. A partir de un muestreo parcial hecho por **Becker y Dusenbury (1958, en Rollins, 1965)**, consideran que de estos sedimentos se depositaron a profundidades entre 183 y 550 m. **Zapata y Sarmiento (2009)** sustentan para las F. Siamana y Uitpa un ambiente arrecifal. **Macellari (1995)** la F. Uitpa representa la máxima invasión del mar en el Cenozoico (Mioceno temprano) en la Península de la Guajira.



Correlaciones: Según **De Porta (1974)** “sin duda la Formación Uitpa corresponde en líneas generales a las Arcillas de Uitpa en la nomenclatura de **Bürgl (1958)**”, La Formación Uitpa se ha correlacionado con la parte superior de la Formación Guacharaca y con la inferior de la Formación San Lorenzo de Falcón definidas en Venezuela (**De Porta, 1974**). **Stainforth (1971)** la Formación Carapita (Venezuela) es correlacionable con las formaciones Siamaca, Uitpa, Jimol, y Castillete, en la Península de la Guajira.

FORMACIÓN JIMOL

Autor: **Renz (1960, en De Porta, 1974)** definida en la parte este de la Península de La Guajira, en la parte central de la Bahía de Cosinetas. Posteriormente, redefinida en los alrededores del Cerro Jimol por **Rollins (1965)**.

Edad: Los moluscos marinos de aguas someras presentes en sus estratos indican una edad de Mioceno medio (**Rollins, 1965; Thomas, 1972b**). **Duque-Caro (en Thomas, 1972a)** coloca la F. Jimol en la parte temprana del Mioceno tardío, zona de *Globorotalia menardii*. **Pulido et al. (1991)** Mioceno tardío. **Rubio et al. (1998)** “la información bioestratigráfica señala que esta unidad se depositó principalmente en la parte superior del Mioceno Medio a Mioceno Superior”; en los pozos Pavón - 1, Epehin - 1 la base de esta unidad reportan una edad de Mioceno Inferior; “en el Pozo Saure - 1 con base en dataciones de palinomorfos obtenidos a partir de muestras de carbones a esta unidad estratigráfica le reportan una edad de Eoceno” y “con base en análisis de foraminíferos se reporta una edad de Mioceno Superior – Plioceno”.

Localidad: **Renz (1960 en De Porta, 1974)** establece como sección tipo para esta formación la parte central de la ensenada de Cosinetas, desde las proximidades de Siamana hacia el N-NE. La Formación Jimol esta muy bien expuesta al este de la Ranchería de Sillarnana al sureste de la Serranía de Jarara. **Rodríguez y Londoño (2002)**. También en los cerros cercanos al carretable que une las poblaciones de Uitpa y Siamaná y Siamaná - Castilletes al este de la Serranía de Jarara y en el Municipio de Anteshiruhu, entre las serranías de Jarara y Macuira. **Pulido et al. (1991)** reporta la presencia de esta unidad en los pozos Tinka-1 y Almirante-1 y **Rubio et al. (1998)** en los pozos Sierra-1, Pavón-1, Chuchupa-1, Tinka-1, Aruchara-1 y 2, Manaure-1, Epehin-1, Sorpresa-1, Saure-1.

Descripción litológica: Según **Rollins (1965)**, está constituida por calizas arenosas, areniscas calcáreas y cantidades menores de arcillolita. Las capas areniscas muy calcáreas y calizas muy arenosas conglomeráticas de color rojizo, marrón, con clastos de cuarzo lechoso, pequeños, redondeados, abundantes megafósiles, fragmentos de conchas y algunos fragmentos de liditas oscuras, localmente estratificación cruzada y geometría de la estratificación media a gruesa y lenticular. Las calizas de textura gruesa, muy arenosas y fosilíferas, de color anaranjado a pardo amarillento, en su mayoría masivas, resistentes, y gradan lateralmente a areniscas calcáreas de grano medio a grueso, bien seleccionadas y con guijarros de cuarzo blanco dispersos de color pardo amarillento a gris. Las arcillolitas limosas y comúnmente arenosas, blandas, localmente yesíferas, de



color gris claro a pardo amarillento; se encuentran intercaladas con calizas y son más abundantes en la base de la formación, niveles carbonosos ocurren localmente. A lo largo de la parte sur de la cuenca y hacia la Bahía de Cocinetas, se presenta una secuencia de hasta 10m de espesor de calizas algáceas y arrecifales con cabezas de corales y restos de conchas, muy densas, puras. **Pulido et al. (1991)** describe la F. Jimol, en los pozos Epehin-1, Aruchara y Almirante-1, “compuesta de arcillolitas gris claro, blandas y con inclusiones de materia carbonosa”.

El espesor de esta unidad se ha calculado en 614 m. en la sección de referencia de **Rollins (1965)**.

Contactos: La Formación Jimol al parecer suprayace conforme y gradacionalmente la Formación Uitpa (**Renz, 1960; Rollins, 1965; Thomas, 1972b**), sin embargo (**Hunter, 1974**) reconoce un contacto abrupto entre las dos formaciones, este contacto está colocado a la base de una caliza conglomerática arenosa. Es suprayacida conforme por la Formación Castilletes (**Rollins, 1965**), este contacto se presenta al tope de una arenisca conglomerática calcárea y las calizas arcillosas con *Ostrea* de la Formación Castilletes. En el pozo Epehin-1 (**Rubio et al., 1998**) esta unidad se encuentra delimitada en la base por una superficie inconforme erosiva.

Ambiente de depósito: La Formación Jimol se depositó en un ambiente marino poco profundo donde prevalecieron condiciones de playa durante gran parte del intervalo (**Rollins, 1965**). La profundidad de agua fue evidentemente somera permitiendo fuerte oleaje y largas costas para retrabajar los sedimentos terrígenos en lentes con estratificación cruzada. **Rubio et al. (1998)** reporta un ambiente de sedimentación para esta formación que varía desde continental hasta batial superior.

Correlaciones: **Rollins (1965)** correlaciona la Formación Jimol con parte de la Formación San Lorenzo de la cuenca de Agua Salada en Venezuela. Según **Stainforth (1971)** la Formación Carapita (Venezuela) es correlacionable con las formaciones Siamaca, Uitpa, Jimol, y Castillete, en la Península de la Guajira. De acuerdo con **Da Porta (1974)** “en relación con la nomenclatura empleada por **Bürgl (1960)** en la Península de la Guajira, la Formación Jimol equivaldría por lo menos en parte a las Capas de Siapana”.

FORMACIÓN CASTILLETES

Autor: Nombre utilizado por **Rollins (1965)** para agrupar las rocas que **Renz (1960)** había denominado Formación Tucacas y que afloran en la bahía de Tucacas, parte este de la Península de La Guajira. **Rodríguez y Londoño (2002)** incluyen en esta unidad las formaciones Taroa, Orocho y Gallinas definidas por **Thomas (1972b)** entre bahía Portete y Chichibacoa, punta Gallinas y en los alrededores de la Población de Orocho, parte suroeste de la Serranía de Cosinas. **Barrero et al. (2007)** separa la F. Gallinas de la F. Castilletes.



Edad: **Rollins (1965)** consideró esta formación como del Mioceno y probablemente Plioceno por posición estratigráfica. **Thomas (1972b)** y **De Porta (1974)** la parte inferior de la F. corresponde al Mioceno medio tardío - Mioceno tardío por su fauna. **Pulido et al. (1991)** Mioceno tardío. **Rubio et al. (1998)** Mioceno Tardío – Plioceno.

Localidad: La sección tipo de esta formación aflora en la zona entre Guaro y la Falla Alas y entre la Bahía de Tucacas y la Falla Tucacas (**Renz, 1960**, en **De Porta, 1974**). La Formación Castilletes aflora desde el Municipio de Castilletes al extremo sureste de la Serranía de Cosinas. **Rubio et al. (1998)** reporta la presencia de esta unidad en los pozos Sierra-1, Pavón-1, Chuchupa-1, Tinka-1, Aruchara-1 y 2, Manaure-1, Epehin-1, Saure-1, Almirante-1, Sorpresa-1 y Maicao-1.

Descripción litológica: **Rollins (1965)** está constituida hacia la unidad inferior por intercalaciones de areniscas calcáreas fosilíferas, lutitas y calizas (intraesparitas a bioesparitas) y hacia la parte superior por arcillolitas. Las calizas arenosas, de textura gruesa, fosilíferas, arcillosas, de color pardo amarillento a pardo grisáceo, y algo duras, con abundantes ostreas y gasterópodos y estratificación gruesa dominante; con algunas intercalaciones de calizas margosas y areniscas calcáreas. Las arcillolitas limosas y localmente arenosas, con cristales de yeso aislados, con colores que varían entre pardo, pardo amarillento, gris y gris verdoso. La unidad superior son lodolitas con yeso de color gris y marrón con algunas delgadas capas de intraesparita y bioesparita, la mayoría de capas son lenticulares. Se presenta yeso secundario más abundante hacia el tope de la formación. **Pulido et al. (1991)** describe la F. Castilletes en la Subcuenca de la Baja Guajira “compuesta principalmente de caliza tipo coquina, con algunas intercalaciones de limolita, arenisca y carbón”.

El espesor fue calculado entre 850 y 900 m, pero **Rollins (1965)** en esta misma zona reporta un espesor de 692 m, que disminuye tanto hacia el norte como hacia el sur (**De Porta, 1974**).

Contactos: Descripciones de **Rollins (1965)** indican que la Formación Castilletes descansa conforme sobre la Formación Jimol. Su contacto superior no está expuesto, esta enmascarado por arenas eólicas, pero es probablemente discordante con las rocas del Pleistoceno y con los sedimentos del Holoceno.

Ambientes de depósito: **Rollins (1965)** plantea que la Formación Castilletes se depositó en un ambiente marino somero. **Rubio et al. (1998)** “la interpretación ambiental con base en los análisis bioestratigráficos reportan un ambiente de sedimentación de plataforma externa a plataforma interna (hacia el techo de la formación)”.

Correlación: La Formación Castilletes ha sido correlacionada con la Formación Pozón en Venezuela (**Rollins, 1965**). **Thomas (1972b)** colectó abundante macrofauna de moluscos y vertebrados fósiles en la Formación Castilletes y con base en esta, la correlaciona con la Formación Cantaure de Venezuela de la parte superior del Mioceno medio.



FORMACIÓN MONGUÍ

Autor: **Mosquera et al. (1976)** definen la Formación Monguí para agrupar los sedimentos del Paleógeno y Neógeno que afloran en el sitio de Monguí, al sur de la Troncal del Caribe. **Herrera y Buchelli (1988)** levantan secciones estratigráficas sobre la carretera Monguí- Cerro Peralta; 1 Km al oeste de la Población de Monguí, sobre la carretera Monguí-Cerrillo; 3 Km al sur de Abra, sobre la carretera Rioacha- Arroyo de Arena.

Edad: Según **Tschanz et al. (1969)**, probablemente Mioceno superior y Plioceno. Ingeominas consideran está Formación de edad Pliocénica (**Herrera y Buchelli, 1988**) y **Mercado (2003)** Plioceno.

No hay certeza en cuanto a la asignación de la edad para esta formación. **Bürgl (1955 en Mosquera et al, 1976)** considera una edad exclusivamente del Mioceno, para la secuencia arcillosa que recubre el basamento en esta región, pero Duque (comunicación personal en **Mosquera et al, 1976**) plantea la posibilidad que parte de la serie de arcillas sea del Plioceno, puesto que encontró fauna indicativa del Mioceno tardío a una profundidad mayor de 260 m, y queda el resto de la serie, hacia arriba, con sólo la evidencia que es más joven que esta edad.

Localidad: La sección tipo de esta formación es la sección presente en las colinas cercanas al Cerro Peralta en los alrededores de la Población de Monguí, de donde toma su nombre (**Herrera y Buchelli, 1988**). Esta unidad aflora en la zona de la Baja Guajira desde los alrededores de Dibulla hasta un poco al este de Riohacha a partir de donde es cubierta por sedimentos del Holoceno.

Descripción litológica: Según **Mosquera et al. (1976)** Esta formación está constituida por arcillolitas arenosas de grano medio a grueso de color pardo a amarillo verdoso, y conglomerados semiconsolidados con cantos subredondeados de 0,5 a 5 cm de diámetro, de rocas ígneas en una matriz areno arcillosa, de color amarillo.

Herrera y Buchelli (1988) describe la Formación Monguí como conglomerados polimícticos finalizando con depósitos grano decrecientes que van desde areniscas conglomeráticas hasta limolitas. Los conglomerados presentan espesores de 8 metros en el sector del Cerro Peralta y se adelgazán tanta al suroeste como hacia el sureste, gradan verticalmente y continuamente a granulometrías finas.

El espesor de esta formación es de 26 m. en la sección ubicada al oeste de Monguí, por la carretera Monguí a Cerro Peralta (**Herrera y Buchelli, 1988**). Según **Tschanz et al. (1969)**, varios miles de metros; en pozos de Ranchería, se cortaron más de 2.000 m de rocas paleógenas y neógenas de grano fino.

Contactos: No se observa la base; el techo son sedimentos de los depósitos de llanura aluvial y en parte la superficie actual del terreno (**Mercado, 2003**).

Ambientes de depósito: Ambiente fluvial de alta energía muy cercano al frente erosional con forma de abanico (**Herrera y Buchelli, 1988**).



5.4 Correlaciones estratigráficas

En la sección cronoestratigráfica de la Baja Guajira con dirección NW –SE, presentada en la figura 5.4, se observa la correlación entre los pozos Almeja-1 y el pozo Guaitapa-1, el primero situado costa afuera en la parte oeste de la subcuenca y el segundo al este en el otro extremo de la subcuenca. Esta correlación ilustra que la secuencia sedimentaria presente es de edad Neógena la cual suprayace discordantemente el basamento cristalino y tiene una buena continuidad lateral.

En esta secuencia se presentan cinco parasecuencias separadas entre si por discordancias, de acuerdo a ECOPEPETROL 2000, la parasecuencia inferior denominada I M de edad Mioceno inferior esta compuesta principalmente por areniscas intercaladas con margas y shales con cambios laterales de facies; le sigue la secuencia II M de edad Miocena inferior a Medio, compuesta por micritas fosilíferas, biomicritas y bioesparitas, areniscas de cuarzo y shales fosilíferos las cuales cambian lateralmente; continúa con la secuencia III M de edad Mioceno medio a Mioceno superior compuesta por arcillolitas verdes hacia el tope y conglomerados arenosos en la base, esta parasecuencia presenta una buena continuidad lateral con reducidos cambios de facies; continúa con la secuencia IV M de Plioceno inferior, compuesta por arcillolitas grises, arenisca y carbón, presenta buena continuidad lateral y no presentan mayores cambios de facies; finaliza con la secuencia VM de edad Plioceno superior a Holoceno esta compuesta por coquinas, carbón y areniscas grises, al igual que la parasecuencia anterior presenta buena continuidad lateral sin cambios laterales de facies. En el extremo este de la subcuenca aflora una secuencia sedimentaria de edad Mesozoica con la presencia de calizas del Grupo Cogollo y La Formación La Luna.

La correlación estratigráfica antes descrita indica que la secuencia Mesozoica se presenta hacia los extremos E en la Serranía de Cocinas y W en el área costa afuera de la baja Guajira.

La figura 5.5 ilustra la correlación cronoestratigráfica entre la Subcuenca de la baja Guajira y la Cuenca de Maracaibo en Venezuela, es de resaltar que las discordancias establecidas en la Cuenca de Maracaibo se encuentran en la Subcuenca de la Baja Guajira, a excepción de la discordancia situada hacia el tope de la Formación la Luna en la Subcuenca de la Baja Guajira.

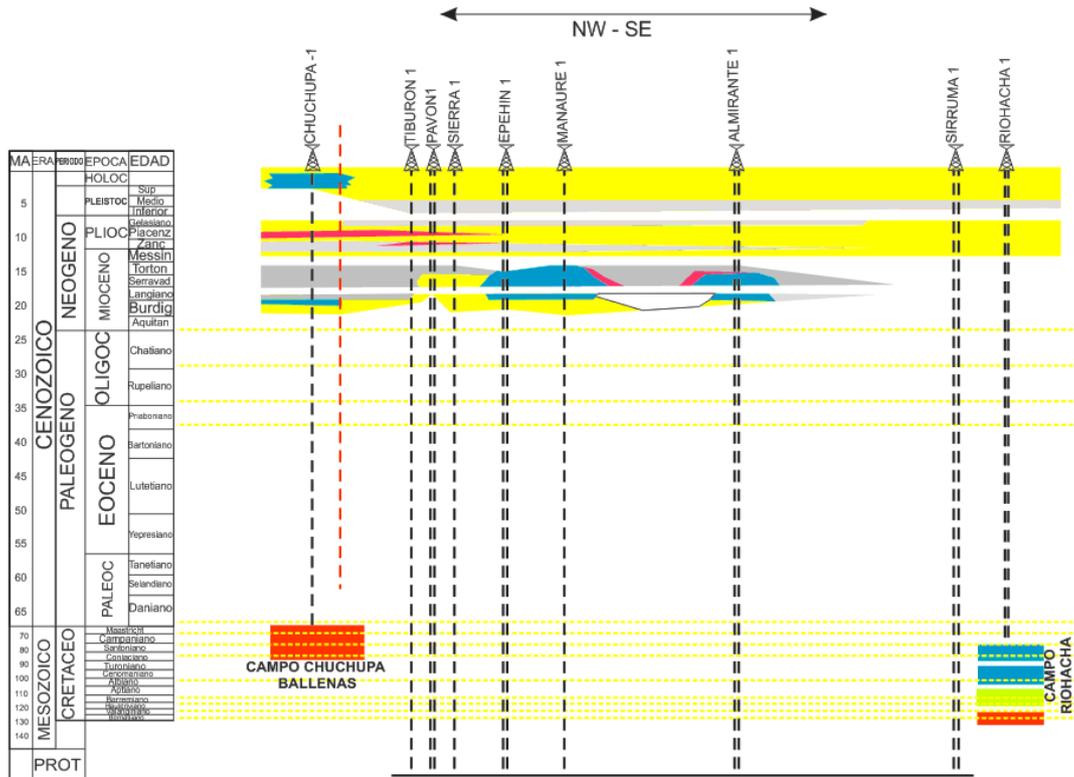


Figura 5.4. Carta de correlación cronoestratigráfica de las unidades presentes en la Subcuenca de la Baja Guajira. Tomada de Ecopetrol (2000).

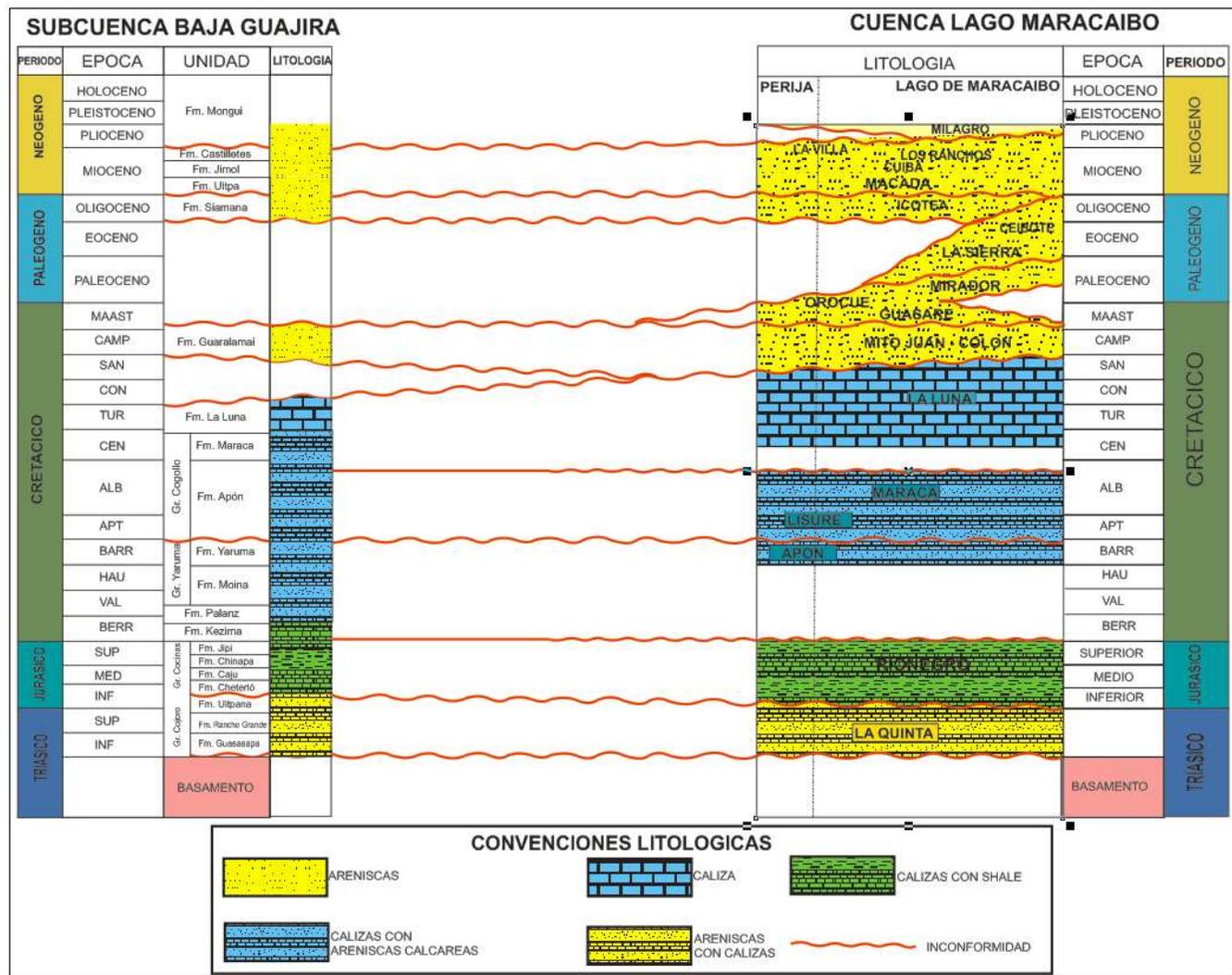


Figura 5.5 ilustra la correlación cronoestratigráfica entre la Subcuenca de la baja Guajira y la Cuenca de Maracaibo en Venezuela

6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

El margen continental del Caribe Colombiano, las áreas costeras y la Serranía del Sinú, hacen parte del denominado cinturón deformado del Caribe sur, con dos estilos estructurales predominantes (**López, 2005a**). El primer estilo estructural se localiza entre el Arco de Panamá y Santa Marta, correspondiendo a un sistema transpresivo, de cuñas sedimentarias adosadas de manera oblicua al margen norte de la placa Suramericana que transportan a cuencas espesas cuencas sedimentarias o "*piggy back basin*". El segundo estilo estructural desde Santa Marta y hacia el nororiente, dominado por fallas de rumbo dextrales que conforman un gran sistema transtensivo en la región de la baja Guajira, limitado al sur por la Falla de Oca y al norte por la Falla de Cuisa (figura 4.1)

Al norte de la Falla de Cuisa existe una región levantada y erodada denominada la Alta Guajira, caracterizada por una serie de macizos aislados (serranías de Simarúa, Jarara, Macuira y Carpintero), rodeados por regiones planas y depresiones sedimentarias pequeñas de edad Cenozóica.

Tres eventos de deformación afectan la región de la Guajira: 1) "**Rifting**" del **Eoceno tardío**, en una dirección E-W que produce "Half-grabens" en la parte norte del área; 2) **Transtensión del Oligoceno** en la parte sur del área, expresado por fallamiento lateral derecho y formación de cuencas extensionales; 3) **Transtensión del Mioceno temprano y medio**, y 3) Levantamiento Andino del Mioceno tardío – Plioceno temprano y relleno clástico de las cuencas tanto de la región continental "Onshore" como de costa afuera "Offshore" (**Vence, 2008**).



6.1. Subcuenca de la Baja Guajira: denominada inicialmente como “Onshore Guajira Basin” por **Barrero et al. (2005-2006)**, y propuesta por **Pardo et al. (2007)**, esta limitada al norte por el tren de fallas de Cuisa, al sur por la falla de Oca (figura 6.1 y 6.2) y se prolonga hacia el oeste) en la plataforma (Cuenca Guajira Offshore) y más al oeste se conoce como la depresión de Tayrona por **Escalante (2006)** y **Ramírez (2006)**. Al este limita con la Cuenca del Golfo de Venezuela.

La Subcuenca de la Baja Guajira se considera un gran sistema de tipo transpresivo (**Rubio et al., 1998**), sus sedimentos del Paleógeno-Neógeno son más espesos y con deformación que los presentes en la subcuenca de la Alta Guajira.

6.2. Fallas de la Subcuenca de la Baja Guajira

El ambiente tectónico compresivo que actuó a lo largo del límite noroccidental de la Placa Suramericana antes del Oligoceno formó las principales estructuras en la Península de La Guajira (figura 6.2). (1) Fallas de cabalgamiento y fallas normales de dirección N-NE a NE, cortadas y desplazadas por (2) un sistema de fallas de dirección E-W a NW-SE (**Rodríguez y Londoño, 2002**). Las fallas de dirección E-W son más jóvenes que el sistema regional N-NE y producen un movimiento compuesto tanto en el rumbo como en la vertical y son las responsables del levantamiento, hundimiento y desplazamiento horizontal hacia el Este de los bloques que conforman las diferentes serranías de la Península de La Guajira (Cosinas, Simarúa, Jarara, Macuira y Cosinas, ver figuras 6.1 y 6.2), (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

Las fallas más sobresalientes de este sistema son las Fallas de Cuisa y Oca, esta última es responsable en parte del levantamiento y rotación hacia el Este del bloque compuesto por la Sierra Nevada de Santa Marta y la Península de La Guajira (**Rodríguez y Londoño, 2002**). Estas fallas presentan un desplazamiento dextral de rumbo generado por un sistema combinado de esfuerzos Este - Oeste, desarrollado probablemente durante la fase temprana del plegamiento de los sedimentos del Mesozoico (**SOLANA, 2005**).

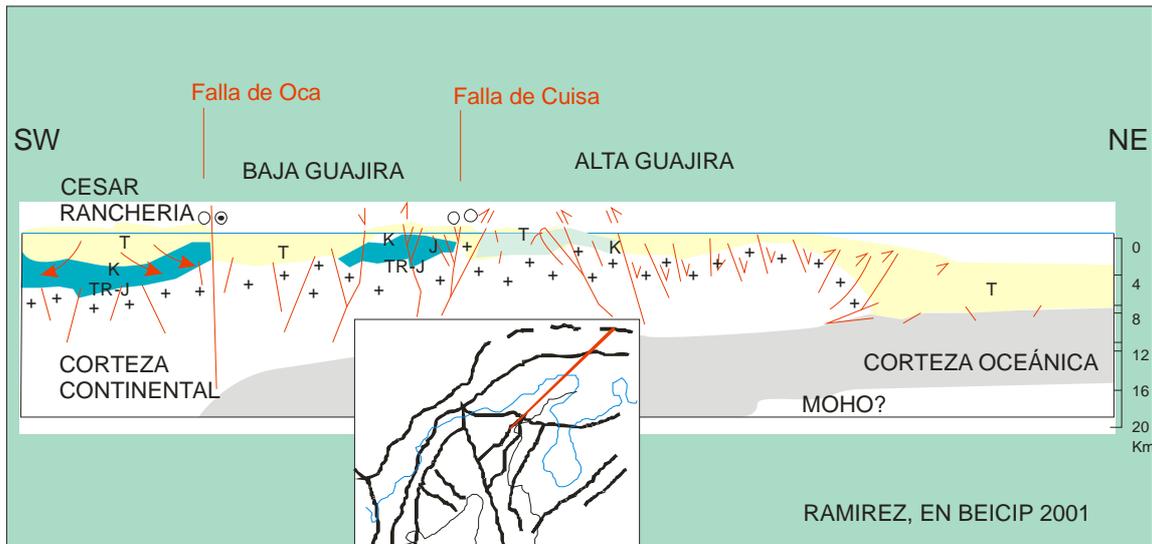


Figura 6.1. Corte regional SW- NE de la Península de La Guajira en donde se puede ver con claridad la parte norte de la Cuenca de Cesar Ranchería y las Subcuencas de la Baja y la Alta Guajira. Tomado de Ramírez (2001).

En la Península de La Guajira la mayoría de los esfuerzos tectónicos están restringidos a la cercanía de las fallas de rumbo dextrales de Oca y Cuisa y directamente generados por los movimientos transcurrentes de esas fallas. Adicionalmente es significativo notar que los rasgos estructurales intensifican su grado de deformación hacia el este, y convergen hacia la parte central del subsuelo del Golfo de Maracaibo en Venezuela (**Cardona et al., 2007**).

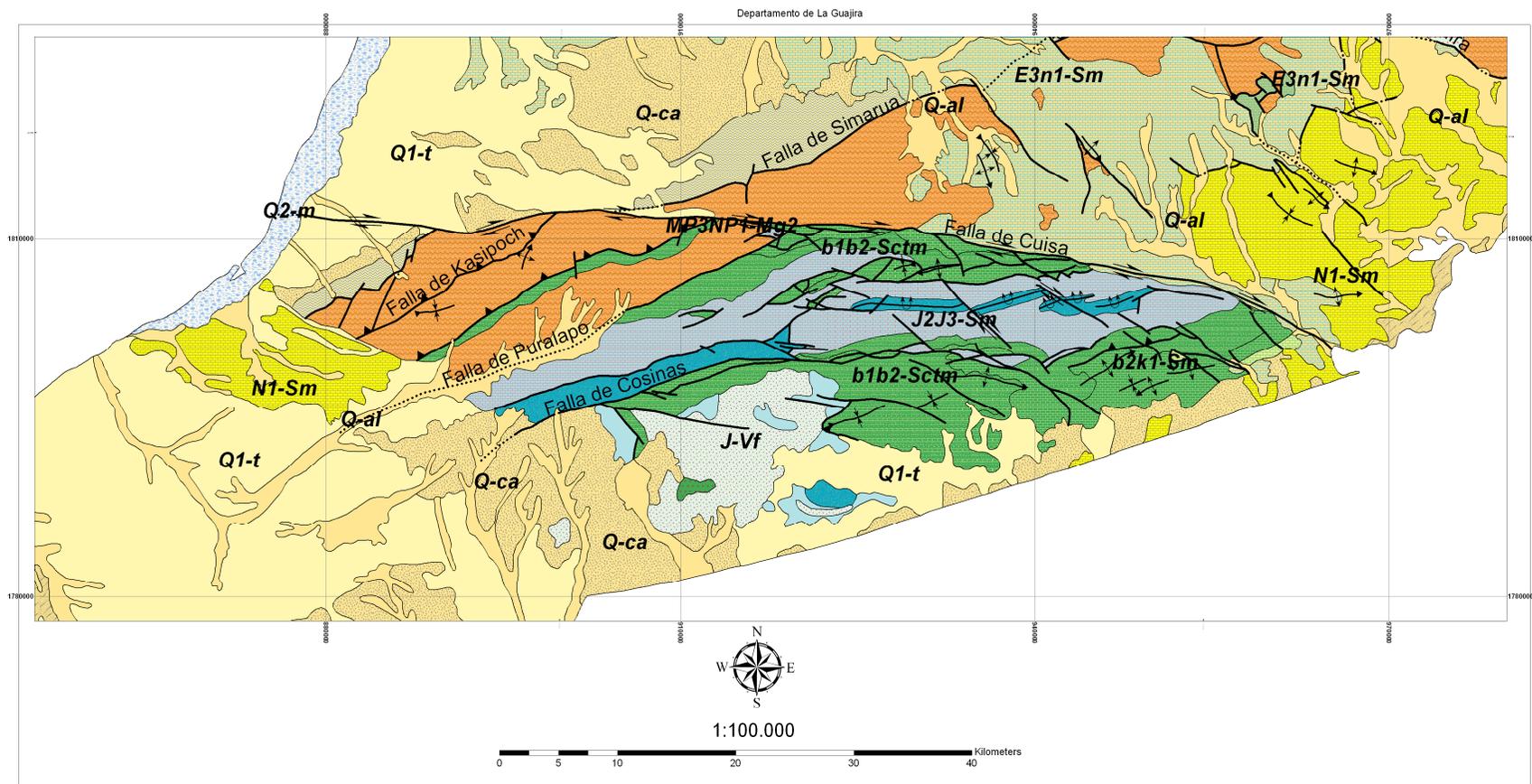


Figura 6.2. Geología área de la Serranía de Cosinas mostrando las fallas principales de la región. Coordenadas X= 1'785.000 y 1'827.000, Y= 1'202.000 y 1'290.000. Modificado de **Gómez et al. (2007 a y b)**. para convenciones utilizar las dadas en la figura 5.2.

6.2.1. Fallas de dirección N-NE a NE

Dentro de este sistema de fallas se destacan las fallas de: Kasipoch, Santa Ana, Puralapo y Cosinas, figura 6.2. Evidencias superficiales indican que las fallas de este sistema fueron activas hasta finales del Cretácico y principios del Paleógeno (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

FALLA DE SANTA ANA

Esta estructura fue definida por **Álvarez (1967)** en la Serranía de Simarúa al sur de la Falla de Cuisa, toma el nombre del Cerro Santa Ana. Es una falla de cabalgamiento con dirección aproximada N50°E, que buza alrededor de 15° hacia el noroeste (**Álvarez, 1967**), con una extensión aproximada de 20 km; cabalga rocas metamórficas del preMesozoico del Grupo Macuira sobre rocas sedimentarias de la Formación Poschachi del Cretácico temprano. Al norte es truncada por la Falla Cuisa, del sistema de fallas E-W. Se desconoce la magnitud del desplazamiento (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

FALLA DE KASIPOCH

Fue definida por **Álvarez (1967)** y se presenta en el suroccidente del área de Simarúa. Es una falla de cabalgamiento no activa, con una dirección N60°E, con inclinación del plano de falla hacia el NE y una extensión aproximada de 20 km. Se identifica fácilmente en fotografías aéreas, en campo algunos espejos de falla, paralelos a la foliación del Grupo Macuira, indican que ha tenido desplazamientos inversos a lo largo de su plano, pero se desconoce la magnitud del desplazamiento (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

FALLA DE PURALAPO

MacDonald (1964) menciona esta falla como uno de los rasgos estructurales pre Paleógeno - Neógeno, que limitan al noroeste la Fosa de La Guajira y se localiza en el lado occidental de la Serranía de Cosinas.

La Falla Puralapo tiene una tendencia general N60°E y su extensión es aproximadamente de 18 km; limita por el oriente rocas de posible edad Precámbrica, del Leucogranito de Jojoncito y Grupo Macuira, y pone en contacto rocas del Jurásico y Cretácico (formaciones Jipi y Palanz, respectivamente), en el extremo suroccidental está cubierto por sedimentos cuaternarios y en la parte noreste truncado por la Falla Cuisa. **Irving (1972)** ilustra el movimiento de la falla con el bloque occidental levantado y el bloque oriental hundido. Muy probablemente esta falla buza al NW y hace parte del tren estructural regional N-



NE paralelo a las fallas Santa Ana y Kasipoch, las cuales tienen un movimiento inverso (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

SISTEMA DE FALLAS DE COSINAS

Renz (1956) define el sistema de Fallas de Cosinas como transcurrente, con dirección general $N85^{\circ}E$ y se desconoce su inclinación. Posteriormente, Rollins (1965) analiza la parte estructural del área de Cosinas y considera que el Sistema de Fallas de Cosinas corresponde a un tren estructural de cabalgamiento longitudinal. **Rodríguez y Guerrero (2009)** proponen un movimiento para esta falla un movimiento transcurrente con una componente en la vertical hacia el norte, generando en la zona interna estructuras en flor positivas. Esta estructura se localiza en la parte suroriental del área de Cosinas, el extremo occidental de la falla está cubierto por sedimentos aluviales del Holoceno y el extremo oriental esta cubierta por calizas del Oligoceno (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

El Sistema de Fallas Cosinas está compuesto por numerosas fallas subparalelas, que tienen una extensión aproximada de 60 km, con tendencia general hacia el E o levemente hacia el NE. La inclinación de las fallas no ha sido observada, pero arbitrariamente se ha representado como cercana a la vertical. Aunque **Renz (1956, en Rollins, 1965)** indicó que el sistema de Fallas de Cosinas es de tipo transcurrente, las evidencias de campo sugieren que su mayor movimiento se dio a lo largo del buzamiento y que ocurrió durante la fase final de deformación. Afecta rocas del Jurásico y del Cretácico (figura 6.2).

Cortando este sistema hay un conjunto de fallas de rumbo con movimiento lateral derecho y tendencia promedio $N58^{\circ}W$ y un conjunto de fallas menores con tendencia $N16^{\circ}E$ y movimiento de rumbo lateral izquierdo, formados en una fase posterior (Rollins, 1965); ambos conjuntos deforman el tren regional N-NE a N-E y lo rotan hasta quedar en dirección aproximada $N84^{\circ}E$ (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

6.2.2. Fallas de dirección E-W a NW-SE

Dentro del sistema de fallas con dirección E-W a NW-SE sobresalen las fallas de Murelu, Cuisa y Oca (Figura 6.2). Este sistema, en general, corta el tren estructural regional N-NE a N-E y es el responsable de la elevación y desplazamiento de las serranías de Macuira, Jarara, Cosinas y de la Sierra Nevada de Santa Marta. Se caracteriza por tener fallas de alto ángulo con un importante movimiento vertical y algunas con un movimiento de rumbo lateral derecho.



FALLA DE CUISA

Es una falla transcurrente lateral derecha de alto ángulo (**Gómez, 2001; Mercado, 2003**), con cerca de 15 km. de desplazamiento lateral derecho en la parte continental de la Península de la Guajira (**Álvarez, 1967; MacDonald y Doolan, 1971**), y con una componente en la vertical hacia el sur, generando en la zona interna estructuras en flor positivas. (**Rodríguez y Guerrero, 2009**); se extiende en dirección E-W a través de la parte norte de la península, y se prolonga hacia el oriente pasando cerca a la bahía de Cocinetas (figura 6.1 y 6.2) y continuando a través del Golfo de Venezuela, hasta el sureste del la península de Paraguaná (**Rollins, 1965**), de acuerdo con **Vence (2008)** en el Golfo de Venezuela cambia su dirección predominante a NW-SE. Tiene una extensión aproximada de 80 km corresponde al límite norte de la Serranía de Cosinas, separa rocas metamórficas del pre-Mesozoico, Cretácico, sedimentos del Cenozoico presentes en el bloque norte de la falla, de rocas del pre-Mesozoicas, metamórficas del Cretácico y sedimentos del Mesozoico del área de Cosinas. El extremo occidental de la falla, en la península de La Guajira, está cubierto por depósitos del Eoceno al Holoceno (**Ramírez, 2006; Vence, 2008**), y el extremo oriental, a pocos kilómetros del pueblo de Porchina, está cubierto por sedimentos del Oligoceno (**Rollins, 1965**).

Raasveldt (1956, en Rollins, 1965) sugiere un desplazamiento principal de rumbo, basado en fotografías aéreas. **Alberding (1957, en Rollins, 1965)** asume un movimiento de rumbo de más de 15 km, basado en los datos de **Raasveldt (1956), Rollins (1965)** de acuerdo con las evidencias de campo, indica que el movimiento principal ha sido en el sentido del buzamiento, con un desplazamiento lateral derecho menor de un kilómetro y que ocurrió probablemente durante el segundo período de deformación, concordante con el desarrollo de fallas oblicuas de deslizamiento. **Álvarez (1967)** sugiere dos movimientos, uno de rumbo lateral derecho, con un desplazamiento de 28 km, y otro a lo largo del buzamiento, donde el bloque sur se levantó con respecto al bloque norte, y **MacDonald y Doolan (1971)** plantean un desplazamiento lateral derecho de 15 km.

La prolongación de la falla hacia el occidente está evidenciada en las líneas sísmicas corridas en los alrededores del Campo Chuchupa, con base en los análisis de esas líneas, trabajos recientes postulan un comportamiento tectónico variable a lo largo de la falla. **Gutiérrez y Osorio (1988)** muestran en el extremo occidental cerca al Campo de Chuchupa, una serie de fracturas que forman un graben; en tanto que **Buchelli et al. (1989)** indican una actividad de tipo compresivo con un período de mayor magnitud entre el Paleoceno y el Eoceno. De acuerdo con **Gómez (2001)** la falla de Cuisa inicia su movimiento lateral derecho en el Eoceno tardío (**Feo-Codecido, 1972**), como se muestra por la depositación de 2,5 km de rocas sedimentarias del Oligoceno en las cuencas de “pull-apart” formadas.



FALLA DE OCA

Constituye un sistema transcurrente, con una dirección general E-W, aunque el desplazamiento principal ha sido muy discutido, la mayoría de los autores coincide que es lateral derecho (**Acosta, 1997; Rubio et al., 1998; MacDonald, 2001; Gómez, 2001**), se ha documentado un desplazamiento al menos de 15-20 km en la Cuenca de Falcon (Venezuela) (**Feo-Codecido, 1972; Tschanz et al., 1974**) y estimado entre 65 y 195 km (**Tschanz et al., 1974; Cediél et al. 2003**), con una componente importante de desplazamiento vertical. Es la falla más importante del sistema E-W a NW, se extiende aproximadamente por 300 km desde el extremo noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, donde se cruza con la Falla Santa Marta - Bucaramanga, hasta la Isla de Toas y, posiblemente, se prolonga hasta su intersección con la Falla Boconó en Venezuela, para posteriormente unirse con la Falla San Sebastián - El Pilar (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

Los rasgos morfológicos y estructurales más importantes de la Falla de Oca en el Departamento de La Guajira son: (1) el levantamiento del bloque sur que forma la Sierra Nevada de Santa Marta, (2) la culminación abrupta de la Serranía de Perijá y (3) la región deprimida que forma el bloque norte de la falla a lo largo de toda su traza en Colombia y Venezuela, rasgos que indican que la falla no sólo tuvo un importante movimiento lateral derecho, sino una componente vertical.

De acuerdo con las reconstrucciones realizadas por **Pindell et al. (1988)**, **Cediél et al. (1994)** y **Cediél et al. (2003)** el sistema de la falla de Oca-El Pilar ha estado activo desde el Triásico Superior y desde el Cretácico medio ha exhibido un movimiento lateral derecho. **Maresch et al. (2000)** sugiere una captura del sistema Romeral-San Jacinto durante el emplazamiento de la Placa del Caribe en el Paleoceno. En el Eoceno es donde mejor se observa el desarrollo de una zona de mayor tensión en el sistema Oca-El Pilar (**Cediél et al. 2003**), tiempo en el cual el sistema también actúa como un mecanismo de bisagra que permite el desarrollo de una cuenca "foreland" a lo largo del frente de la Cuenca de Maracaibo (**Lugo y Mann, 1995**). De acuerdo con **Gómez (2001)** las fallas de Oca y Cuisa inician su movimiento lateral derecho en el Eoceno tardío (**Feo-Codecido, 1972**), como se muestra por la depositación de 2,5 km de rocas sedimentarias del Oligoceno en las cuencas de "pull-apart" formadas.

7. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

La evolución de la península de la Guajira está ligada hasta finales del Cretácico y principios del Cenozoico con la geología del norte de Los Andes y a partir del Eoceno temprano a medio, se dio un importante cambio causado por el choque de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana, que desliza a esta región del norte de Los Andes.

En la Sierra Nevada de Santa Marta se reportan al menos tres eventos metamórficos regionales, el primero de ellos ocurrió en el Precámbrico, en la



Península de la Guajira este evento se correlaciona con el Leucogranito de Jojoncito, datado en 1.250 Ma (**Irving, 1971**) y con el Grupo Macuira, de edad pre-mesozoica. El segundo evento, se dió al occidente del Arco de Sevilla, con una edad de 110 Ma, pero en la Península de la Guajira no hay registro de este metamorfismo. El tercer evento registrado a finales del Cretácico y principios del Paleógeno, anterior a 48 Ma, en la Península de la Guajira se encuentra registrado en las formaciones Jarara, Etpana, Parauinkrein, Ipanaruhu y Carpintero. Las unidades con este metamorfismo tienen asociados cuerpos lenticulares de rocas ultramáficas, lo que indica un posible cabalgamiento de la Placa Caribe sobre el borde de la Placa Suramericana y una acreción de material oceánico al continente.

En La Guajira se registran dos eventos de magmatismo plutónico, uno de edad Jurásico medio – Jurásico tardío – hasta principios del Cretácico, representado en la Península de la Guajira por la Granodiorita de Siapana y la Granodiorita de Ipapure. El segundo evento ocurrido en el Eoceno medio, está representado por la Cuarzodiorita de Parashi.

El vulcanismo en La Guajira se extiende desde el Triásico hasta posiblemente principios del Cretácico y está representado por la Riodacita de la región de Ipapure – Cerro de La Teta. (143 +/-7 Ma).

Con respecto a las rocas sedimentarias, el mar que cubría la región durante el jurásico, continuó allí durante el Cretácico y transgredió lentamente hacia el valle del Río Cesar (**Toussaint, 1996**).

En la región la sedimentación Cretácica se inicia por un ambiente de carbonatos con el Miembro Kesima de la formación Palanz, seguido por una depositación clástica perteneciente a la misma formación durante todo el Cretácico.

Las formaciones sedimentarias del Paleógeno - Neógeno están localizadas en tres cuencas en la Península de La Guajira: Cosinas, Chichibacoa y Portete, limitadas por áreas levantadas de rocas más antiguas. Las formaciones del Cenozoico indican un ciclo marino transgresivo - regresivo (**Hall y Cediél, 1971**), que fue interrumpido durante el Paleoceno, pero que continuó en el Eoceno con la depositación de la Formación Macarao.

Durante el Eoceno – Oligoceno se produjeron fuertes eventos orogénicos que originaron el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta y de la Serranía de Perijá, interrumpiendo la sedimentación. El Oligoceno tardío, marca el comienzo de un período con gran deformación tectónica, con fallas de desplazamiento de rumbo como las fallas Santa Marta - Bucaramanga y Oca (**Arias y Morales, 1999**).

Hacia el norte del área levantada, la Cuenca de la Guajira permaneció sumergida durante la mayor parte del Oligoceno - Mioceno y posiblemente Plioceno. La transgresión del Oligoceno medio depositó los conglomerados, calizas fosilíferas y *shales* de la Formación Siamaná, sobre la mayor parte de la Alta Guajira. Complejos arrecifales circundaron las serranías expuestas, mientras en la parte más profunda, se sedimentaron *shales* y *shales* calcáreos. Esta transgresión continuó hasta el Oligoceno tardío o Mioceno temprano (**Rollins,**



1960), con la sedimentación en un ambiente de aguas profundas de la Formación Uitpa, la cual se sedimentó extensamente sobre la Alta Guajira.

En el Mioceno temprano a medio comenzó una regresión que probablemente permitió que las serranías conectadas formaran un área central en la parte de la Alta Guajira. La Formación Jimol se depositó en la cuenca al sur de estas serranías y probablemente se presente al norte de las mismas, bajo rocas más jóvenes. Esta regresión continuó durante el Mioceno medio - tardío con la sedimentación de la Formación Tucacas (Castilletes) representada por calizas margosas y arcillas con limolitas y areniscas hacia el techo, lo que sugiere condiciones marinas someras (**Hall y Cediél, 1971**).

A finales del Neógeno la Cuenca de la Guajira correspondía a una plataforma marina estable y llana, interrumpida solamente por una serie de altos, que hoy día equivalen a las serranías de Jarara, Macuira, Cosinas, Carpintero y el Cerro de La Teta, entre otros (**Hall y Cediél, 1971**). Estos altos actuaron como rompe olas y permitieron el desarrollo de arrecifes, así como la sedimentación en un mar relativamente tranquilo.

Mientras la historia cenozoica en la Alta Guajira es relativamente clara, la de la Baja permanece cubierta bajo sedimentos cuaternarios, aunque su baja elevación sugiere, que estuvo afectada por el ciclo de transgresión - regresión de la Alta Guajira.

8. PROSPECTIVIDAD DE HIDROCARBUROS

Con base en el conocimiento geológico de la región y las ocurrencias de hidrocarburos observadas en la Subcuenca, se describen de manera resumida, las rocas generadoras, las rocas reservorios y las rocas sellos, así como también los sistemas petrolíferos propuestos por **Rangel et al., 2003**.

La figura 8.1 ilustra los sistemas petrolíferos de manera general de las subcuencas de la Baja y Alta Guajira en donde se incluyen los eventos de generación y tectonismo que han afectado la evolución de las subcuencas.

Igualmente se presenta una carta de eventos tomada de **Ramírez (2006)** ver figura 8.2, en donde se establecen los componentes del sistema petrolífero de la Subcuenca de la Baja Guajira.

8.1 Roca Generadora.

Los estudios geoquímicos realizados por ECOPETROL y otras compañías privadas durante los últimos años, destacaron la ocurrencia de procesos termogénicos en la Subcuenca de la Baja Guajira, asociados con al menos cuatro sistemas petrolíferos, sin embargo el análisis realizado en este trabajo indica que no existen buenas evidencias que permitan aceptar su presencia y se proponen



únicamente dos sistemas petrolíferos con posibilidades de generación de gas a partir de la degradación termal de kerógeno.

Las principales roca fuentes de Cretácico Superior son; el Grupo Cogollo, la Formación La Luna y la Formación Colón (Formación Guaralamai). Las rocas generadoras del Neógeno podrían ser las formaciones Simana, Uitpa y Jimol.

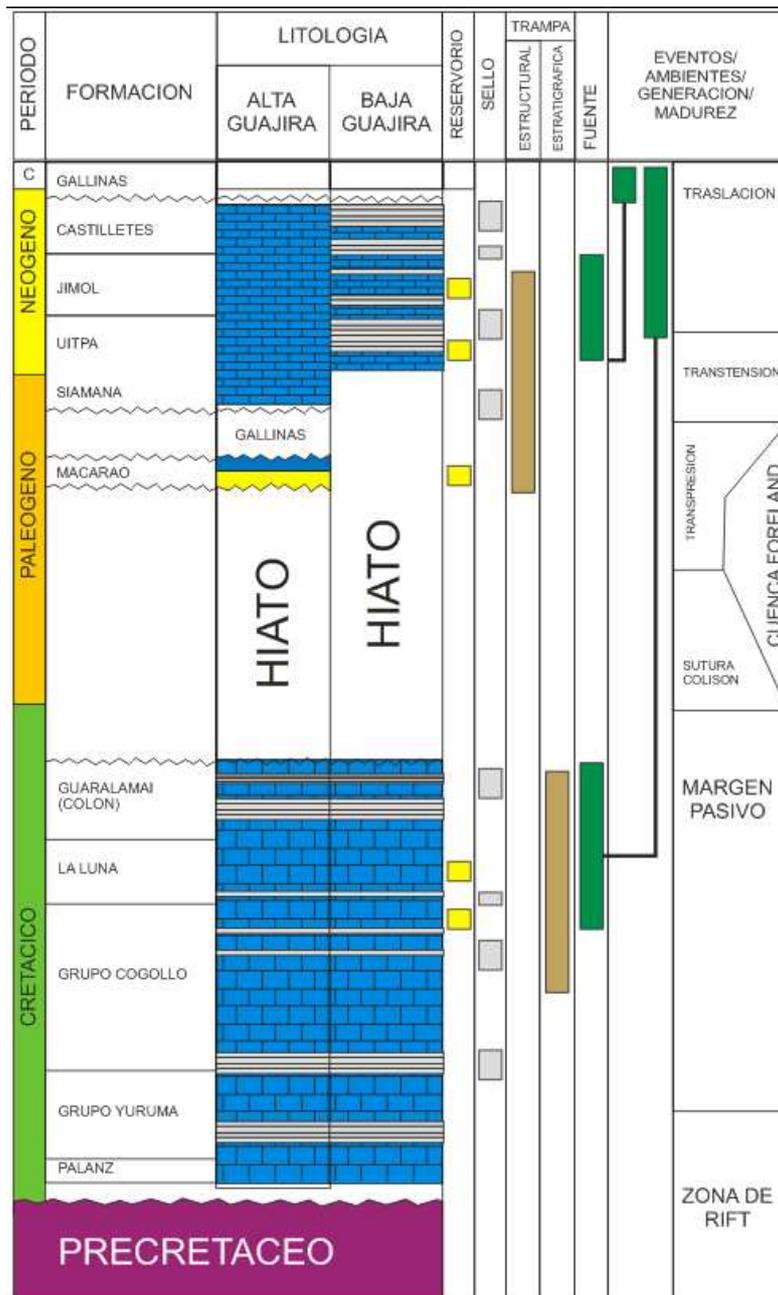


Figura 8.1. Columna estratigráfica generalizada y sistemas petrolíferos de las subcuencas de la Baja y Alta Guajira. (Barrero et al. 2007).

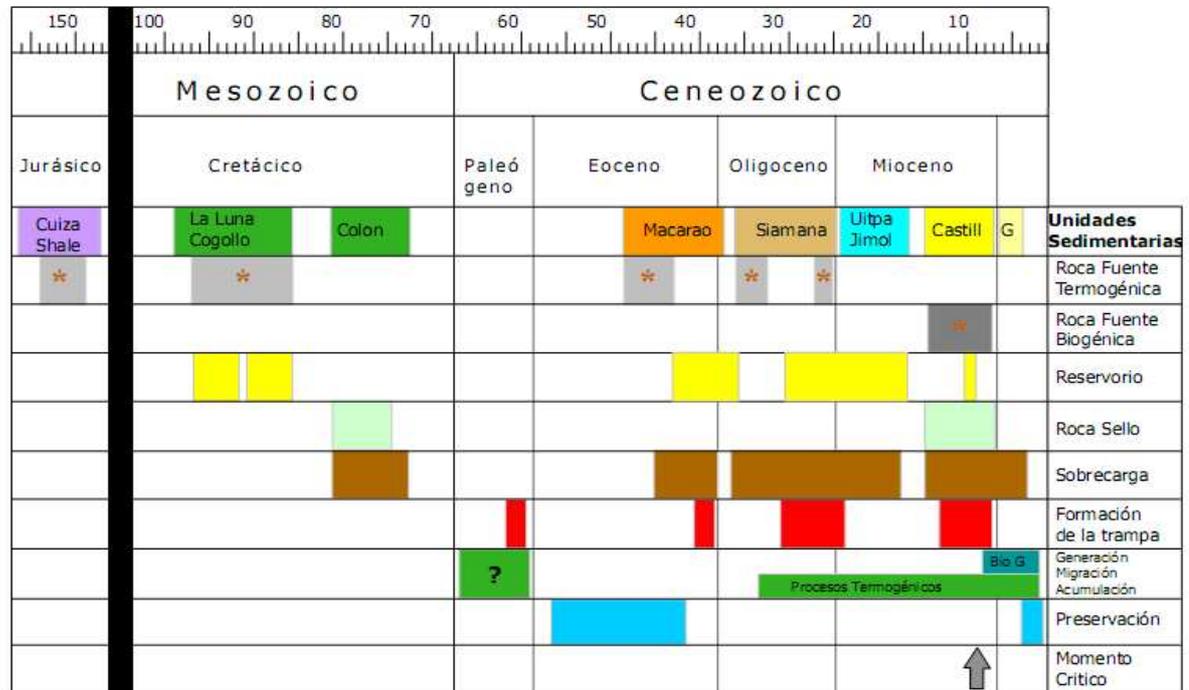


Figura 8.2. Carta de eventos para la Subcuenca de la Baja Guajira (Tomado de Ramírez, 2006)

8.2 Roca Reservorio

Las rocas reservorios del Cretácico son: 1) El Grupo Cogollo, constituido por shales, limolitas arcillosas con calizas limo arenosas interestratificadas y, 2) La Formación La Luna, constituida principalmente por calizas estratificadas y chert intercalados con capas delgadas de calizas negras.

Las rocas reservorios del Neógeno son: 1) La Formación Siamana constituida por calizas arenosas, calizas arrecifales, calizas margosas, margas y shales arcillosos. 2) La Formación Uitpa constituida por margas glauconíticas y lodolitas limosas, areniscas calcáreas arcillosas, calizas y limolitas y areniscas hacia el tope. 3) La Formación Jimol está constituida por calizas arenosas, areniscas calcáreas y cantidades menores de arcillolita.

8.3 Trampas

Estructuralmente la Subcuenca de la Baja Guajira se caracteriza por dos sistemas de fallas; uno de dirección N-NE a NE asociado a fallas de



cabalgamiento y otro de dirección de dirección E - W a NW – SE caracterizado por fallas de alto ángulo con un importante movimiento vertical y algunas con un movimiento de rumbo lateral derecho.

De acuerdo a **Barrero et al. (2007)** (ver figura 8.1) las trampas de edad Cretácica son de tipo estratigráfico, mientras que las trampas de edad Neógena son de tipo estructural y están asociadas a las fallas de calgamiento y fallas verticales con desplazamiento lateral.

8.4 Roca Sello

Las intercalaciones de shales de la Formación Guaralamai del Cretácico se han propuesto como rocas sello, así como las intercalaciones de shales del Neógeno de las formaciones Siamana, Uitpa, Jimol y Castilletes.

8.5 Roca de Sobrecarga

De acuerdo a los modelos gequímicos, todas las formaciones que suprayacen a las rocas fuente constituyen rocas de sobrecarga es decir las formaciones: Guaralamai, Macarao, Siamana, Uipta, Jimol y Castilletes.

8.6. Sistemas Petrolíferos

Los sistemas petrolíferos propuestos en el presente estudio son: El Sistema Cretácico Inferior-Cretácico Superior conformado por el Grupo Cogollo, la Formación la Luna y la Formación Guaralamai como rocas generadoras y el Grupo Cogollo y la Formación La luna como rocas reservorios. El sistema petrolífero Paleógeno-Neógeno esta conformado por las formaciones Siamana, Uitpa y Jimol como rocas generadoras y las formaciones Uitpa y Jimol como rocas reservorio. En el presente estudio se descartaron los sistemas petrolíferos del Neógeno por no estar maduros termalmente como lo demuestran los resultados del modelamiento gequímico y la información geoquímica de pozos como se discute más adelante.

9. GEOQUIMICA

9.1 Caracterización geoquímica de las rocas fuente

La caracterización geoquímica de las roca fuente se hace con base en tres criterios: 1) la cantidad de materia orgánica determinada mediante análisis de carbono orgánico total (TOC), 2) la calidad de materia orgánica indicada por el tipo o tipos de kerógenos presentes en la rocas fuente determinados mediante análisis microscópicos y mediante el índice de hidrógeno (HI), y 3) el grado de maduración



termal determinado mediante la reflectancia de la vitrinita (Ro%) y el parámetro temperatura máxima (Tmax).

Las tabla 9.1 resume los datos antes descritos para pozos localizados en la Subcuenca de la Baja Guajira y en el offshore y la tabla 9.2 incluye los datos geoquímicos de muestras de afloramiento en la Serranía de Cosinas.

Tabla 9.1. Resultados de análisis de pirólisis Rock Eval, Ro y TOC de pozos en la Subcuenca de la Baja Guajira y en el offshore.

Pozo	Prof.	Ro(%)	TOC %	S1:	S2:	S3:	T MAX:	HI	OI:
Aruchara-1	75		0.12						
Aruchara-1	405		0.04						
Aruchara-1	675		0.10						
Aruchara-1	1005	0.29	1.13	0.09	0.61	1.11	442	53.9	98.2
Aruchara-1	1305		0.22						
Aruchara-1	1605	0.28	0.61	0.03	0.25	1.08	436	41.3	176.4
Aruchara-1	1905	0.33	0.41	0.04	0.14	0.9	441	34.6	219
Aruchara-1	2295	0.38	0.35						
Aruchara-1	2605	0.38	0.24						
Aruchara-1	2905	0.36	0.35						
Aruchara-1	4800	0.34	1.18						
Aruchara-1	5100	0.38	1.26						
Aruchara-1	5400	0.38	0.76						
Aruchara-1	5700	0.37	1.16						
Aruchara-1	5900	0.41	0.89						
Aruchara-1	6100	0.41	0.57						
Aruchara-1	6900	0.39	0.73						
Aruchara-1	7100	0.39	1.25						
Aruchara-1	8100		1.70						
Aruchara-1	8200		1.90						
Aruchara-1	8300	0.44	1.95						
Aruchara-1	8400		1.77						
Calamar-1	3525	0.38	0.89	0.06	0.52	1.46	430	58.4	163.7
Calamar-1	4155	0.39	0.67	0.05	0.33	1.59	426	49.7	237.2
Calamar-1	4995	0.45	0.72	0.09	0.34	0.63	414	47.6	87.5
Calamar-1	5235	0.44	1.09	0.02	0.68	1.4	426	62.2	128.6
Calamar-1	5565		1.16	0.04	0.63	1.33	425	54.3	114.3
Calamar-1	5835	0.47	0.84	0.04	0.45	1.65	423	53.6	196.9
Calamar-1	6105	0.51	1.35	0.08	0.82	1.37	416	60.4	101.5
Calamar-1	6465	0.55	1.9	0.08	1.41	1.45	426	73.9	76.1
Calamar-1	6735	0.51	1.26	0.05	0.65	1.69	431	51.7	134.4



Pozo	Prof.	Ro (%)	TOC %	S1:	S2:	S3:	T MAX:	HI	OI:
Calamar-1	7005	0.54	1.21	0.05	0.65	1.56	432	53.4	128.8
Calamar-1	7395	0.52	0.23						
Calamar-1	7665	0.57	0.64	0.03	0.38	1.18	425	58.9	183.9
Calamar-1	8025	0.55	0.51	0.08	0.56	4.3	410	109.8	843.7
Calamar-1	8193		0.54	0.03	0.26	0.85	427	47.4	158
Calamar-1	1980		0.04	0.02	0	0.87		0	2175
Calamar-1	2520		0.05	0.02	0.01	0.94	430	20	1880
Epehin-1	118		0.10						
Epehin-1	405		0.18						
Epehin-1	600		0.04	0.02	0	0.5		0	
Epehin-1	695		0.11						
Epehin-1	995		1.05	0.11	0.71	7.79	549	67	742
Epehin-1	1110		0.04	0.03	0	0.34		0	850
Epehin-1	1295	0.28	1.79	0.93	9.76	8.97	423	545	501
Epehin-1	1500		0.09	0.03	0	0.18		0	200
Epehin-1	1595		4.78	0.30	5.34	3.87	434	112	81
Epehin-1	1915	0.28		1.58	19.27	10.74	430		
Epehin-1	2010		0.12	0.00	0	0		0	0
Epehin-1	2195		0.61	0.08	0.68	1.69	431	111	277
Epehin-1	2395		0.27	0.11	1.21	1.2	420	448	444
Epehin-1	2520		0.14	0.03	0	1.81		0	1293
Epehin-1	2795	0.32	0.19					0	0
Epehin-1	2980		0.11	0.03	0.03	0.03	426	27	27
Epehin-1	3000		0.03	0.03	0	0.2		0	667
Epehin-1	3095		0.17					0	0
Epehin-1	3200	0.35	0.97					0	0
Epehin-1	3395	0.35	1.13	0.11	1.21	1.2	420	107	106
Epehin-1	3480		0.24	0.02	0.01	2.05	324	4	854
Epehin-1	3490		0.17	0.03	0.03	0.69	436	18	406
Epehin-1	3695	0.35	1.14	0.08	1.31	0.87	420	115	76
Epehin-1	3970		0.10	0.04	0.01	0.54	350	10	540
Epehin-1	3995	0.38	1.24	0.08	1.25	1.4	427	101	113
Epehin-1	4050		0.54	0.07	0.08	3.27	414	15	606
Epehin-1	4265	0.37	1.39	0.10	0.84	1.21	399	60	87
Epehin-1	4500		0.57	0.06	0.13	1.57	409	23	275
Epehin-1	4510		0.50	0.04	0.07	2.47	465	14	494
Epehin-1	4535	0.40	1.75	0.07	2.49	1.19	422	142	68
Epehin-1	4805		0.81	0.07	0.62	1.39	427	77	172
Epehin-1	4990		0.77	0.15	0.51	0.88	408	66	114
Epehin-1	5040		0.50	0.05	0.15	1.25	417	30	250



Epehin-1	5075		0.78	0.04	0.56	1.15	420	72	147
Epehin-1	5345	0.38	0.47	0.03	0.39	0.93	426	83	198
Epehin-1	5530		0.21	0.07	0.07	0.68	411	33	324
Epehin-1	5615	0.36	0.63	0.02	0.33	0.74	424	52	117
Epehin-1	5885	0.38	0.55	0.06	0.32	0.83	424	58	151
Epehin-1	6030		0.10	0.03	0	0.56		0	560
Epehin-1	6174	0.43	0.48	0.03	0.21	0.66	417	44	138
Epehin-1	6540		0.07	0.02	0	0.15		0	214
Epehin-1	7040		0.18	0.04	0.06	0.23	421	33	128
Epehin-1	7510		0.97	0.08	0.51	0.84	419	53	87
Epehin-1	7590		0.37	0.04	0.2	0.41	425	54	111
Epehin-1	8490		1.15	0.11	1.24	1.06	423	108	92
Epehin-1	8990		1.59	0.20	2.3	1.72	417	145	108
Epehin-1	9490		1.21	0.07	1.37	0.72	428	113	60
Epehin-1	9660		0.39	0.03	0.22	0.28	431	56	72

Pozo	Prof(pies)	Ro (%)	TOC %	S1:	S2:	S3:	T MAX:	HI	OI:
Pavón-1	490		0.06	0.03	0.05	1.49	436	83.30	2483.30
Pavón-1	1030		0.04	0.01	0.00	0.40		0.00	1000.00
Pavón-1	1490		0.06	0.02	0.01	0.51	331	16.70	850.00
Pavón-1	2010		0.14	0.01	0.00	0.09		0.00	64.30
Pavón-1	2510		0.24	0.04	0.03	1.32	342	12.50	550.00
Pavón-1	3180		0.49	0.05	0.11	1.07	407	22.40	218.40
Pavón-1	3520	0.50	0.72	0.08	0.42	1.42	421	58.30	197.20
Pavón-1	4000		0.79	0.06	0.19	0.54	411	24.10	68.40
Pavón-1	4400		1.46						
Pavón-1	4500	0.53	1.46						
Pavón-1	4500		1.30	0.09	0.52	1.02	421	38.20	75.00
Pavón-1	4800	0.34	1.18						
Pavón-1	5020	0.57	1.59	0.16	2.21	1.20	427	139.00	75.50
Pavón-1	5100	0.38	1.26						
Pavón-1	5266		1.10						
Pavón-1	5400		0.29						
Pavón-1	5400	0.38	0.76						
Pavón-1	5470		0.87	0.09	0.57	0.85	414	65.50	97.70
Pavón-1	5500		0.31	0.03	0.17	0.32	420	54.80	103.20
Pavón-1	6010	0.55	1.16	0.09	0.93	0.94	428	80.20	81.00
Pavón-1	6030		0.43	0.04	0.06	0.28	418	14.00	65.10
Pavón-1	6210	0.60	0.90	0.06	0.79	0.85	433	87.88	94.40
Pavón-1	6490		0.84	0.09	0.59	0.88	421	70.20	104.80
Pavón-1	6970		0.85	0.07	0.55	0.97	422	64.70	114.10



Pavón-1	7200		1.51						
Pavón-1	7400	0.38	1.63						
Pavón-1	7600		1.79						
Pavón-1	7800		1.56						
Pavón-1	7900	1.08							
Pavón-1	8000		1.31	0.10	1.54	0.76	422	117.60	58.00
Pavón-1	8000		1.46						
Pavón-1	8100		1.44						
Pavón-1	8110		1.96	0.15	3.38	0.88	427	172.40	44.90
Pavón-1	8115	0.60							
Pavón-1	8200		1.70						
Pavón-1	8300		1.90						
Pavón-1	8400	0.44	1.95						
Pavón-1	8500		1.77						
Pavón-1	8580	59.00	0.50	0.24	0.57	1.47	436	114.00	294.00
Pavón-1	9030		0.07	0.03	0.04	0.29	462	57.10	414.30
Pavón-1	9030		1.07	0.11	0.80	1.17	425	74.80	109.30
Pavón-1	9310		0.12	0.06	0.13	0.41	428	108.30	341.70
Pavón-1	14000	0.44	0.98	0.06	0.89	0.62	429	90.80	63.30
Pavón-1	15000	0.46	1.02	0.09	0.80	1.16	426	78.40	113.70
Pavón-1	16040	0.48	1.28	1.56	2.23	6.50	413	173.90	507.80
Pavón-1	16520		1.14	3.75	1.55	6.30	400	136.00	552.60

Los datos de la tabla 9.1 fueron analizados estudiando las tendencias de TOC, y HI en profundidad como se ilustra en las figura 9.1. Los pozos Aruchara-1 y Epehin-1 y Tinka-1, perforados en el área continental de la Subcuenca de la Baja Guajira, muestran una tendencia de incremento del TOC en profundidad especialmente en el pozo Aruchara-1, los demás pozos muestran una gran dispersión de los datos.

En resumen, los resultados de TOC y HI no permiten establecer la identificación clara de un nivel de rocas fuente de hidrocarburos con excelentes características. En los pozos costa afuera Calamar-1 y Pavón-1, tampoco es posible identificar un nivel a determinada profundidad con buenas características de roca generadora de hidrocarburos. Los bajos niveles de TOC y HI indican que la rocas generadoras de hidrocarburos en la secuencia Neógena y Paleógena han tenido una capacidad moderada de generación en la región continental y en el área de la Subcuenca de la Baja Guajira.

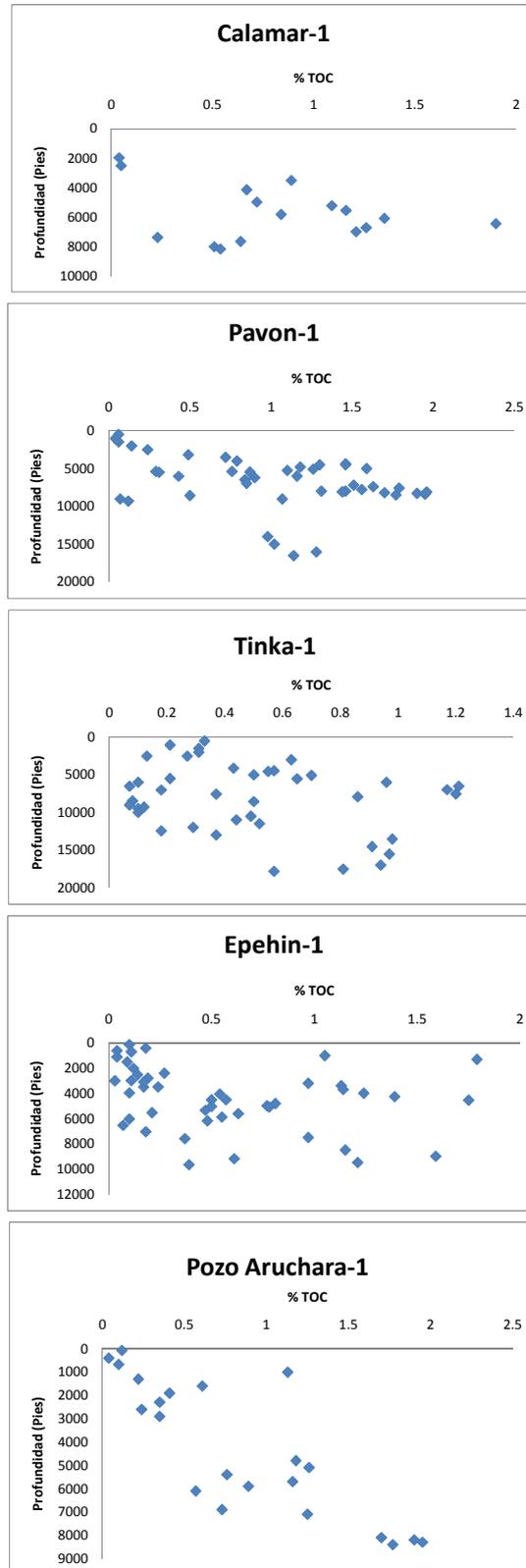


Figura 9.1 Diagramas de TOC vs. Profundidad en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira y del offshore.



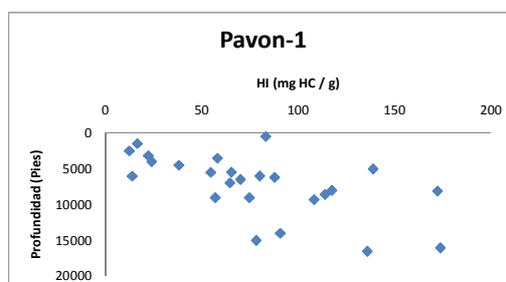
Tabla 9.2. Resultados de análisis de pirólisis Rock Eval, Ro y TOC de muestras de afloramiento en la Serranía de Cosinas.

FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN	TOC	TMAX	HI
Grupo Yuruma	intramicrita	0,07	448	35,01
Grupo Yuruma	intramicrita	0,13	400	79,73
Grupo Yuruma	intramicrita	0,12	414	23,21
Grupo Cogollo	intramicrita	0,04	461	55,55

Es anotar que los resultados obtenidos, tabla 9.2, indican que la cantidad de materia orgánica es relativamente baja (entre 0.4 a 2%) si se comparan con datos de TOC de la Formación Luna en otras cuencas. El tipo de kerógeno presente de acuerdo con el ambiente de depositación corresponde a una mezcla de kerógenos tipos II y III, sin embargo; los datos de HI son muy bajos, indicando que el potencial de generación de aceite es muy bajo restringiéndose a gas seco.

El grado de maduración termal es relativamente bajo, con un máximo de 0.6% de Ro, indicando que las formaciones generadoras estarían en el umbral de generación de hidrocarburos líquidos, como también lo indican las temperaturas de Tmax, las cuales en general no sobrepasan los 430°C. Algunas muestras presentan valores de Tmax superiores a 430°C indicando que están en la ventana de generación de hidrocarburos, sin embargo los datos de Tmax no son confiables dado los bajos valores de TOC.

La figura 9.2 ilustra las variaciones de HI en profundidad para los pozos Aruchara1, Epehin-1, Tinka-1, y Calamar-1. Es de anotar que no se observa una tendencia clara de incremento de HI, y como se comentó anteriormente las características de la rocas generadoras no muestran niveles o formaciones con altos contenidos de HI (HI > 300) que permitan identificar claramente un nivel generador con buen potencial de generación de aceite y/o gas.



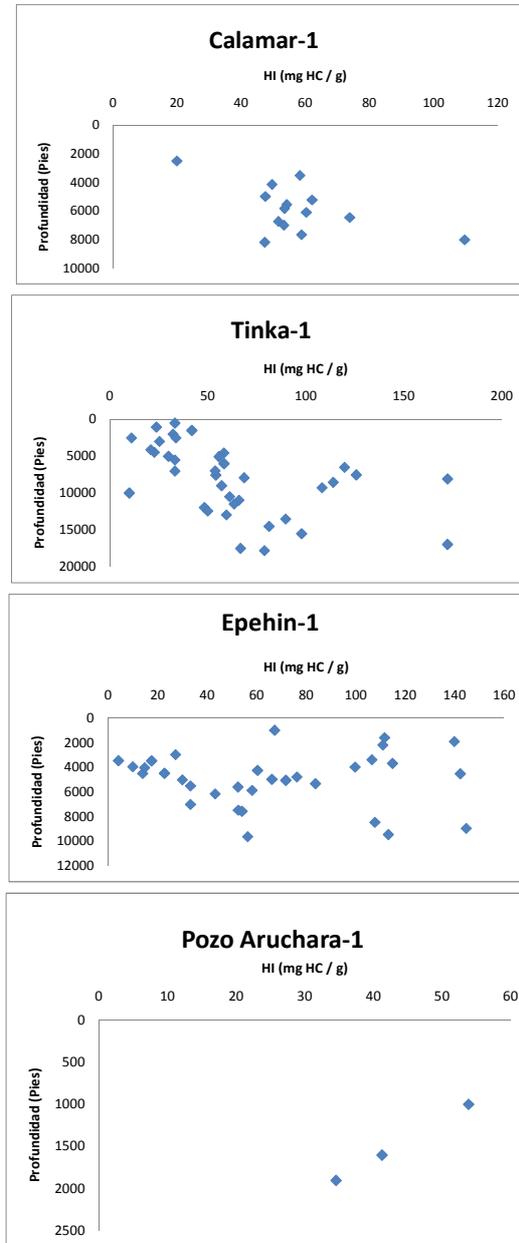


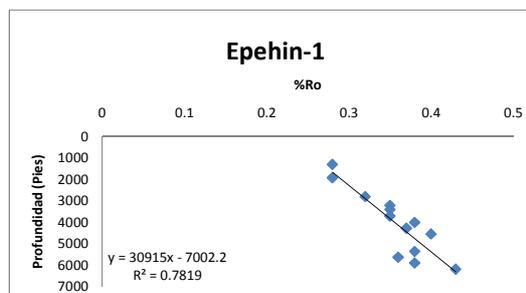
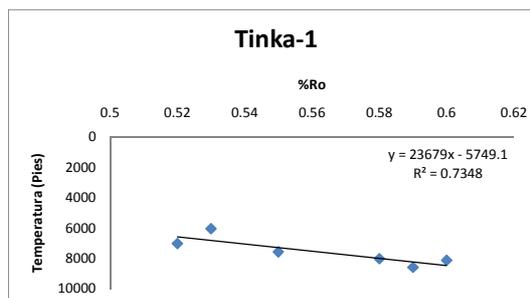
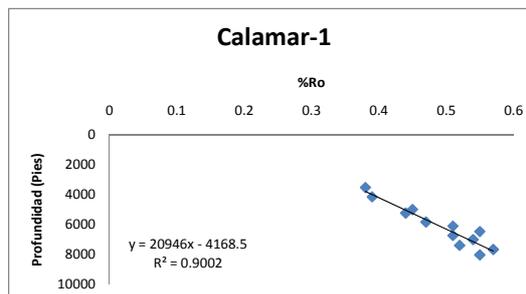
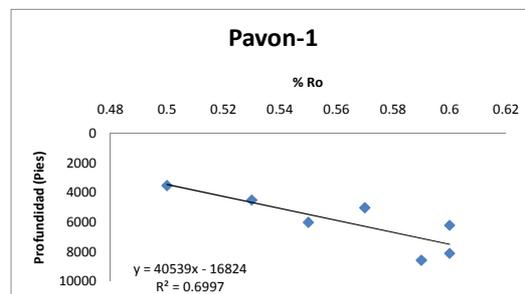
Figura 9.2. Diagrama de HI vs. Profundidad en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira

9.2 Grado de maduración termal de las rocas fuente

Las figura 9.3 ilustra la variación de R_o con la profundidad en varios pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira. En el offshore los pozos Pavón-1, Calamar-1 y Tinka-1, presentan los mayores valores R_o a una profundidad máxima de 8100 pies que corresponde a la Formación Siamana.



Los datos de %Ro de las muestras de afloramiento recolectadas en la Serranía de Cosinas (Tabla 9.3) presentan valores de %Ro que varían como sigue: el Grupo Cogollo presenta valores entre 1.18 y 1,21%; el Grupo Yuruma del Cretácico Inferior presenta valores de 1.24 y 1.31%; y la Formación Chinapa del Jurásico, presenta valores de 1.4%. Los anteriores valores muestran una clara tendencia de incremento de la reflectancia de vitrinita (%Ro) con la edad. Así mismo los valores de %Ro son claramente superiores a los encontrados en las formaciones de edad Paleógena y Neógena, indicando que la secuencia Cretácica y Jurásica estuvo enterrada a mayores profundidades y fué levantada hasta su posición actual en la Serranía de Cosinas. El evento de levantamiento se discute en la sección de reconstrucción de palotemperaturas.



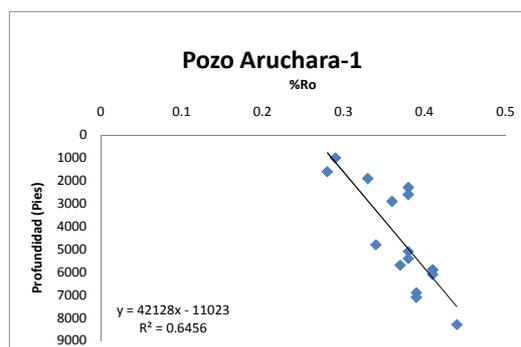


Figura 9.3. Diagramas de % Ro vs. profundidad en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira

Tabla 9.3. Datos de %Ro en muestras de afloramiento de la Serranía de Cosinas

EDAD	FORMACIÓN	% Ro	Desv. Estándar
PALEOGENO			
E5M3	Fm Siamana	1,08	0,18
CRETÁCICO			
E10M1	Grup Cogollo	1,18	0,23
E10M2	Grup Cogollo	1,18	0,15
E16M1	Grup Cogollo	1,21	0,24
E9M1	Grup Cogollo	1,19	0,28
CRETÁCICO			
E11M1	Grup Yuruma	1,24	0,15
E1M2	Grup Yuruma	1,28	0,18
E17M1	Grup Yuruma	1,31	0,29
JURÁSICO			
E3M1	Fm Chinapa	1,4	0,19

Los datos de reflectancia de vitrinita de los pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira fueron agrupados de acuerdo a su edad (Tabla 9.4) y graficados con el objeto de observar tendencias de maduración en forma regional, resultando los mapas preliminares de Iso-reflectancia de vitrinita para el Mioceno (figuras 9.4, 9.5 y 9.6).

Estos mapas de isorefectancia de vitrinita se constuyeron con datos de pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira y del offshore, los cuales se sitúan entre las fallas de Oca y de Cuiza, con el fin de establecer la posible presencia de cocinas de hidrocarburos en la secuencia del Mioceno.

Tabla 9.4. Datos de %Ro en muestras de en pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira y en el offshore

POZO	PROFUNDIDAD	EDAD	n	Ro	DESV.EST.
------	-------------	------	---	----	-----------



				(%)	
Maicao-1	3700	Mioceno tardío	20	0.48	0.066
Almeja-1	5500	Mioceno medio	8	1.26	0.701
Ballena- 2	4650	Mioceno tardío	3	0.58	0.043
Riohacha- 1	5920	Mioceno tardío	4	1.14	0.992
Mero -1	7150	Mioceno medio	4	0.49	0.096
Chuchupa -1	5020	Mioceno tardío	10	0.54	0.165
Aruchara - 1	7160	Mioceno tardío	7	0.87	0.714
Ballena - 1	5200	Mioceno medio	6	0.60	0.169
Pavón - 1	2710	Mioceno medio	5	1.14	0.244
Tiburón - 1	5370	Mioceno tardío	7	0.44	0.102
Chuchupa - 6	4820	Mioceno tardío	4	0.59	0.377
Chuchupa - 5	4780	Mioceno medio	3	1.26	0.406
Ranchería -1		Mioceno tardío	5	0.79	0.193
Sorpresa - 1		Mioceno temprano	6	1.22	0.327
Manaure -1	1810	Mioceno medio	3	0.97	0.241
Chuchupa -4	4140	Mioceno tardío	No registro		

En el mapa preliminar de iso-reflectancia de vitrinita para el Mioceno temprano, Formación Uitpa (figura 9.4), se observa que la ventana de generación se encuentra siguiendo el margen continental y en dirección costa afuera. Además se presenta una zona estrecha entre los pozos Mero-1 y Aruchara-1, en dirección NE que también estaría en la ventana de generación y podría estar explicando la presencia de gas en el Campo Riohacha.

Como se puede ver en el mapa de la figura 9.5, para el Mioceno medio, en la Formación Jimol se encontraron datos de %Ro en los pozos Almeja-1, Mero-1, Tairona-1, Calamar-1, Perico-1, Aruchara-1, Epehin-1 y Pavón-1. Estos valores oscilan entre 0.57% correspondientes a los pozos Almeja-1 y Tairona-1 y 0.36% que es el valor del pozo Mero-1 donde la formación presenta menor madurez termal.

Para el Mioceno tardío, en la Formación Castilletes, se encontraron datos de %Ro en los pozos Almeja-1, Merluza-1, Mero-1, Tairona-1, Calamar-1, Perico-1, Tinka-1 Aruchara-1, Epehin-1 y Pavón-1. Estos valores oscilan entre 0.54% correspondiente al pozo Perico-1 y 0.33% que es el valor del pozo Epehin-1, donde la formación presenta menor madurez termal.

En resumen estos mapas (ver figuras 9.4, 9.5 y 9.6) indican que la tendencia de incremento en la reflectancia de vitrinita se presenta de este al oeste en los mapas del Mioceno temprano y medio, indicando la posible existencia de una cocina de hidrocarburos en la Cuenca Guajira Offshore hacia el oeste. Además en el Mioceno tardío no se observa una clara tendencia.

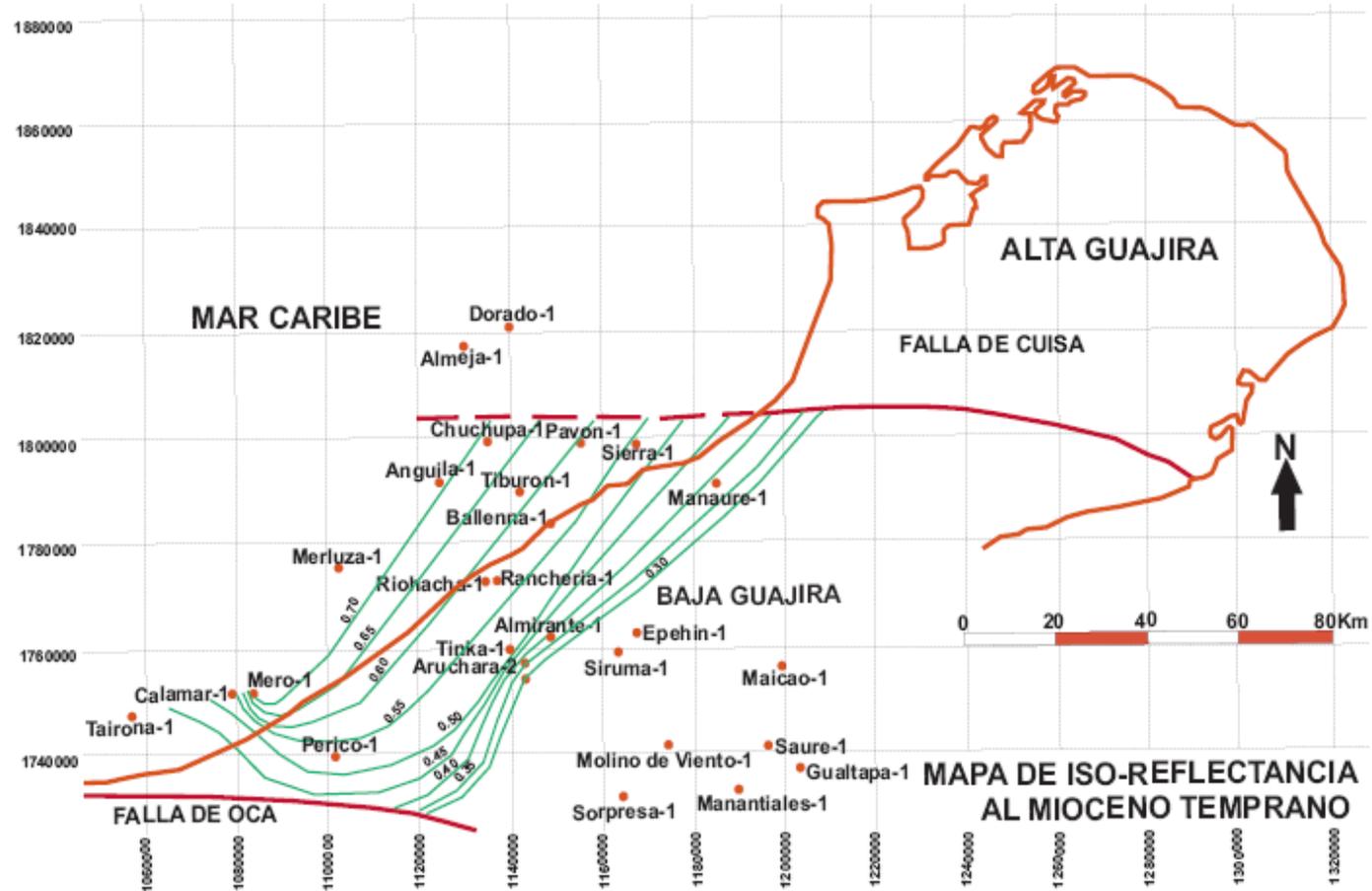


Figura 9.4. Mapa preliminar de Iso-reflectancia de vitrinita al Mioceno temprano para la Subcuenca de la Baja Guajira.

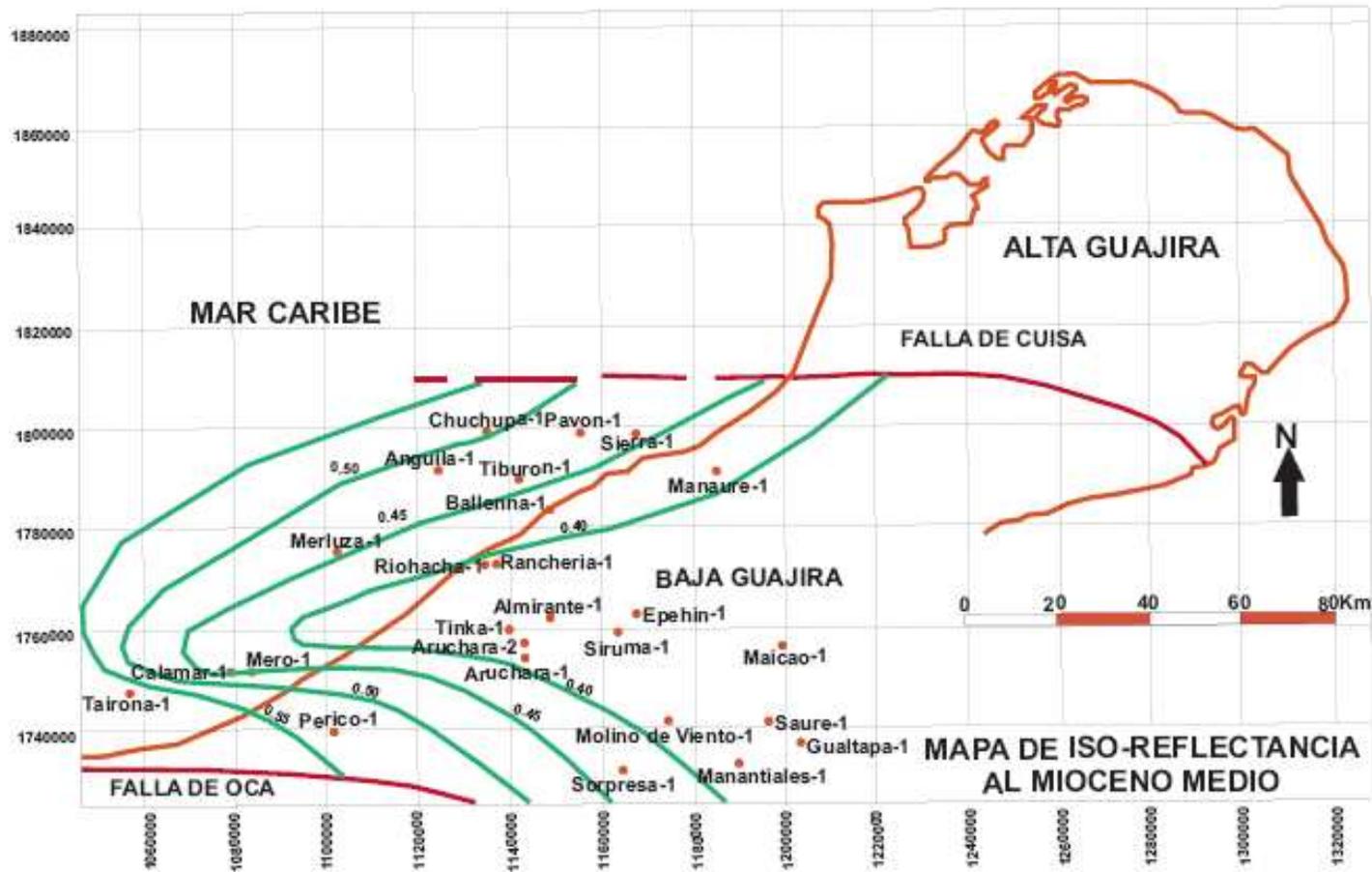


Figura 9.5. Mapa preliminar de Iso-reflectancia de vitrinita al Mioceno medio para la Subcuenca de la Baja Guajira.

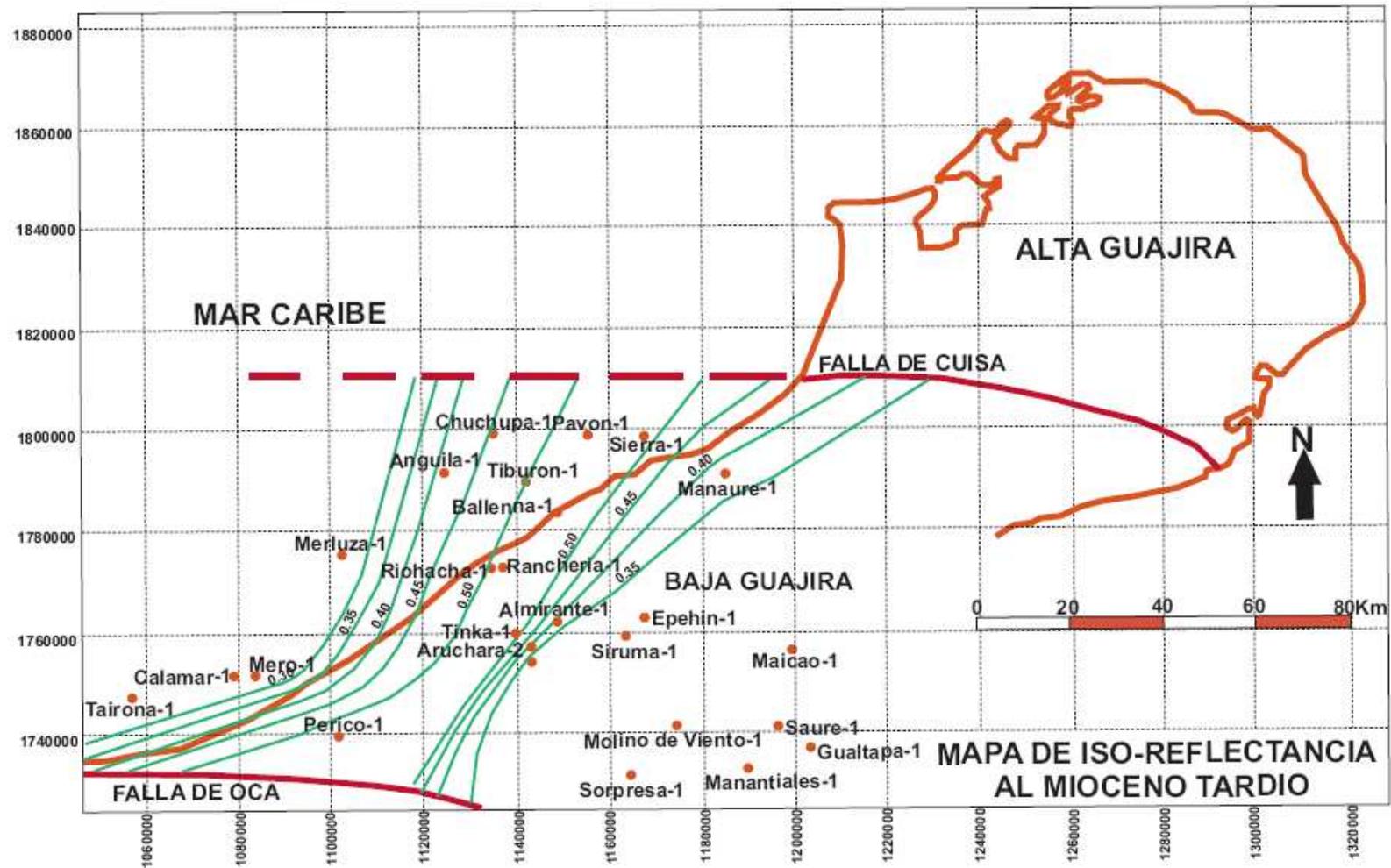


Figura 9.6. Mapa preliminar de Iso-reflectancia de vitrinita al Mioceno tardío para la Subcuenca de la Baja Guajira.



9.3 Origen del gas en la Subcuenca de la Baja Guajira

Rangel et al. (2001) estudiaron el origen y las características geoquímicas de los gases e impregnaciones de crudo en suelos de las localidades denominadas Albania, Almirante, Aruchara, Cerrillo, Chivo Mono, El Paraíso y Tinka, ubicadas en la Subcuenca de La Baja Guajira, concluyendo lo siguiente:

En general, se observa que en el área no existen rezumaderos, pero se han reportado micro-rezumaderos, que corresponden a la presencia de crudo en los suelos, en concentraciones que alcanzan 700 ppm.

La mayor parte de los micro-rezumaderos muestran concentraciones muy altas de resinas más asfaltenos (compuestos NSO), superiores al 80% y concentraciones muy bajas de hidrocarburos saturados, en general menores del 10%, que reflejan gravedades API bajas (posiblemente menores de 10°), lo que es compatible con un proceso de biodegradación posiblemente en superficie. Sin embargo, en algunas localidades, como Aruchara y Chivo Mono, se observaron concentraciones altas de hidrocarburos saturados (hasta 70%) que podrían indicar la proximidad a zonas de carga.

Los resultados de la cromatografía de gases y biomarcadores, indican para todos los aceites estudiados, una roca fuente depositada en un ambiente marino anóxico relativamente distal, siliciclástico con influencia carbonática. El tipo de materia orgánica predominante es kerógeno II de tipo algal, según **Rangel et al. (2001)**.

Los indicadores geoquímicos característicos de estos aceites son valores relativamente altos de hopanos C_{35}/C_{34} (cerca de 1), valores medios de diasteranos / esteranos (alrededor de 1.5), valores bajos de oleanano / hopano (alrededor de 0.1) y relaciones pristano / fitano próximas a 1.5. **Rangel et al. (2001)**.

La presencia de oleanano en proporciones relativamente bajas, (relación oleanano/hopano alrededor de 0.1) reafirma la posibilidad de una roca madre de edad Cretácico Superior, según **Rangel et al. (2001)**.

Además el perfil de la cromatografía de gases y biomarcadores para todos los micro - rezumaderos, se presenta relativamente homogéneo, lo cual indica que corresponden con una sola familia de crudos, asociados con una única roca fuente de hidrocarburos.

De acuerdo a **Rangel et al. (2003)** los campos gasíferos de Ballena y Riohacha, presentan una composición isotópica de ^{13}C en bajos porcentajes, lo cual es característico de gases de origen bacterial. De otra parte, el campo gasífero de Chucupa, presenta gases cuya composición isotópica indican un origen mixto entre gases de origen bacterial y gases termogénicos.



10. RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA PALEOTERMAL DE LA SUBCUENCA BAJA GUAJIRA

La reconstrucción de la historia paleotermal de la Subcuenca de la Baja Guajira se realizó empleado tres métodos: 1) Cálculo del gradiente geotérmico y flujo de calor actuales en la Subcuenca de la Baja Guajira, 2) reflectancia de vitrinita, y 3) huellas de fisión en apatitos y zircones.

10.1 Régimen Termal actual en la Cuenca Baja Guajira

El gradiente geotérmico actual se calculó con base en las temperaturas de fondo de pozos (BHT) reportadas en registros de pozo de la subcuenca. La tabla 10.1 reporta las temperaturas BHT a diferentes profundidades y la figura 10.1 ilustra el gradiente geotérmico lineal obtenido al graficar estas temperaturas con respecto a la profundidad.

Tabla 10.1 Profundidades de fondo de pozo (BHT) en la Subcuenca de la Baja Guajira.

Pozo	Profundidad (pies)	Profundidad (m)	BHT °F	BHT °C
Almirante 1	8840	2696.2	168	75.56
Anguila 1	2550	777.8	110	43.33
Aruchara 1	9715	2963.1	162	72.22
Aruchara 2	8999	2744.7	174	78.89
Ballena	7579	2311.6	142	61.11
Calamar 1	1250	381.3	106	41.11
Chimare 1	8567	2612.9	160	71.11
Chuchupa	6147	1874.8	150	65.56
Dorado 1	3268	996.7	108	42.22
Guajira 1	4839	1475.9	123	50.56
Jarara 1	6409	1954.7	142	61.11
Manaure 1	1540	469.7	95	35
Merluza 1	2550	777.8	132	55.56
Pavón 1	4512	1376.2	146	63.33
Puerto Estrella 1	11285	3441.9	198	92.22
Riohacha 1	6317	1926.7	140	60
Riohacha 2	6350	1936.8	150	65.56
Riohacha 3	6422	1958.7	140	60
Sierra 1	1255	382.8	122	50
Tiburón 1	6453	1968.2	150	65.56
Tinka 1	9495	2896.0	177	80.56
Uashir 1	7204	2197.2	205	96.11

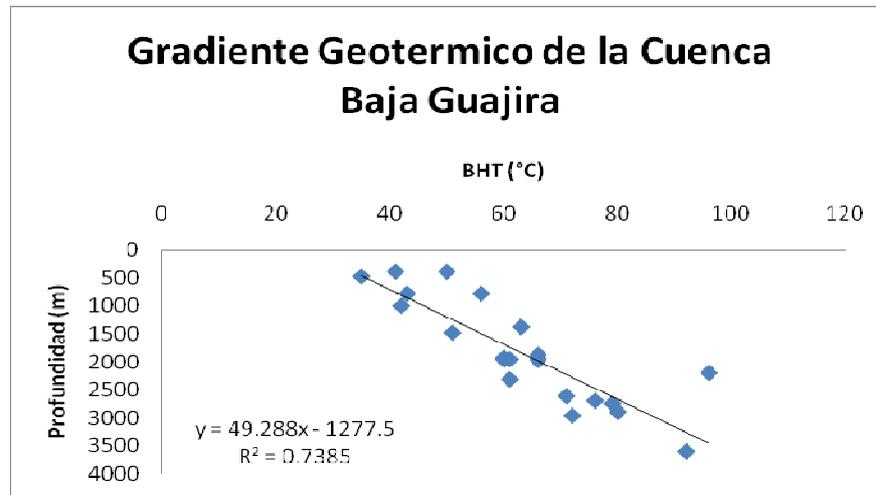


Figura 10.1 Gradiente geotérmico lineal para la Subcuenca de la Baja Guajira obtenido de la gráfica de temperaturas de fondo (°C) vs. profundidad. El gradiente geotermal corresponde a 59.7 °C /km.

La gráfica 10.1 indica que el gradiente geotérmico de la Subcuenca de la Baja Guajira se comporta de manera lineal como lo indica el coeficiente de correlación $R^2 = 0.7385$ equivalente a un valor de 59.7 °C /km el cual es relativamente alto al compararlo con otras cuencas de Colombia como los de la Cuenca de los Llanos Orientales. Lo anterior es debido al flujo de calor alto a nivel del basamento cristalino y a las bajas conductividades térmicas de la cobertera sedimentaria del Paleógeno y Neógeno. Así mismo la gráfica permite calcular la temperatura superficial actual, la cual corresponde a 31°C, la cual también se presenta en otras cuencas de Colombia.

El flujo de calor actual se calculó por medio de la ecuación de Fourier a partir de las temperaturas de fondo (BHT) tomadas de los pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira (Figura 10.1) y de las conductividades térmicas de las unidades litoestratigráficas identificadas en las líneas sísmicas de la Subcuenca de la Baja Guajira. La ecuación de Fourier permite calcular el flujo de calor a diferentes profundidades conociendo las temperaturas BHT y las conductividades térmicas de las diferentes unidades.

La ecuación de Fourier establece que:

$$T_z \equiv T_0 + q \sum \frac{x}{\lambda}$$

En donde:

T_z corresponde a la temperatura de fondo BHT en grados Kelvin (K)

T_0 corresponde a la temperatura superficial (K)

q es el flujo de calor W/m^2

x es el espesor de la unidad litoestratigráfica (m)

λ corresponde a la conductividad térmica $W/K/m$

$$q = (T_z - T_0) / \sum (x/\lambda)$$



Para el cálculo de la conductividad térmica de las diferentes secuencias sísmicas identificadas en el perfil sísmico de la Figura 11.9 se siguió el método de **Brigaud et al. (1990)**, en donde con base en las velocidades de los registros sísmicos se calcula la conductividad térmica in situ de las secuencias sísmicas identificadas en la figura 11.9. Los resultados obtenidos indican que la secuencia sísmica superior entre 0 y 2199 pies de profundidad tiene una conductividad térmica in situ (λ) de 1.8 W/K/m; la secuencia sísmica entre 2100 y 4600 pies tiene una conductividad térmica de 2.5 W/K/m y la secuencia entre 4600 y 8100 pies tiene un conductividad de 3.9 W/K/m.

Una vez calculadas las conductividades térmicas se procedió a calcular los flujos de calor presentes en las secuencias sísmicas antes mencionadas empleando la ecuación de Fourier. Los resultados obtenidos son: secuencia sísmica superior 44.2 mW/m², secuencia sísmica intermedia 47.2 mW/m², y secuencia sísmica inferior 52.9 mW/m².

El flujo de calor de la secuencia inferior fue empleado en el cálculo de la historia termal de la Cuenca de la Baja Guajira discutido en la sección de modelamiento geoquímico.

10.2. Reconstrucción de la historia termal para la Subcuenca de la Baja Guajira con base en análisis de reflectancia de vitrinita

La reflectancia del maceral vitrinita es un indicador de madurez termal que se basa en el incremento del poder reflector de la vitrinita con el incremento de la temperatura. Esta técnica se aplica en carbones y rocas sedimentarias que contengan partículas diseminadas de vitrinita o devitrinita como shales y calizas.

Los datos de reflectancia de vitrinita fueron medidos en muestras de afloramientos y muestras de pozos y los resultados de estas medidas fueron discutidos en la sección anterior. En términos generales la secuencia Neógena muestra datos anormalmente altos debido a que las partículas de vitrinita provienen de material derivado de formaciones más antiguas. La reflectancia de vitrinita en las formaciones del paleógeno presenta un rango de Ro que va desde 0. a 0.41 % de Ro, Las formaciones del Cretácico presentan Ro entre 1.18 y 1.24%, y las formaciones pre-Cretácicas presentan valores de Ro entre 1.31 y 1.57%.

El método de **Burnham y Sweeney (1989)** permite calcular las paleotemperaturas con base en los datos de Ro. Los resultados de este cálculo se incluyen en las tablas 10.2 y 10.3. Se observa que las paleotemperaturas de las formaciones de edad Cretácea y Paleógena están entre 80 y 155°C indicando que están formaciones alcanzaron la ventana de generación de aceite y gas termogénico.

Tabla 10.2. Máxima paleotemperatura obtenida de datos de Ro en muestras de la Serranía Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira, Colombia

Número de referencia	Identificación muestra	Unidad estratigráfica	Edad estratigráfica (Ma)	VR Ro ^{*1} (%)	Máxima paleotemperatura ^{*2} (°C)
VR1	E1M2	Grupo Yuruma	146-100	1.28	161
VR2	E10M1	Fm Maraca	100-66	1.18	155
VR3	E10M2	Fm Maraca	100-66	1.18	155
VR4	E11M1	Grupo Yuruma	146-100	1.24	158



VR5	E16M1	Fm Maraco	100-66	1.21	157
VR6	E17M1	Grupo Yuruma	146-100	1.31	162
VR7	E3M1	Fm Jipi	162-146	1.40	167
VR8	E5M3	Fm Siamana	34-23	1.08	148
VR9	E8M1	Fm Macuira	>542	1.57	170
VR10	E16M1	Grupo Yuruma	146-100	1.21	157
VR11	E9M1	Fm Maraca	100-66	1.19	156

*1 Valores medidos de Ro

*3 Máxima paleotemperatura estimada de valores medidos de VR usando el algoritmo de **Burnham y Sweeney (1989)**. Todos los estimados fueron determinados usando una rata de calentamiento asumida de 1°C/Ma y una rata de enfriamiento de 10° C/Ma.

Tabla 10.3. Paleotemperaturas máximas a partir de datos de Ro en muestras de pozo de la Subcuenca de la Baja Guajira.

Nombre del pozo	Profundidad (m)	Temperatura Actual ^{*1} (°C)	Subdivisión Estratigráfica	Edad Estratigráfica (Ma)	VR Ro ^{*2} (%)	Paleotemperatura Máxima ^{*3} (°C)
Sorpresa-1	?	?	Mioceno temprano	23-16	1.22	157
Ranchería-1	?	?	Mioceno tardío	12-5	0.79	127
Manaure-1	552	32	Mioceno tardío	16-12	0.97	142
Pavón-1	826	39	Mioceno medio	16-12	1.14	152
Maicao-1	1128	45	Mioceno tardío	12-5	0.48	83
Ballena-2	1417	52	Mioceno tardío	12-5	0.58	97
Chuchupa-5	1457	53	Mioceno medio	16-12	1.26	160
Chuchupa-6	1469	53	Mioceno tardío	12-5	0.58	97
Chuchupa-1	1530	54	Mioceno tardío	12-5	0.54	93
Ballena-1	1585	56	Mioceno medio	16-12	0.60	99
Tiburón-1	1637	57	Mioceno tardío	12-5	0.44	76
Almeja-1	1676	58	Mioceno medio	16-12	1.26	160
Riohacha-1	1804	61	Mioceno tardío	12-5	1.14	152
Mero-1	2179	69	Mioceno medio	16-12	0.49	84
Aruchara-1	2182	69	Mioceno tardío	12-5	0.87	135

*1 Temperaturas actuales estimadas de una temperatura de superficie de 20°C y un gradiente geothermal de 22.5°C/km asumiendo que todos los pozos son onshore. Si cualquiera de los otros pozos son offshore con una profundidad apreciable entonces los estimados de temperatura actual tienen errores significativos – Apéndice A.



*2 Valores medidos de Ro

*3 Máxima paleotemperatura estimada de los datos medidos de Ro usando el algoritmo de **Burnham y Sweeney (1989)**. Todos los estimados fueron determinados asumiendo una tasa de calentamiento de 1°C/Ma y una tasa de enfriamiento de 10°C/Ma.

La figura 10.2 ilustra la distribución de las paleotemperaturas máximas calculadas a partir de datos de Ro. El área del mapa corresponde a la Serranía de Cosinas en donde se recolectaron las muestras del Mesozoico y Paleógeno.,(ver informe de campo en el Anexo 3).

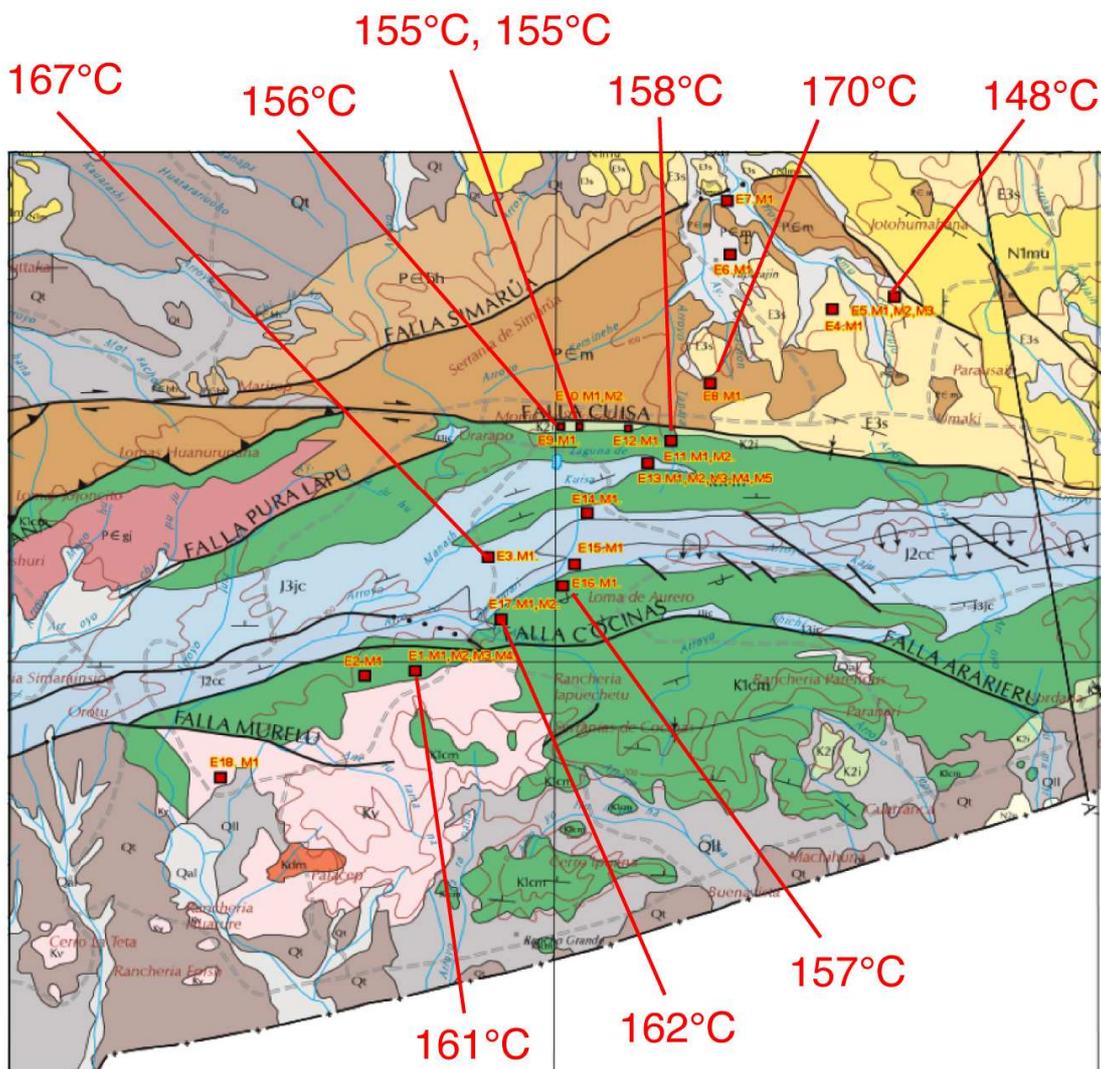


Figura 10.2 Paleotemperaturas máximas calculadas a partir de datos de Ro en muestras de afloramiento de la Serranía de Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.

Los datos de Ro se graficaron en función de la profundidad con el objeto de observar la tendencia del incremento de Ro con la profundidad. Como se puede observar en la figura 10.3, se presentan diferentes gradientes de reflectancia de vitrinita



en la Subcuenca de la Baja Guajira, que indican que las formaciones Cretácicas con valores de R_o de 1.4% estarían a profundidades entre 20000 y 21000 pies de profundidad, lo anterior es válido si se asume un gradiente geotérmico constante.

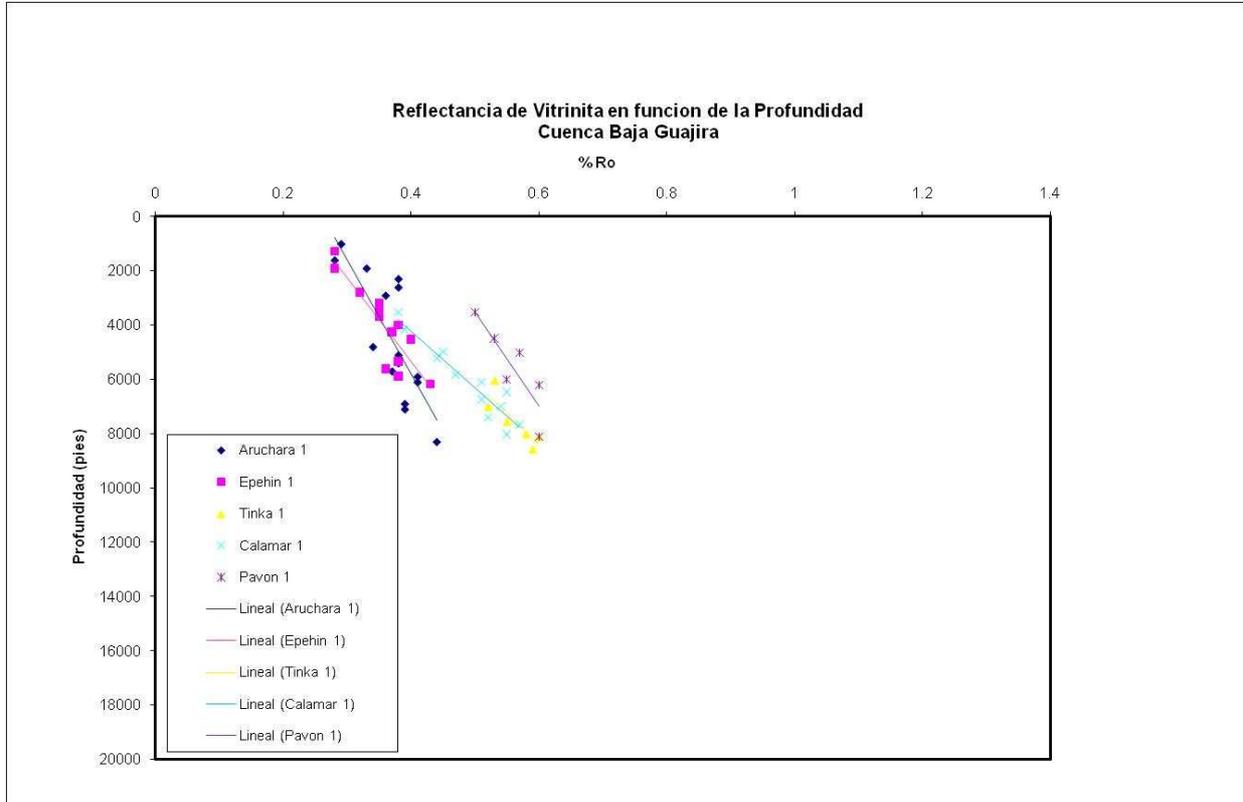


Figura 10.3 Reflectancia (% R_o) en función de profundidad para pozos perforados en la Subcuenca de la Baja Guajira.



Tabla 10.4. Relación entre el enterramiento adicional y paleotemperatura para diferentes gradientes geotermiales

Enterramiento adicional (km) requerido para alcanzar cada paleotemperatura para valores específicos de gradiente geotermal (Temperatura de superficie = 30°C)				
Paleotemperatura	20°C/km	30°C/km	40°C/km	50°C/km
30°C	0.5	0.3	0.3	0.2
40°C	1.0	0.7	0.5	0.4
50°C	1.5	1.0	0.8	0.6
60°C	2.0	1.3	1.0	0.8
70°C	2.5	1.7	1.3	1.0
80°C	3.0	2.0	1.5	1.2
90°C	3.5	2.3	1.8	1.4
100°C	4.0	2.7	2.0	1.6
110°C	4.5	3.0	2.3	1.8
120°C	5.0	3.3	2.5	2.0
130°C	5.5	3.7	2.8	2.2
140°C	6.0	4.0	3.0	2.4
150°C	6.5	4.3	3.3	2.6
160°C	7.0	4.7	3.5	2.8
170°C	7.5	5.0	3.8	3.0
180°C	8.0	5.3	4.0	3.2
190°C	8.5	5.7	4.3	3.4
200°C	9.0	6.0	4.5	3.6

Los resultados de R_o medidos en 15 pozos de la Subcuenca de la Bajas Guajira fueron graficados contra una escala común de profundidad (Figura 10.3). Los datos de R_o se agrupan en diferentes grupos de reflectancias que corresponden a diferentes gradientes geotérmicos.

En la Figura 10.4, la primera línea a trazos a la izquierda, se deriva de un gradiente geotérmico de 22.5°C/km y una temperatura de superficie de 20°C. Sin embargo los resultados de R_o en la Serranía de Cosinas siguen líneas de gradientes cercanos a 50°C/km, como lo muestra la figura 10.1.

La Tabla 10.4 permite calcular la magnitud del levantamiento requerido, para que una formación con paleotemperaturas entre 80 y 150°C, esté en superficie. Los datos derivados de esta tabla indican que las formaciones del Jurásico y Cretácico, aflorantes en la Serranía de Cosinas, habrían sufrido un levantamiento entre 1.2 y 2.6 km. El estimativo anterior es válido si se asume un gradiente geotérmico constante de 50 °C/km desde el Jurásico hasta el presente. Sin embargo si el gradiente geotérmico fue mayor la magnitud del levantamiento se disminuye.

Los valores de R_o medidos pertenecen al Mioceno y sugieren que estas secuencias muestran algún grado de levantamiento y erosión post-Mioceno. El levantamiento y erosión post-Mioceno varía entre 1 km en los pozos Tiburón-1 y Mero-1 hasta ~5 a 6 km en los pozos Almeja-1 y Chuchupa-5. Sin embargo, los otros pozos del campo Chuchupa muestran erosiones más bajas (2-3 km) y es posible que el resultado de R_o para el pozo Chuchupa-5 sea anormalmente alto.

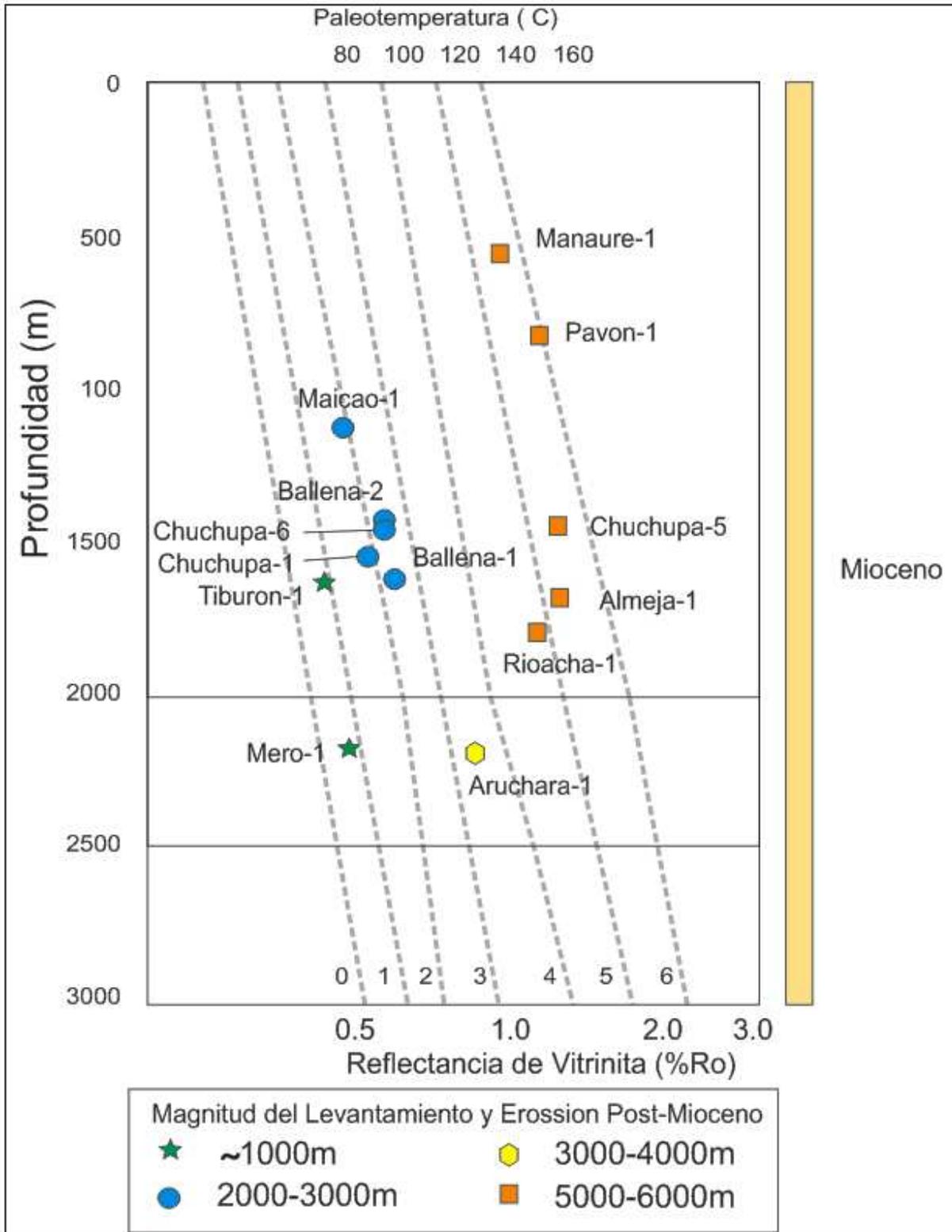


Figura 10.4 Datos de Ro de 15 pozos de la Subcuenca Baja Guajira y del offshore, graficados en función de la profundidad actual. Todas las muestras provienen de secuencias del Mioceno



10.3. Reconstrucción de la historia termal para la Subcuenca de la Baja Guajira basado en análisis de huellas de fisión en apatito y zircón

Los análisis de huellas de fisión en apatitos y zircones así como la interpretación de los mismos fueron realizados por el Dr. I.R. Duddy de la empresa GEOTRAC de Australia. Los análisis de reflectancia de vitrinita fueron realizados en el laboratorio de geoquímica orgánica de la Universidad Industrial de Santander.

La reconstrucción de la historia termal de la Subcuenca de la Baja Guajira se llevó a cabo aplicando la técnica de huellas de fisión en apatitos (HFA) y zircones (HFZ) obtenidos de muestras de afloramiento y de pozos. De esta manera se pudo documentar con mayor precisión los procesos de subsidencia y levantamiento de la Subcuenca de la Baja Guajira desde el Cretácico Superior hasta el presente.

Las muestras recolectadas para este estudio se obtuvieron en afloramientos de la Serranía Cosinas y en dos pozos de la Subcuenca de la Baja Guajira. La tabla 10.5 relaciona la lista de las muestras analizadas.

En el presente estudio se analizaron: 1) Diez y ocho muestras de apatitos obtenidos de muestras de afloramiento de edades Mesozoica y Paleógena, 2) Dos muestras de apatitos obtenidas de la secuencia Paleógena y Neógena obtenidas de muestras de zanja de los pozos Dorado-1 y Tayrona-1, y 3) Dos muestras de zircones obtenidos de muestras de afloramientos de edad Jurásica.

La figura 10.5 ilustra la localización de las muestras de afloramiento recolectadas en el presente estudio.

Los datos obtenidos de los análisis de HFA y HFZ son de alta calidad en la mayoría de las muestras y se resumen en las tablas 10.5 y 10.6.

Tabla 10.5 Resumen del análisis de las paleotemperaturas: Datos de HFA y obtenidos de muestras de afloramiento, Subcuenca de la Baja Guajira

Número de muestra	Unidad Estratigráfica	Edad Estratigráfica (Ma)	Paleotemperatura máxima ² (°C)	Evento(s) temprano(s)		Evento(s) tardío(s)	
				Episodio de enfriamiento ² (Ma)	Pico de paleotemperatura ² (°C)	Episodio de enfriamiento ² (Ma)	Reflectancia de Vitrinita equivalente ⁴ (%)
E1M1	Yuruma	146-100	No apatito	-	-	-	-
E1M2	Yuruma	146-100	>120	40 a 22	50-80	22 a 5	>0.74
E1M3	Yuruma	146-100	>105	40 a 10	-	-	>0.64
E1M4	Yuruma	146-100	No apatito	-	-	-	-
E2M1	Yuruma	146-100	>130	40 a 25	40 - 75	12 a 0	>0.82
E4M1	Siamana	34-23	95-110	55 a 5	-	-	0.56-0.67
E5M1	Siamana	34-23	115-130	45 a 20	40 - 95	24 a 0	0.70-0.82 or 0.30-0.56
E5M2	Siamana	34-23	No apatito	-	-	-	-
E5M3	Siamana	34-23	>110	55 a 35	45 - 100	34 a 0	0.31-0.61
E11M1	Yuruma	146-100	No apatito	-	-	-	-
E11M2	Yuruma	146-100	>120	95 a 65	55 - 80	40 a 0	>0.74



E13M1	Cajú	176-161	110-120	42 a 26	50 - 70	22 a 2	0.67-0.74
E13M2	Cajú	176-161	>110	40 a 10	-	-	>0.67
E13M3	Cajú	176-161	No apatito	-	-	-	-
E13M4	Cajú	176-161	120 – 130	45 a 35	45 - 70	18 a 0	0.74-0.82
E13M5	Cajú	176-161	No apatito	-	-	-	-
E14M1	Chinapa	161-146	>110	50 a 25	-	-	>0.67
E15M1	Cajú	176-161	>120	50 a 30	35 - 90	30 a 0	>0.74
E17M1	Yuruma	146-100	?	?	110-120	22 a 12	0.67-0.74
E3M1	Cajú	176-161	>105	45 a 18	-	-	>0.64
E4M2	Siamana	34-23	>125	40 a 28	40 - 80	20 a 0	0.30-0.46
E8M1	Macuira	>542	No apatito	-	-	-	-
E9M1	Cogollo	100-66	>110	65 a 33	60 - 85	20 a 0	>0.67
E16M1	Yuruma	146-100	?	?	>100	35 a 0	>0.61
E17M2	Yuruma	146-100	?	?	>110 y 30 - 60	22 a 15 y 10 to 0	>0.67
	Sincronismo AFTA	Post-depositación	(Ma) ^{*3}	95 a 65 y 40 a 35		22 a 15 y 10 a 5	

*1 Temperatura de superficie en el presente asumida de 20°C – Apendice A.

*2 Interpretación de la historia termal del HFA se basa asumiendo una rata de calentamiento de 1°C/Ma y una rata de enfriamiento de 10°C/Ma (ver Sección 2). Los rangos de paleotemperaturas y enfriamientos citados corresponden a límites de confiabilidad de ±95%. Condiciones mostradas en cursiva representan eventos permitidos pero no requeridos por los datos de AFTA. Controles en cursiva azul ocurrieron en el terreno de proveniencia para ese sedimento.

*3 Controles en el sincronismo integrado del HFA basado en la superposición de controles de sincronismo obtenidas de muestras individuales asumiendo que estas representan episodios termales post-depositacionales regionales significantes y coherentes. Nótese que los controles integrados de sincronismo no incluyen controles de los episodios de proveniencia

*4 Calculados de temperaturas máximas derivadas del AFTA usando la descripción cinética de **Burnham y Sweeney (1989)**.

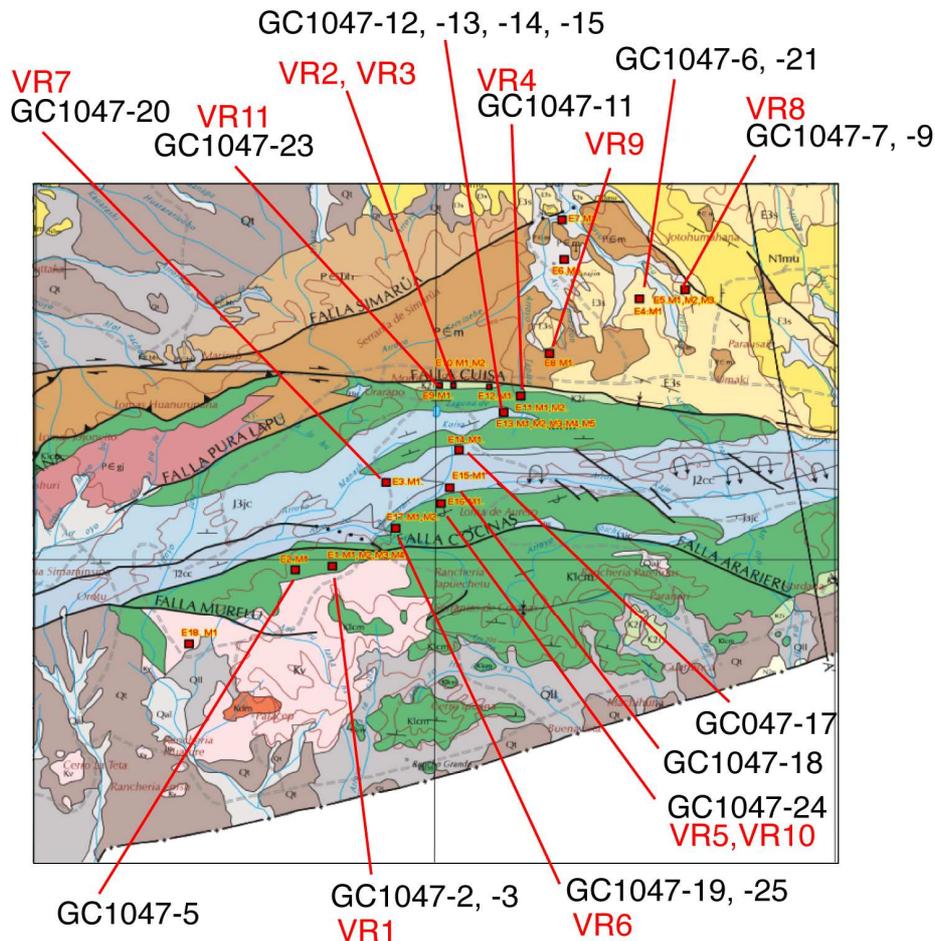


Figura 10.5 Localización de las muestras recolectadas para los análisis de HFA, HFZ y de reflectancia de vitrinita en la Serranía Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.

10.4 Interpretación de resultados de los análisis de huellas de fisión en apatitos y zircones, Subcuenca de la Baja Guajira

Los resultados obtenidos a partir de los análisis de huellas de fisión en apatitos y zircones muestran la superposición en tiempo de eventos termales en las muestras de afloramiento del Mesozoico y del Paleógeno como se deduce de la tabla 10.5. A partir de esta información se interpretó la existencia de cuatro episodios termales que afectaron la Subcuenca de la Baja Guajira (Figura 10.6), en donde el enfriamiento empezó en un algún tiempo dentro de los siguientes intervalos:

- **10 a 5 Ma (Mioceno Superior):** La mayoría de las muestras
- **22 a 15 Ma (Mioceno Inferior a Medio):** Tres muestras
- **40 a 35 Ma (Eoceno Superior):** Trece muestras
- **95 a 65 Ma (Cretácico Superior):** Una muestra



Como se ilustra en la Figura 10.6, el enfriamiento durante el Mioceno Superior (10 a 5 Ma) se observó en la mayoría de muestras Mesozoica y Cenozoicas. Durante el Mioceno Inferior a Medio (22 a 15 Ma) tres muestras del Grupo Yuruma estuvieron expuestas a un enfriamiento. Durante el Eoceno Superior (40 a 35 Ma) Varias muestras de las formaciones Cajú, Chinapa, Yuruma, Cogollo y Siamana estuvieron expuestas al enfriamiento. El evento de enfriamiento más antiguo ocurrió en el Cretácico Superior (95 a 65 Ma) como lo indica una muestra del Grupo Yuruma. En el presente estudio se asume que todos los eventos de enfriamiento fueron ocasionados por levantamientos ocurridos a finales del Cretácico, el Eoceno y principalmente el Mioceno. Estos levantamientos están relacionados a discordancias reportadas por estudios estratigráficos expuestos anteriormente.

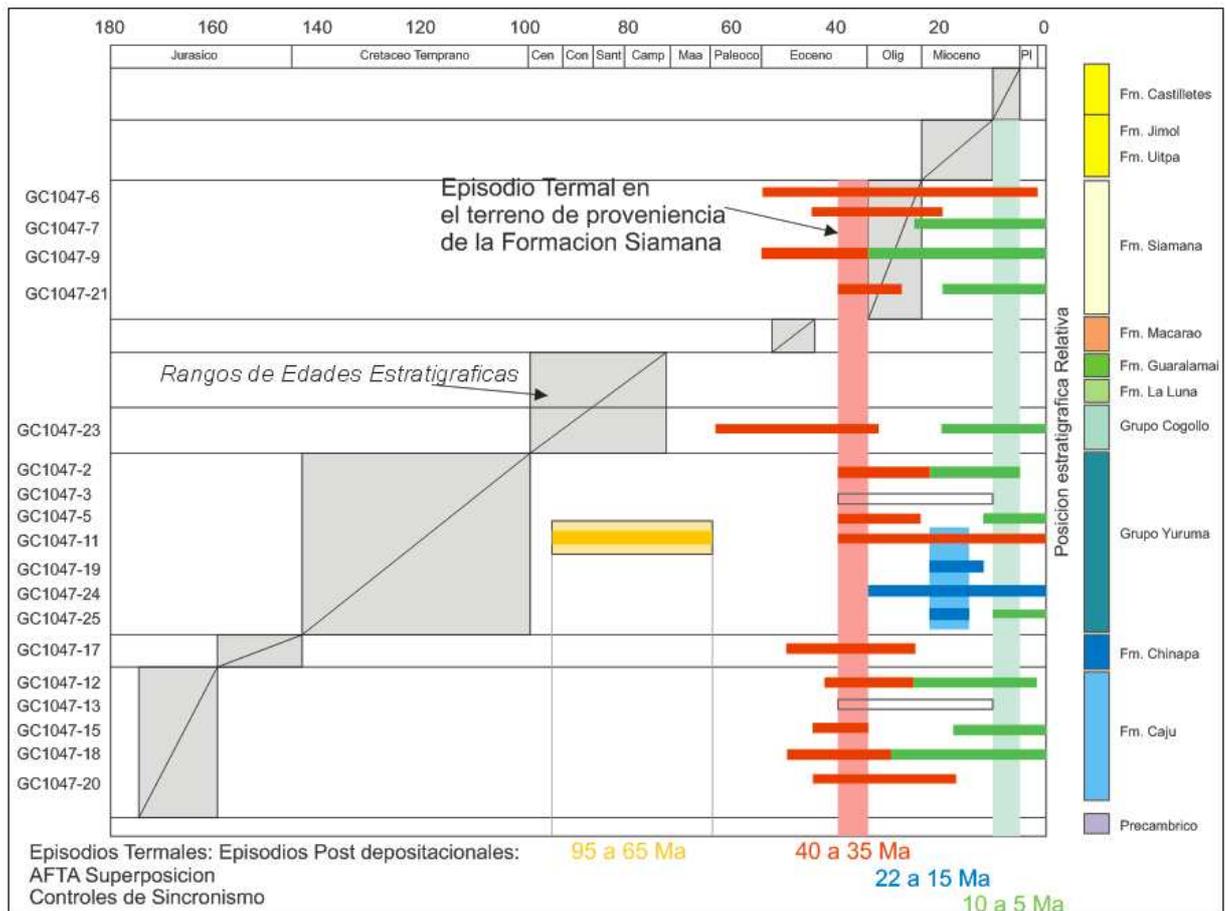


Figura 10.6 Secuencia de episodios de enfriamiento de la Subcuenca de la Baja Guajira, basados en análisis de HFA Y HFZ en muestras de afloramiento.

Es importante resaltar el registro de episodios termales post-depositacionales mostrados por una muestra de la Formación Siamana del Oligoceno, indicando que esta muestra sufrió un enfriamiento de temperaturas superiores a las demás muestras del Oligoceno. Este enfriamiento ocurrió durante el episodio del Eoceno Superior (40-35 Ma) antes mencionado.

Las temperaturas post-depositacionales máximas reveladas por los análisis HFA y reflectancia de vitrinita (Ro) para la mayoría de las muestras de las formaciones del



Mesozoico y el Paleógeno, son muy superiores a la temperatura actual (entre 20 y 30 °C) como se muestra en las Tablas 10.4 y 10.5.

Las historias de enfriamiento de las muestras individuales se ilustran en las figuras 10.7 y 10.8; y en las figuras 2 a 19 del anexo 4. Los máximos de paleotemperaturas estimados con datos de Ro son generalmente consistentes con aquellos del HFA para las muestras Mesozoicas, siendo las paleotemperaturas derivadas de Ro entre de 20 a 40 °C más altas que la máximas determinadas por análisis de HFA.

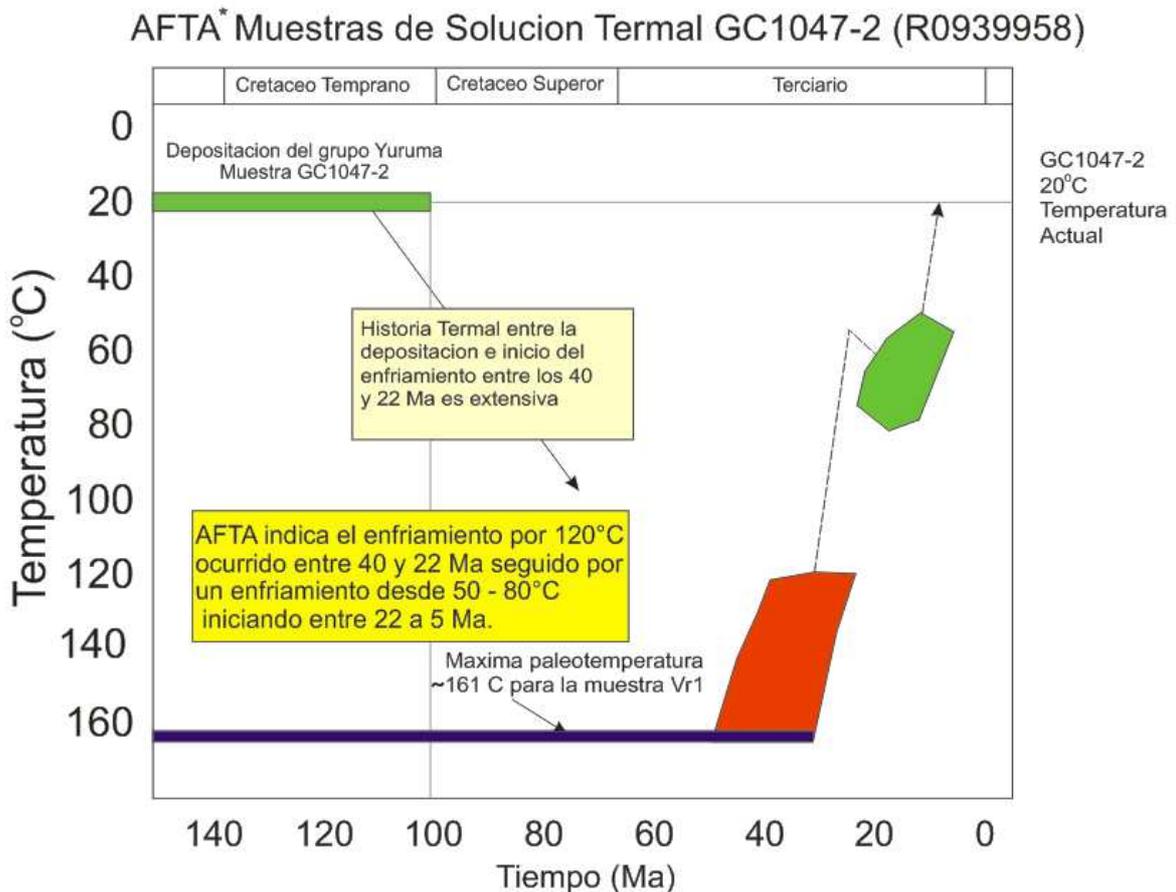


Figura 10.7 Historia termal derivada del análisis de huellas de fisión en apatito. Muestra de la Formación Yuruma, Serranía Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira. Muestra (GC1047-2). Los campos coloreados ilustran los dos eventos de enfriamiento de la muestra. El primer evento ocurre entre 40 y 22 Ma la muestra se enfría de 120°C (o 161°C temperatura de $R_{o,max}$) y un segundo evento de enfriamiento ocurre entre 22 y 5 Ma en el cual la muestra se enfrió de 80 a 50 °C hasta su temperatura actual entre 30 y 20 °C.

La gráfica 10.8 muestra la historia de los eventos termales de la muestra del Grupo Cogollo en donde se observan dos períodos de enfriamientos debidos a



levantamientos.

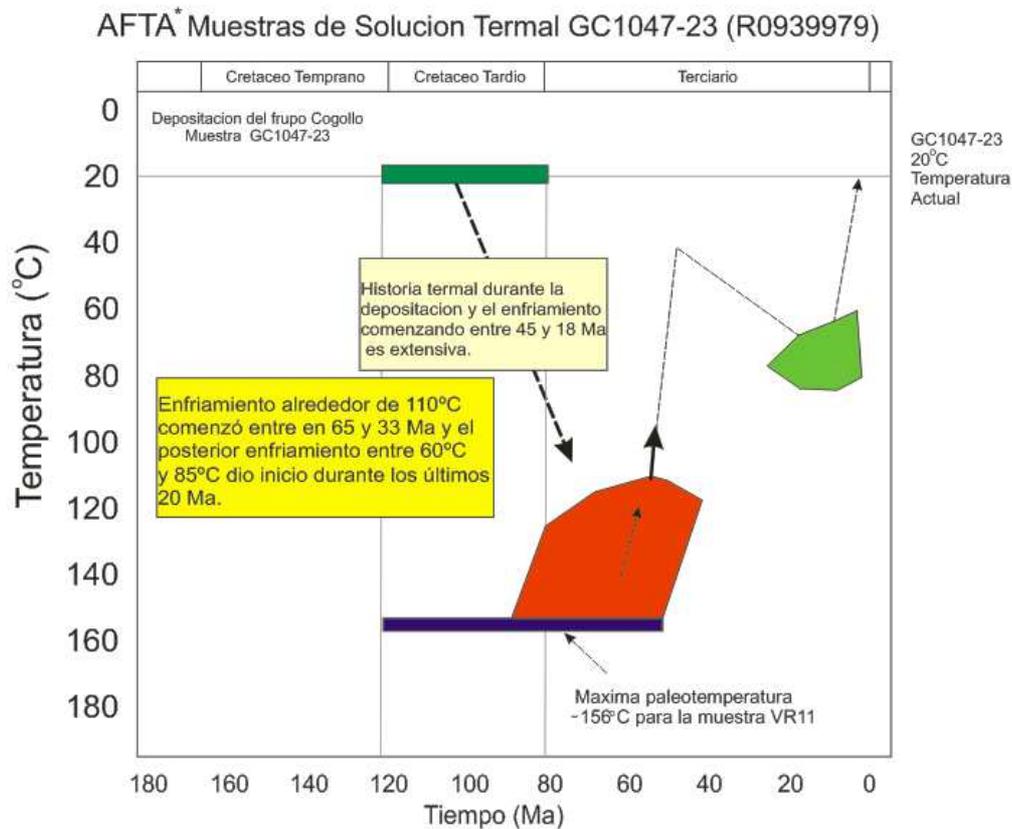


Figura 10.8 Reconstrucción de la historia termal de la muestra (GC1047-23) a partir de análisis HFA. Muestra del Grupo Cogollo, Subcuenca de la Baja Guajira. Los datos obtenidos tienen una confiabilidad del 95%. Los resultados indican dos eventos termales post-deposicionales de enfriamiento. El primero ocurrió entre 65 y 33 Ma y la muestra se enfría de 150 -110°C hasta 40°C. El Segundo evento de enfriamiento ocurre en los últimos 20 Ma y la muestra se enfría de 85-60 °C hasta la temperatura actual de 30 °C en superficie.

10.5 Reconstrucción de la historia termal para la Subcuenca de la Baja Guajira a partir de huellas de fisión de zircón

Las edades a partir de huellas de fisión en zircón (HFZ) fueron determinadas en dos muestras de la Formación Cajú. Las edades de grano simple en cada muestra indican una separación importante lo cual es indicativo de la presencia de más de una población de edades. Los cálculos de las edades de grano simple mostraron una población dominante en cada muestra con dos edades de grano simple más antiguas.

El ajuste de los datos de HFZ dieron una asociación consistente de edades las cuales son significativamente más jóvenes que las edades depositacionales del Jurásico Medio (176-161 Ma) de la Formación Cajú, como se resumen en la tabla 10.3.2, en donde las edades obtenidas a partir de huellas de fisión de zircón están entre ~138 y 133 Ma (Cretácico temprano) como se ilustra en la figura 10.9.



La diferencia entre las edades de huellas de fisión de zircón y las edades depositacionales del Jurásico Medio pueden ser explicadas de dos formas: 1) La edad depositacional de las muestras es posterior al Jurásico Medio debido a que las edades de las huellas de fisión de zircón indican una edad correspondiente al Cretácico inferior para la Formación Cajú. 2) Las dos muestras del Jurásico Medio de la Formación Cajú fueron calentadas a temperaturas superiores a 300°C durante el Cretácico Temprano como lo indicarían las huellas de fisión en zircón.

La segunda hipótesis no se considera válida debido a que la reflectancia de vitrinita correspondiente a temperaturas >300° es equivalente a 5% y los valores medidos en estas muestras son de 1.4% en Ro. En consecuencia la mejor explicación para los resultados de las huellas de fisión en zircón (HFZ) es que las edades depositacionales de las muestras GC1047-15 y 20 no corresponden al Jurásico Medio, sino al Cretácico Inferior.

Tabla 10.6 Datos de huellas de fisión de zircón en muestras de afloramiento de la Subcuenca de la Baja Guajira, Colombia

Número de muestra GC	Número de fuente (campo #)	Edad estratigráfica (Ma)	Edad de huellas de fisión de zircón (Ma)	Edad de la población dominante de huella de fisión de zircón* ² (Ma)	Número de granos	Rangos posibles de edades depositacionales * ² (Ma)
1047-15	R093971 (E13M4)	176-161	154.7 ± 11.0	145.4 ± 5.7	18	157 a 133
1047-20	R093976 (E3M1)	176-161	133.6 ± 9.9	126.3 ± 5.8	18	138 a 114

*¹ Edad central medida para la muestra en la cual las edades de huellas de fisión para granos individuales muestran mas de una población.

*² Edad de huellas de fisión de zircón promedio de la población dominante de edades.

*³ Límite de confiabilidad 95%.

10.6 Reconstrucción termal para la Subcuenca de la Baja Guajira a partir de muestras de pozo

Los limitados resultados de huellas de fisión en apatitos (HFA) obtenidos de las dos muestras de pozo no proporcionaron evidencia clara de paleotemperaturas más altas que las temperaturas presentes post-depositacionales, pero si permiten calcular las posibles temperaturas máximas. En el caso de la muestra GC1047-26 del pozo Dorado-1, se calculó una temperatura post-depositacional de hasta 105°C; mientras que para la muestra GC1047-35 del pozo Tayrona-1, se obtuvo una temperatura post-depositacional máxima de 90°C. La tabla 10.7 resume los resultados de los análisis de HFA en las muestras de pozo.



Tabla 10.7 Resumen del análisis de paleotemperatura: Datos de AFTA de muestras de pozo, Subcuenca de la Baja Guajira

Evento(s) temprano(s) Evento(s) tardío(s)								
Profundidad (m)	Temperatura actual ^{*1} (°C)	Unidad Estratigráfica	Edad Estratigráfica (Ma)	Paleotemperatura máxima ^{*2} (°C)	Episodio de enfriamiento ^{*2} (Ma)	Pico de paleotemperatura ^{*2} (°C)	Episodio de enfriamiento ^{*2} (Ma)	Relfectancia de Vitrinita equivalente Romax ^{*4} (%)
631	29	Castilletes	12 a 5	>120	105 a 10	95 - 105	10 a 0	<0.64
1768	54	Castilletes	12 a 5	>120	40 a 22	-	-	<0.53%
		Sincronismo AFTA	Post-depositación	(Ma) ^{*3}	40 a 22		10 a 0	

^{*1} Temperatura de superficie en el presente asumida de 20°C y un gradiente geotermal de 22.5°C/km

^{*2} Interpretación de la historia termal del HFA se basa asumiendo una rata de calentamiento de 1°C/Ma y una rata de enfriamiento de 10°C/Ma (ver Sección 2).

^{*3} Controles en el sincronismo integrado del HFA basado en la superposición de controles de sincronismo obtenidas de muestras individuales asumiendo que estas representan episodios termales post-depositacionales regionales significantes y coherentes.

^{*4} Calculados de temperaturas máximas derivadas del HFA usando la descripción cinética de **Burnham y Sweeney (1989)**.

Los resultados de las huellas de fisión en apatitos AFTA en las muestras de los pozos Dorado-1 y Tairona-1, indican que las edades de fisión son más antiguas que las edades de depositación. En consecuencia estos resultados se derivan del área de aporte de la Formación Castilletes y por tanto no pueden ser utilizadas para la reconstrucción termal de la Formación Castilletes de la Subcuenca de la Baja Guajira. La Figura 10.9 ilustra la comparación entre edades depositacionales y las edades de los eventos termales.

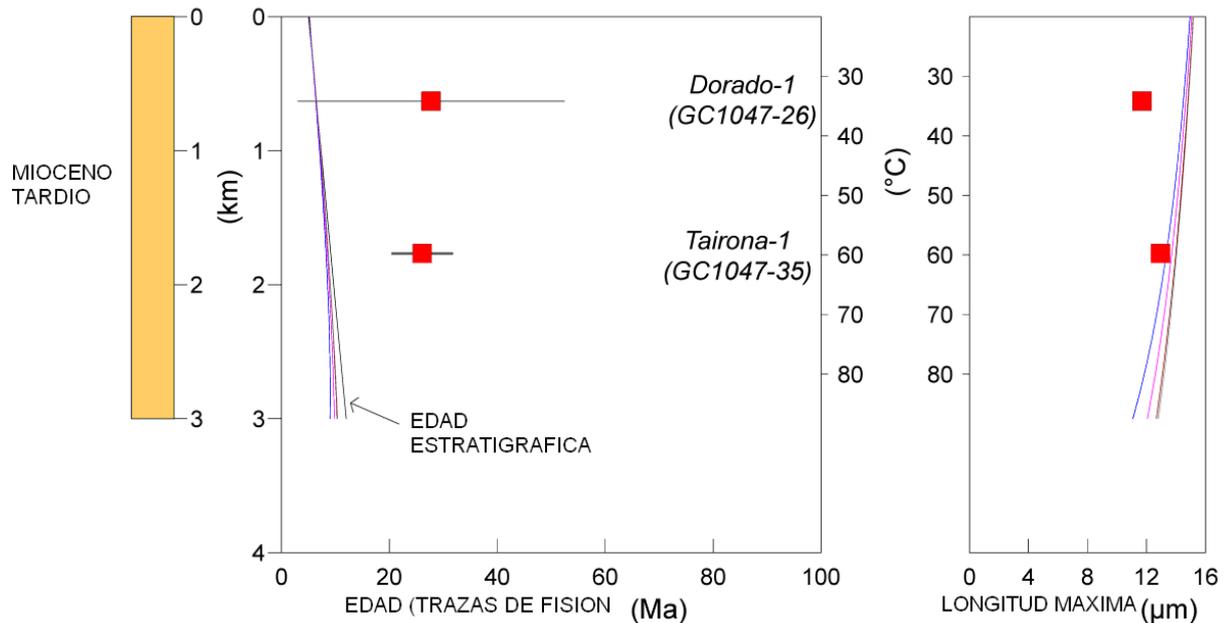


Figura 10.9 Edades de huellas de fisión (HFA) (cuadros rojos) y edades estratigráficas de muestras de los pozos Dorado-1 y Tayrona-1, Subcuenca de la Baja Guajira. Nótese que las edades de huellas de fisión son más antiguas que las edades estratigráficas de las muestras.

Por otra parte, los datos de HFA en estas muestras preservan información importante en la historia termal del área de aporte de los sedimentos de La Formación Castilletes los cuales se derivaron de sedimentos de edad Mioceno según lo indican los análisis de HFA en donde se identificaron dos eventos termales uno del Eoceno superior al Mioceno temprano identificado en la muestra del pozo Tayrona-1, y otro evento termal de edad Mioceno superior al presente en la muestra del pozo Dorado 1. Estos dos eventos de enfriamiento identificados en muestras de pozo se han identificado en las muestras de afloramiento como se discutió anteriormente.

La Figura 10.10 compara las edades de los eventos térmicos con las edades depositacionales, y también ilustra como las muestras de afloramientos presentan eventos termales posteriores a la depositación, con la excepción de las muestras de la Formación Siamana en donde con excepción de las muestras de la Formación Siamana en la cual se presentan eventos termales anteriores a la depositación.

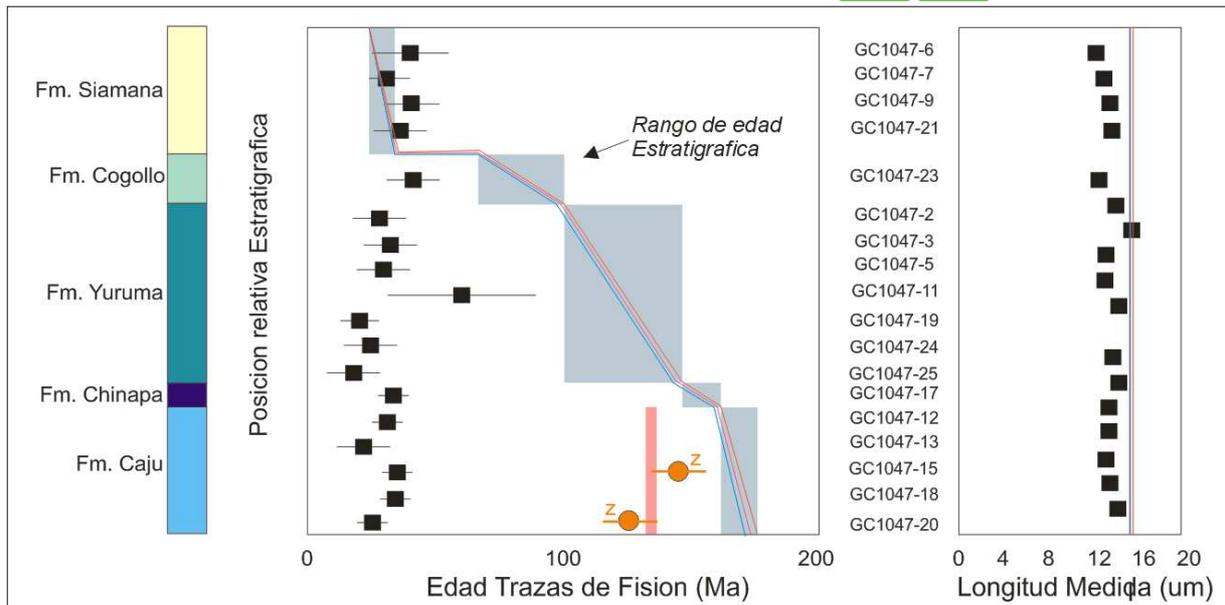


Figura 10.10. Relación entre las edades de huellas de fisión en apatitos y zircones en función de la edad estratigráfica de las muestras de afloramientos de la Serranía de Cosinas, Subcuenca de la Baja Guajira.

La Figura 10.11 ilustra la superposición del rango de temperaturas identificadas en los cuatro eventos termales que afectaron la Subcuenca de la Baja Guajira así mismo se ilustra la distribución estratigráfica de estos eventos de enfriamiento. Es importante anotar que las muestras de apatitos de las formaciones Uitpa, Jimol y Castilletes no presentaron eventos post depositacionales.

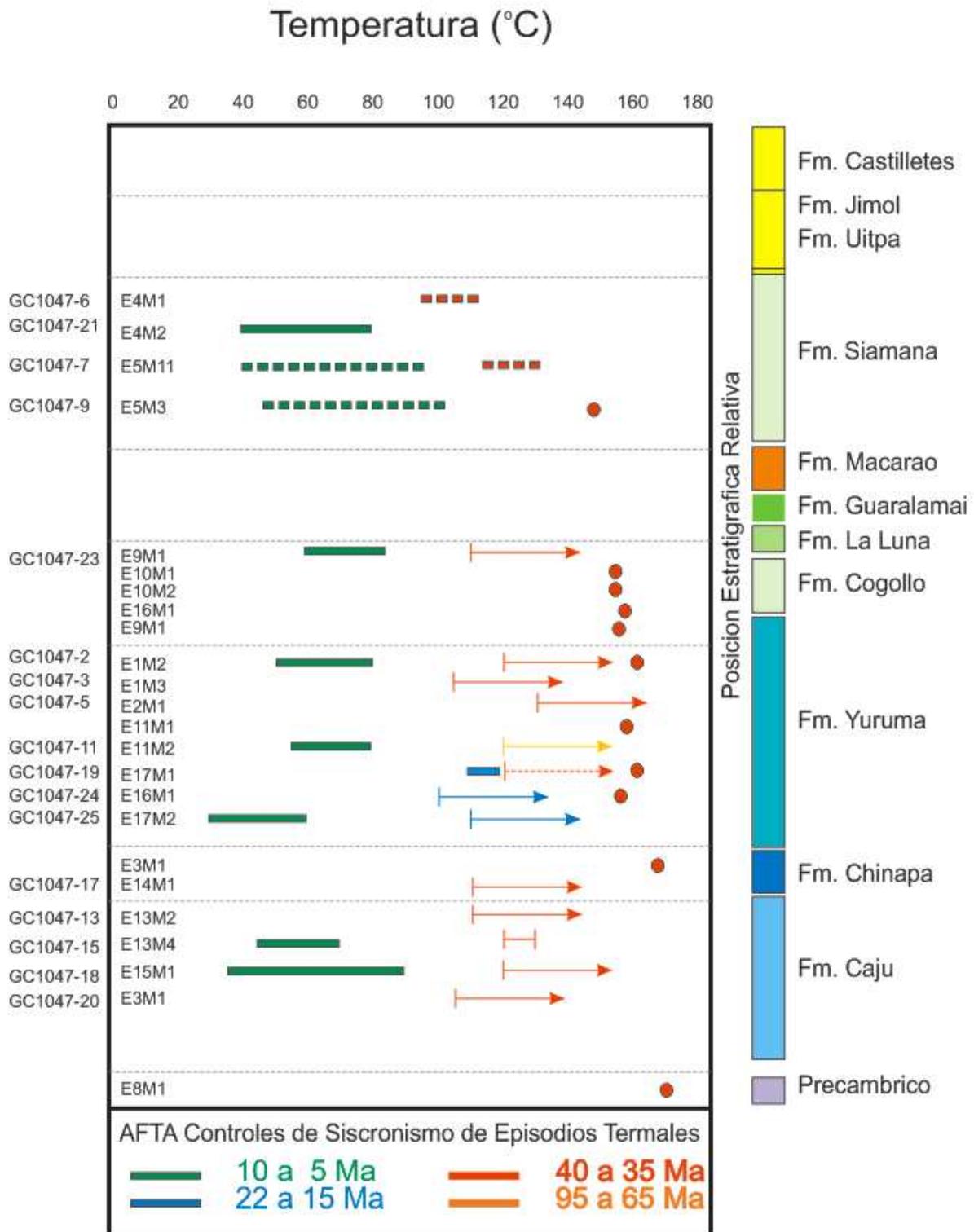


Figura 10.11. Paleotemperaturas para la Subcuenca de la Baja Guajira derivadas de análisis de HFA, HFZ y Ro. Los puntos de color rojo corresponden a temperaturas de Ro. Los resultados se grafican contra la posición estratigráfica relativa de muestras de afloramiento de la Subcuenca de la Baja Guajira, Colombia.



La Figura 10.12 resume la interpretación de la reconstrucción de la historia termal de la Subcuenca de la Baja Guajira en la cual se determinó la presencia de cuatro eventos termal con las siguientes características:

- 1) El evento termal más antiguo se presentó en el Cretácico Superior entre 95 y 65 Ma, en donde se registra el enfriamiento de 50°C que afecto a las formaciones del Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. La paleo-temperatura máxima registrada en la Formación Cajú es de 155°C.
- 2) El Segundo evento termal se presentó en el Eoceno superior entre 40 a 35 Ma, en donde las formaciones del Jurásico y Cretácico registran un enfriamiento de 30°C, en donde la paleotemperatura máxima registrada durante este evento es de 130°C.
- 3) El tercer evento termal ocurrió en el Mioceno inferior a medio entre 22 a 15 Ma. En donde las formaciones sufrieron un enfriamiento de 30°C, en el cual la paleotemperatura máxima registrada fue de 115°C.
- 4) El cuarto y último evento termal tuvo lugar en el Mioceno superior entre 10 y 5 Ma en donde la secuencia sedimentaria sufre un importante evento de enfriamiento de hasta 70°C. La máxima paleo temperatura de este evento es de 90°C.

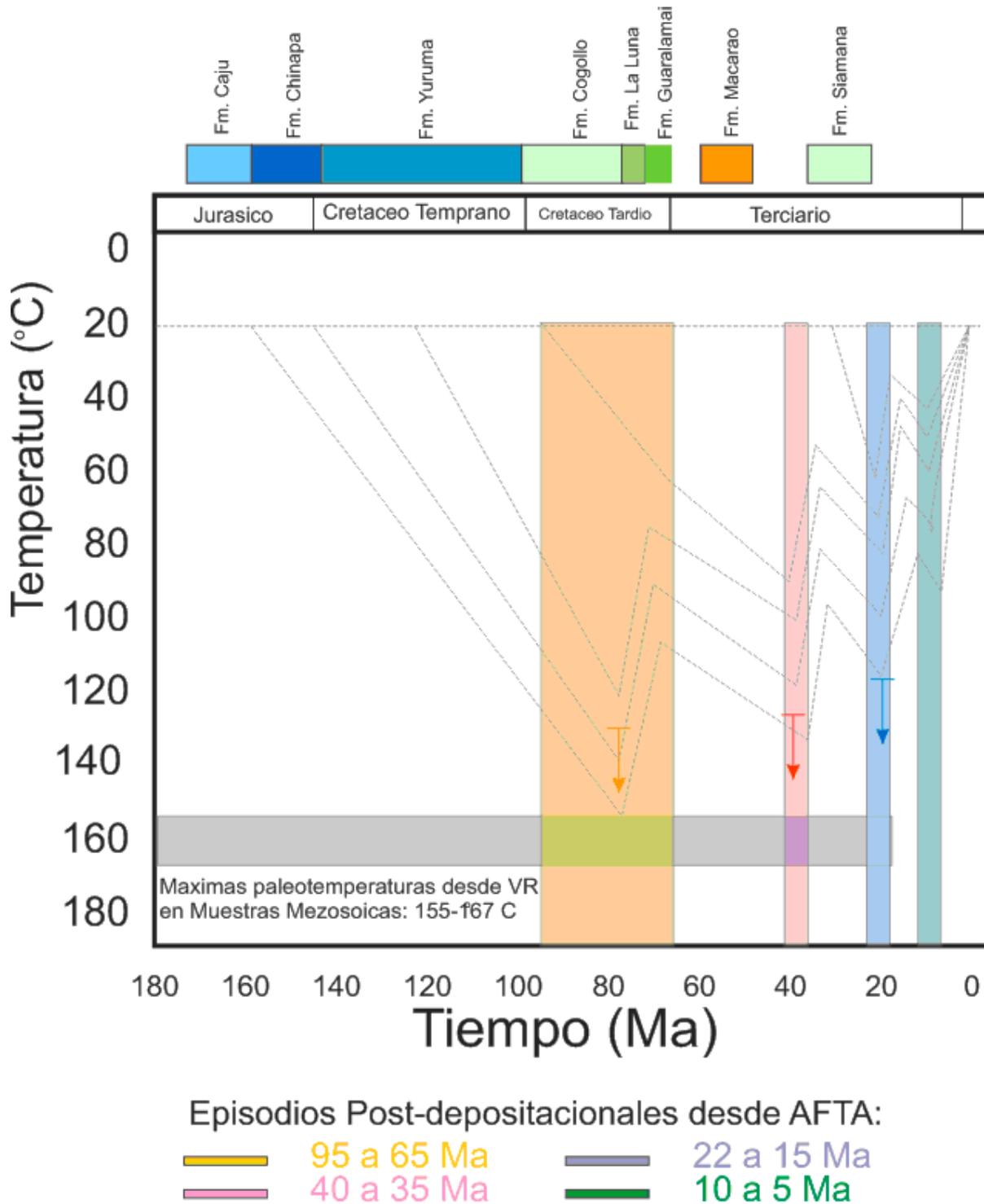


Figura 10.12. Historia termal generalizada para la Subcuenca de la Baja Guajira basada en los resultados de huellas de fisión en apatitos y zircones, y reflectancia de vitrinita (Ro) de muestras de afloramiento de la Serranía Cosinas.



11. MODELAMIENTO GEOQUÍMICO PARA LA SUBCUENCA DE LA BAJA GUAJIRA

El modelamiento geoquímico se desarrolla con base en los siguientes parámetros: 1) historia de subsidencia la cual es derivada de la información estratigráfica, 2) historia paleotermal de la cuenca la cual fue reconstruida con base en los análisis de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita, y 3) cálculo de reacciones kerógeno-petróleo y petróleo-gas, estas reacciones se calcularon empleando los parámetros cinéticos del kerógeno tipo II determinados por IES.

El cálculo de los modelos geoquímicos unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D) se realizó empleando el programa Petromod versión 11.

La historia de subsidencia se ilustra de manera gráfica los eventos tectónicos y de depositación que han ocurrido en la Subcuenca de la Baja Guajira (Ver figura 11.2). En general esta subcuenca ha tenido períodos de depositación y erosión desde el Triásico Superior hasta la actualidad, en consecuencia varias unidades estratigráficas han sufrido erosión debida a levantamientos.

En la Subcuenca de la Baja Guajira, de acuerdo a la descripción de la columna estratigráfica, se presentan cuatro discordancias, que corresponden a topes de las formaciones Yuruma Superior, La Luna, Macarao y Castilletes. Estas discordancias fueron también identificadas mediante análisis de huellas de fisión como eventos de enfriamiento debido a levantamientos de la subcuenca como se discutió en el capítulo anterior.

La Tabla 11.1 incluye los eventos erosivos en el tiempo, identificados en la Subcuenca de la Baja Guajira. Estos eventos fueron utilizados en la reconstrucción de la historia de subsidencia del pseudo-pozo Cosinas-1 y en el pozo Calamar, cuya localización se muestra en la Figura 11.1.

Tabla 11.1 Eventos erosivos para la Subcuenca de la Baja Guajira identificados con análisis de huellas de fisión en apatitos y zircones.

Eventos erosivos	
Formación	Edad de levantamiento Ma
Mioceno tardío	10-5
Mioceno temprano	22-15
Eoceno	45-35
Cretácico Superior	95-65

El diagrama de enterramiento de la figura 11.2, presenta de manera esquemática los eventos de subsidencia, depositación y erosión del pseudopozo Cosinas-1 el cual se



localiza al sur oeste de la Serranía de Cosinas en donde se puede asumir que la secuencia del Cretácico Superior estaría presente.

La historia de depositación en la localidad del pseudopozo Cosinas-1, se inicia en el Jurásico Superior con la depositación del Grupo Yuruma la cual continúa en el Cretácico con la depositación de las Calizas del Grupo Cogollo y posteriormente con la depositación la Formación la Luna. La primera discordancia formada como consecuencia del levantamiento tectónico de la plataforma ocurrió entre 95 y 65 Ma, cuando se erosionaron parcialmente las calizas del Cretácico Superior. Posteriormente vino otra subsidencia tectónica que ocasionó la depositación de las formaciones del Paleógeno.

La depositación continuó entre el Paleoceno y el Eoceno cuando se presentó un segundo evento de erosión por levantamiento del basamento. El levantamiento tuvo lugar entre el Eoceno–Oligoceno (45 a 35 Ma), cuando ocurrió un rápido levantamiento que ocasionó la erosión parcial de las formaciones del Paleógeno, quedando un remanente de la Formación Macarao del Eoceno superior. Posteriormente continuó la sedimentación hasta Mioceno inferior momento en el cual se presentó el tercer evento erosivo en el Mioceno inferior (22 a 15 Ma). Seguidamente continuó la sedimentación hasta en el Mioceno superior la cual fue interrumpida con la ocurrencia del cuarto periodo erosivo entre 10 y 5 Ma.

Es de anotar que en la mayoría de los pozos localizados en la Subcuenca de la Baja Guajira, perforaron la secuencia sedimentaria entre el Oligoceno Superior y el Plioceno, que corresponden a las formaciones Siamana, Uitpa, Jimol y Castilletes.

El modelo de tiempo-temperatura del pseudopozo Cosinas-1 fue construido empleando el flujo de calor presente de 50 mW/m^2 , cuyo cálculo aparece en el capítulo de la reconstrucción de la historia termal. Así mismo las paleotemperaturas fueron ajustadas con los datos arrojados por los análisis de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita. En consecuencia el modelo de tiempo-temperatura para las diferentes formaciones esta calibrado, ver figura 11.3.

La Figura 11.4 muestra el modelo geoquímico de maduración termal de las rocas generadoras del pseudopozo Cosinas-1. Los resultados indican que las formaciones generadoras de hidrocarburos del Cretácico Superior y del Paleógeno entraron a la ventana de generación de petróleo en el Paleoceno inferior y en el Mioceno inferior respectivamente.

El modelo geoquímico 1D del pozo Calamar-1 fué obtenido empleando los datos de la reconstrucción termal de la Subcuenca de la Baja Guajira anteriormente discutidos.

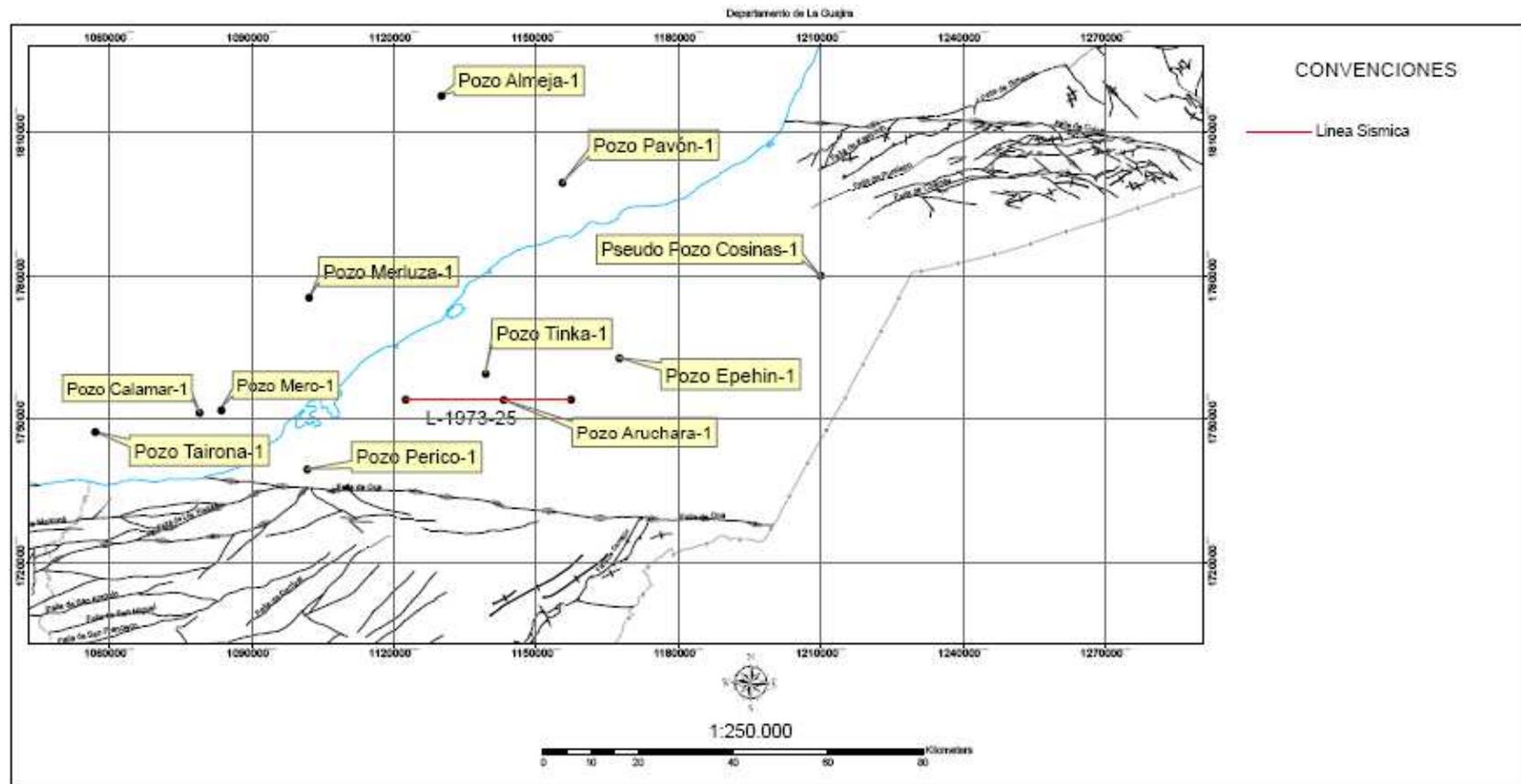


Figura 11.1 Localización de pozos perforados y del perfil sísmico en la Subcuenca de la Baja Guajira.

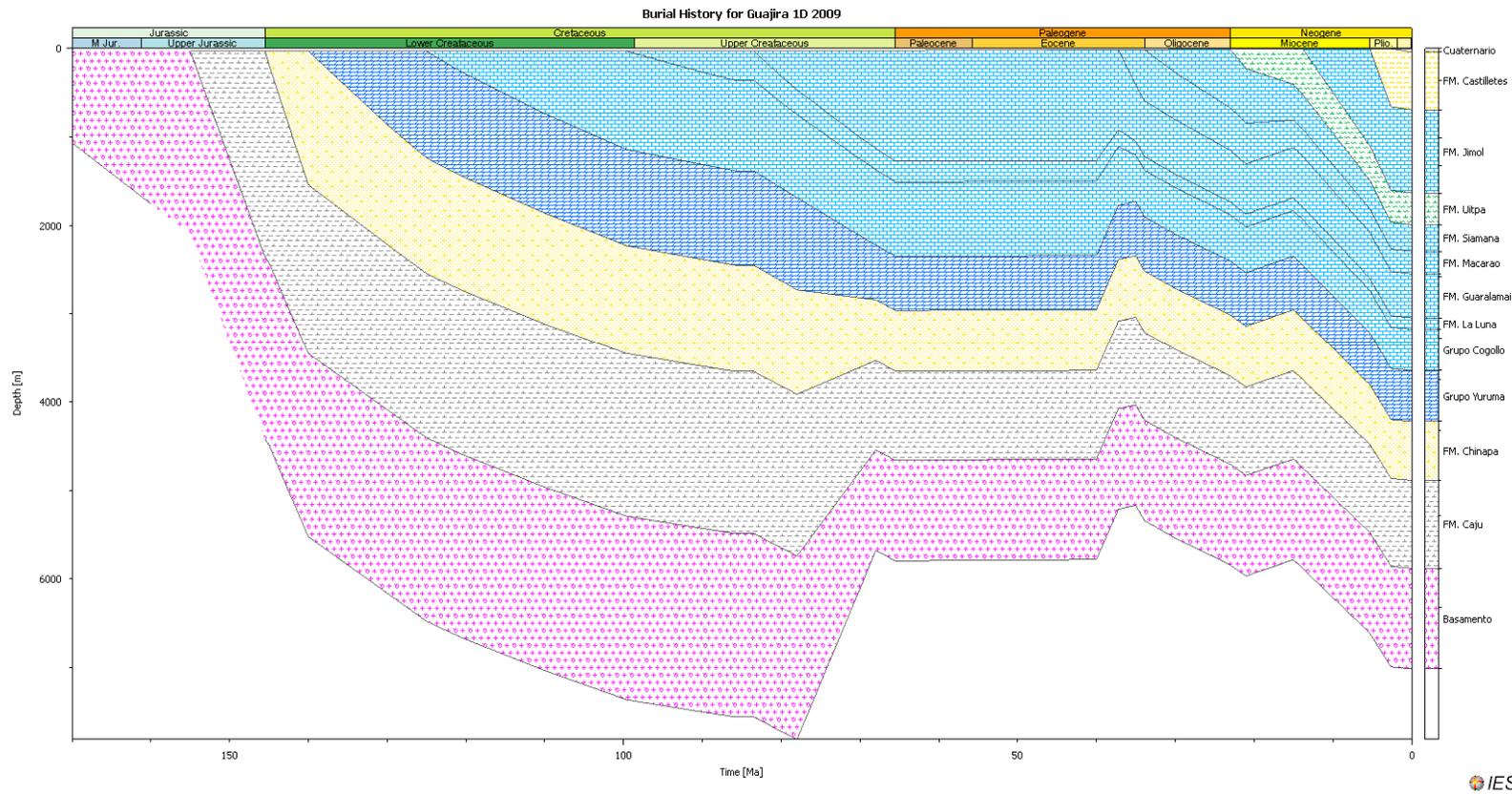


Figura 11.2. Diagrama de soterramiento para el pseudopozo Cosinas-1. Nótese los eventos de levantamiento de la Subcuenca de la Baja Guajira, los cuales fueron determinados con base en la identificación de eventos de enfriamientos de acuerdo con los resultados de huellas de fisión.

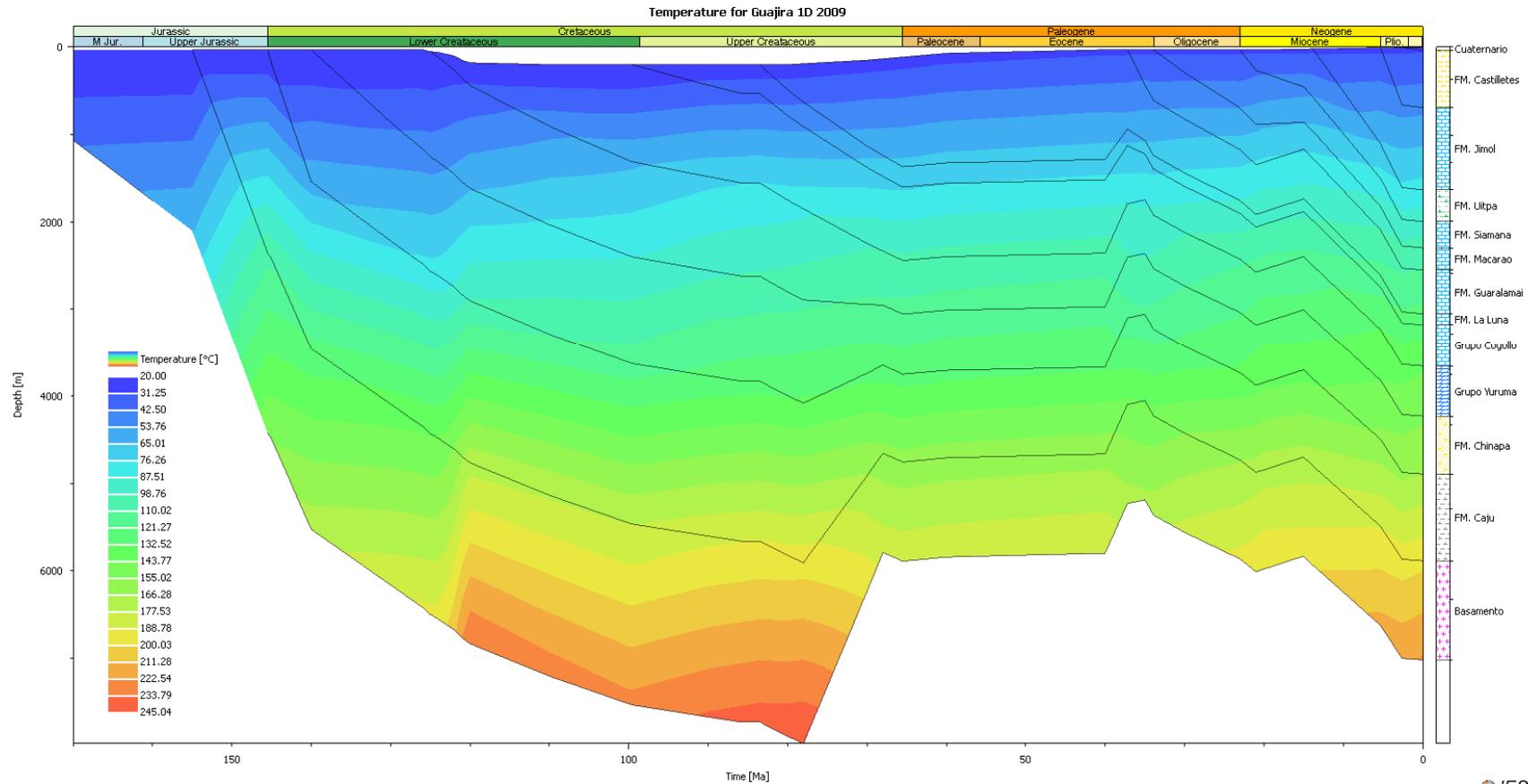


Figura 11.3. Diagrama de variación de la temperatura con la profundidad y el tiempo, para el pseudopozo Cosinas-1. El presente diagrama fue calibrado empleado datos flujo de calor actual, las paleotemperaturas fueron obtenidas por análisis de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita.

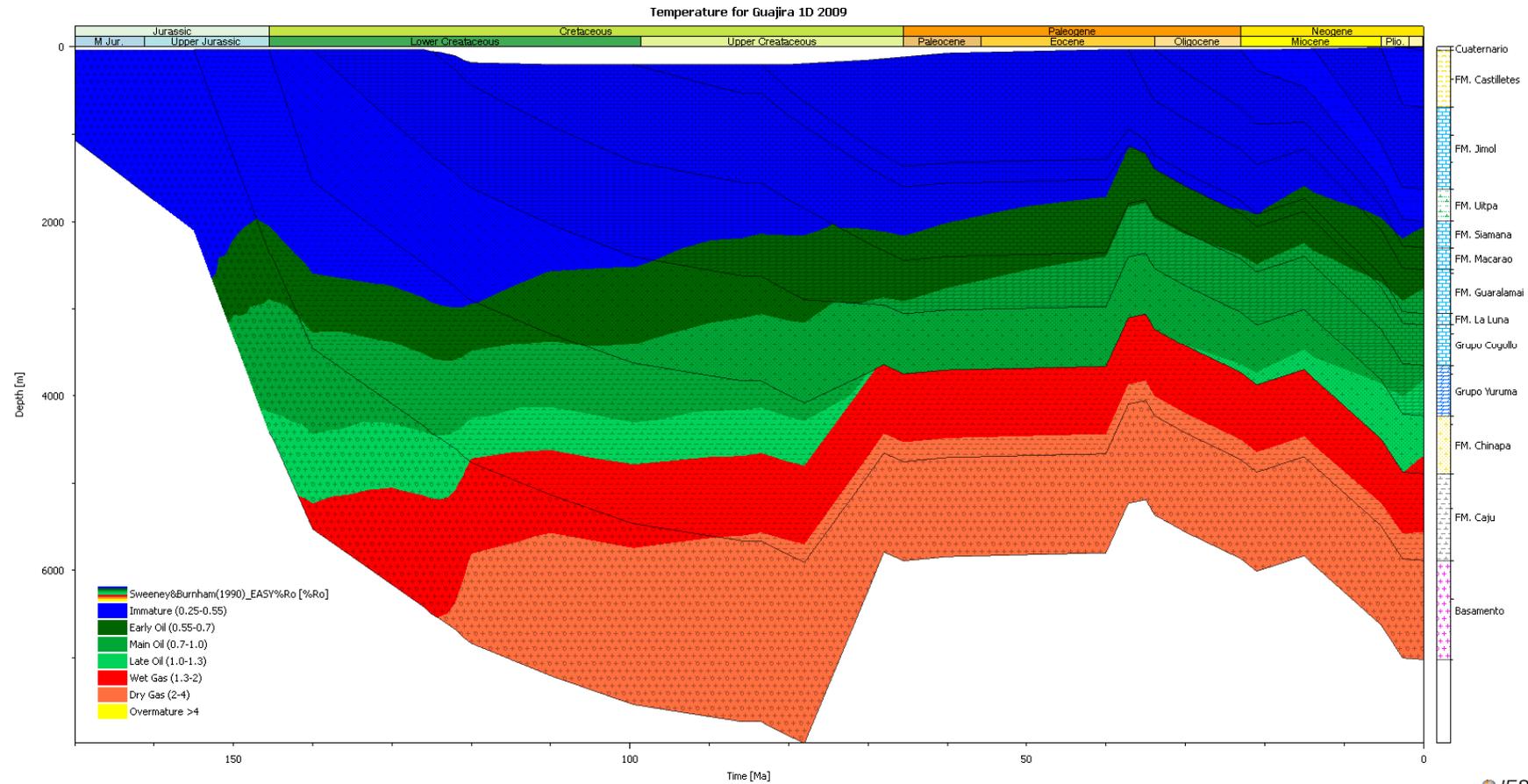


Figura 11.4. Modelo geoquímico 1D del pseudopozo Cosinas-1. Se ilustra la posición de la ventana de generación de petróleo y gas en tiempo y profundidad. Nótese que el Grupo Cogollo y la Formación Siamana entraron a la ventana de generación de petróleo en el Paleoceno inferior y el Mioceno respectivamente.



La figura 11.5 ilustra la historia de subsidencia en donde a diferencia del pseudopozo Cosinas-1 la depositación se inicia en el Cretácico Superior con la depositación de la Formación Guaralamai, la cual se encuentra discordante sobre el basamento. La Figura 11.6 muestra la comparación entre los datos de R_o medidos en el pozo y la curva de R_o calculada con el software Petromod. Los resultados indican una buena correspondencia para los datos de R_o de las muestras profundas. La Figura 11.7 ilustra la comparación entre las temperaturas de fondo (BHT) de la Subcuenca de la Baja Guajira con respecto a las temperaturas calculadas por el modelo del pozo Calamar-1, los resultados indican una buena correspondencia en las temperaturas más someras.

La Figura 11.8 muestra los resultados del modelo geoquímico 1D del pozo Calamar-1. Los resultados indican que las formaciones Guaralamai, Macarao y Siamana, están en la ventana de generación de petróleo, mientras que la Formación Uitpa está en la fase temprana de la ventana de generación de petróleo.

Los modelos geoquímicos en dos dimensiones (2D) permiten ilustrar las rutas de migración de hidrocarburos además de los estados de maduración de las rocas generadoras, por esta razón se procedió a construir un modelo geoquímico 2D, el cual se elaboró con base en el perfil sísmico compuesto ilustrado en la figura 11.9. La localización del perfil se ve en la figura 11.1. El perfil sísmico muestra la plataforma continental con una secuencia sedimentaria que va desde el Cretácico Superior (Formación Guaralamai), hasta la Formación Castilletes del Pleistoceno. El espesor indicado por el perfil sísmico es de aproximadamente 13,000 pies de sedimentos.

La figura 11.10 ilustra el modelo de temperaturas calculado para el perfil antes descrito. El modelo de temperaturas fué calculado con los parámetros de calibración anteriormente discutidos, el resultado indica que la base de la secuencia sedimentaria a 13,000 pies de profundidad presenta una temperatura entre 140 y 150°C y la formación Uitpa está entre 90 y 120°C.

La figura 11.11 muestra el resultado del modelo geoquímico 2D en donde se aprecia que la Formación Uitpa y el segmento superior de la Formación Siamana están en la fase inicial de la ventana de generación de petróleo, de otra parte el segmento inferior de la formación Siamana y la Formación Guaralamai están en la ventana de generación de petróleo.

En consecuencia los resultados de los modelos geoquímicos encontrados para la Subcuenca de la Baja Guajira indican que el gas presente en los Campos Chucupa y Ballena puede explicarse como gas termogénico migrado de formaciones del Cretácico Superior y del Paleoceno-Oligoceno.

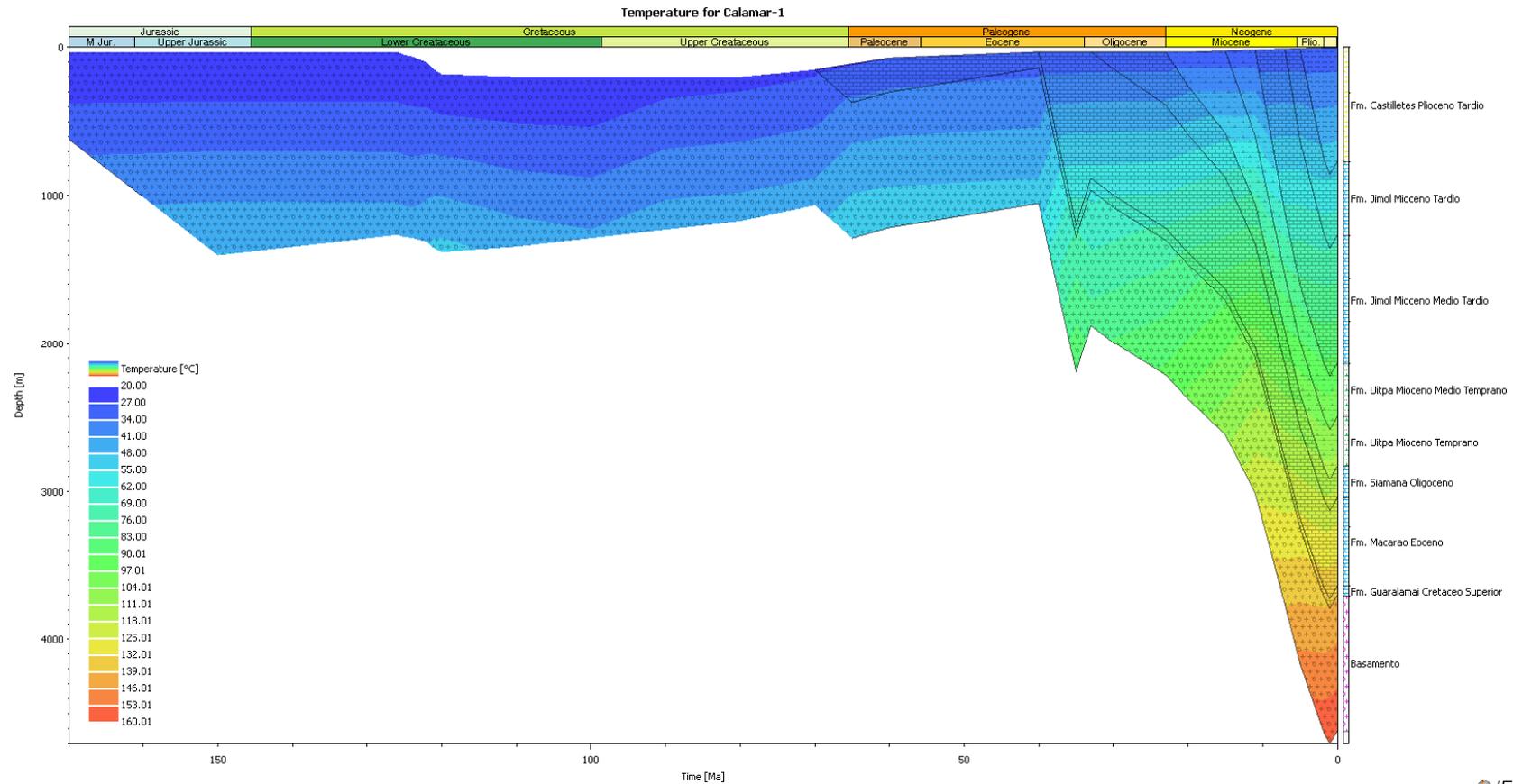


Figura 11.5. Diagrama de tiempo-temperatura del pozo Calamar-1 en la Subcuenca de la Baja Guajira. Los datos de calibración empleados fueron, obtenidos de reflectancia de vitrinita, temperaturas de fondo y huellas de fisión en apatito.

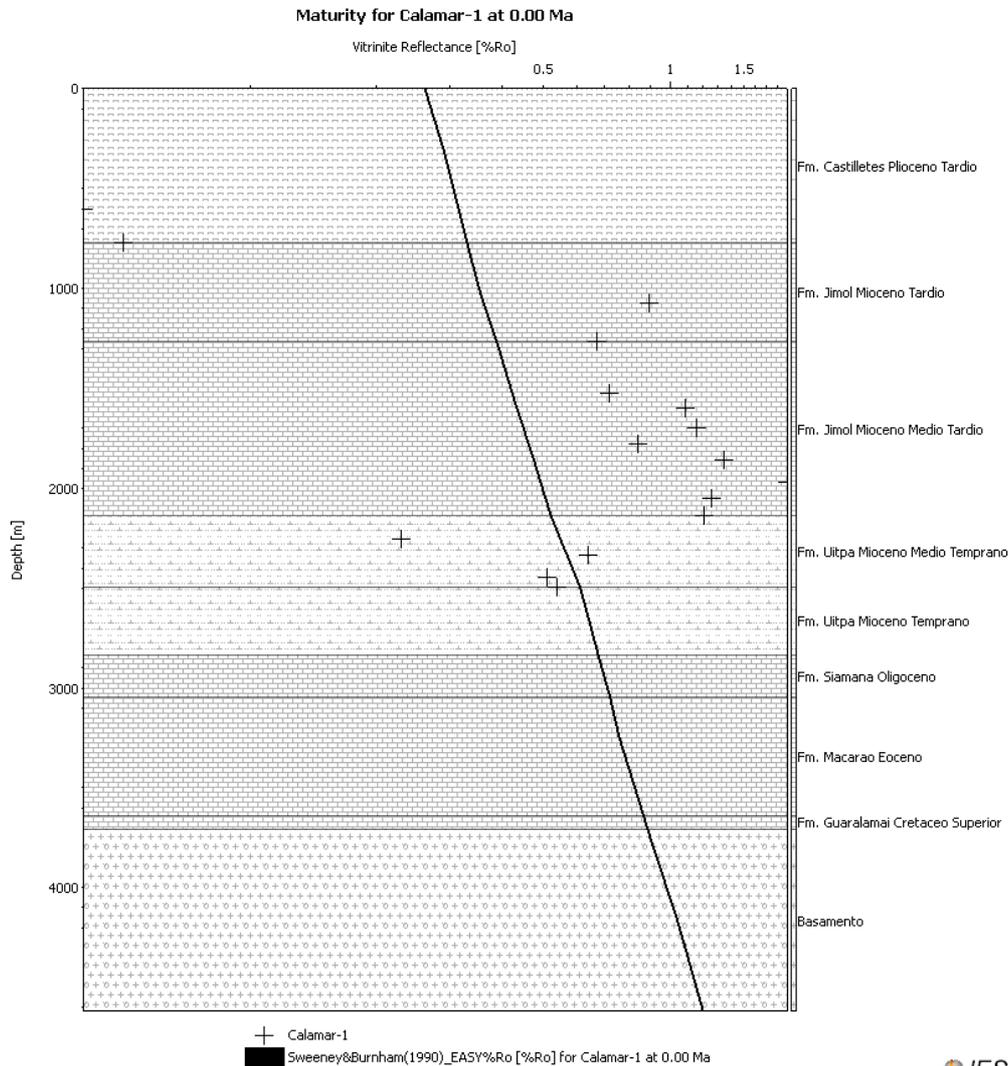


Figura 11.6. Calibración del modelo 1D con medidas de reflectancia de la vitrinita (Ro) a diferentes profundidades del pozo Calamar-1. La línea negra corresponde a la tendencia calculada para el incremento de Ro con la profundidad.

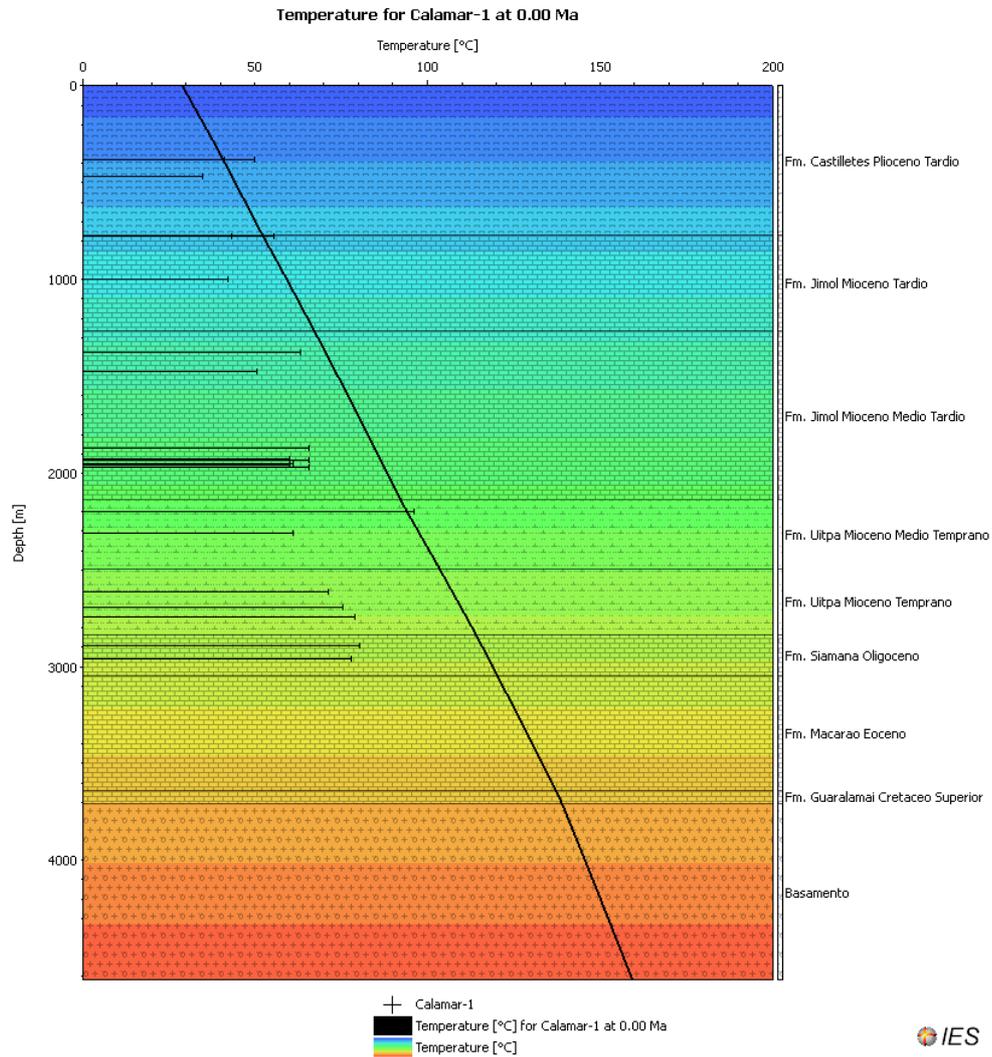


Figura 11.7. Calibración del modelo 1D del Pozo Calamar-1, con datos de temperaturas de fondo, Subcuenca de la Baja Guajira.

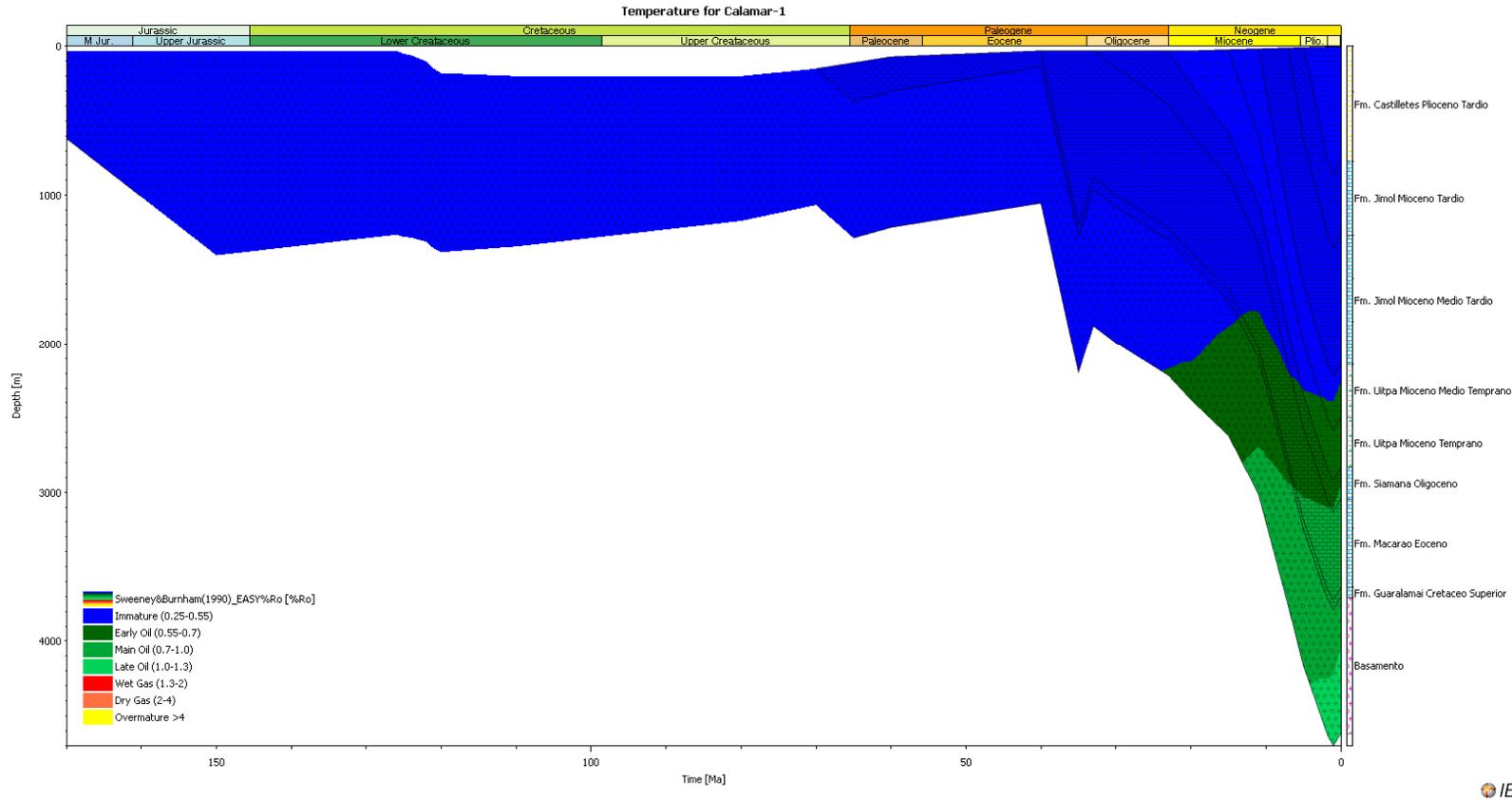


Figura 11.8. Modelo Geoquímico 1D del pozo Calamar-1. Nótese que las formaciones generadoras Guralamai, Macarao y Simana están en la ventana de generación de petróleo. La formación Uitpa está en la fase temprana de la ventana de generación.

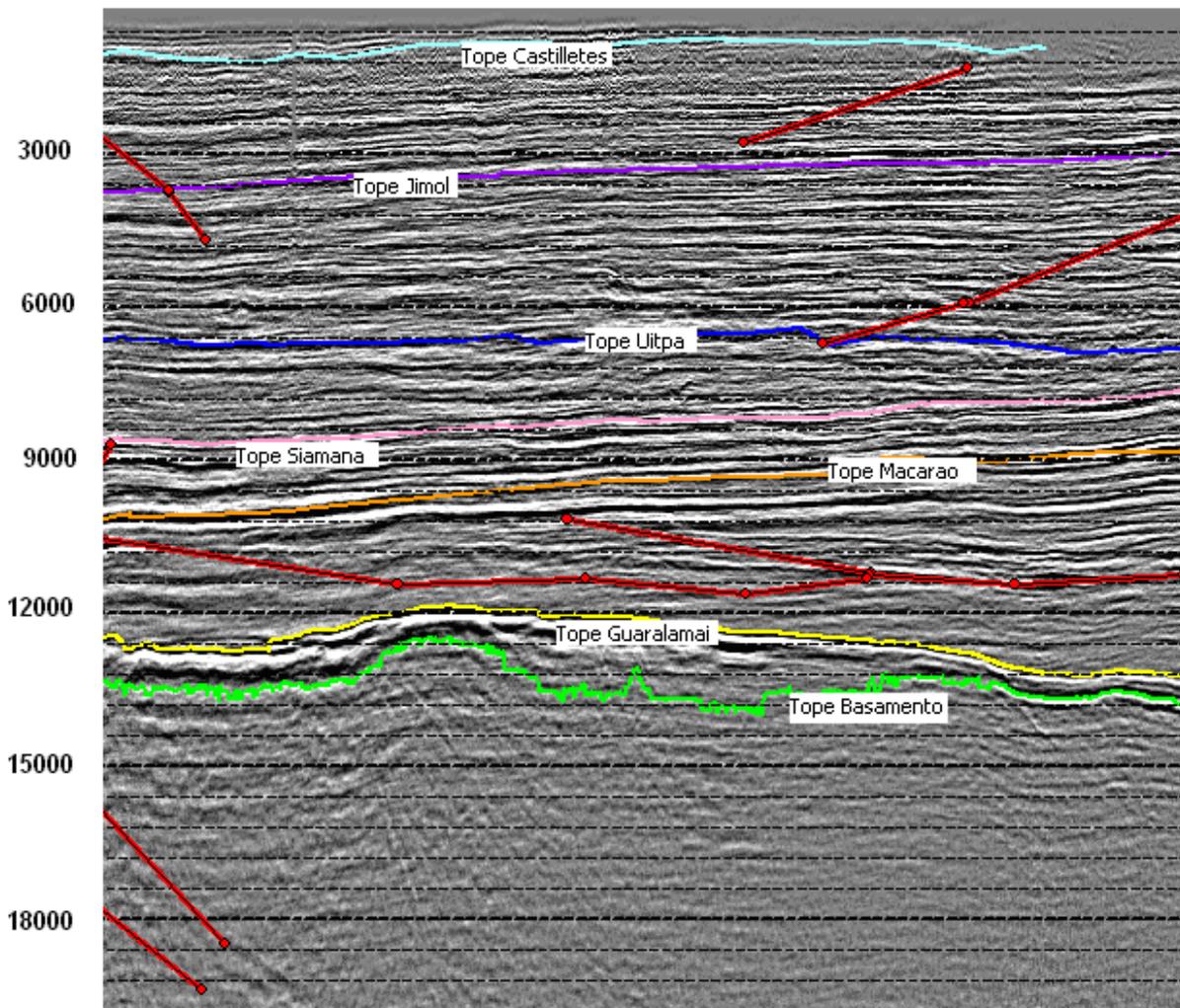


Figura 11.9. Perfil sísmico obtenido de la línea sísmica L-1973-25 en dirección E-W ilustrando la sedimentación en la plataforma continental desde el Cretáceo Superior hasta el Pleistoceno con una acumulación de 13,000 pies de sedimentos. La localización del perfil se incluye en la figura 11.1.

La conversión a profundidad de la línea sísmica L-1973-25 se llevó a cabo siguiendo el procedimiento propuesto en los manuales de la aplicación **Seis Vision 2007** de la plataforma GeoGraphix Discovery. Para ello se generó una grilla de velocidades interpolando las áreas entre los pozos cercanos a esta línea que registraban Check Shots, mediante el método de velocidades promedio por Formación.

La migración de hidrocarburos está indicada por flechas verdes y rojas que muestran la migración de petróleo y gas respectivamente. El resultado indica que los hidrocarburos son generados en las Formaciones Guaralamai, Siamana y Uitpa, así mismo estos hidrocarburos migran hacia la superficie llegando a las formaciones Jimol y Castilletes. De acuerdo a el resultado del modelo geoquímico 2D el factor crítico para la formación de campos de gas y petróleo en la plataforma continental de la Subcuenca de la Baja Guajira, lo constituye la presencia de una capa sello pues de otra manera el gas alcanza la superficie donde se dispersa.

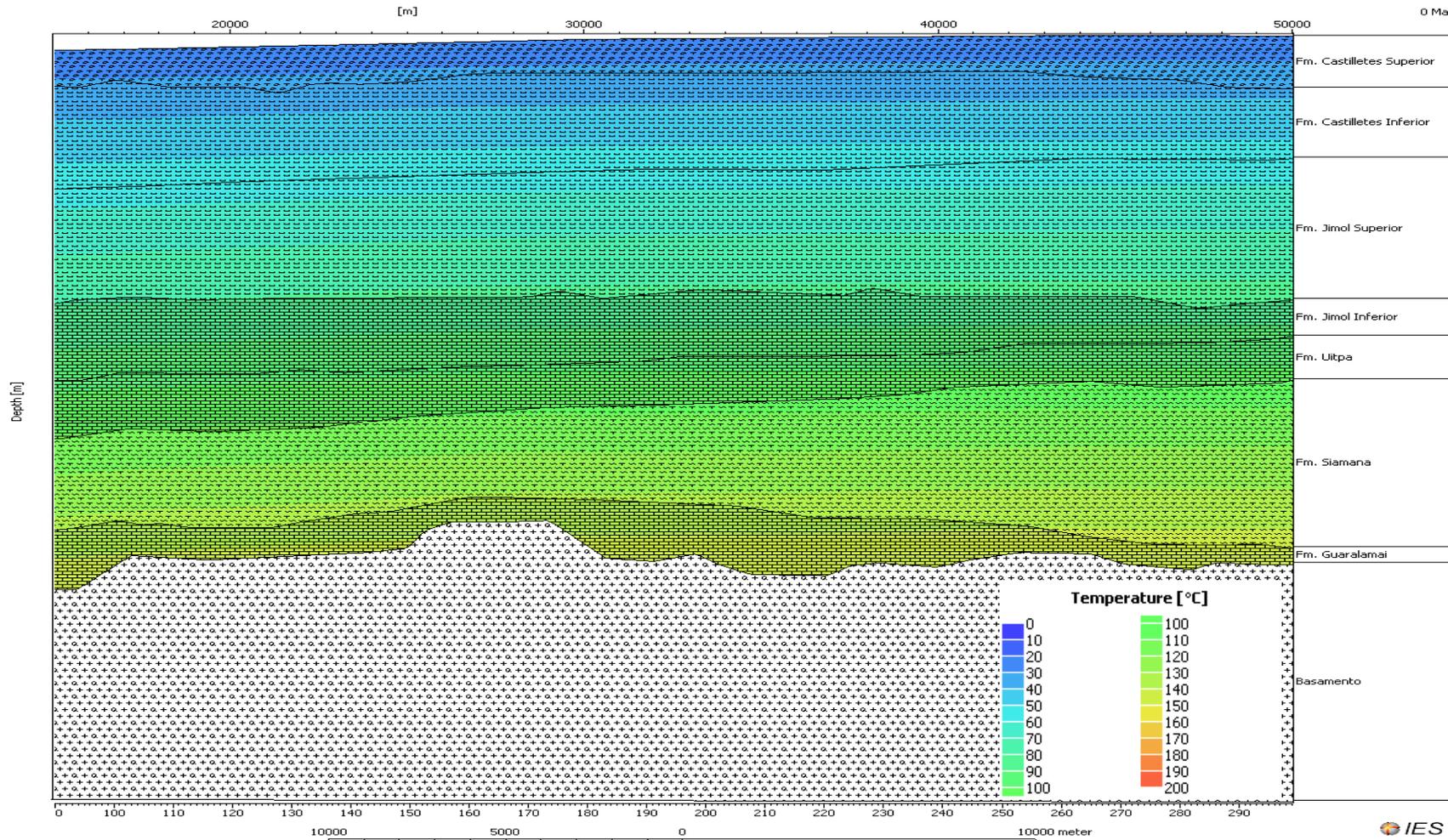


Figura 11.10. Modelo variación de la temperatura en profundidad para el perfil sísmico con orientación NS de la Subcuenca de la Baja Guajira.

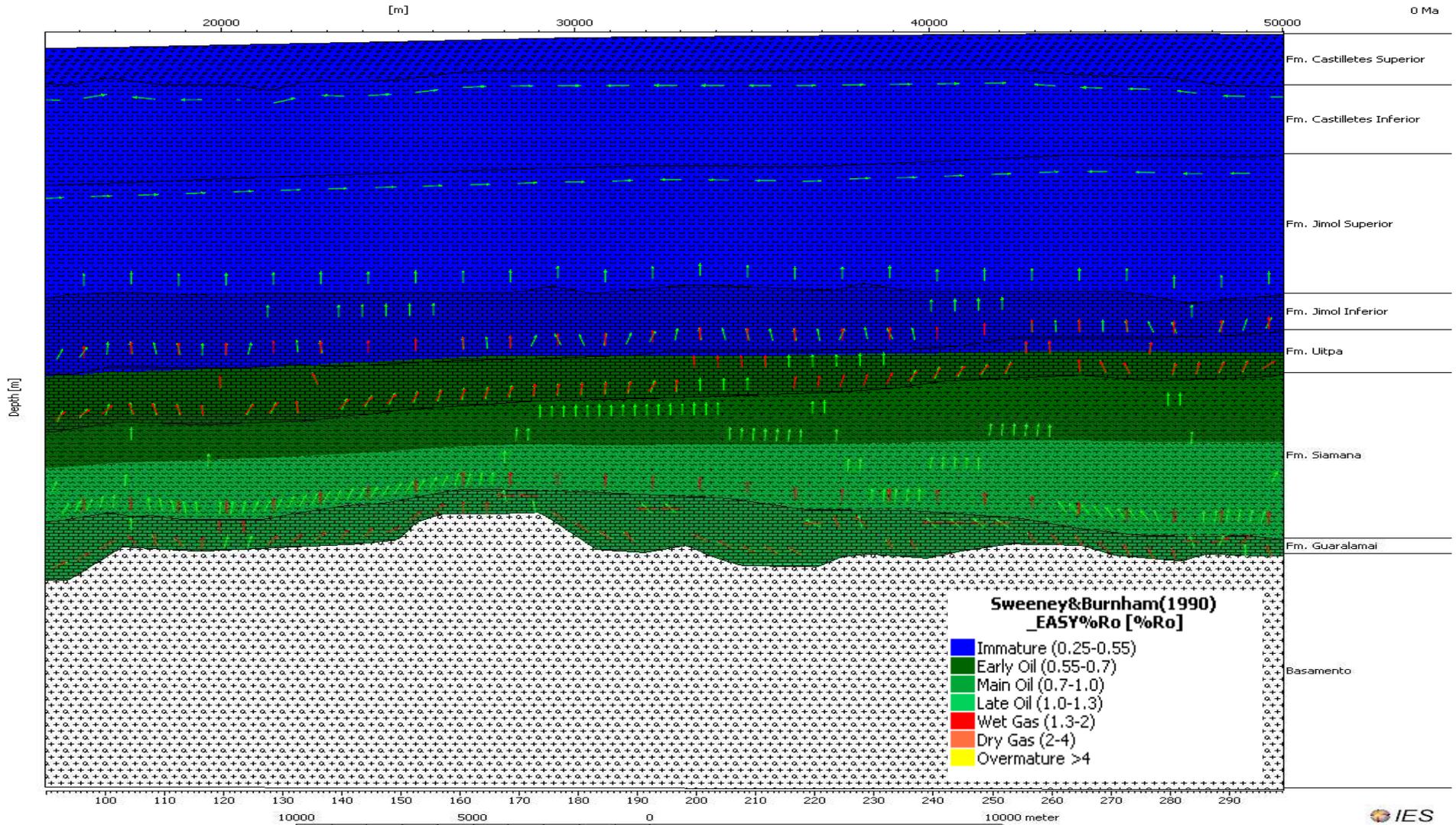


Figura 11.11. Modelo geoquímico 2D del perfil sísmico de la Subcuenca de la Baja Guajira. El resultado indica que las formaciones generadoras del Cretácico Superior, Paleoceno y Oligoceno están en la ventana de generación de petróleo. Las flechas en verde y rojo indican la migración de hidrocarburos desde la base de la secuencia hacia la superficie.



12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La reconstrucción paleotermal de la Subcuenca de la Baja Guajira se obtuvo con base en nuevos análisis de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita, identificándose cuatro eventos termales con las siguientes características:

- 1) El evento termal más antiguo se presentó en el Cretácico Superior entre 95 y 65 Ma, en donde se registra un enfriamiento de 50°C que afectó a las formaciones del Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. La paleotemperatura máxima registrada en la Formación Cajú es de 155°C.
- 2) El Segundo evento termal se presentó en el Eoceno Superior entre 40 a 35 Ma, en donde las formaciones del Jurásico y Cretácico registran un enfriamiento de 30°C en donde la paleotemperatura máxima registrada durante este evento es de 130°C.
- 3) El tercer evento termal ocurrió en el Mioceno Inferior a medio entre 22 a 15 Ma, en donde las formaciones sufrieron un enfriamiento de 30°C, en el cual la paleotemperatura máxima registrada es de 115°C.
- 4) El cuarto y último evento termal tuvo lugar en el Mioceno Superior entre 10 y 5 Ma, en donde la secuencia sedimentaria sufre un importante evento de enfriamiento de hasta 70°C. La máxima paleotemperatura de este evento fué de 90°C.

Los eventos termales de enfriamiento coinciden con cuatro discordancias previamente identificadas: 1) la discordancia al tope de la Formación Guaralamai del Cretácico Superior, 2) la discordancia a la base de la Formación Siamana en el Eoceno superior, 3) la discordancia al tope de la Formación Siamana en el Mioceno inferior y medio, y 4) la discordancia al tope de la Formación Castilletes en el Mioceno superior.

La determinación de las paleotemperaturas así como también del régimen termal actual permito la elaboración de modelos geoquímicos calibrados lo cual asegura que los resultados obtenidos se acercan a una situación real.

El régimen paleotermal de la Subcuenca de la Baja Guajira indica que las formaciones generadoras han estado expuestas a altas temperaturas entre 90 y 160°C, consecuentemente el resultado del modelo geoquímico 1D del pozo Calamar-1, indica que las formaciones Guaralamai, Macaro y Siamana están en la ventana de generación de petróleo, mientras que la Formación Uitpa está en la fase temprana de la ventana de generación de petróleo.

Los modelos geoquímicos de la Subcuenca de la Baja Guajira indican que los gases presentes en los campos Chuchupa y Ballena son de origen termal, en los cuales el gas ha migrado de cocinas más profundas situadas en la plataforma continental hacia el occidente de la Subcuenca de la Baja Guajira en donde de acuerdo a la evolución tectónica del Caribe sería factible encontrar antiguas plataformas calcáreas con rocas generadoras del Cretácico Superior y del Paleógeno.



Se propone la existencia de dos sistemas petrolíferos: 1) El Sistema Cretácico Superior- Castilletes y 2) el sistema Siamana-Macarao-Castilletes.

Estos dos sistemas han generados hidrocarburos, El sistema petrolífero de las Formaciones Jimol-Castilletes no es factible ya que la formación Jimol no está en la ventana de generación de hidrocarburos de acuerdo con los modelos geoquímicos.

El resultado del modelo geoquímico 2D de migración indica que el petróleo y el gas, han migrado desde la base de la secuencia hacia la superficie alcanzando la Formación Castilletes. La ocurrencia de los campos de gas en la plataforma continental de la Subcuenca de la Baja Guajira requiere la presencia de capas sello de shales en la Formación Castilletes. Sin embargo en la revisión de la información de pozos no se reporta la presencia de un grueso nivel de shales que actúe como sello en esta formación.

Con el objeto de tener un mayor entendimiento de los procesos de generación y migración de hidrocarburos en la Subcuenca de la Baja Guajira se recomienda adelantar un modelamiento geoquímico en tres dimensiones el cual debe estar calibrado con los datos de los estudios de huellas de fisión y de reflectancia de vitrinita.



13. REFERENCIAS CITADAS

- ACOSTA, L. A.**, 1997. Estudio de la traza activa de la falla de Tacagua-El Avila para fines de microzonificación sísmica del corredor estratégico Caracas-Litoral Norte Central de Venezuela. *Mem. VIII Congreso Geológico Venezolano, Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas*, I: 21-27.
- ALMARZA, R.**, 1997. Campos petrolíferos de Venezuela, Golfo de Venezuela, *PDVSA-Intervep*.
- ÁLVAREZ, J.**, 1967. Geology of the Simarua and Carpintero areas, Guajira Península, Colombia. *Tesis Ph.D. Princeton University, Princeton, New Jersey*.
- ARIAS, A. y MORALES, C.**, 1999. Mapa geológico generalizado del Departamento del Cesar. Escala 1:250.000. *INGEOMINAS*. Bogotá.
- BARRERO, D., AGUIAR, Y., ROBLEDO, A., HERNANDEZ, C., MARTINEZ, J., ROJAS, O., VALENCIA, E., ÁLVAREZ, M. Y OJEDA, Y.**, 2005- 2006. High potential lightly explored basin, Onshore Guajira Basin. *ANH*, Bogotá.
- BARRERO, D., PARDO, A., VARGAS, C. Y MARTINEZ, J.**, 2007. Colombian sedimentary basins: Nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal. *ANH*, Bogotá.
- BRIGAUD, F. CHAPMAN, D. y LE DOUARAN, S.**, 1990. Estimating thermal conductivity in sedimentary basins using lithologic data and geophysical well logs. *AAPG Bulletin*, 74: 1459–1477.
- BUHELLI, F., GÓMEZ, L. A. y HERRERA, J. B.**, 1989. Geología de la Subcuenca de Cocinetas. *ECOPETROL*, Bogotá: 45 p.
- BURNHAM, A. K. y SWEENEY, J.**, 1989. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53: 2649–2657.
- BÜRGL, H.**, 1955. La Microfauna de la perforación Ranchería 1, Guajira, *Informe n° 1134* (inédito), Bogotá, 15 p.
- BÜRGL, H.**, 1958. Geología de la península de la Guajira. *Bol. Geol. Serv. Geol. Nal*, 6(1-3): 129-168.
- BÜRGL, H.**, 1961. Historia Geológica de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, Bogotá, 11(43): 137-191.
- BURKE, K. C.**, 1988. Tectonic Evolution of the Caribbean. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 16: 201-230.
- CARDONA-MOLINA, A., CORDANI, U. y MACDONALD, W.**, 2006. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the



Colombian Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences*. 21: 337-354

CARDONA, A., WEBER, M., WILSON, R., CORDANI, U., MUÑOZ, C. M. y PANIAGUA, F., 2007. Evolución tectono-magmática de las rocas maficas-ultramáficas del Cabo de La Vela y el Stock de Parashi, Península de La Guajira: registro de la evolución orogénica Cretácica-Eocena del norte de Suramérica y el Caribe. *XI Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga*, Agosto 14-17.

CASEY, R., 1949. The ammonite genus *Uhligella* in the English Albian, *Geological Magazine*, 86(6): 333-345.

CEDIEL, F., ETAYO, F. Y CÁCERES, C., 1994. Facies Distribution and Tectonic Setting through the Phanerozoic of Colombia: *INGEOMINAS, ed., Geotec Ltd.*, Bogotá (17 time-slices/maps in scale 1:2,000,000).

CEDIEL, F., SHAW, R. P. y CÁCERES, C., 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean Block. En: **BARTOLINI, C. BUFFLER, R. T. y BLICKWEDE, J.**, eds. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics, *AAPG Memoir* 79: 815– 848.

CLARKE, W. J. y BLOW, W. H., 1969. The inter-relationships of some late Eocene, Oligocene and Miocene larger foraminifera and planktonic biostratigraphic indices. En: **BRÖNNIMMAN, P. y RENZ, H. H.** *Proceedings of the first international conference on planktonic Microfossils*, Leiden, 2: 82-97.

DE PORTA, J., 1974. Lexique Stratigraphique International. Amerique Latine, Colombie (deuxième partie) - Tertiaire et Quaternaire.

DOOLAN, B., 1970. The structure and metamorphism of the Santa Marta Area. *PhD Tesis, State Univ. New York at Binhamton*.

DUARTE, L. M., AVELLA, E, BUITRAGO, J., GUERRERO, C., REISTROFFER, J., RIZZI, J. A., TOLEDO, M. A. y SUAREZ, M., 2007. Estratigrafía y Controles Sedimentarios de la Cuenca Costa Afuera en el Caribe Colombiano. *Petrobras, Bogotá, Colombia, Exxon, Mobil, Houston, Usa, ECOPETROL*, Bogotá, Colombia.

DUNCAN, R. y HARGRAVES, R., 1984. Plate Tectonic Evolution of the Caribbean Region in the mantle referente frame. En: Bonini, W. E., Hargraves, R. B., Shagan, R. (eds), The Caribbean South American Plate boundary and regional tectonics. *Geological Society of America Memoir*, 162: 81-84

DUQUE-CARO, H., 1974. Los foraminíferos planctónicos y el Terciario de Colombia: *Revista Española de Micropaleontología*, 7: 403–427.

ECOPETROL, TEXAS PETROLEUM COMPANY y SHELL, 1999. Asociación Nazareth. *Informe Técnico de Exploración. Informe interno ECOPETROL*.



ECOPETROL, 2000, Atlas of Sedimentary basin and Petroleum geology of Colombia, CD. *ECOPETROL*.

ESCALANTE, C. E., 2006. Seismic Stratigraphy of the Tayrona Depression-Offshore Baja Guajira Basin, Colombia. *ECOPETROL*, Bogotá, Colombia: 13.

ESTRADA, J. J., 1995. Paleomagnetism and accretion events in the Northern Andes. *Tesis Ph.D., State U. New York at Binghamton*: 172.

FEO-CODECIDO, G., 1972. Contribucion de la Estratigrafia de la Cuenca Barinas-Apure. IV Geol. Cong. Venez., Caracas, *Memoria, Bol. Geol., Publ. Esp. 5, II: 773-792*.

FORERO, A., 1972. Estratigrafía del Precretácico en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. *U. Nal., Geol. Col. Bogotá.*, 7:7- 78.

GARCÍA-GONZÁLEZ, M., et al. (2008)

GARNER, S. H., 1926. Suggested nomenclature and correlation of the geological formations of Venezuela. *Am. Inst. Min. Metall. Eng. Trans London*: 677-684.

GEYER, O., 1973. Das Prakretazische Mesozoikum von Kolumbien (The Precretaceous Mesozoic of Colombia). *Geologisches Jahrbuch*, 5: 1-156. 5 lám. Hannover.

GÓMEZ, I., 2001. Structural Style and Evolution of the Cuisa Fault System, Guajira, Colombia, *University of Houston*, Houston, TX, 147p.

GÓMEZ, J., NIVIA, A., MONTES, N., JIMÉNEZ, D., SEPÚLVEDA, M., GAONA, T., OSORIO, J., DIEDERIX, H., MORA, M., y VELÁSQUEZ, M., 2007 a. Atlas Geológico de Colombia, plancha 5-01, Escala 1: 500.000, *INGEOMINAS*.

GÓMEZ, J., NIVIA, A., MONTES, N., JIMÉNEZ, D., SEPÚLVEDA, M., GAONA, T., OSORIO, J., DIEDERIX, H., MORA, M., y VELÁSQUEZ, M., 2007 b. Atlas Geológico de Colombia, plancha 5-02, Escala 1: 500.000, *INGEOMINAS*.

GUERRERO, J., 2002. A proposal on classification of system tracts: Application to the allostratigraphy and sequence stratigraphy of the Cretaceous Colombian basin. Part 1: Berriasian to Hauterivian. *Geología Colombiana*, 27: 3-25.

GUTIÉRREZ, M. y OSORIO, C., 1988. Evaluación del Potencial de Hidrocarburos de la Plataforma Chuchupa – Ballena, Cuenca de la Baja Guajira (Colombia), *Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Santafé de Bogotá*.



- HALL, M. y CEDIEL, F.**, 1971. Sedimentos marinos terciarios y recientes de la Península de La Guajira y su posible significado económico. *U. Nal., Geol. Col.*, Bogotá, (8):63-77.
- HEDBERG, H. D.**, 1931. Cretaceous limestone as petroleum source rock in northwestern Venezuela. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, 15(3): 230.
- HEDBERG, H. D. y SASS, L. C.**, 1937. Synopsis of the Geologic Formations of the western part of the Maracaibo Basin, Venezuela, *Bol. Geol. Min.* (Edit. in English), 1(2-4): 71-112.
- HERRERA, B. y BUCHELLI, F.**, 1988. Área de la cuenca de la Baja Guajira, levantamiento de secciones Geológicas en la Formación del terciario: Formaciones Orocho, Monguí y Tm (indiferenciado). Informe Geológico N° 1947. *Dirección de Exploración de ECOPETROL*, 21 p.
- HOORN, M.C.**, 1994. Miocene Palynostratigraphy and paleoenvironments of northwestern Amazonia: Evidence for marine incursions and the influence of Andean tectonics. *Tesis Doctor. Universidad de Amsterdam*: 156 p.
- HUNTER, V. F.**, 1974. The mid-Tertiary stratigraphic unit of the southern Caribbean area, En: Jung, P., ed., Contributions dedicated to the geology and paleobiology in the Caribbean and adjacent Areas—The Kugler Volume, *Naturforschende Gesellschaft Basel, Verhandlungen*, 84: 172–190.
- IRVING, E. M.** 1971. La evolución estructural de Los Andes más septentrionales de Colombia. *INGEOMINAS, Bol. Geol.*, Bogotá, 19(2):1-90.
- IRVING, E. M.**, 1972. Mapa geológico de la Península de La Guajira, Colombia (Compilación). Escala 1:100.000. *INGEOMINAS*.
- JULIVERT, M.**, 1968. Lexique Stratigraphique International. Amerique Latine, Colombie (premiere partie) - Precambrien, Paleozoique, Mesozoique et intrusions d'age Mesozoique-Tertiaire. *Centre Nat. Rech. Sci.*, 5(4a):1-651. Paris.
- KELLOGG, J. N.** 1984, Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perija Venezuela – Colombia, and adjacent basins. *GSA. memoir* 162.
- KELLOGG, J. N. y VEGA, V.**, 1995. Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: Constraints from global positioning system geodetic studies and gravity. *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America*: 75-90.
- LOCKWOOD, J. P.**, 1965. Geology of the Serranía de Jarara Area. Guajira Península, Colombia. *Tesis PhD, Princeton Univ.* 237 p. New Jersey.
- LÓPEZ, E.**, 2003. Upper crust models of Colombia, Cross sections and tectonostratigraphic terrains location map. *INGEOMINAS*.
- LÓPEZ, E.**, 2005a. Evolución Tectónica de la Region Caribe de Colombia. *INGEOMINAS*, Bogotá - Colombia.



- LÓPEZ, E.**, 2005b. Chronostratigraphic Correlation Charts of Colombia, *INGEOMINAS*, Bogotá - Colombia.
- LUGO, J. y MANN, P.**, 1995. Jurassic–Eocene Tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. En: Tankard, A. J. Suárez R. y Welsink, H. J. Petroleum basins of South America, *AAPG Memoir* 62: 699–725.
- MACDONALD, W. D.**, 1964. Geology of the Serrania de Macuira Area, Guajira Península, Colombia. *Tesis PhD., Princeton Univ. New Jersey*, 167 p.
- MACDONALD, W. D. y DOOLAN, B.L.** 1971, Cretaceous –early Tertiary metamorphic K-Ar Age values from the southern Caribbean, *Geological Society of America Bulletin*, v 82, p. 1381-1388.
- MACDONALD, W. D. y OPDYKE, N. D.**, 1972. Tectonic rotations suggested by paleomagnetic results from northern Colombia, *S. Am. J. Geophys. Res.*, 77(29): 5720-5730.
- MACELLARI, C.** 1995. Cenozoic sedimentation and tectonics of the southwestern caribbean pull-apart basin, Venezuela and Colombia. *AAPG Special Volumes*, 757-780.
- MALFAIT, B. y DINKELMAN, M.**, 1972. Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate. *Geological Society of American Bulletin*, 83: 251- 272.
- MANN, P.**, 1999, Caribbean Sedimentary basins: Classification and tectonic setting from Jurassic to present, Caribbean Basins. *Sedimentary basins of the world*, 4 P. Mann, editor Elsevier.
- MARESCH, W. V., STOECKHERT, B. BAUMANN, A. KAISER, C. KLUGE, R. KRUECKHANS-LUEDER, G. BRIX, M. R. y THOMSON, M.**, 2000, Crustal history and plate tectonic development in the southern Caribbean, *Zeitschrift fuer Angewandte Geologie*, 1: 283–289.
- MARTÍNEZ, J. I.**, 1985. Estratigrafía y paleoambientes de la Sección del Río Molino (Guajira, Cretácico Superior). Informe 1942, *INGEOMINAS*. Bogotá.
- MAYNC, W.**, 1956: En **SCHWRCK et al.** Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1era. Edición. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. *Bol. Geol.*, Pub. Espec. 1: 664 p.
- MERCADO, M.**, 1999. Mapa Geológico del Departamento de La Guajira, Escala 1:250000, *INGEOMINAS*.
- MERCADO, M.**, 2003. Mapa Geológico del Departamento de La Guajira, Escala 1:250000. *Memoria Explicativa, INGEOMINAS*.
- MILLER, J. B.**, 1960. Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia, Mém. 3 Congr. Geol. Caracas, Venezuela, *Bol. Geol., Minist. Min. Hidroc*, 3(2): 685-718.



- MILLER, J. B.**, 1962. Tectonic Trends in Sierra de Perijá and adjacent parts of Venezuela and Colombia, *Bull. Am. Ass. Petr. Geo.*, 46(9): 1565-1595.
- MOJICA, J. y DORADO, J.**, 1987. El Jurásico anterior a los movimientos intermálmicos en los Andes Colombianos. Bioestratigrafía de los Sistemas Regionales del Jurásico y Cretácico de América del Sur, Mendoza, p. 49-110.
- MOSQUERA, F., ARANGO, J., CARREÑO, J. y AGUILERA, H.**, 1976. Exploración de acuíferos de la Alta y Media Guajira. Capítulo I, Geología. *Ingeominas, Informe 1668*: 140.
- NOTESTEIN, F. H., HUBMAN, C. W. y BOWLER, J. W.**, 1944. Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 55:1165-1215.
- PINDELL, J. L. y BARRETT, S. F.**, 1990. Geological Evolution of the Caribbean Region; A plate-tectonic perspective. En: Dengo G, The Geology of North America, Vol H, The Caribbean Region. *Geological Society of America*: 339- 374, 405-432.
- PINDELL J. L., CANDE, S. C., PITMAN, W. C., ROWLEY, D. B., DEWEY, J. F., LABRECQUE, J. y HAXBY, W.**, 1988. A plate-Kinematic framework for models of Caribbean evolution, *Tectonophysics*, 155: 121- 138.
- PINDELL J. L., HIGGS, R. y DEWEY, J. F.**, 1998a. Cenozoic Palinspatic reconstruction, paleogeographic evolution and hydrocarbon setting of the northern margin of South America. Paleogeographic evolution and Non glacial-Eustasy, Northern South America. *SEPM special Publication N°58*.
- PINDELL J. L., GEORGES, R. P., CRISTANCHO, J., HIGGS, R., y KENNAN, L.**, 1998b. The Colombian hydrocarbon habitat: Integrated sedimentology, geochemistry paleogeographic evolution, geodynamics, petroleum geology and basin analysis. *Tectonic analysis Ltd. West Sussex, England*.
- PULIDO, O., CASTRO, E., LOPEZ, G. y CRISTANCHO, J.**, 1991. Compilación y análisis de la información de la Subcuenca de la Baja Guajira. *ECOPETROL, informe interno 2303*.
- RAASVELDT, H. C.**, 1956. Fallas de rumbo en el nordeste de Colombia (Directional faults in the northeast of Colombia). *Revista de Petroleros de Colombia*, 7(34): 19-26.
- RAASVELDT, H. C.**, 1963. Mapa geológico de las planchas A-14, A-15, A-16, B-14, B-15 Guajira. *Serv. Geol. Nal.*
- RADELLI, L.**, 1961. El basamento cristalino de la Península de La Guajira. *Serv. Geol. Nal., Bol. Geol.*, Bogotá, 8(1-3):5-23.
- RADELLI, L.**, 1962. Las dos granitizaciones de la Península de La Guajira (Norte de Colombia), *Geol. Colombiana*, 1: 8.



- RAMÍREZ, V.**, 2001. Regional cross section of the Guajira Basin. En: **BEICIP-FRANLAB**, Análisis Estructural Integrado Bloque Noreste Colombiano-Oeste Venezolano. *Reporte interno – ECOPETROL*, Bogotá.
- RAMÍREZ, V.**, 2006. Geological Setting and Hydrocarbon Guajira Basin, Offshore Northern. *Poster presentation at AAPG Annual Convention, Houston, Texas*, April 9-12.
- RANGEL, A., RAMÍREZ, V. y DOS SANTOS, E. V.**, 2001. Origen de los Gases y de los Micro rezumaderos de Aceite de la Subcuenca de la Baja Guajira. *IX Congreso Colombiano del Petróleo*, ACIPET, Bogotá D.C. Colombia.
- RANGEL, A., RAMÍREZ, V. y DOS SANTOS, E. V.**, 2003. Alternative interpretations as to the origin of the hydrocarbons of the Guajira Basin, Colombia. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 129–139.
- RENZ, O.**, 1956. Cretaceous in Western Venezuela and the Guajira (Colombia). *20 Congr. Geol. Internat.*, México.
- RENZ, O.**, 1959. Estratigrafía del Cretáceo en Venezuela occidental. *Bol. Geol.*, Caracas, 5(10): 3-48.
- RENZ, O.**, 1960. Geología de la parte sureste de la Península de La Guajira (República de Colombia). *Bol. Geol., Publ. Esp., Venezuela*, 1(3): 317-349.
- RESTREPO-PACE, P.** 1995. Late Precambrian to Early Mesozoic Tectonic Evolution of the Colombian Andes based on new geochronological, geochemical and isotopic date. *Tesis PhD, U. Arizona*, 195 p.
- REVILLON, S., HALLOT, E., ARNDT, N. T., CHAUVEL, C. y DUNCAN, R. A.**, 2000. A Complex History for the Caribbean Plateau: Petrology, Geochemistry, and geochronology of the Beata Ridge, South Hispaniola. *The Journal of Geology*, 108: 641-661.
- REYES, H., MONTENEGRO, B y GÓMEZ, P.**, 2004. Tectonoestratigrafía y evolución geológica del Valle Inferior del Magdalena. *Boletín de Geología*: 26(42): 19 - 38.
- ROD, R. y MAYNC, W.**, 1954. Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, 38(2): 193-283.
- RODRÍGUEZ, G. y LONDOÑO, A.**, 2002. Memorias del mapa geológico del Departamento de La Guajira, Geología, recursos minerales y amenazas potenciales. *INGEOMINAS*.
- RODRÍGUEZ, P. y GUERRERO, N.**, 2009. Análisis estructural de la Serranía de Cosinas, Alta Guajira, Colombia. *Resumen ponencia XII Congreso Colombiano de Geología*, Paipa 2009.
- ROLLINS, J. F.**, 1960. Stratigraphy and structure of the Guajira Península, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. *Tesis Ph.D, U. Nebraska*. Lincoln.



- ROLLINS, J. F.**, 1965. Stratigraphy and structure of the Guajira Península, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. *Univ. Nebraska Studies, New Ser.*, 30:1- 1102. Lincoln.
- ROSS, M. I. y SCOTESE, C. R.**, 1988. A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Tectonophysics*, 155.
- RUBIO, R., RAMÍREZ, V., RUBIANO, J., GARNICA, M., MORENO, N., PLATA, J., MANTILLA, M., GATSBY., E., LÓPEZ, O., MARTINEZ, I., ZEGARRA, M., DÍAZ, O. y MEZA, J.**, 1998. Evaluación regional, Cuenca de la Baja Guajira. Informe final. Vicepresidencia adjunta de exploración gerencia de estudios regionales. *Informe interno, Ecopetrol*.
- SINTON, C.W., DUNCAN, R.W. y DENYER, P.**, 1997. Nicoya Península, Costa Rica: A single suite of Caribbean oceanic plateau magmas. *Journal of Geophysical Research*, 102: 15507-15520.
- SOLANA PETROLEUM EXPLORATION COLOMBIA LIMITED**, 2005. Contrato Salinas Cuenca de La Guajira. *Geología, Geofísica, Ingeniería*. Informe Técnico Anual.
- STAINFORTH, R. M.**, 1962a. The Upper Eocene of the Guajira península, *Boletín Informativo, Asoc. Ven. Geol. Min. Petr.*, 5(8): 229-230.
- STAINFORTH, R. M.**, 1962b. Definitions of some new stratigraphic terms in Western Venezuela: Las Pilas, Coquiza, Vergel, El Jebe, Tres Esquinas, and Nazaret. *Bol. Informativo, Asoc. Venez. Geol. Min. Petr.*, Caracas, 5(10): 279-282.
- STAINFORTH, R. M.**, 1971. La Formación Carapita de Venezuela oriental. *IV Cong. Geol. Venez., Memoria, Bol. Geol.*, Publ. Esp. 5(1): 433-463.
- STAINFORTH, R. M., GONZALEZ DE JUANA, C., MARTIN, C., DE RIVERO, F., PETZALL, C., BELLIZZIA, A., MENENDEZ, A., DE RATMIROFF, G., KISER, G., FEO-CODECIDO, G., MENDEZ, J., DE GRATEROL, M., DE AROZENA, J., DE GAMERO, L., PIMENTEL, N., MENDOZA, B., DE GAMBOA, A., SCHWARCK, A., PICARD, X. y BERMUDEZ, P.**, 1970. Léxico estratigráfico de Venezuela, *Boletín de geología, publicación especial 4*, Caracas.
- STEPHAN, J. F., MERCIER DE LEPINAY, B., CALAIS, E., TARDY, M., BECK, C., OLIVET, J.-C., VILA, J. M., BOUYASSE, P., MAUFFRET, A., BOURGOIS, J., THERY, J. M., TOURNON, J., BLANCHET, R. y DECOURT, J.**, 1990. Paleogeodynamic maps of the Caribbean: 14 steps from Lias to Present. *Bulletin de La Societe Geologique de France*, 8: 915-919.
- SUTTON, F. A.**, 1946. Geology of the Maracaibo Basin, Venezuela. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull. Tulsa*, 30(10): 1621-1741.



- SWEENEY, J. y BURNHAM, A. K.**, 1990, Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics: *AAPG Bulletin*, 74: 1559–1570.
- TABOADA A., RIVERA, L. A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILIP, H., BIJWAARD, H., OLAYA, J., y RIVERA, C.**, 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intra continental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19(5).
- THOMAS, D.**, 1972a. El Eoceno de la Península de la Goajira: *IV Congreso Geológico Venezolano Memorias*, 2: 951–962.
- THOMAS, D.**, 1972b. The Tertiary geology and systematic paleontology (Phylum Mollusca) of the Guajira Península, Colombia, South America. *Tesis PhD, State Univ. New York at Binhamton*: 147 p.
- TOUSSAINT, J. F.**, 1996, Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico: Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia: 277 p.
- TSCHANZ, C. M., JIMENO, A., y CRUZ, J.**, 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta Area. Preliminary report. Escala 1:200.000, Informe 1829, INGEOMINAS, Bogotá, 288 p.
- TSCHANZ, C., MARVIN, R., CRUZ, J., MEHNERT, H. y CEBULA, G.** 1974. Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85(2): 273-284.
- UJUETA, G. y LLINÁS, R.**, 1990. Reconocimiento geológico de la parte más septentrional de la Serranía de Perija. *Geología colombiana*, 17: 197-209.
- VENCE, E.**, 2008. Subsurface structure, stratigraphy, and regional tectonic controls of the Guajira margin of northern Colombia. *Thesis Master of Science in Geological Sciences, University of Texas at Austin*, 128 p.
- VILLAMIL, T.**, 1999. Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153(1-4): 239-275.
- WILSON, J. T.**, 1966. Are the Structures of the Caribbean and Scotia arcs analogous to ice rafting?. *Earth and Planetary Science Letters* 1:335-338.
- ZAPATA, V. y SARMIENTO, G.**, 2009. Estratigrafía sedimentaria del oligoceno en la alta guajira colombiana, evolución de un ambiente arrecifal. Caracterización de las formaciones Siamana y Uitpa, *Ponencia 164, XII Cong. Col. Geología*, Paipa



14. ANEXOS

ANEXO 1 REPORTES DE POZO

AÑO	COMPAÑIA	TITULO
ALMIRANTE-1. Baja guajira		
1988	Hughes Services S.A.	Laboratory Tests
1988	Milpark de Colombia	Reporte Final del pozo Almirante-1
1988	Ecopetrol	Descripción de Muestras de Zanja
1988	Ecopetrol	Drilling Mud Report
1988	Ecopetrol	Halliburton Reservoir Evaluation System
1988	Ecopetrol	Informe de Radio
1988	Ecopetrol	Informe de Terminación Oficial
1988	Ecopetrol	Informe Diario de Perforación
1988	Ecopetrol	Informe Final de Perforación
1988	Ecopetrol	Informe Geológico Final Pozo Almirante-1
1988	Ecopetrol	Intención de Perforar
1988	Ecopetrol	Información de Parámetros de Perforación
1988	Ecopetrol	Programa de Perforación Pozo Almirante-1

AÑO	COMPAÑIA	TITULO
ALMEJA-1. Baja guajira (continuación)		
1988	Ecopetrol	Registro Continuo de Hidrocarburos Pozo Almirante-1 Reporte Final
1988	Exploration Logging S.A.	Field Service Report
1988	Ecopetrol	Reporte Geológico
1989	133Cocinetas ICP	Informe Descripción Micropetrográfica
ARUCHARA-1. Baja Guajira		
1980	Texaco	Pruebas Especiales Pozo Aruchara-1
1980	Texaco	Cora Analysis Results
1980	Texaco	Daily Radio Report



1980	Texaco	Informe de Terminación , Registro y Prueba de Pozos
1980	Texaco	Intención de Perforar
1980	Texaco	Programa de Perforación del Pozo Aruchara-1
1980	Texaco	Pruebas de Producción Pozo Aruchara-1
1980	Ecopetrol	Reporte de Pruebas de Formación
1980	Texaco	Registros de Velocidad Pozo Aruchara-1
1980	Texaco	Hydrocarbon Source-bed Evaluation
1980	Texaco	Weekly Drilling Report
1980	Texaco	Weekly Geological Report
1980	Texaco	Well Simple Summary
1983	Texaco	Informe de Taponamiento y Abandono
ARUCHARA-2. Baja Guajira		
1981	Texaco	Intención de Perforar
1981	Texaco	Drilling Time Análisis
1981	Texaco	Informe de Terminación, Registro y Prueba de Pozos
1981	Texaco	Reporte Pruebas de Formación
1981	Texaco	Weekly Geological Report
1981	Texaco	Well 134ocine Summary
1981	Texaco	Well Seismic Service Field Data

AÑO	COMPAÑIA	TITULO
BALLENA-1. Baja Guajira		
1973	Texaco	Daily Drilling Report
1973	Ecopetrol	Informe de Terminación (Registro y Prueba de Pozo)
1973	Geological Laboratory, Pointe-a-Pierre	Ballena Well N° 1
1973	Ecopetrol	Informe Quincenal N° 3
1973	Texaco	Informe Sobre Presión Estática
1973	Ecopetrol	Intención de Perforar
1973	Texpet	Weekly Geological Report
1973	Texaco	Well Summary
1974	M. Tixler, G. Chennaux	Etude de 134uelques Echantillons des Sondages San Benito-1 et Ballena-1
1974	Texpet	Sidewall Core Description
1974	Ecopetrol	Informes Finales Pozo Ballena-1
1975	Ecopetrol	Tabla de Datos para Función de Velocidad
1987	Texaco	Informe de Taponamiento y Abandono
1987	Texaco	Programa de Taponamiento y Abandono
1990	Ecopetrol	Descripción Litológica Detallada y Análisis Petrográfico Detallado Reporte Final
BALLENA-2 ???		
1974	Texaco	Core Análisis Results
1974		Pruebas de Producción y Otras Operaciones
BALLENA-14 ¿???		
1993	Texaco	Daily Radio Report
1993	Bioss Ltda	Determinaciones Paleontologicas de Cuatro Muestras de Zanja del Pozo Chuchupa-14 Guajira, Colombia



1993	Texaco	Pruebas Iniciales de Producción Pozo Chuchupa-14
1993	Texaco	End of Well Report Chuchupa-14

AÑO	COMPAÑIA	TITULO
CHIMARE-2-1		
1969	Ecopetrol	Tabla de Datos para Función de Velocidad
1969	The Superior Oil Company of Colombia	Intención de Perforar
1970	The Superior Oil Company of Colombia	Informe Final de Perforación y Terminación
1970	The Superior Oil Company of Colombia	Informe Quincenal
1970	The Superior Oil Company of Colombia	Informe de Taponamiento y Abandono

LOS MANANTIALES-1. Baja Guajira		
AÑO	COMPAÑIA	TITULO
1971	J. Biot	Rapport de Fin de Sondage Los Manantiales-1
1976	Ecopetrol	Tabla de Datos Para Función de Velocidad
MANAURE-1. Baja Guajira		
1980	Texaco	Manaure N° 1 Drilling Program
1980	Texaco	Intención de Perforar
1980	Texaco-Ecopetrol	Weekly Geological Report
1980	Texaco	Well Simple Summary
1989	Ecopetrol	Synthetic Seismograms
MOLINO DE VIENTO-1. Baja Guajira		
2005	Solana Petroleum Exploration Colombia	Intención de Perforar
2005	Solana Petroleum Exploration Colombia	Informe de Terminación Oficial
PERICO-1. Baja Guajira		
1952	Anglo-Saxon Petroleum Company	Geophysical Report Well Velocity Surveys Perico-1 & Rancheria-1
1953	Anglo-Saxon Petroleum Company	Geological Report N° 216
2006	Ecopetrol	Informe Post Perforación Pozo Perico-1 Cuenca Baja Guajira
2006	Ecopetrol-ICP	Reporte Bioestratigráfico Pozo Perico-1
2007	Ecopetrol	Post Drilling Analysis
RANCHERIA-1. Baja Guajira		
1948	Compañía	Detalle Diario del Registro de Perforación



	Colombiana de Petróleo La Gaviota	
1948		Weekly Drilling Report N° 1
1949		Ditch Sample Descriptions
1949	Compañía Colombiana de Petróleo La Gaviota	Informe Final
1952	The Anglo-Saxon Petroleum Company	Geophysical Report Well Velocity Surveys, Perico-1 & Rancheria-1
1953	The Anglo-Saxon Petroleum Company	Geological Report N° 216

AÑO	COMPAÑÍA	TITULO
RANCHERIA-2 Baja Guajira		
1949		Weekly Drilling Report
1953	The Anglo-Saxon Petroleum Company	Geological Report N° 216
RIOHACHA-1. Baja Guajira		
1975	Ecopetrol	Informe de Terminación Oficial
1975	Texaco	Weekly Geological Report
1975	Ecopetrol	Informe Quincenal N°1
1975	Texaco	Intención de Perforar
1975		Pruebas de Producción y Otras Operaciones
1975	Ecopetrol	Tabla de Datos para Función de Velocidad
RIOHACHA-2		
1978	Texaco	Daily Drilling Report
SIRUMA-1. Baja Guajira		
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Daily Drilling Report
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Evaluación del Pozo Sirruma-1 Reporte Final
2005	Carlos Gonzalez B. Sc. ECL Canada. Calgary,	Geological and Operational Report on the Well Sirruma-1
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Informe de Cumplimiento Ambiental para las Obras Civiles del Pozo Sirruma-1 Municipio de Manaure-Guajira
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Informe de Terminación Oficial (Registro y Prueba de Pozos)
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Informe Quincenal N° 1
2005	Mera Petroleums Inc-Millennium Energy	Intención de Perforar
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Operational Summary Sirruma-1
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Reporte Final de Pozo Sirruma-1
2005	Solana Petroleum	Dialy Geological Report



	Explotation Colombia	
2005	Solana Petroleum Explotation Colombia	Well Summary Report

AÑO	COMPAÑIA	TITULO
SORPRESA-1. Baja Guajira		
1991	Bioss Ltda	Determinaciones Bioestratigráficas de Muestras de Zanja. Sorpresa-1
1991	Ecopetrol	Informe diario de Perforación. Sorpresa-1
1991	Huilex	Informe Final de Lodos. Sorpresa-1
1991	Ecopetrol	Informe Final. Sorpresa-1
1991	Ecopetrol	Intención de Perforar. Pozo Sorpresa-1
TARSHI-1.		
1976	Ecopetrol	Permiso para Perforar. Pozo Tarashi-1
TINKA-1. Baja Guajira		
1988	Ecopetrol	Análisis Básico de Corazones Pozo Tinka-1
1988	Hughes	Corazonamiento del Pozo Tinka-14
1988	Ecopetrol	Descripción de Corazones
1988	Ecopetrol	Descripción de Muestra de Zanja
1988	Ecopetrol	Estudio Isocrona Modificada Pozo Tinka-1
1986	Ecopetrol	Evaluación y Programa de Pruebas del Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Informe de Radio. Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Informe de Corazonamiento Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Informe Diario de Perforación. Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Informe final de Perforación. Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Intención de Perforar. Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Programa de Perforación. Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Programa de Terminación. Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Prospecto Exploratorio Tinka-1
1988	Ecopetrol	Propuesta de Perforación. Tinka-1
1989	Ecopetrol	Pruebas de Presión Capilar por Inyección de Mercurio
1988	Ecopetrol	Registro de Velocidad Tinka-1
1988	Ecopetrol	Drilling Data Report. Tinka-1
TINKA-1. Baja Guajira (continuación)		
1988	Ecopetrol	Reporte Final de Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Reporte Geológico. Tinka-1
1988	Ecopetrol	Análisis Cromatográficos del Pozo Tinka-1
1988	Ecopetrol	Reservoir Evaluation System. Tinka-1
1976	Ecopetrol	Informe de Radio Pozo Uashir-1



ANEXO 2 POZOS MUESTREADOS EN LA LITOTECA NACIONAL

POZO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
ALMEJA-1 Costa Afuera	MZH	4500	50	
		4500	10	
		4550	50	
		4550	10	
		4600	50	
		4600	10	
		4970	50	
		4970	10	
		5010	50	
		5010	10	
		5040	50	
		5040	10	
		5100	50	
		5100	10	
		5120	50	
		5120	10	
		5500	50	
		5500	10	
ARUCHARA-1	MZH	4580-4590	50	
		4580-4590	10	
		5040-5050	50	
		5040-5050	10	
		5760-5770	50	
		5760-5770	10	
		5900-5910	50	
		5900-5910	10	
		6840-6850	50	
		6840-6850	10	
		6960-6970	50	
		6960-6970	10	
		7070-7080	50	
		7070-7080	10	
		7150-7160	50	
7150-7160	10			



CALAMAR-1 Costa Afuera	MZH			No se encuentra registro de este pozo en la Litoteca
EPEHIN-1	MZH	2160-2190	50	
		2160-2190	10	
		2400-2430	50	
		2400-2430	10	
		3000-3030	50	
		3000-3030	10	

POZO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
EPEHIN-1 (continuación)	MZH	5360-5640	50	Del intervalo 5360-5640 no había cantidades suficientes y no se pudo sacar muestras
		5360-5640	10	
		5850-5860	50	
		5850-5860	10	
		5910-5920	50	
		5910-5920	10	
MERLUZA-1 Costa Afuera	MZH	3520-3550	50	
		3520-3550	10	
		3550-3580	50	
		3550-3580	10	
		3700-3730	50	
		3700-3730	10	
		3970-4000	50	
		3970-4000	10	
		4240-4270	50	
		4240-4270	10	
		4390-4420	50	
		4390-4420	10	
		4600-4630	50	
		4600-4630	10	
PAVÓN-1 Costa Afuera	MZH	1090-1750	50	
		1090-1750	10	
		1740-1750	50	
		1740-1750	10	
		2520-2530	50	
		2520-2530	10	
		2700-2710	50	
		2700-2710	10	
TAIRONA-1 Costa Afuera	MZH	5630	50	Del intervalo 4900-5200 no existe registro
		5630	10	
		5770	50	
		5770	10	
		5890	50	
		5890	10	
		6330-6340	50	
		6330-6340	10	



MERO-1 Costa Afuera	MZH	6380-6390	50	
		6380-6390	10	
		6480-6490	50	
		6480-6490	10	
		6580-6590	50	
		6580-6590	10	
		6870-6880	50	
		6870-6880	10	

POZO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
MERO-1 Costa Afuera (continuación)	MZH	7140-7150	50	
		7140-7150	10	
PERICO-1	MZS			Para este pozo solo habían muestras de zanja húmeda y no había registro de los intervalos solicitados por lo tanto no se pudo muestrear este pozo
SORPRESA-1	MZH	5190-5220	50	
		5190-5220	10	
		5340-5370	50	
		5340-5370	10	
		5400-5430	50	
		5400-5430	10	
		5580-5610	50	
		5580-5610	10	
		5670-5700	50	
		5670-5700	10	
CHUCHUPA-1 Costa Afuera	MZH	2100-2110	50	
		2100-2110	10	
		2030-2040	50	
		2030-2040	10	
		2740-2750	50	
		2740-2750	10	
		2790-2800	50	
		2790-2800	10	
		2880-2890	50	
		2880-2890	10	
		3250-3260	50	
		3250-3260	10	
		3400-3410	50	
		3400-3410	10	
		3460-3470	50	
		3460-3470	10	
		3630-3640	50	
		3630-3640	10	
4370-4380	50			



	4370-4380	10
	4420-4430	50
	4420-4430	10
	4520-4530	50
	4520-4530	10
	4630-4640	50

POZO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
CHUCHUPA-1 Costa Afuera	MZH	4630-4640	10	
		4690-4700	50	
		4690-4700	10	
		4830-4840	50	
		4830-4840	10	
		4930-4940	50	
		4930-4940	10	
		5010-5020	50	
CHUCHUPA-4	MZH	2380	50	
		2380	10	
		2450	50	
		2450	10	
		2500	50	
		2500	10	
		3480	50	
		3480	10	
		3550	50	
		3550	10	
		3710	50	
		3710	10	
		3770	50	
		3770	10	
		3840	50	
		3840	10	
		4050	50	
		4050	10	
		4140	50	
		4140	10	
CHUCHUPA-5	MZH	4620	50	
		4620	10	
		4660	50	
		4660	10	
		4680	50	
		4680	10	
		4740	50	
		4740	10	



		4780	50	
		4780	10	
CHUCHUPA-6	MZH	2130-2160	50	
		2130-2160	10	
		2520-2550	50	
		2520-2550	10	
		2670-2700	50	

POZO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
CHUCHUPA-6 (continuación)	MZH	2670-2700	10	
		2760-2790	50	
		2760-2790	10	
		3120	50	
		3120	10	
		3280	50	
		3280	10	
		3760	50	
		3760	10	
		4000	50	
		4000	10	
		4640	50	
		4640	10	
		4780	50	
		4780	10	
		4820	50	
4820	10			
TIBURON-1 Costa Afuera	MZH	3370	50	
		3370	10	
		4270	50	
		4270	10	
		4360	50	
		4360	10	
		4470	50	
		4470	10	
		4570	50	
		4570	10	
		5150	50	
		5150	10	
5370	50			
5370	10			
BALLENA-1	MZH	5120-5200	50	De los intervalos de nuestro interés solo hay registro de uno.
		5120-5200	10	
BALLENA-2	MZH	4430-4440	50	
		4430-4440	10	
		4510-4520	50	



	4510-4520	10
	4640-4650	50
	4640-4650	10

POZO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
MANANTIALES-1	MZH			Del este pozo no se pudo sacar muestras porque el registro que se tiene en la Litoteca no es el de nuestro interés. El intervalo necesitado es de 2192' hasta 5720'
SIERRA-1 Costa Afuera	MZH	1180-1210	50	No se encuentra registro del intervalo 1440-3590 por lo tanto no se puede hacer el muestreo a esta profundidad
		1180-1210	10	
		1300-1330	50	
		1300-1330	10	
		1410-1430	50	
MANAURE-1	MZH	1410-1430	10	
		1580-1590	50	
		1580-1590	10	
		1670-1680	50	
		1670-1680	10	
		1750-1760	50	
		1750-1760	10	
MAICAO-1	MZH	1800-1810	50	
		1800-1810	10	
		2170-2210	50	
		2170-2210	10	
		2200-2210	50	
		2200-2210	10	
		2690-2700	50	
		2690-2700	10	
		2720-2730	50	
		2720-2730	10	
DORADO-1 Costa Afuera	MZH	3690-3700	50	
		3690-3700	10	
		2800	50	
		2800	10	
		3070	50	
		3070	10	
		2790-2800	50	



RIOHACHA-1	MZH	2790-2800	10
		3830-3840	50
		3830-3840	10
		3930-3940	50
		3930-3940	10
		5050	50
		5050	10
		5100	50
RIOHACHA-1	MZH	5100	10
		5520	50
		5520	10
		5810	50
		5810	10
TINKA-1	MZH	960-990	50
		960-990	10
		2940-2970	50
		2940-2970	10
		3250-3270	50
		3250-3270	10
		3350-3370	50
		3350-3370	10
		3430-3450	50
		3430-3450	10
		3470-3490	50
		3470-3490	10

ANEXO 3. INFORME DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AFLORAMIENTO EN LA SERRANÍA DE COSINAS. (DIGITAL)

ANEXO 4. HISTORIAS DE ENFRIAMIENTO A PARTIR DE ANALISIS DE HUELLAS DE FISION (DIGITAL)