



**INTERPRETACIÓN SÍSMICA Y MODELAMIENTO GEOQUÍMICO 2D DE LA  
SUBCUENCA BAJA GUAJIRA, COLOMBIA**

**HEIDY LIZZETH RODRÍGUEZ CARDENAS  
MAYRA LISETH VARGAS VARGAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2010**



**INTERPRETACIÓN SÍSMICA Y MODELAMIENTO GEOQUÍMICO 2D DE LA  
SUBCUENCA BAJA GUAJIRA, COLOMBIA**

**HEIDY LIZZETH RODRÍGUEZ CARDENAS  
MAYRA LISETH VARGAS VARGAS**

**Trabajo de Grado para optar al título de Geóloga.**

**Director**

**MARIO GARCÍA GONZÁLEZ, Ph.D.  
Profesor Titular Escuela de Geología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2010**



## AGRADECIMIENTOS

- Al Doctor Mario García González, director de este proyecto, por brindarnos sus enseñanzas, asesoría, paciencia, tiempo y apoyo.
- A los geólogos Emilio Torres, Miguel Jiménez y Mario Moreno por brindarnos información importante para la realización de este proyecto.
- Al Grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones GIGHC de la Universidad Industrial de Santander por proporcionarnos información valiosa y por su apoyo económico para la realización de este proyecto.
- A la Universidad Industrial de Santander por nuestra formación académica y personal.
- A nuestras familias por brindarnos todo su apoyo y amor incondicional en cada momento de nuestras vidas.
- A Dios por ser nuestro guía incondicional.



*DEDICADO A:*

*A Dios y La Virgen por estar conmigo siempre y ser mi mejor guía.*

*A mis padres Rodrigo y Gladys por ser un ejemplo de lucha y por hacer de mi la mujer que soy.*

*A mis hermanas Laura y Melissa por su apoyo y cariño.*

*A Thomas por ser la alegría de mi vida.*

*A Emilio Torres mi gran amor por estar en mi vida y hacerla cada día más feliz.*

*A Laura Peñaranda por ser mi gran amiga y compañera de aventuras.*

*A mis amigas Mayra, Karenina y Paola Duarte por que con su compañía y colaboración hicieron posible el logro de esta meta.*

*HEIDY*



**DEDICADO A:**

*En primer lugar a Dios, por darme la oportunidad de vivir, estar siempre a mi lado, por no permitir que nada malo me pase y por regalarme una familia tan maravillosa.*

*A mi tía Bertha y mi padrino Mariano, Mis Papás... por todo el amor, cariño y apoyo brindado en cada momento de la vida, y por ser la guía de mis pasos ... sin ellos no estaría acá.*

*A mi Malis, por todo el amor que siempre me ha brindado y por estar ahí incondicionalmente: cuidándome y consintiéndome.*

*A mis hermanitas Lulo, Tetete y Paulis... lindas siempre, por su cariño y compañía en cada etapa de mi vida*

*A mi tía Mercedes, mi madrina y mi tía Neyes, por creer en mí y apoyarme en cada decisión tomada, especialmente mi tía Mercedes.*

*A Miguel, Fabis, Lui, Tatis, Pedro... en fin a todos mis primitos a quienes quiero mucho y siempre me han acompañado en mis "locuras"*

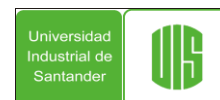
*A Karenino, que me ha brindado su amistad incondicional a lo largo de muchos años, con quien he compartido grandes alegrías, una persona que ha creído en mí ciegamente*

*A Heidylu... amiga y compañera de tesis... por su amistad incondicional y sin la cual no hubiese logrado esto.*

*A Javiero y Dieguito... mis dos amiguitos consentidos... compañeros de muchos momentos felices, que ocupan y ocuparán siempre un lugar en mi corazoncito.*

*A Ricardo... Por brindarme tantas cosas bonitas, por todo su apoyo y amor!*

*Mayra Liseth Vargas Vargas*



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1. OBJETIVOS .....	18
1.1.    OBEJTIVO GENERAL .....	18
1.2.    OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2. INFORMACION GENERAL DE LA SUBCUENCA BAJA GUAJIRA.....	19
2.1.    LOCALIZACIÓN .....	19
2.2.    INFORMACIÓN GEOLÓGICA .....	20
2.2.1. Información de Pozos .....	20
2.3.    INFORMACIÓN SÍSMICA.....	21
2.4.    INFORMACIÓN GEOQUÍMICA .....	22
3. ANTECEDENTES .....	22
3.1.    PROSPECTIVIDAD DE HIDROCARBUROS .....	22
3.2.    ORIGEN DEL GAS EN LA SUBCUENCA BAJA GUAJIRA .....	24
3.3.    HISTORIA PALOTERMAL.....	25
4. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.....	27
5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	29
6. ESTRATIGRAFÍA.....	32
6.1.    CRETÁCICO.....	34
6.1.1. Formación La Luna .....	34
6.1.2. Formación Guaralamai .....	36
6.2.    TERCIARIO .....	38
6.2.1. Formación Macarao .....	38
6.2.2. Formación Siamana.....	40
6.2.3. Formación Castilletes .....	43
6.2.4. Formación Monguí .....	46



7. METODOLOGIA.....	48
7.1. INTERPRETACIÓN SÍSMICA .....	48
7.1.1. Facies Sísmicas.....	50
7.1.1.1. Configuración de las reflexiones.....	51
7.1.1.1.1. Paralelas y Subparalelas.....	51
7.1.1.1.2. Divergentes .....	51
7.1.1.1.3. Sigmoideas.....	52
7.1.1.1.4. Oblicuas .....	52
7.1.1.1.5. Complejo Sigmoidea-Oblicuas .....	52
7.1.1.1.6. Forma de teja .....	53
7.1.1.1.7. Caóticas .....	53
7.1.1.2. Terminaciones .....	53
7.1.1.2.1. Terminación angular.....	54
7.1.1.2.2. Onlap.....	54
7.1.1.2.3. Toplap .....	54
7.1.1.2.4. Downlap .....	54
7.1.1.2.5. Offlap.....	54
7.1.2. Estratigrafía de Secuencias .....	55
7.1.2.1. Systems Tracts .....	55
7.1.2.1.1. Lowstand Systems Tracts .....	56
7.1.2.1.2. Transgressive Systems Tracts .....	57
7.1.2.1.3. Highstand Systems Tracts.....	57
7.2. MODELAMIENTO GEOQUÍMICO .....	58
8. RESULTADOS.....	60
8.1. INTERPRETACIÓN SÍSMICA .....	61
8.2. MODELAMIENTO GEOQUÍMICO .....	73
9. CONCLUSIONES.....	88
10.REFERENCIAS CITADAS .....	90



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de la Subcuenca Baja Guajira .....	<b>19</b>
<b>Figura 2.</b> Ubicación de los pozos .....	<b>20</b>
<b>Figura 3.</b> Localización de las líneas sísmicas .....	<b>21</b>
<b>Figura 4.</b> Gradiente geotérmico de la Subcuenca Baja Guajira .....	<b>26</b>
<b>Figura 5.</b> Localización principales fallas de la Subcuenca Baja Guajira.....	<b>30</b>
<b>Figura 6.</b> Columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca Baja Guajira .....	<b>33</b>
<b>Figura 7.</b> Mapa Geológico de la Subcuenca Baja Guajira.....	<b>47</b>
<b>Figura 8.</b> Convenciones del Mapa Geológico de la Subcuenca Baja Guajira .....	<b>48</b>
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo de metodología .....	<b>49</b>
<b>Figura 10.</b> Reflexiones paralelas y Subparalelas .....	<b>51</b>
<b>Figura 11.</b> Reflexiones divergentes.....	<b>52</b>
<b>Figura 12.</b> Reflexiones sigmoideas .....	<b>52</b>
<b>Figura 13.</b> Reflexiones oblicuas .....	<b>52</b>
<b>Figura 14.</b> Reflexiones de complejo sigmoideo-oblicuo .....	<b>53</b>
<b>Figura 15.</b> Reflexiones en forma de teja .....	<b>53</b>
<b>Figura 16.</b> Reflexiones caóticas .....	<b>53</b>
<b>Figura 17.</b> Terminaciones de los reflectores sísmicos .....	<b>55</b>
<b>Figura 18.</b> Clasificación de los Systems Tracts.....	<b>56</b>
<b>Figura 19.</b> Highstand Systems Tracts .....	<b>58</b>
<b>Figura 20.</b> Línea sísmica TC.1988-113 en tiempo (ms) .....	<b>62</b>
<b>Figura 21.</b> Línea sísmica TC-1988-113 migrada a profundidad (m).....	<b>63</b>
<b>Figura 22.</b> Línea sísmica TC-1988-115 con pozos desplegados .....	<b>64</b>
<b>Figura 23.</b> Línea sísmica L-1973-25 con pozos desplegados .....	<b>65</b>
<b>Figura 24.</b> Línea sísmica L-1973-34 sin interpretación .....	<b>69</b>
<b>Figura 25.</b> Línea sísmica L-1973-34 interpretada.....	<b>70</b>
<b>Figura 26.</b> Línea sísmica TC-1988-112 sin interpretación.....	<b>71</b>
<b>Figura 27.</b> Línea sísmica TC-1988-112 interpretada.....	<b>72</b>
<b>Figura 28.</b> Diagrama de profundidad Vs. Temperatura de fondo .....	<b>74</b>



<b>Figura 29.</b> Diagrama de Profundidad Vs. %Ro .....	<b>75</b>
<b>Figura 30.</b> Diagrama de enterramiento con respecto a la profundidad y edad.....	<b>76</b>
<b>Figura 31.</b> Diagrama de enterramiento, Temperatura respecto a profundidad y edad.....	<b>78</b>
<b>Figura 32.</b> Diagrama de enterramiento, %Ro respecto a profundidad y edad .....	<b>79</b>
<b>Figura 33.</b> Variación del flujo de calor Vs tiempo para el pozo Tinka-1. Esta curva fue calibrada con el modelo de evolución termal y de subsidencia del pozo, el valor actual (0Ma) de flujo de calor es de 28 mW/m <sup>2</sup> y valor máximo alcanzado de 105 mW/m <sup>2</sup> en 78.7 Ma .....	<b>80</b>
<b>Figura 34.</b> Línea sísmica L-1973-34 para el modelamiento 2D.....	<b>81</b>
<b>Figura 35.</b> Horizontes iniciales cargados en PETROMOD 11 .....	<b>82</b>
<b>Figura 36.</b> Sección grillada.....	<b>83</b>
<b>Figura 37.</b> Formación La Luna depositándose a 89Ma .....	<b>84</b>
<b>Figura 38.</b> Comportamiento del espesor de la Formación La Luna al depositarse las Formaciones Guaralamai y Macarao .....	<b>85</b>
<b>Figura 39.</b> Comportamiento del espesor de la Formación La Luna al depositarse las Formaciones Siamana, Castilletes y Monguí .....	<b>86</b>
<b>Figura 40.</b> Profundidad Vs Reflectancia de Vitrinita (Ro). (Madurez).....	<b>87</b>
<b>Figura 41.</b> Resultado del modelamiento geoquímico 2D.....	<b>88</b>



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Programas y líneas sísmicas usados.....	21
Tabla 2. Eventos erosivos .....	80



## RESUMEN

**TÍTULO:** INTERPRETACIÓN SÍSMICA Y MODELAMIENTO GEOQUÍMICO 2D DE LA SUBCUENCA BAJA GUAJIRA, COLOMBIA.\*

**AUTORES:** Rodríguez, H. Vargas, M\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Formación La Luna, Cretácico, gas húmedo, interpretación sísmica,

### DESCRIPCIÓN:

La Subcuenca Baja Guajira se encuentra localizada en la parte más nororiental de Colombia, en la península de la Guajira, es una cuenca productora de gas, por lo cual despierta gran interés en la exploración y explotación de Hidrocarburos, especialmente Hidrocarburos gaseoso (Gas Natural), con los descubrimientos de los Campos Chuchupa y Ballena realizados en la misma, es de gran importancia conocer y entender el sistema petrolífero presente en la Subcuenca.

A partir de la interpretación sísmica se identifican siete secuencias estratigráficas que marcan en la subcuenca los diferentes eventos de caída y aumento en el nivel del mar, así como seis discontinuidades estratigráficas, proporcionando información acerca del tipo de roca presente en cada una de ellas, permitiendo identificar el sistema petrolífero.

Con los resultados obtenidos del Modelamiento Geoquímico en una y dos dimensiones (1D y 2D) se establece que las rocas fuente para Hidrocarburos en la subcuenca Baja Guajira son las Formaciones La Luna, Guaralamai (de edades cretácico) y Macarao (de edad Terciario); el Hidrocarburo generado (predominantemente gas seco) migra hacia las Formaciones Castilletes y Monguí (de edad Terciario superior).

En este trabajo se sugiere una revisión de la información de pozo, especialmente en lo referente a la identificación del basamento cristalino y se plantea una nueva interpretación estratigráfica de la plataforma en la cual se interpreta la presencia de una secuencia sedimentaria Cretácica que incluye depósitos de calizas ricas en materia orgánica de la Formaciones La luna, Guaralamai y Macarao (de edad terciario), a partir de los cuales se genera el gas de origen termal presente en los campos Chuchupa y Ballena en la subcuenca Baja Guajira.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director: PhD. Mario García González



## ABSTRACT

**TITLE:** SEISMIC INTERPRETATION AND GEOCHEMISTRY MODELING 2D OF THE BAJA GUAJIRA SUB BASIN, COLOMBIA.\*

**AUTHORS:** Rodríguez, H. Vargas, M.\*\*

**KEYWORDS:** La Luna Formation, Cretaceous, wet gas, seismic interpretation,

### DESCRIPTION:

The Baja Guajira Sub basin is located in the northeastern part of Colombia, in the Guajira peninsula and it's a gas producing, thus has a great interest in the exploration and exploitation of hydrocarbons, particularly Natural Gas, with the findings of Chuchupa and Ballena giant gas fields. By means of these discoveries, there is a great importance to study and understand the petroleum system present in the sub basin.

The seven stratigraphic sequences that were identified in the seismic interpretations overlay the falling and rising sea level stages, and six stratigraphic discontinuities were marked, providing information about the depositional environment and rock type for defining the petroleum system elements.

With the results of geochemical modeling in one and two-dimensional (1D and 2D) states that the source rocks for hydrocarbons in the Baja Guajira sub basin are the La Luna and Guaralamai formations (Cretaceous age) and Marcarao (Tertiary age). The generated hydrocarbons (predominantly wet gas) had migrated towards the Castilletes and Mongui Formations (Upper Tertiary age) and seal effectiveness is too low.

This paper suggests a review of the wells, especially with regard to the identification of the crystalline basement, and proposes a new stratigraphic interpretation of the shelf on which to interpret the presence of a Cretaceous sedimentary sequence that includes rich deposits of limestone organic matter of La Luna, Guaralamai formations, from wich is generated the thermogenic gas present in Chuchupa and Ballena fields in the subbasin Baja Guajira.

---

\* Degree project, research modality

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering, Geology School. Director: PhD. Mario García González.



## INTRODUCCIÓN

El área de trabajo se encuentra localizada en el norte de Colombia y es parte de la Cuenca Guajira. La Subcuenca Baja Guajira es productora de gas; dos grandes descubrimientos de gas se ha producido en la Subcuenca Baja Guajira, estos son los campos de Chuchupa (en offshore) y Ballena (en Onshore), los cuales con reservas de ~3500 GPCG y ~1257 GPCG respectivamente, despiertan gran interés en la exploración de hidrocarburos en el resto de la subcuenca, indagando no solo en los sistemas petrolíferos ya definidos, sino que también la búsqueda de nuevas fuentes de hidrocarburos.

La estratigrafía de secuencias a partir de interpretación sísmica permite tener conocimiento sobre los eventos regresivos y/o transgresivos en la subcuenca, es decir, las caídas y aumentos relativos en el nivel del mar, que a su vez controlan la cantidad y calidad de sedimentos depositados y acumulados en la cuenca, la identificación de estos es vital a la hora de definir y caracterizar las propiedades de las rocas que componen un sistema petrolífero, guiando en la identificación de si la roca es fuente, reservorio, sello o de sobrecarga.

El modelamiento geoquímico en una y dos dimensiones (1D y 2D) brindan información acerca de la evolución termal de la cuenca en estudio, así como la posibilidad que se haya generado o no hidrocarburos, el tipo de los mismos en caso de generarse, rutas de migración y posibles zonas de acumulación, guiando al investigador en la delimitación de áreas de potencial interés para exploración y explotación de Hidrocarburos.

Con la realización de este trabajo se pretende aportar nuevos datos para entender el sistema petrolífero que género el gas en la Subcuenca Baja Guajira, a partir de interpretación sísmica en líneas sísmicas 2D y basados en los resultados obtenidos después de realizar modelamiento geoquímico en 1D y 2D.



## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Interpretar la estratigrafía sísmica de la subcuenca Baja Guajira y elaborar un modelo geoquímico 2D que sirva para explicar la generación, migración y acumulación de hidrocarburos.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Interpretar e identificar la secuencia estratigráfica de la subcuenca Baja Guajira en líneas sísmicas 2D.
- Realizar modelamiento geoquímico 2D a partir de la secuencia estratigráfica identificada en las líneas sísmicas 2D.
- Analizar la historia de subsidencia que presenta la subcuenca Baja Guajira.
- Entender y explicar el proceso de generación, migración y acumulación de hidrocarburos en la subcuenca Baja Guajira.
- Proponer áreas específicas de generación, migración y acumulación de hidrocarburos en la subcuenca Baja Guajira.



## 2. INFORMACIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA

### 2.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio geográficamente se encuentra localizada en la región noreste de Colombia, en la península de la Guajira, departamento de la Guajira. La subcuenca Baja Guajira se encuentra dentro de la cuenca Guajira, la cual ha sido dividida en Alta Guajira en la parte norte y Baja Guajira en la parte sur (ANH, 2010); la subcuenca Baja Guajira cuenta con un área de 8145Km<sup>2</sup>, geológicamente limitada por las fallas de rumbo Cuiza (al norte) y Oca (al sur). Figura 1.



**Figura 1.** Localización subcuenca Baja Guajira, modificado de Rubio *et al.* (1998), en García *et al.* (2008) y Google Earth.

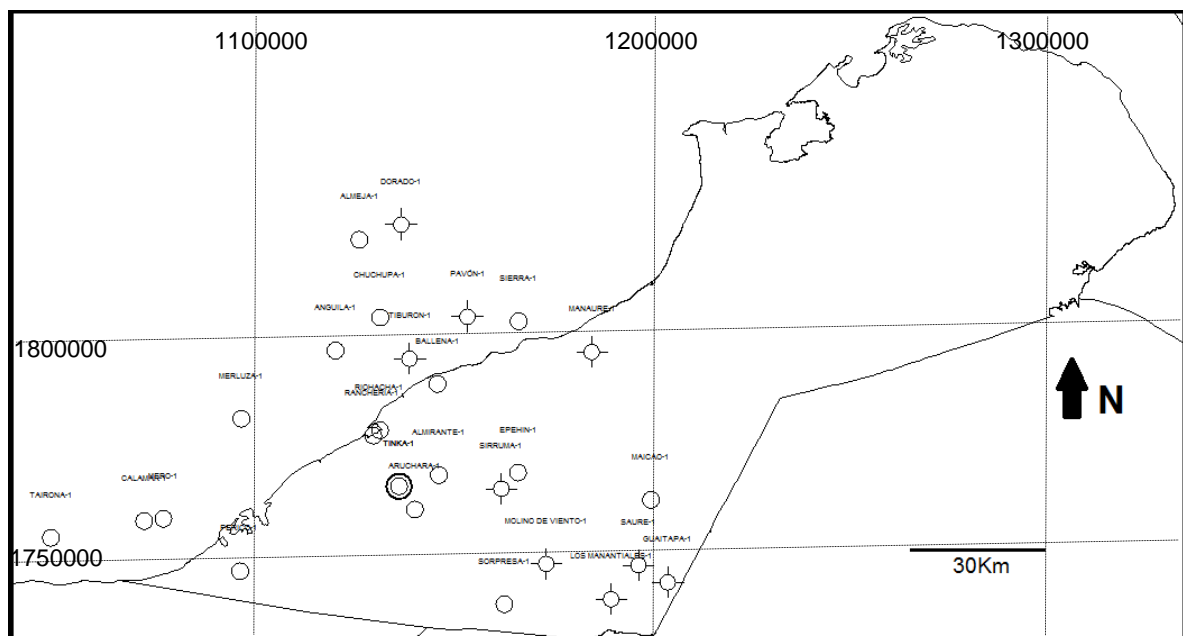


## 2.2 INFORMACIÓN GEOLÓGICA

En este proyecto se usaron datos consignados en el informe realizado por el grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones: Evolución Térmica de la Subcuenca de la Baja Guajira, para Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), en el año 2008.

### 2.2.1 Información de Pozos

En total se utilizó información general de pozos ubicados en el área de la Subcuenca, tanto de onshore como offshore. Para efectos de calibración de modelo geoquímico se usó únicamente la información registrada en dos (2) de los pozos, ubicados en la región onshore de la subcuenca. Todos los datos usados fueron suministrados por el grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones, UIS, 2008. Figura 2.



**Figura 2.** Ubicación de los pozos utilizados. **Fuente:** Grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones.

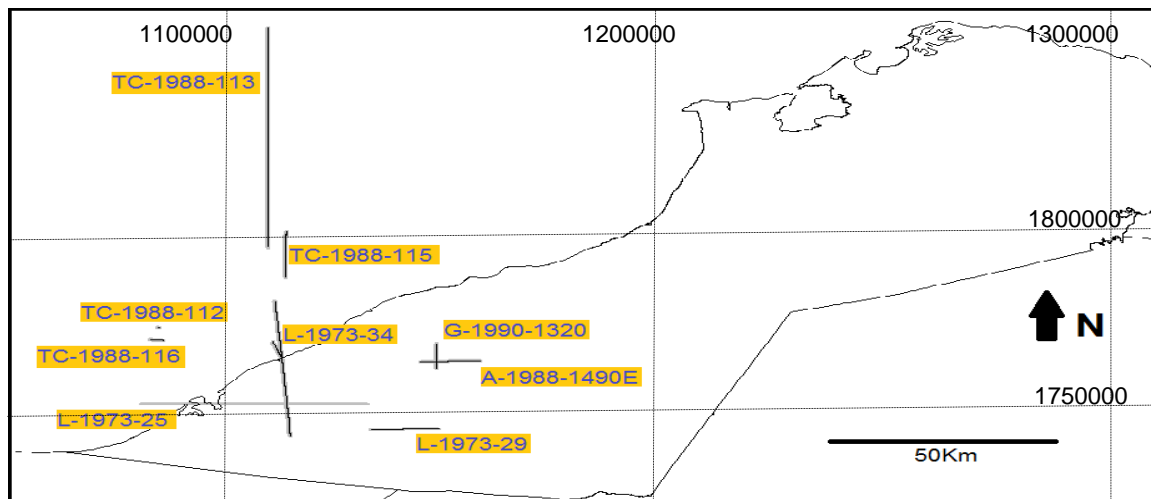


## 2.3 INFORMACIÓN SÍSMICA

En la realización de este proyecto se utilizó información de diez (10) líneas sísmicas 2D, pertenecientes a proyectos sísmicos diferentes, abarcando una parte significativa de la subcuenca integrando offshore y onshore, las cuales fueron proporcionadas por el Grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones, UIS. Tabla 1 y figura 3.

PROGRAMA SÍSMICO	LÍNEA SÍSMICA	ONSHORE	OFFSHORE
MAICAO 1969	L-1973-25	X	X
MAICAO 1969	L-1973-29	X	
MAICAO 1969	L-1973-34	X	X
CAMARONES 1988	TC-1988-112		X
CAMARONES 1988	TC-1988-113		X
CAMARONES 1988	TC-1988-115		X
CAMARONES 1988	TC-1988-116		X
ARUCAHARA 1989	A-1988-1490E	X	
GUAJIRA 1990	G-1990-1320	X	

**Tabla 1.** Programas y líneas sísmicas usadas. **Fuente:** Grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones.



**Figura 3.** Localización líneas sísmicas usadas. **Fuente:** Grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones.



## **2.4 INFORMACIÓN GEOQUÍMICA**

Al igual que la información sísmica y de pozo, los datos de geoquímica fueron suministrados por el grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones, gracias al convenio con la Agencia Nacional de Hidrocarburos, algunos de ellos usados en García et al. 2008, otros de archivos propios del Grupo de Investigación.

## **3. ANTECEDENTES DE LA SUBCUENCA BAJA GUAJIRA**

### **3.1 PROSPECTIVIDAD DE HIDROCARBUROS.**

En la subcuena Baja Guajira se descubrieron en 1973 dos campos de gas: Campo Ballena, el cual se encuentra en el continente, y el Campo Chuchupa, el cual se encuentra sobre plataforma continental, pero se ubica mar adentro. Un tercer campo llamado Riohacha, el cual debido a su baja producción se considera de menor importancia, (Rodríguez y Londoño, 2002).

La prospectividad de la subcuena se basa en los análisis geoquímicos que muestran gran potencial de generación de gas de origen termogénico en unidades Paleógenas y Neógenas dentro de los campos Chucupa y Ballenas, así como aceites de origen posiblemente Cretácico en muestras del Pozo Aruchara-1, en muestras de Piston Core en la parte de costa afuera (offshore), en micro rezumaderos de la parte sur de la subcuena Baja Guajira y en núcleos impregnados de crudo de la Formación La Luna en un pozo exploratorio en la parte este de la subcuena. (ANH, 2010, sitio web).



García *et al.*, 2008, definen basados en Rangel *et al.*, 2003, Ramirez (2006) y Barrero *et al.*, 2007., los componentes de los sistemas petrolíferos presentes o identificados en la subcuenca Baja Guajira, tal y como se señala a continuación:

- ❖ **Roca fuente:** En la subcuenca Baja Guajira se identifican dos sistemas petrolíferos, teniendo así como rocas generadoras del Cretácico las Formaciones La Luna y Guaralamai (Formación Colón), y como rocas fuente del Neógeno las Formaciones Siamana, Uitpa y Jimol.
- ❖ **Roca reservorio:** Para el Cretácico en la subcuenca Baja Guajira se consideran como rocas reservorio: El Grupo Cogollo, que contiene shales, limolitas arcillosas con calizas limo arenosas interestratificadas, y la Formación la Luna, que se constituye de calizas interestratificadas y chert intercalados con capas delgadas de calizas negras.
- ❖ **Trampa:** En base a Barrero *et al.* (2007), las trampas de edad Cretácica son de tipo estratigráfico, mientras que las del Neógeno son de tipo estructural, asociadas a fallas de cabalgamiento y fallas verticales con desplazamiento lateral.
- ❖ **Roca sello:** Para el cretácico se propone como roca sello las intercalaciones de shales de la Formación Guaralamai, y para el Neógeno se han propuesto intercalaciones de shales de las Formaciones Siamana, Uitpa, Jimol y Castilletes.
- ❖ **Roca de sobrecarga:** En la subcuenca Baja Guajira se asume toda la secuencia de rocas que suprayacen a las rocas fuente, esto es, las Formaciones Guaralamai, Macarao, Siamana, Uitpa, Jimol y Castilletes.



- ❖ **Sistema Petrolífero:** Como se señaló anteriormente, en la subcuenca Baja Guajira se han propuesto dos sistemas petrolíferos: 1) Sistema Cretácico inferior – Cretácico superior, en el cual se encuentran como rocas generadoras el Grupo Cogollo y las Formaciones La Luna y Guaralamai, como rocas reservorio el Gripo Cogollo y la formación La Luna. 2) Sistema Neógeno, en el que las rocas generadoras son de las formaciones Siamana, Uitpa y Jimol, como rocas reservorio las Formaciones Uitpa y Jimol.

### 3.2 ORIGEN DEL GAS NATURAL EN LA SUBCUENCA BAJA GUAJIRA.

Según García et al. 2008, en la subcuenca Baja Guajira no se ha reportado la presencia de rezumaderos, aunque si se reportan algunos micro-rezumaderos con concentraciones de crudo de 700ppm. La mayoría de ellos manifiestan concentraciones superiores a 80% de resinas más asfaltenos y concentraciones muy bajas de hidrocarburos saturados, poco menores de 10%, con gravedades API bajas, menores a 10%. Algunas excepciones se observan en las localidades de Aruchara y Chivo Mono, donde se observan concentraciones altas de hidrocarburos saturados, hasta 70%, los cuales pueden indicar proximidad a zonas de carga.

De acuerdo con Rangel et al. (2001) (en García et al, 2008), los resultados de cromatografía de gases y biomarcadores indican para todos los aceites estudiados, que la roca fuente fue depositada en un ambiente marino anóxico relativamente distal, siliciclástico con influencia carbonática, así como el tipo de materia orgánica predominante es kerógeno tipo II, de tipo algal. El perfil de cromatografía de gases y biomarcadores es relativamente homogéneo en todos los micro-rezumaderos, indicando que corresponden a una misma familia de crudos y asociados a una única roca fuente de hidrocarburos (García et al. 2008).

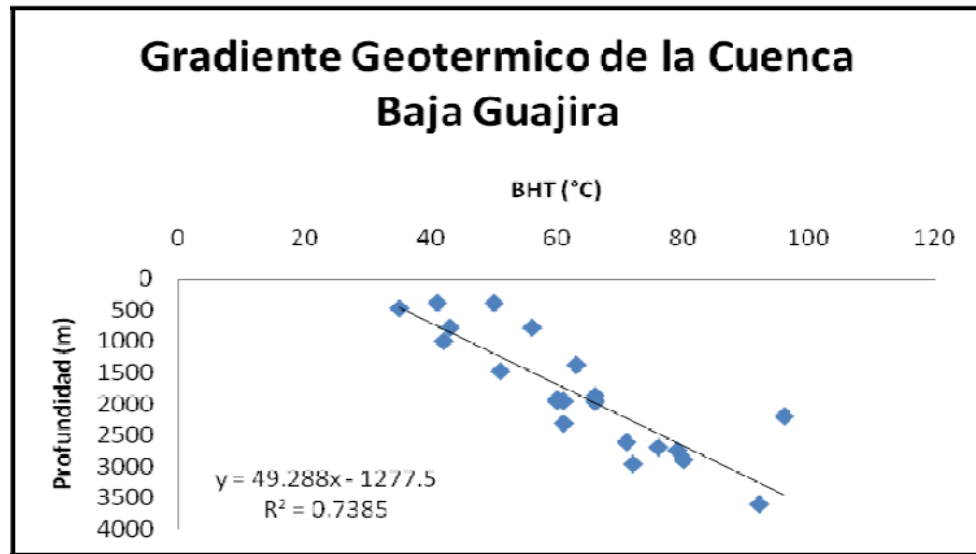


Según Rangel et al. (2003) la composición isotópica de  $^{13}\text{C}$  en los campos gasíferos de Ballena y Riohacha es muy baja, típico de gases de origen bacterial. Por otra parte, la composición isotópica en el campo gasífero Chuchupa indica un origen mixto de gases de origen bacterial y de origen termogénico.

### 3.3 HISTORIA PALEO TERMAL.

El Grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones realizó la reconstrucción de la historia paleotermal de la subcuenca Baja Guajira por varios métodos, uno de ellos calculando el gradiente geotérmico y flujo de calor actuales de la subcuenca.

En García et al. (2008), el gradiente geotérmico fue calculado a partir de las temperaturas de fondo de pozo (BHT) registradas a diferentes profundidades, reportadas en datos de algunos pozos de la subcuenca, en la **figura 4** se puede observar el gradiente geotérmico obtenido graficando dichas temperaturas versus la profundidad, donde se observa que la temperatura superficial actual es de  $31^{\circ}\text{C}$  y un comportamiento lineal en el gradiente geotérmico, como lo indica la correlación  $R^2= 0.7385$ , lo cual equivale a un valor de  $59.7^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ , relativamente alto con respecto a otras cuencas colombianas. Se interpreta que este valor elevado de temperatura es debido al flujo de calor alto a nivel de basamento cristalino y las bajas conductividades térmicas de las rocas sedimentarias del Paleógeno y Neógeno.



**Figura4.** Gradiente geotérmico de la subcuenca Baja Guajira, *García et al.* (2008).

Para el cálculo del flujo e calor actual, *García et al.* (2008), utilizaron

La ecuación de Fourier establece que:

$$T_z = T_o + q \sum \frac{x}{\lambda}$$

En donde:

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

$T_o$  corresponde a la temperatura superficial (K)

$q$  es el flujo de calor  $W/m^2$

$x$  es el espesor de la unidad litoestratigráfica (m)

$\lambda$  corresponde a la conductividad térmica  $W/K/m$

$$q = (T_z - T_o) / \sum \left( \frac{x}{\lambda} \right)$$

El resultado obtenido para flujo de calor utilizando la ecuación de Fourier para la subcuenca Baja Guajira es de  $50.5 \text{ mW/m}^2$ .



#### 4. 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 desligo 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 premesozoica (Irving, 1971).

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. García González y otros 2008.

## **5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

La subcuenca Baja Guajira se encuentra afectada por dos sistemas de fallas regionales de rumbo (Figura 5.), que a la vez la limitan al norte y sur, respectivamente:

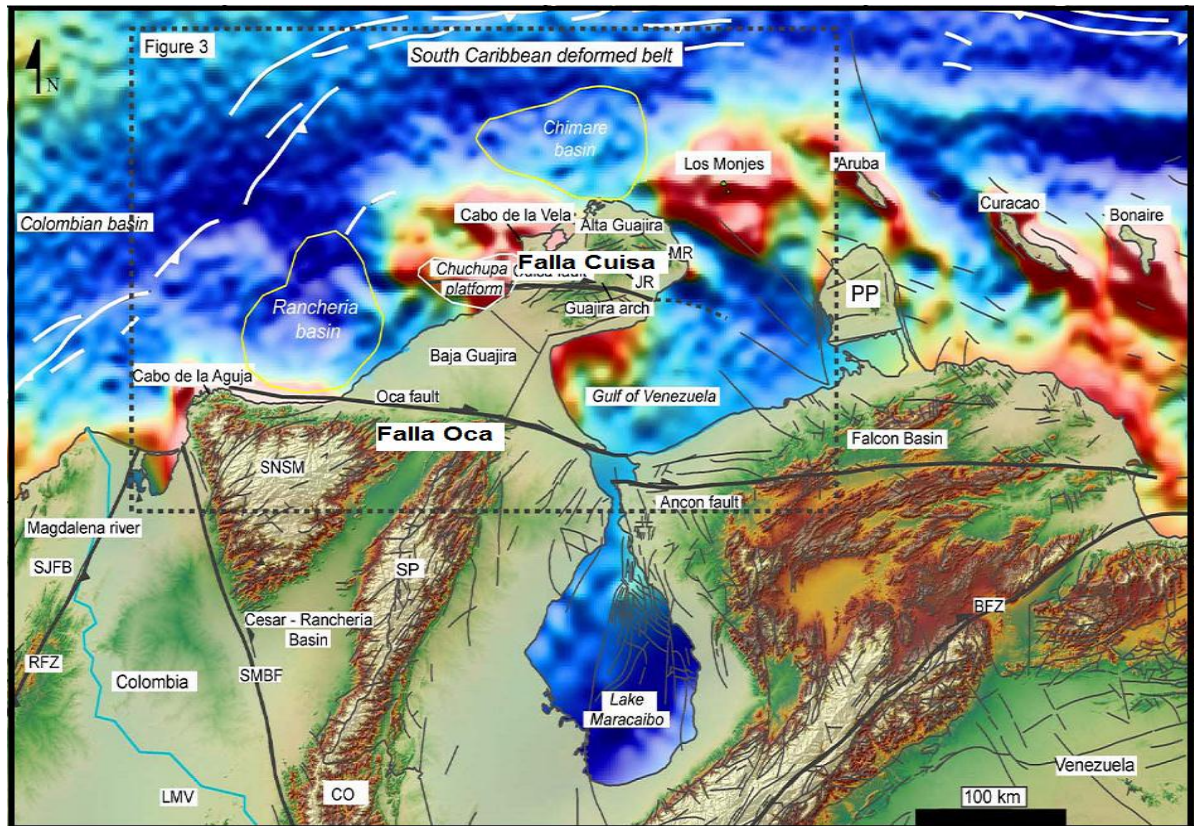


Figura 5. Fallas de la subcuenca Baja Guajira, Vence 2007.

## 5.1 FALLA CUISA

Es la segunda falla más importante en la subcuenca Baja Guajira y corresponde a su límite norte, separando la Baja Guajira de la subcuenca Alta Guajira. Paralela a la falla de Oca, la falla de Cuisa es una falla de rumbo dextral “right-lateral strike slip” con dirección Este-Oeste (E-W) que se extiende 80Km al este del offshore de la parte norte de la península de la Guajira, en la parte continental, en el lado más oriental, la falla cambia su orientación este-sureste (Vence, 2008). La falla corresponde al límite norte de la serranía de Cocinas, donde separa rocas metamórficas cretácicas, pre-mesozoicas y sedimentos cenozoicos presentes en el bloque norte de la falla, de rocas metamórficas cretácicas, pre-mesozoicas y sedimentos mesozoicos del área de Cocinas (Rodríguez, G. y A.C. Londoño, 2002).



## 5.2 FALLA OCA

Esta es la falla más importante del sistema E-W a NW presente en la península de la Guajira, 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, en García et al. 2008). El movimiento de la falla se encuentra relacionado con el empuje de la Placa Caribe que subduce al continente. (Torres, 2008).

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, (García et al. 2008, ANH)

Durante el Mioceno tardío - Plioceno se presenta la mayor complejidad tectónica de la región debido a la interacción de dos estilos estructurales diferentes; un tipo compresivo asociado a la Orogenia Andina, representado al sur de la Falla Oca por el levantamiento de la serranía de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, y otro de deslizamiento de rumbo, representado al norte de la misma por los plegamientos y fallamientos en echelón en la cuenca de La Baja Guajira; allí, el movimiento dextro lateral es al menos de 40 km, medidos a partir del desplazamiento de la Formación Monguí (Ortiz *et al.* 1993, en Rodríguez, G. y A.C. Londoño, 2002).



## 6. ESTRATIGRAFÍA

Las unidades sedimentarias que afloran en la zona de estudio Subcuenca Baja Guajira comprenden edades desde el Jurásico Inferior hasta el reciente, abarcando ambientes de depósito continental y marino. Los estudios más relevantes de la estratigrafía y sedimentología de las unidades presentes en la Baja Guajira fueron realizados por INGEOMINAS y otros autores los cuales se compilaron en la Memoria del Mapa Geológico del Departamento de la Guajira, publicado por INGEOMINAS en 1972 y 2002.

De acuerdo a los estudios de Maya & González (1998), se ha dividido La Baja Guajira en tres bloques geológico-estructurales, los cuales son:

- El área del Norte de la Falla de Oca.
- El área entre las fallas de Oca y Bucaramanga Santa Marta,
- Una Zona que comprende la serranía del Perijá y el Norte del Valle de los Ríos Cesar y Ranchería.

Según trabajos anteriores, para la subcuenca Baja Guajira, los afloramientos son escasos, por lo cual el conocimiento Geológico se basa en la interpretación de datos del subsuelo obtenidos mediante las perforaciones de pozos. Desde la exploración de hidrocarburos, las posibles rocas fuente de crudo se asocian básicamente al Cretácico (Grupo Cogollo, Formación La Luna y Formación Guaralamai).

Los sedimentos Cretácicos, cubren aproximadamente 10% de la superficie de la cuenca. La Formación Guaralamai está constituida principalmente por una secuencia de lodolitas intercaladas con areniscas y calizas, su ambiente de depositación varía entre continental y plataforma externa. La Formación Castilletes del Mioceno Superior ha sido considerada tradicionalmente como generadora del gas biogénico en la cuenca.



	EPOCA	UNIDAD	ESPESOR M	
Q	HOLOCENO			
	PLEISTOCENO			
	PLIOCENO	Fm Gallinas		
TERCIARIO	MIOCENO	Fm Castilletes	692	
		Fm Jimol	940	
		Fm Uitpa	342	
	OLIGOCENO	Fm Siamana	302	
	EOCENO	Fm Macarao	>253	
	PALEOCENO			
	MAAST			
CRETACICO	CAMP	Fm Colón o Guaralamai	>500	
	SAN			
	CON			
	TUR	Fm La Luna	79-130	
	CEN	Fm Maraca		
	ALB	Gr Cogollo Fm Cogollo Inferior	>700	
	APT			
	BARR	Gr Yaruma Fm Yaruma Sup		
	HAU	Fm Moina	50-350	
	VAL	Fm Palanz (Pezacho)	400-1300	
	BERR	Fm Ipapure	70	
	JURASICO	SUP	Gr Cocinas Fm Jipi (Cuisa)	50-200
		MED	Fm Chinapa	664-1177
INF		Fm Caju	992	
		Fm Cheterio	1285	
TRIASICO	SUP	Fm Uitpana	>253	
	INF	Fm La Quinta		

**Figura 6.** Columna Estratigráfica Generalizada de la Subcuenca Baja Guajira.  
Tomado de Rangel y otros (2002).



A continuación se menciona la descripción de las Formaciones presentes en la Subcuenca Baja Guajira. Se mencionan las Formaciones que comprenden el pozo Tinka-1 presente en la línea sísmica L-1973-34 utilizada para realizar el modelo geoquímico.

## DESCRIPCIÓN DE UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

### 6.1 CRETÁCICO

#### 6.1.1 Formación La Luna (K2I)

a. Autor.

Hedberg & Sass (1937, en Julivert, 1968) denominan Formación La Luna a las calizas de La Luna descritas por Garner (1926, en Julivert, 1968) en la serranía de Perijá en Venezuela. Renz (1960, en Julivert, 1968) utiliza este mismo nombre para agrupar las rocas calcáreas que afloran en La Guajira. La sección tipo de esta unidad se encuentra en la quebrada La Luna en territorio venezolano.

b. Localidad sección tipo.

La Formación La Luna aflora en la parte este de la serranía de Macuira, 2 km al sur de la población de Paráuinkrein 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 a; Ujueta & Llinás, 1990).

c. Descripción litológica.

Está constituida principalmente por calizas petrolíferas con foraminíferos, chert negros y hacia el tope una delgada capa de conglomerado. Las calizas con foraminíferos son de color negro, de grano fino, finamente estratificadas y



laminadas, bituminosas, densas y piríticas suprayacidas por una secuencia de chert de color negro, con estratificación fina, las cuales se presentan intercalados con algunas capas delgadas de calizas negras. Las calizas negras presentan 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 (Rollins, 1965).

d. Espesor y contactos.

El espesor en el área de La Guajira varía de 79 m (Rollins, 1965) y 81 m (Renz, 1956, en Rollins, 1965) en el área al noroeste de la Flor de La Guajira a 130 m, 30 km al noreste de punta Espada (Renz, 1956, en Rollins, 1965).

La base de la Formación La Luna se encuentra hacia la base de una sucesión de calizas finas con foraminíferos que reposan sobre calizas masivas con *Exogyra* del Grupo Cogollo y el techo se localiza, de manera arbitraria, en la parte superior de la capa de 20 a 30 cm de conglomerado de guijarros de caliza que descansa sobre las calizas típicas de La Luna e infrayace las calizas shaley de la Formación Guaralamai (Rollins, 1965).

La Formación La Luna se encuentra en contacto concordante con las rocas de Grupo Cogollo y es suprayacida por 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 (Rollins, 1965).

e. Edad.

Con base en el abundante contenido de microfauna se ha asignado una edad cretácica tardía, en el rango Turoniano - Santoniano para la Formación La Luna (Rollins, 1965).



f. Ambiente de depósito.

Según Rollins (1965), el ambiente de depósito de la Formación La Luna probablemente fue una cuenca cerrada con aguas estancadas en un fondo deficiente en oxígeno, y 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 sulfhídrico, sedimentación pelágica y la conservación de la materia orgánica.

g. Correlaciones.

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 (Julivert, 1968).

### **6.1.2 Formación Guaralamai (K2g)**

a. Autor.

Renz (1959 en Julivert, 1968) denomina Formación Guaralamai a los materiales cretácicos que suprayacen la Formación La Luna.

b. Localidad sección tipo.

La sección tipo de la parte inferior de la formación se localiza cerca a la población de Guaralamai y la parte superior, a 25 km de este mismo sitio; la base de la formación la constituyen calizas gris oscuro que reposan sobre la Formación La Luna y la parte superior se encuentra fallada (Renz, 1959, en Julivert, 1968); alcanzan un espesor total de 490 m (Renz, 1956 en Rollins, 1965).



Aflora al noroeste de la Población de La Flor de La Guajira y al norte y noroeste de la población de Moyojoy, al norte, en la región de punta Espada, donde Renz (1956, en Rollins, 1965) reporta pequeños afloramientos de esta formación.

c. Descripción litológica.

La Formación Guaralamai está constituida por calizas y shales. Las calizas son finas, algunas capas son más densas y de color negro, de color gris a pardo oscuro, limosas, laminadas y algo arenosas, 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 (Rollins, 1965).

d. Espesor y contactos.

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.

e. Edad.

Dentro de las calizas de esta unidad, hacia la base se han encontrado impresiones de amonites pobremente preservados y algunos restos de pelecípodos Rollins (1965) le asigna una edad de Campaniano.

f. Ambiente de depósito.

Rollins (1965) plantea que el ambiente de depósito de la Formación Guaralamai es marino poco profundo donde prevaleció la depósito arcillosa. Durante la sedimentación alternaron períodos donde predominaron condiciones calcáreas



con depósito de calizas arcillosas y condiciones clásticas durante las cuales se depositaron los shales.

*g. Correlaciones.*

Rollins (1965) correlaciona 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.

## **6.2 TERCIARIO**

De acuerdo a los estudios de las Perforaciones en la baja Guajira de la Asociación Nazareth, realizados por TEXAS Petroleum Company (1998 y 1998), durante el Cretáceo Tardío y el Terciario Temprano una gran orogenia ocurrió, la cual causo un marcado cambio en las condiciones de depósito en la Guajira.

### **6.2.1 Formación Macarao (E2m)**

*a. Autor.*

Rollins (1965) utiliza el nombre de Formación Macarao para agrupar las areniscas pardas oscuras, arcillas grises y calizas de tonos claros que afloran en los alrededores de la población de La Flor de La Guajira.

*b. Localidad sección tipo.*

La sección tipo se localiza a 1,5 km al noroeste de La Flor de La Guajira, la base se ha definido en el nivel de arcillolitas seleníticas ligeramente carbonosas, que reposan discordantemente sobre calizas altamente resistentes del Cretácico y el techo está determinado por la discordancia angular que la separa de la Formación Siamaná del Oligoceno o de la Formación Castilletes del Mioceno - Plioceno.



c. Descripción litológica.

Esta formación está constituida, hacia la base, por arcillas limosas, seleníticas, ligeramente carbonáceas, de color gris claro, suprayacidas por bancos de areniscas glauconíticas de grano fino, micáceas, finamente estratificadas, con intercalaciones de arcillas; hacia el tope las areniscas gradan a calizas arenosas, arcillosas, limoníticas, de color pardo a pardo oscuro, fosilíferas con Ostrea y Venericardia, y gradan a calizas puras, pardas, masivas, densas y fosilíferas. Cuando la glauconita presente en las areniscas se meteoriza, forma un cemento limonítico muy resistente que produce costras quebradizas de color Pardo oscuro (Rollins, 1965).

d. Espesor y contactos.

La Formación Macarao suprayace la Formación Guaralaimai y las formaciones antiguas por una discordancia angular de ángulo alto y es suprayacida, en discordancia angular, por la Formación Siamaná del Oligoceno y por la Formación Castilletes del Mioceno - Plioceno (Rollins, 1965).

El espesor de esta formación es 253 m, aproximadamente, en una sección parcial, ya que en la sección tipo se presentan problemas estratigráficos y estructurales (Rollins, 1965).

e. Edad.

La presencia en las capas de calizas arenosas de microfaunas permiten asignar una edad eocena para esta formación (Rollins, 1965).

f. Ambiente de depósito.

Según Rollins (1965), la Formación Macarao fue depositada bajo condiciones marinas poco profundas en una bahía. Para este autor, las calizas fueron depositadas probablemente costa afuera como bancos de corales y las arenas y arcillas en las lagunas traseras.



g. Correlaciones.

La correlación de la Formación Macarao con formaciones en la cuenca de Maracaibo, especialmente con la Formación Guasabe, es dudosa; sin embargo, puede ser equivalente a la Formación La Sierra en el flanco oriental de la serranía de Perijá (Rollins, 1965).

## 6.2.2 Formación Siamaná (E3s)

a. Autor.

La Formación Siamaná fue definida por Renz (1960, en Rollins, 1965) en la serranía de Cosinas, cerca a la población de Siamaná y donde se encuentra la localidad tipo cerca a Siamaná.

b. Localidad sección tipo.

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 Parajimaruahu, Ichipa y Anteshiruhu. En la serranía de Jarara cerca al cerro Karairapiau y en la base del cerro Jimol (Renz, 1960, en Rollins, 1965), Uitpa y en el arroyo Koushotpa. En la serranía de Simarúa al sureste del municipio de Taparajín y en la serranía de Cosinas al oeste y noroeste de la población de la Flor de La Guajira La Formación Siamaná presenta numerosos cambios de espesor y de facies que se reflejan en su litología.

c. Descripción litológica.

La Formación Siamaná está constituida por calizas arenosas, calizas arrecifales, calizas margosas, margas y shales arcillosos. La base se ha fijado en un conglomerado basal de espesor variable que reposa Discordantemente sobre las formaciones Macarao o más antiguas y el tope en los niveles de shale arcilloso de



color pardo a gris claro por debajo de la base de la Formación Uitpa (Rollins, 1965).

Está constituida por calizas arenosas, de color anaranjado amarillento a pardo amarillento, calizas arrecifales, calizas margosas, margas y shales arcillosos de color gris claro a pardo amarillento (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. 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 que 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. Las margas son blandas, generalmente fosilíferas, en parte arenosas y en la parte baja de la formación son algo conglomeráticas (Rollins, 1965).

En la base de la formación se presentan conglomerados calcáreos en pequeños lentes, aunque su espesor es variable en otras zonas como en Siamaná, donde son más gruesos y margosos (Rollins, 1965). Su composición varía de un lugar a otro, cuando se encuentran cerca de las rocas metamórficas los clastos son de neis, esquistos, rocas graníticas y cuarzo, mientras que en otras zonas, como en el área de Simarúa, predominan clastos de rocas calcáreas, chert y areniscas, lo cual indica la dirección noreste de las corrientes en la cuenca. La selección de los clastos y su redondez varían, en la parte noreste de la zona de Jarara, los clastos son bien redondeados y seleccionados, y en el suroeste, son subangulares y con pobre selección.



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).

d. Espesor y contactos.

Cerca a la población de Siamaná, donde se encuentra la localidad tipo tiene un espesor de 430 m; Rollins (1965), en la misma región, reporta un espesor de 302 m y en la localidad de Uitpa, 247 m.

La Formación Siamaná suprayace inconforme las rocas metamórficas que afloran en las serranías de Macuira, Jarara, Simarúa y Cosinas, excepto en el borde occidental de la serranía de Jarara, donde el contacto es fallado, y se encuentra en discordancia angular sobre las rocas mesozoicas y eocenas (Rollins, 1965). Esta unidad es suprayacida en contacto ligeramente inconforme en algunas zonas por la Formación Uitpa y en otras el contacto es gradacional.

e. Edad.

Con base en la microfauna encontrada, *Miogypsinella complanata*, Renz (1960, en de Porta, 1974) asigna una edad oligocena media, y discute que la parte inferior de la formación puede representar el Oligoceno inferior; mientras que para Lockwood (1965) a partir de la presencia de *Globorotalia opima opima* y *Globigerina ciperensis ciperensis*, en las lodolitas de la parte superior, la formación sería del Oligoceno superior. Para Rollins (1965), las asociaciones faunísticas y la posición estratigráfica de la Formación Siamaná indican que ésta pertenece al Oligoceno.



f. Ambiente de depósito.

Para Rollins (1965), 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, mientras que en la zona de Uitpa, el contenido de *Globigerina ciperoensis* indica condiciones ligeramente más profundas (Rollins, 1965).

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).

g. Correlaciones.

Esta formación es correlacionable, en parte, con la Formación Guacharaca en territorio venezolano (Rollins, 1965).

### 6.2.3 Formación Castilletes (N1c)

a. 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. Según Renz (1960, en de Porta, 1974), la sección tipo de esta formación corresponde a la zona entre Guaro y la Falla Alas y entre la bahía de Tucacas y la Falla Tucacas, allí su espesor fue calculado entre 850 y 900 m, pero para Rollins (1965) en esta misma zona el espesor es de 692 m y éste disminuye tanto hacia el norte como hacia el sur (de Porta, 1974). En esta unidad se incluyen las formaciones Taroa, Orocho y Gallinas definidas por Thomas (1972)



entre bahía Portete y Chichibacoa, punta Gallinas y en los alrededores de la población de Orocho, parte suroeste de la serranía de Cosinas.

*b. Localidad sección tipo.*

La Formación Castilletes aflora rodeando la franja costera de la península de La Guajira, desde el municipio de Castilletes a partir de donde se interna en territorio colombiano el extremo sureste de la serranía de Cosinas. Está constituida hacia la parte inferior por rocas calcáreas y hacia la parte superior por arcillas. Las calizas son de color pardo amarillento a pardo grisáceo, margosas, arcillosas, arenosas, de textura gruesa, fosilíferas y algo duras con algunas intercalaciones de areniscas calcáreas. Las arcillolitas varían de color entre pardo, pardo amarillento, gris y gris verdoso, son limosas y localmente arenosas.

*c. Descripción litológica.*

Descripciones de Rollins (1965) indican que la Formación Castilletes descansa conforme sobre la Formación Jimol. Su contacto superior no está expuesto, pero es probablemente discordante con las rocas del Pleistoceno y sedimentos recientes. Rollins (1965) plantea que la Formación Castilletes se depositó en un ambiente marino muy poco profundo.

De acuerdo a los Informes de las Perforaciones en la baja Guajira de la Asociación Nazareth, realizados por TEXAS Petroleum Company (1998 y 1998), la Formación Castilletes esta dividida en la unidad Inferior y Superior. La unidad Inferior es una secuencia de ínter estratificaciones de areniscas calcáreas fosilíferas, lutitas y calizas. Las areniscas y calizas son delecables a resistentes, predominantemente estratificación gruesa y forman colinas suaves alineadas. Abundantes ostreas y gasterópodos ocurren en las calizas y las areniscas. Las calizas son de variables litologías de intraesparitas a bioesparitas con ocasionales niveles delgados de coquinas entre las capas de Mas y arcillolitas. También yeso en forma de venas y cristales aislados ocurren en las lutitas y arcillolitas.



La unidad superior son lutitas yesíferas de color gris y marrón con algunas delgadas capas de coquinas, intraesparita y bioesparita. La mayoría de capas superiores son lenticulares. Yeso secundario es más abundante hacia el tope de la formación.

*d. Espesor y contactos.*

El contacto basal de la formación Castilletes esta colocado al tope de la capa gruesa más superior de arenisca conglomerática calcárea o caliza conglomerática arenosa de la Formación Jimol. Su contacto superior esta enmascarado por arenas eólicas, o el nivel del mar, el espesor medido de esta Formación es de aproximadamente 700m.

*e. Edad.*

Rollins (1965) consideró esta formación como del Mioceno y probablemente Plioceno por posición estratigráfica, ya que no encontró fauna diagnóstica para establecer la edad de la formación, a pesar del abundante contenido de fauna como *Ostrea*, *Pecten*, *Cardium* y microfauna arenácea de la unidad. Posteriormente, Thomas (1972) colectó abundante macrofauna de moluscos y vertebrados fósiles en la Formación Castilletes y con base en ésta la correlaciona con la Formación Cantaure de Venezuela de la parte superior del Mioceno medio.

La microfauna encontrada en la Formación ha sido poco estudiada y está acompañada de algunos restos de peces y fragmentos de artrópodo y su edad corresponde aparentemente al Mioceno medio tardío - Mioceno tardío. La fauna de moluscos reportada permite asignarla al Mioceno tardío, mientras que la fauna colectada en la Formación Gallinas no es diagnóstica para la determinación de la edad y, por lo tanto, su asignación al Plioceno se ha hecho con base en su posición estratigráfica (Thomas, 1972).



f. Ambiente de depósito.

Rollins (1965) plantea que la Formación Castilletes se depositó en un ambiente marino muy poco profundo.

#### 6.2.4 Formación Monguí (N1)

a. Autor.

Mosquera et al. (1976) definen la Formación Monguí para agrupar los sedimentos paleógenos y neógenos que afloran hacia el sur de la Troncal del Caribe, al sur del departamento; toma su nombre de la localidad de Monguí donde se presentan buenos afloramientos. En el departamento 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 cuaternarios.

b. Descripción litológica.

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

c. Edad.

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 miocena 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.





	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 interstratificadas con lodolitas. Localmente biohermas 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.

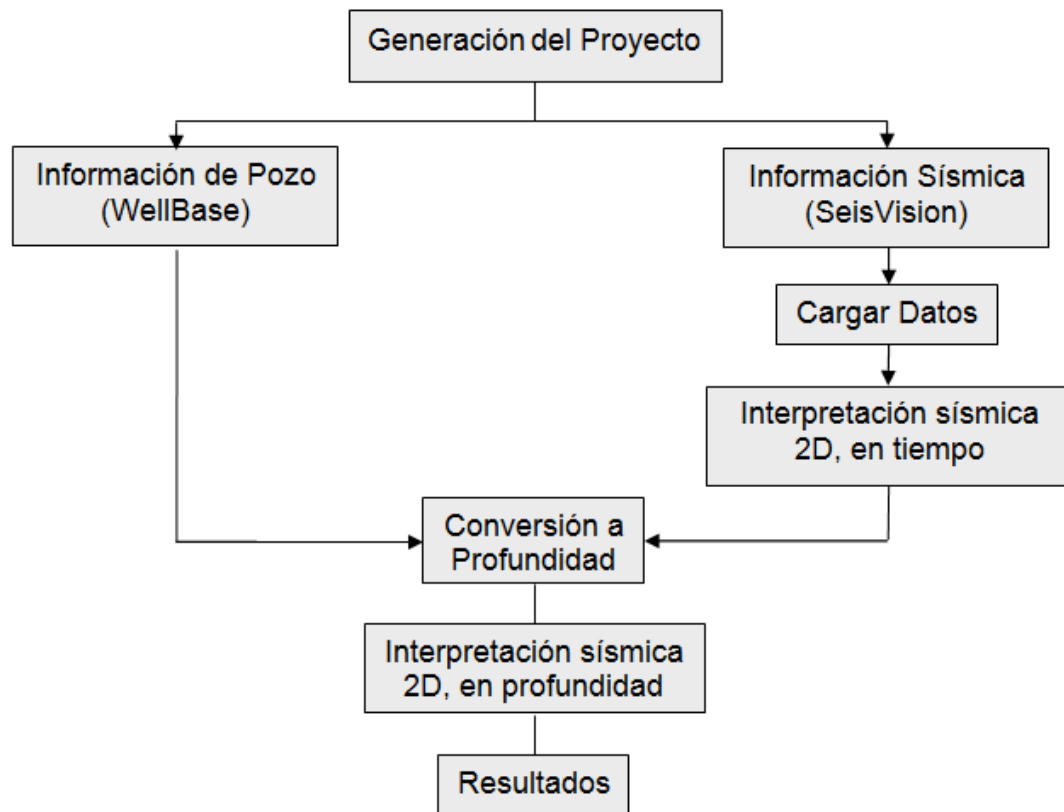
**Figura 8.** Convenciones mapa geológico de la Subcuenca Baja Guajira. Tomado del Atlas Geológico, Gómez *et al*; en García González y otros 2008.

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA

Durante la interpretación sísmica se utilizó el programa GeoGraphix Discovery, de la compañía HALLIBURTON, el cual permite manipular e integrar información sísmica y de pozo facilitando el proceso de interpretación.

Dentro de la plataforma, se utilizaron herramientas, tales como Project Explorer (Proyectos), SeisVision (interpretación sísmica), WellBase (información de pozo), GeoAtlas (Mapas e imágenes). A continuación se hace un breve resumen del procedimiento necesario para realizar la integración de datos dentro del software, para así llevar a cabo una interpretación sísmica adecuada. **Figura 9.**



**Figura 9.** Diagrama de flujo, metodología usada en la carga de datos e interpretación sísmica. Fuente: Autores.

- ❖ Dentro de la plataforma GeoGraphix, en la herramienta Project Explorer se crea un nuevo proyecto llamado “Guajira Mayra-Heidy”, en el cual se cargan las 9 líneas sísmicas 2D seleccionadas previamente.
- ❖ Utilizando la herramienta WellBase, se carga la información de pozo disponible para los pozos cercanos a las líneas sísmicas en la subcuenca Baja Guajira.
- ❖ Adicionalmente, usando la herramienta GeoAtlas se cargo un archivo en formato “Shapefile” de las cuencas de Colombia, encontrado en la página web de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), a fin de conocer los límites de la subcuenca y la línea de costa.



- ❖ La migración de las líneas a profundidad se hace utilizando la herramienta del programa que permite realizar este procedimiento, utilizando las velocidades registradas en los pozos presentes en la subcuenca Baja Guajira, se establece que se haga promediando dichas velocidades (Promedio de velocidades de los registros sísmicos presentes en los diferentes pozos de la subcuenca) y se asigna un valor inicial o velocidad de Datum, de acuerdo a si la línea es offshore u onshore.
- ❖ Se realiza interpretación sísmica (en profundidad) utilizando la herramienta SeisVision.

Caracterizar, identificar y definir las secuencias estratigráficas presentes en la subcuenca se hace con base en principios básicos de estratigrafía sísmica y estratigrafía de secuencias.

### **7.1.1 Facies sísmicas**

La estratigrafía sísmica se aplica a escala tanto de pozo como regional, a escala local es usada para desarrollar yacimientos de petróleo y gas, a escala regional la estratigrafía sísmica sirve para identificar y delimitar unidades de roca, así como para determinar roca fuente y reservorio dentro de una cuenca (Zimmerle, W., 1995).

La interpretación de estratigrafía sísmica se basa en documentar observaciones sísmicas hechas, para esto es necesario identificar los diferentes tipos de reflexiones y sets de reflexiones, su geometría, distribución, continuidad, terminaciones, entre otras. La arquitectura, geometría y características, graban información de los cambios laterales en ambientes depositacionales en respuesta a los cambios del nivel mar y subsidencia (Zimmerle, W., 1995).

Los patrones más importantes a identificar son la configuración y terminaciones de los reflectores, para luego caracterizar las secuencias estratigráficas asociadas a dichos patrones, permitiendo reconstruir la evolución de la cuenca.



### 7.1.1.1 Configuración de los reflectores:

Las facies sísmicas están definidas en base a la configuración, continuidad, amplitud y frecuencia de las reflexiones. La característica más obvia de las facies sísmicas es la configuración de las reflexiones, los cuales dan información sobre patrones que siguen las capas, procesos erosionales y depositacionales, complejos de canales y deformación contemporánea. (Reading. H. G., 1998). Dentro de los principales tipos se encuentran: (De acuerdo a la clasificación de Mitchum, Vail & Sangree, 1997 (Mitchum, Vail & Sangree, 1997, en Reading. H. G., 1998) las reflexiones sísmicas se pueden clasificar de la siguiente manera:

**7.1.1.1.1 Paralelas y subparalelas:** Indican velocidades uniformes de depositación sobre un hundimiento uniforme de plataforma o una cuenca estable, figura 10. Las paralelas pueden ser planas u onduladas.

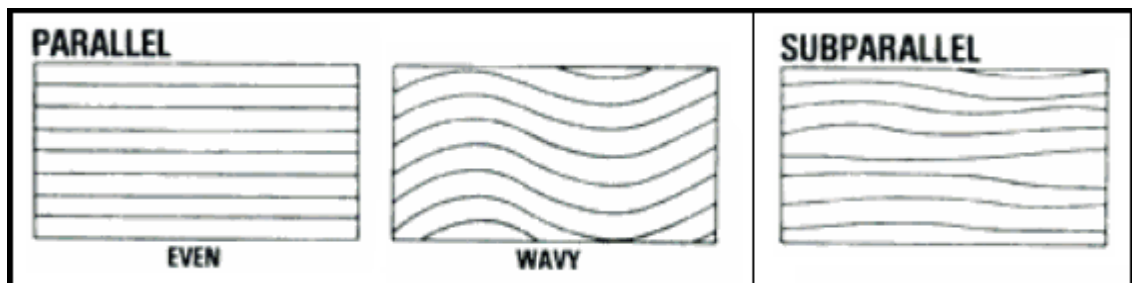


Figura 10. Reflexiones paralelas (planas y onduladas) y subparalelas.

**7.1.1.1.2 Divergentes:** indican variaciones laterales en la velocidad de depositación o inclinación de la superficie de depositación. Figura 11.

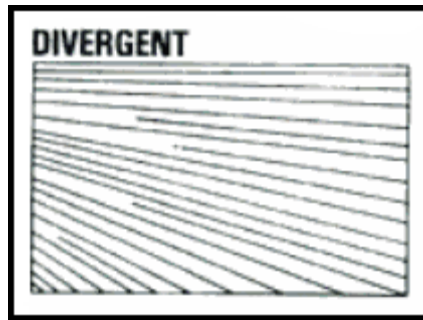


Figura 11. Reflexiones divergentes.

7.1.1.1.3 **Sigmoides:** Se interpreta como una rápida subsidencia en la cuenca, y/o aumento del nivel del mar con respecto a bajo suministro de sedimentos, permitiendo que las capas topset (topset debds) agraden simultáneamente con la progradación foreset, figura 12.

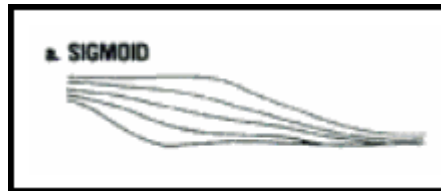


Figura 12. Reflexiones sigmoideas.

7.1.1.1.4 **Oblicuas:** Representan subsidencia relativamente baja en la cuenca, un “still-stand” del nivel del mar y alto suministro de sedimentos, figura 13. Pueden ser tangenciales o paralelas.



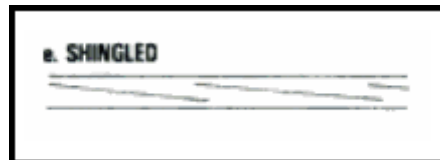
Figura 13. Reflexiones oblicuas.

7.1.1.1.5 **Complejo sigmoidea-oblicua:** Son intercalaciones o alternancias de configuración sísmicas sigmoideas y oblicuas progradacionales, figura 14.



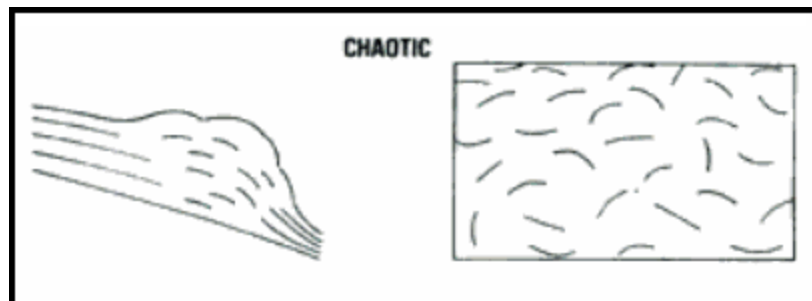
**Figura 14.** Reflexiones complejo sigmoideo-oblicuo.

**7.1.1.1.6 Forma de “tejas”:** Es una configuración similar a la oblicua paralela, excepto que los espesores de la unidad son solo el punto de resolución sísmica y sugieren progradación en aguas someras, figura 15.



**Figura 15.** Reflexiones en forma de “tejas”.

**7.1.1.1.7 Caóticas:** Se presentan en estructuras de deformación contemporáneas, en complejos de canales y zonas de alto plegamiento o de fallas, figura 16.



**Figura 16.** Reflexiones caóticas.

### **7.1.1.2 Terminaciones**

Las terminaciones expresadas por los estratos dentro de una secuencia depositacional se usan para discriminar la ubicación de un marco depositacional



de un Systems Tract (el término se define en la siguiente página) y/o de la geometría de una secuencia a otra (<http://sepmstrata.org/terminology/terminations.html>). Los términos que se relacionan a continuación (truncación, toplap, Offlap, onlap y downlap) son las principales truncaciones identificadas y usadas en la interpretación:

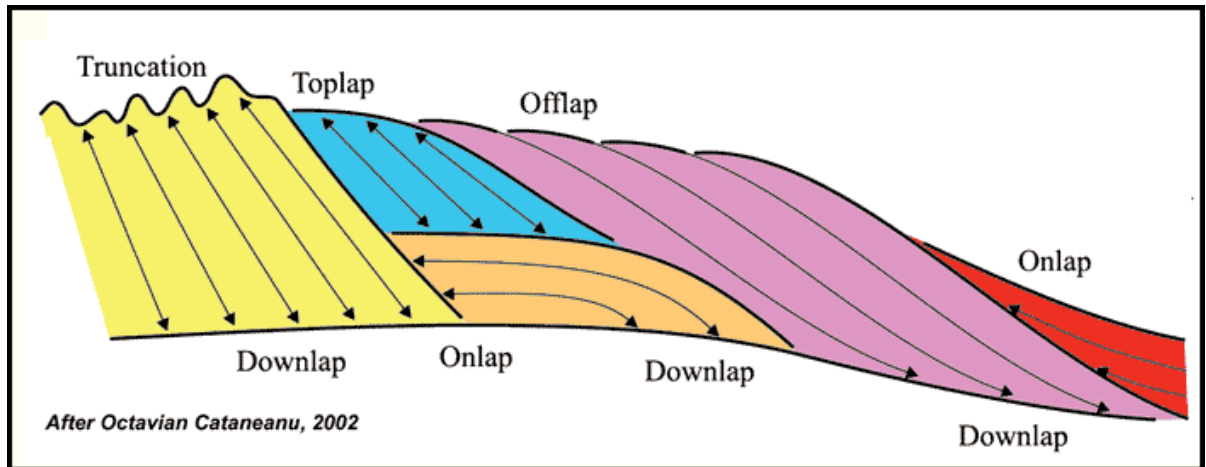
**7.1.1.2.1 Truncación angular:** Es una superficie obvia de erosión, donde reflectores de alto buzamiento “chocan” contra un reflector de menor buzamiento. Figura 17.

**7.1.1.2.2 Onlap:** Es una base discordante en la que reflexiones horizontales terminan progresivamente contra un reflector o superficie de mayor buzamiento o inclinación, ver figura 17.

**7.1.1.2.3 Toplap:** Son las terminaciones de reflexiones contra una superficie suprayacente, principalmente como resultado de no-depositación (sedimentary bypassing) con tal vez poca erosión. Figura 17.

**7.1.1.2.4 Downlap:** La terminación de reflexiones en una base discordante, donde reflexiones inclinados terminan contra una superficie horizontal o inclinada en la parte inferior de la secuencia. Figura 17.

**7.1.1.2.5 Offlap:** Este término es usado por intérpretes sísmicos para patrones de reflexiones generados de estratos progradantes en aguas profundas y terminaciones en cuencas profundas. Figura 17.



**Figura 17.** Terminaciones de los reflectores, tomado de <http://sepmstrata.org/terminology/terminations.html>

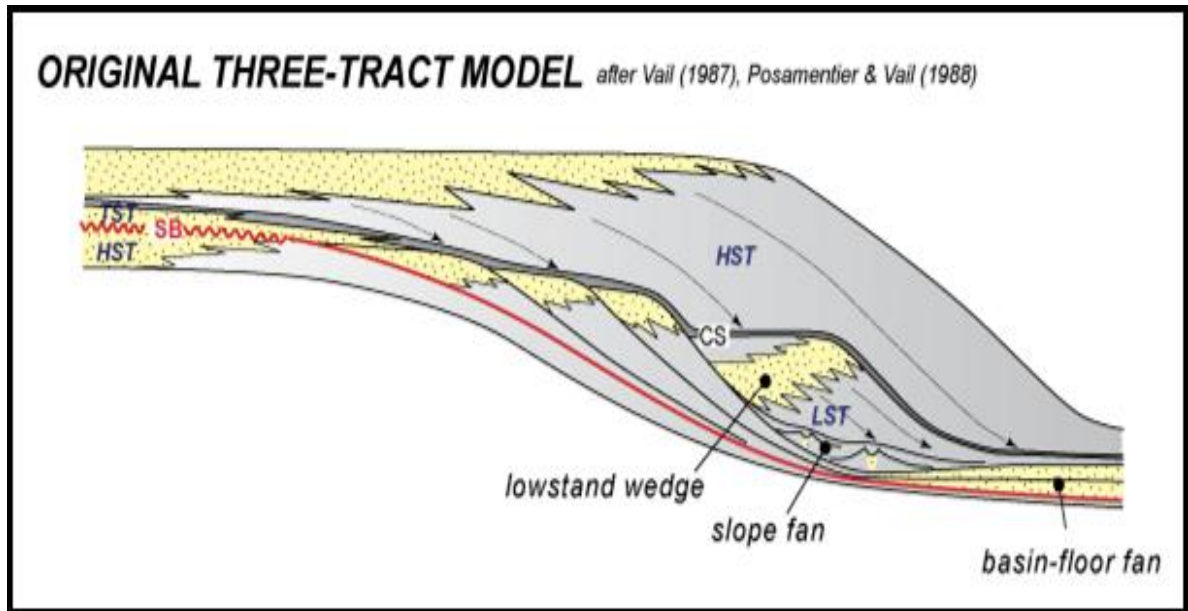
### 7.1.2 Estratigrafía de Secuencias

Las secciones sísmicas proveen los mejores medios para reconocer patrones de “onlap” y “toplap” dentro de una secuencia depositacional (*Vail et al, 1977*), donde se pueden observar aumento o caída significativa del nivel de mar.

Según *Vail, et al.*, un cambio relativo en el nivel del mar es definido como un aparente aumento o caída del nivel del mar con respecto a la superficie de tierra, así, un ciclo de cambio relativo del nivel del mar es definido como un intervalo de tiempo durante el cual un aumento o caída relativos del nivel del mar toman lugar, y se puede reconocer a escala local, regional o local.

#### 7.1.2.1 *Systems Tracts*

La depositación de sedimentos en una cuenca no es uniforme, ni continua, pero ocurre en una serie de paquetes limitados por terminaciones sísmicas, dichos paquetes se conocen como “Systems Tracts”. Figura 18.



**Figura 18.** Modelo generalizado de los Systems Tracts, Kendall, C. G. St. C., en <http://sepmstrata.org/index.html>

Los Systems Tracts se pueden identificar por la naturaleza de sus límites y por los patrones de apilamiento de su estratigrafía interna (Emery and Meyers, 1996) que presentan. De acuerdo a las características que manifiestas y a los ambientes y depositación que representan se pueden clasificar en tres (3): Lowstand Systems Tracts, Highstand Systems Tracts y Transgressive Systems Tracts.

#### 7.1.2.1.1 Lowstand Systems Tracts (LST)

De acuerdo con Maill. A. D, 1997, los LTS se desarrollan sobre el talud continental y la base de la cuenca en intervalos de tiempo en que hay un bajo nivel del mar relativo (caída relativa del nivel del mar), se caracterizan porque pueden contener o desarrollar abanicos de talud (slope fan), abanicos de base de cuenca (basin-floor-fans) y cuñas de lowstand, los cuales consisten de rellenos agradacionales de valles incisivos y una cuña progradacional que puede hacer downlap en



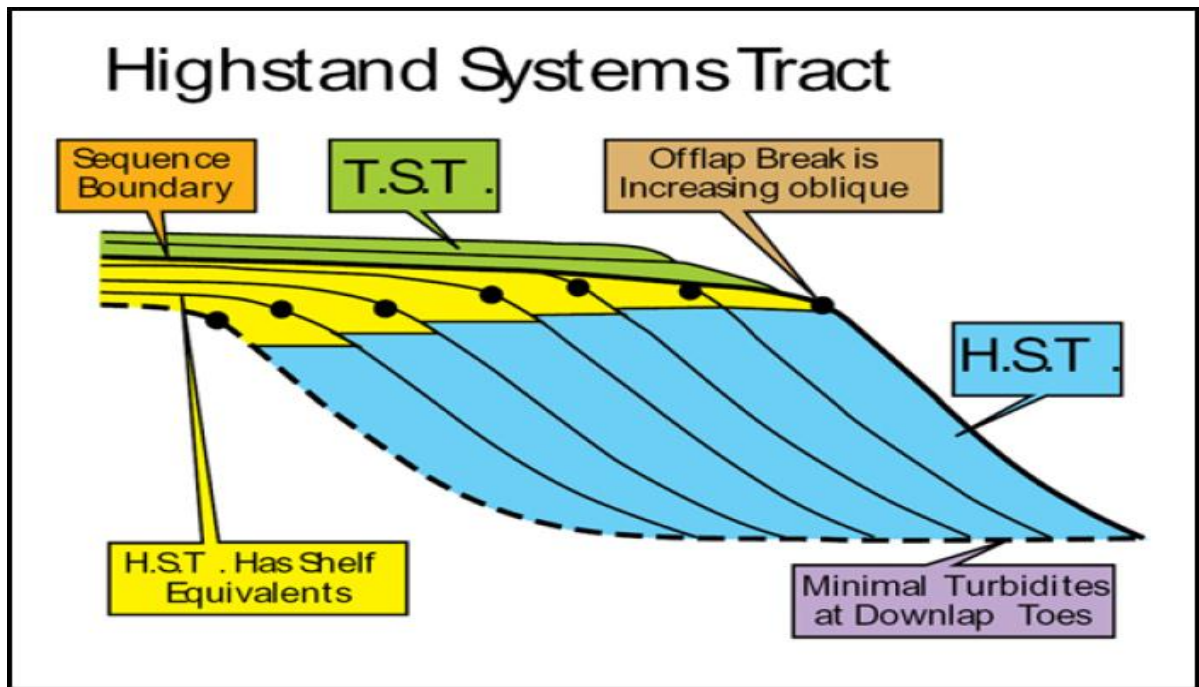
abanicos de piso de cuenca (basin-floor-fan). Hay desarrollo de depósitos de ambientes marinos profundos (turbiditas y depósitos de remoción en masa), así como erosión de sedimentos continentales y de costa. El tope de un LST está marcado por una superficie transgresiva sobre la cual se deposita un “Transgressive Systems Tracts”. Los LST puede contener estratos estuarinos (Van Wagoner, J. C, 1995).

#### **7.1.2.1.2 Transgressive Systems Tracts (TST)**

Los TST se caracterizan porque pueden presentar una delgada sucesión de shales marinos o una sucesión condensada, o puede consistir en una sucesión retrogradacional de depósitos de plataforma, incluyendo shale y areniscas marinas, o carbonatos. (Maill. A. D, 1997). Estas rocas tienen, generalmente, moderada o poca calidad de reservorio, son extensas y se apilan en un patrón retrogradacional (Van Wagoner, J. C , y G.T., Bertram, 1995). El tope de los TST corresponde a la superficie de máxima inundación (mfs), sobre la cual se deposita un “Highstand Systems Tracts” (Maill. A. D, 1997).

#### **7.1.2.1.3 Highstand Systems Tracts (HST)**

En Maill. A. D, 1997 definen los HST como el tope de una secuencia estratigráfica completa, en algunos casos se encuentran erosionadas debido al siguiente ciclo de caída del nivel del mar, son típicamente agradacionales a progradacionales y consiste de depósitos de plataforma a no marinos organizados en sucesión de facies sucesivas o parasecuencias. Las cliniformas son la arquitectura característica de los HST. Figura 19.



**Figura 19.** Modelo de un Highstand Systems Tracts. Modificado de Mitchum et al 1994, en Snedden y Sarg, 2008.

## 7.2 MODELAMIENTO GEOQUÍMICO

### Historia de Subsistencia

Los diagramas de enterramiento otorgan información inicial de las profundidades que existían en la cuenca a lo largo del tiempo de depositación, para construir estos diagramas se tienen en cuenta las siguientes variables: las unidades con su respectiva edad, las discordancias presentes, hiatos deposicionales, cálculo de decompactación, sedimento erosionado, paleo batimetría, entre otros.

Inicialmente se tomó un corte balanceado de la interpretación previa de la línea sísmica interpretada L-1973-34, con el fin de determinar los espesores de cada unidad en la zona, se tomaron en cuenta espesores dados por otros autores y se



le dan coordenadas a la línea, luego se delimitan los horizontes sobre la imagen de la línea sísmica, luego se le asignan las facies con sus respectivas litologías, posteriormente se asignan edades y eventos erosivos a cada horizonte y después de esto se procede a correr el software..

Los datos que se cargaron en el software PETROMOD 11 son Ro, Flujo de calor, Temperatura de Fondo, Paleo Temperatura.



## 8. RESULTADOS

Estructuralmente en las líneas sísmicas en tiempo los pliegues presentes en la parte inferior de la secuencia manifiestan pendientes tenues, son amplios y de poca altura, al hacer la migración a profundidad, las estructuras se hacen más apretadas, aumentando su inclinación así como la altura y/o profundidad. En la parte superior o somera de la secuencia no se observan cambios en cuanto a estructuras, ya que se supone un periodo pasivo en la tectónica, por tanto la respuesta en la sísmica en tiempo y en profundidad es similar. Figuras 20 y 21.

En cuanto a la amplitud y frecuencia de las reflexiones, se nota claramente que en las líneas migradas a profundidad contrastan más las reflexiones fuertes y las transparentes (de baja amplitud), facilitando en muchos casos la identificación y delimitación de las secuencias. Figuras 20 y 21.

Adicionalmente, al desplegar los pozos en las líneas sísmicas migradas a profundidad se obtuvo como resultado que los topes de las formaciones registrados en los pozos no coincide con la información sísmica y la interpretación realizada en las líneas de la subcuenca, se descarta que las líneas hayan sido migradas erróneamente, ya que cuando se despliega el pozo y se compara la profundidad máxima a la que debería llegar coincide casi perfecto con la profundidad que se registra en la línea sísmica.

Por tanto, sugerimos e interpretamos que hay un error en la definición del basamento, así como algunas de las secuencias estratigráficas. El nuevo basamento interpretado es mucho más profundo que el registrado en la información de pozo.

En la figura 22, se puede observar un ejemplo claro de lo anteriormente mencionado, en la línea sísmica TC-1988-115 la profundidad máxima del Pozo Anguila-1 es 2449m y la del Pozo Chuchupa-1 es de 1700m, siendo las mismas



que se muestra en el límite de los pozos en la línea sísmica pero que no corresponde al basamento identificado en interpretación sísmica. Los Pozos se encuentran a una distancia de la línea sísmica de 2Km y 13Km respectivamente.

Otro ejemplo se refleja en la línea sísmica L-1973-25 (figura 23) donde se observa también que las profundidades registradas para el basamento en los pozos, no empalma con la profundidad a la que se encuentra el basamento interpretado, aún así la profundidad máxima del pozo coincide con la profundidad que se despliega y registra en la línea sísmica. En este caso se toma como referencia los pozos Perico-1 y Tinka-1 los cuales se encuentran a 12.3Km y 7.5Km, al sur y al norte de la línea sísmica respectivamente. Los dos pozos se encuentran en el onshore de la subcuenca Baja Guajira.

A continuación se describen los resultados obtenidos en la interpretación de las líneas sísmicas (en profundidad) y del modelamiento geoquímico en 1D y 2D en la subcuenca Baja Guajira.

## **8.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA**

A partir de la identificación, caracterización y mapeo de las reflexiones y paquetes de reflexiones observadas en cada línea sísmica 2D usada en este proyecto, se delimito el basamento de la subcuenca, así como también se definieron 6 secuencias estratigráficas.

### ***Basamento***

Se caracteriza por presentar reflectores caóticos, de baja frecuencia y amplitud, posiblemente compuesto por rocas ígneas y/o metamórficas. A estas rocas se les asigna edad cretácea o inferior. Se sugiere que el basamento este compuesto por rocas metamórficas relacionadas a un evento metamórfico del cretáceo y/o como producto del choque de las placas Caribe y Sur América. Figuras 24 a 27.

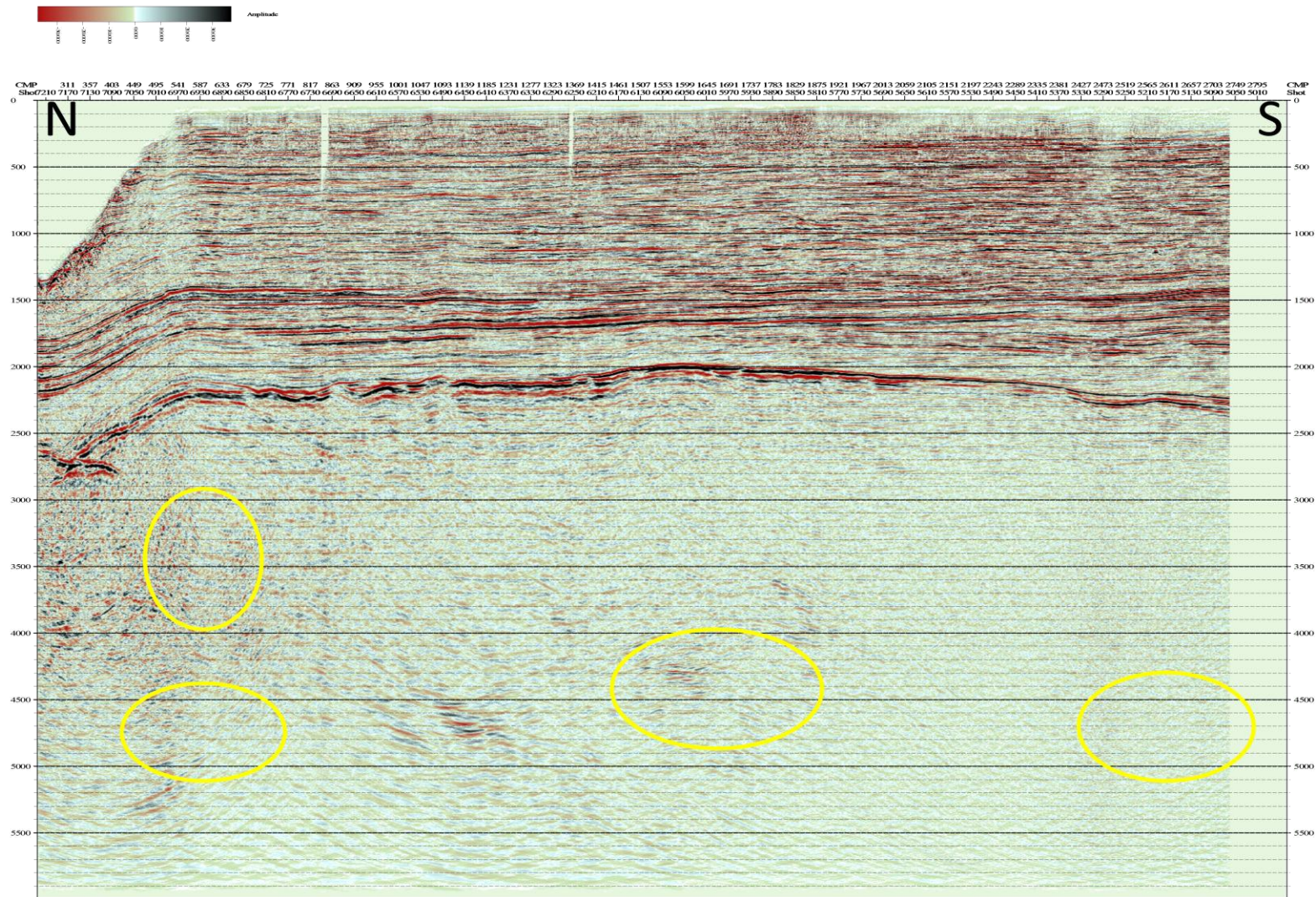


Figura 20. Línea TC-1988-113 en tiempo (ms), se señalan las estructuras.

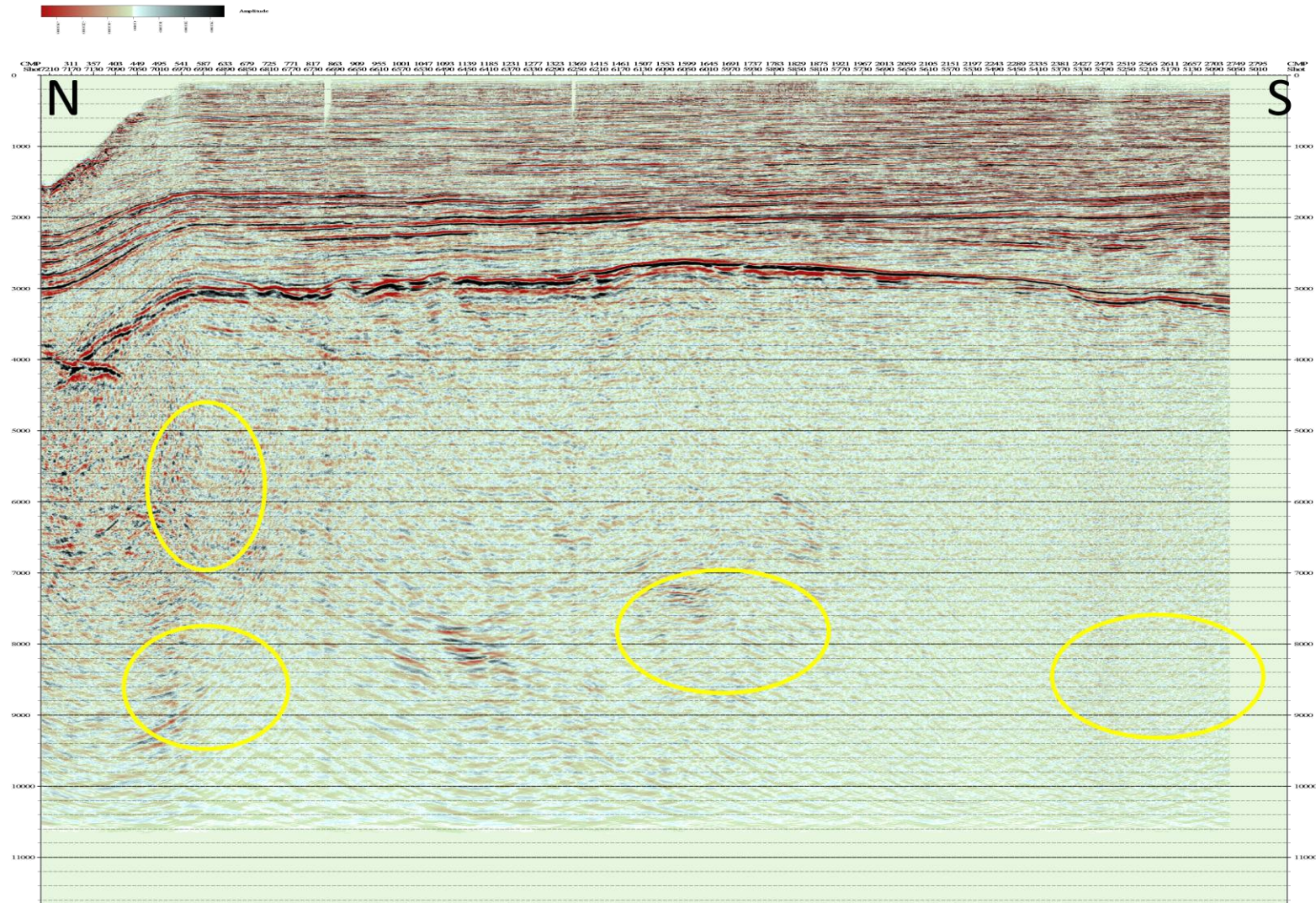
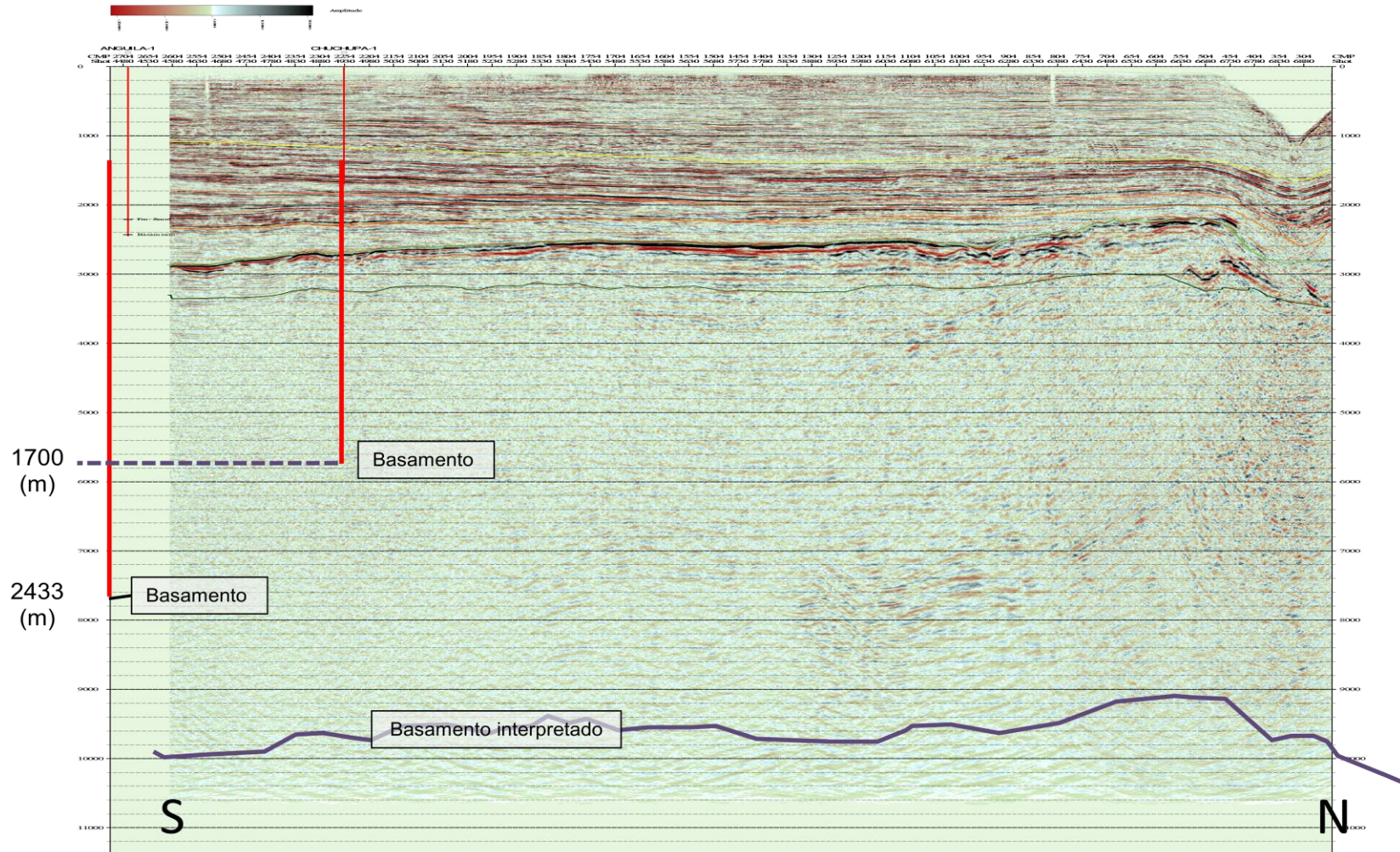
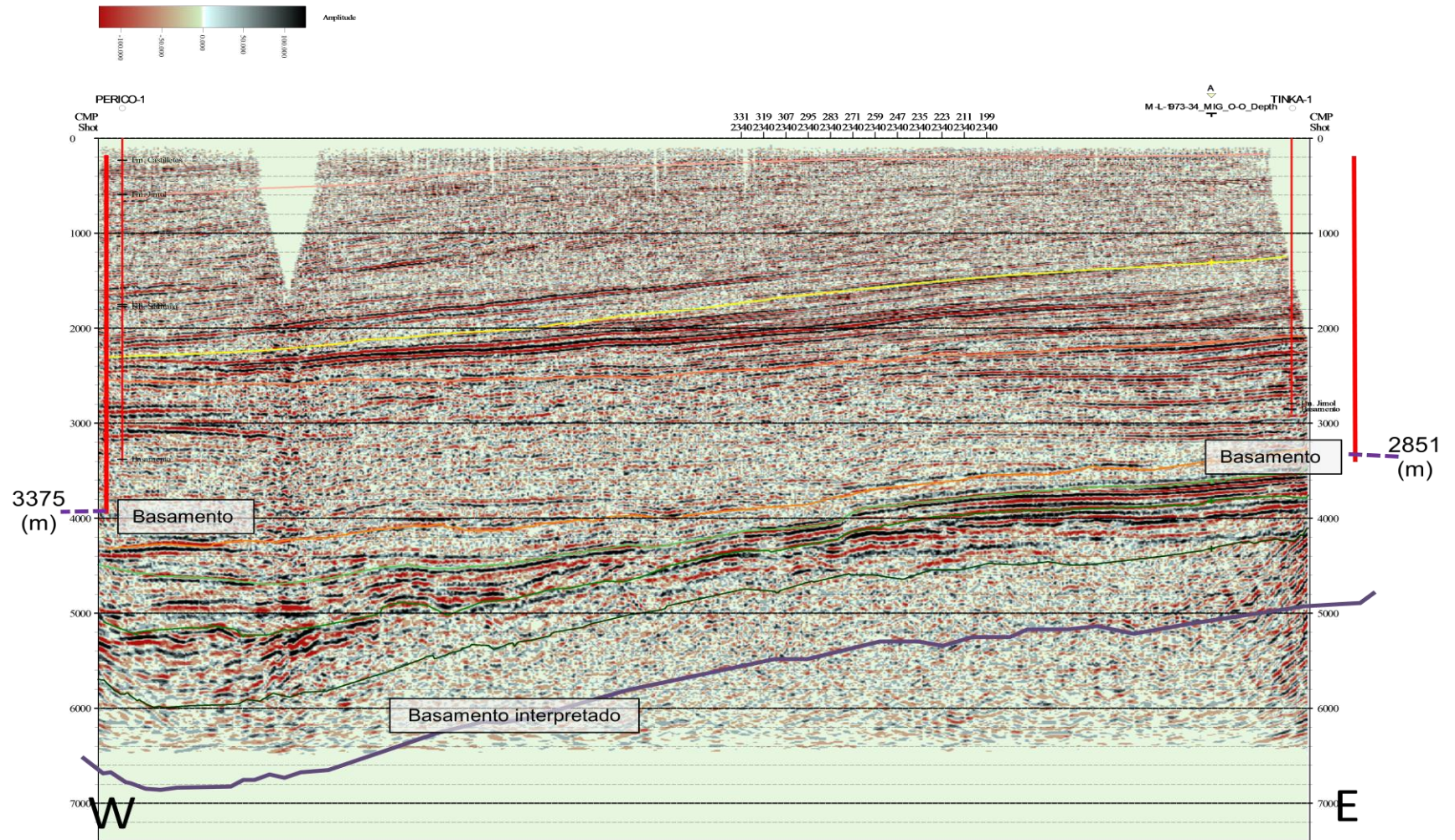


Figura 21. Línea TC-1988-113 migrada a profundidad (m), se observan las estructuras más apretadas.



**Figura 22.** Ilustración de correlación de profundidades del basamento registrado en información de pozo y basamento interpretado en línea sísmica TC-1988-115, en la región Offshore de la Subcuenca Baja Guajira.



**Figura 23.** Ilustración de correlación de profundidades del basamento registrado en información de pozo y basamento interpretado en línea sísmica L-1973-25, en la región Onshore de la Subcuenca Baja Guajira.



### ***Secuencia 1***

Se encuentra suprayaciendo el basamento, en el tope se encuentra limitada por una discordancia angular con la secuencia 2. En la base de la secuencia se observan reflectores de baja amplitud cambiando a reflectores de alta amplitud hacia el tope de la misma. La interpretación de estos reflectores se relaciona a litología de tipo calcárea, por lo cual, esta secuencia es interpretada como Formación La Luna, de edad cretácea. De acuerdo a la interpretación sísmica se supone un ambiente de depositación marino somero, asociado al evento transgresivo predominante en la parte norte de Colombia durante el cretácico, el cual permitió la formación de material calcáreo. Figuras 24 a 27.

### ***Secuencia 2***

Esta secuencia se encuentra en discordancia con la secuencia 1 en la base y en el tope con la secuencia 3. Se caracteriza por presentar reflexiones fuertes (de alta amplitud), las cuales se interpretan como rocas calcáreas de la formación Guaralamai, de edad cretácico tardío. Para esta secuencia se interpreta un ambiente de depositación marino somero, para este periodo continúa el evento transgresivo en la subcuenca Baja Guajira y norte de Colombia. Figuras 24 a 27.

### ***Secuencia 3***

En esta secuencia se identifican reflectores transparentes (o de amplitud baja), los cuales se interpretan y asocian a litologías de shales principalmente, en algunos sectores pueden observarse unos reflectores fuertes, por lo que se interpreta intercalación de shales y calizas, por tanto esta secuencia se correlaciona con la Formación Macarao. Se interpreta para esta secuencia un ambiente marino, durante un Highstand Systems Tract, ya que continúa el evento transgresivo del norte de Colombia. Figuras 24 a 27.



#### **Secuencia 4**

Suprayaciendo a la secuencia 3 e infrayaciendo la secuencia 5 se encuentra la secuencia 4, la cual presenta un paquete de reflexiones fuertes, paralelas entre sí, en algunos sectores se observan pequeñas intercalaciones con reflexiones transparentes menos continuas. La interpretación del ambiente de depositación de esta secuencia asume que se trata de un ambiente marino, el cual se encuentra en un Transgressive Systems Tract.

De acuerdo con la información estratigráfica de la subcuenca Baja Guajira y con base en la interpretación de ambiente de depositación de la secuencia estratigráfica, se ha asignado a esta secuencia litología de la Formación Siamana, de edad Oligoceno. Figuras 24 a 27,

#### **Secuencia 5**

En la secuencia 5 se puede observar claramente la presencia de clinofomas oblicuas tangenciales, progradacionales, las cuales representan un Lowstand Systems Tract, en donde se puede observar en la mayoría de las líneas una migración de la plataforma continental en el tiempo y espacio, siendo esto resultado de un descenso relativo en el nivel del mar en la subcuenca. A esta secuencia se asocian rocas de edad, correspondientes a la Formación Castilletes, compuesta por areniscas calcáreas y lutitas. La base de esta secuencia es una superficie de inundación máxima que indica el comienzo de una regresión marina o descenso en el nivel del mar, trayendo consigo un aumento en la sedimentación. Esta regresión se asocia al levantamiento de los Andes durante el Mioceno. Figuras 24 a 27.

#### **Secuencia 6**

La secuencia 6, en la cual se observa la configuración de reflectores típica de un Transgressive Systems Tract, el cual muestra clinofomas progradantes, oblicuas-sigmoideas, producto de un ascenso significativo en el nivel del mar. La amplitud



de las reflexiones varía a lo largo de la secuencia siendo fuertes y débiles (transparentes), intercaladas en algunos casos, indicando variaciones en la litología. Se asigna a esta secuencia rocas de la formación Monguí, de edad Plioceno-Pleistoceno, donde se presentan ciclos de aumento y caída del nivel del mar. Figuras 24 a 27.

### **Secuencia 7**

Por último se tienen una secuencia de de reflexiones generalmente transparentes, que posiblemente indican materiales fino o no consolidados, asociados con depósitos sedimentarios, que en algunas áreas pueden alcanzar grandes espesores, este tipo de depósitos están asociados a ambientes costeros, con aportes fluviales y erosivos, de acuerdo a pequeños asensos y caídas en el nivel del mar en la subcuenca Baja Guajira. Figuras 24 a 27.

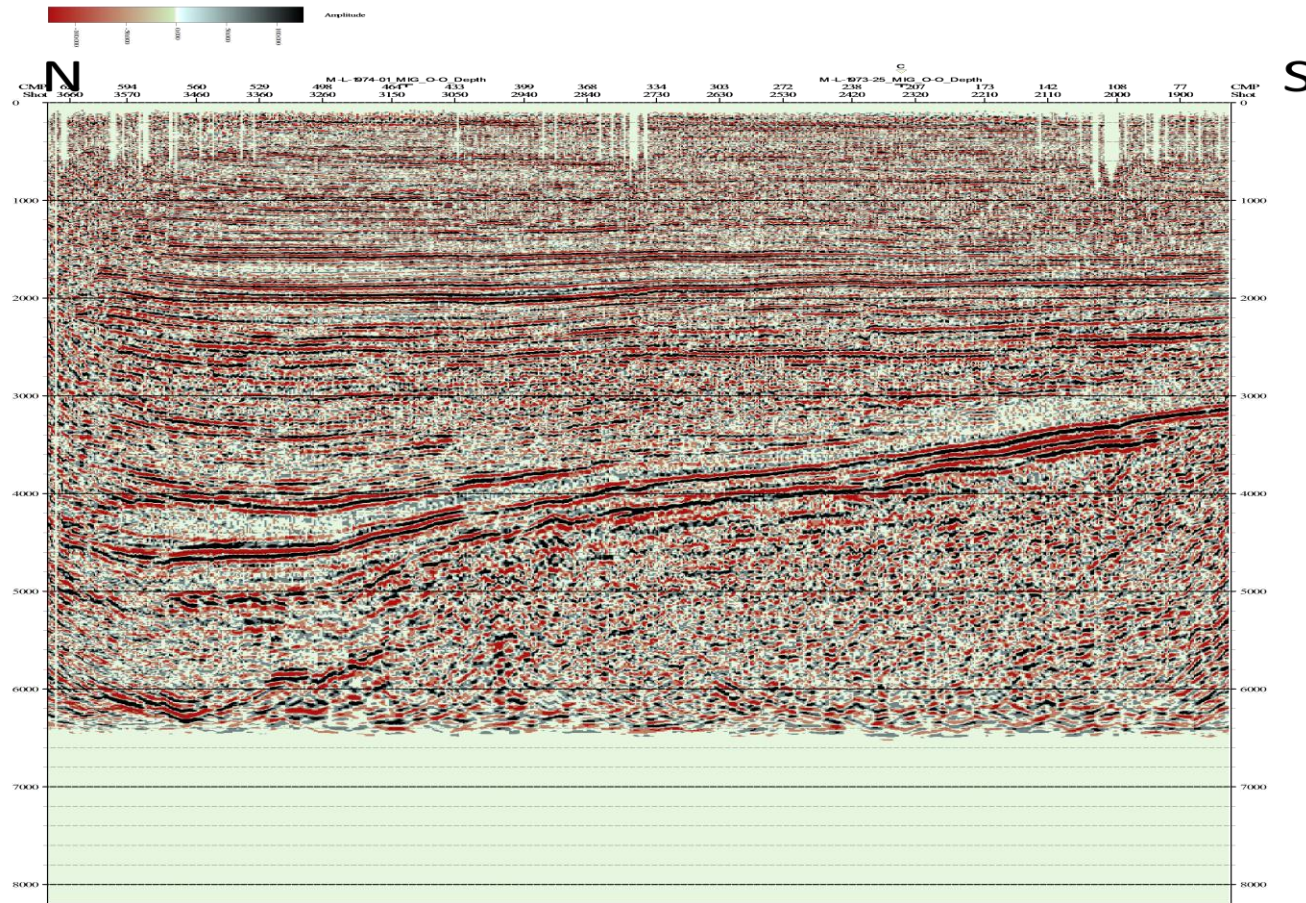


Figura 24. Línea sísmica L-1973-34, en profundidad (m), sin interpretación.

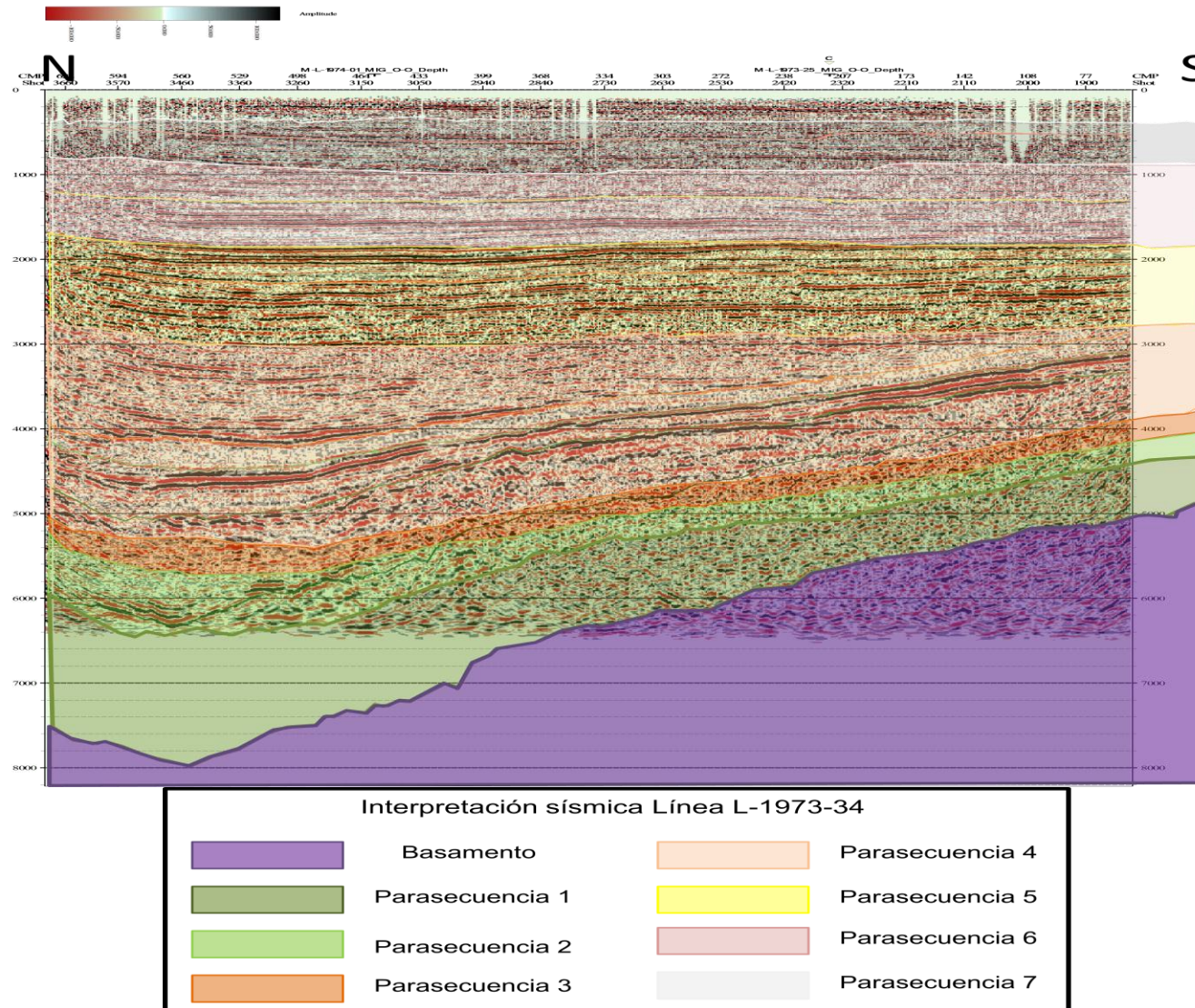
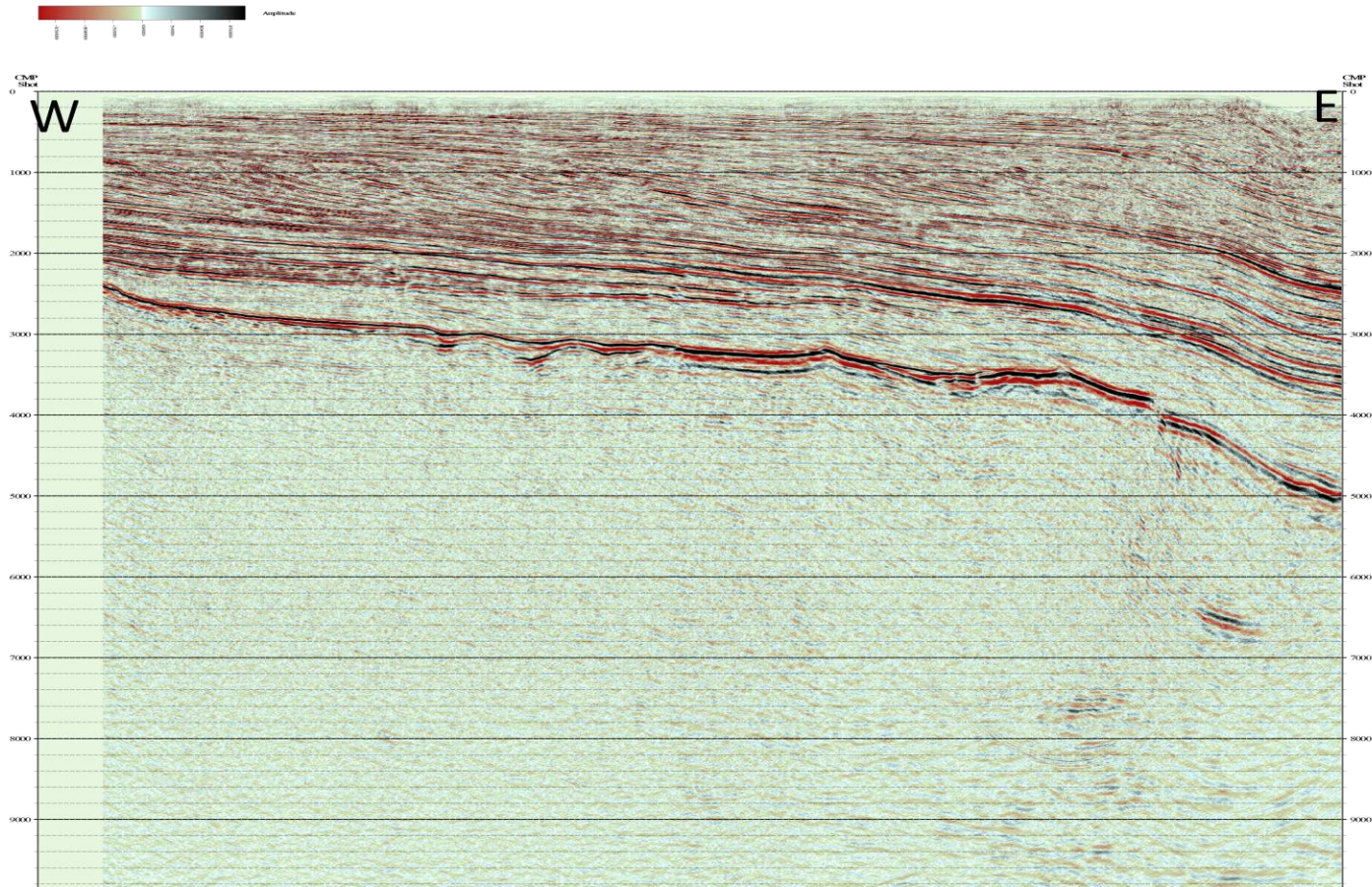


Figura 25. Interpretación sísmica en profundidad (m) de la línea L-1973-34. Onshore.



**Figura 26.** Línea sísmica TC-1988-112, en profundidad (m), sin interpretación.

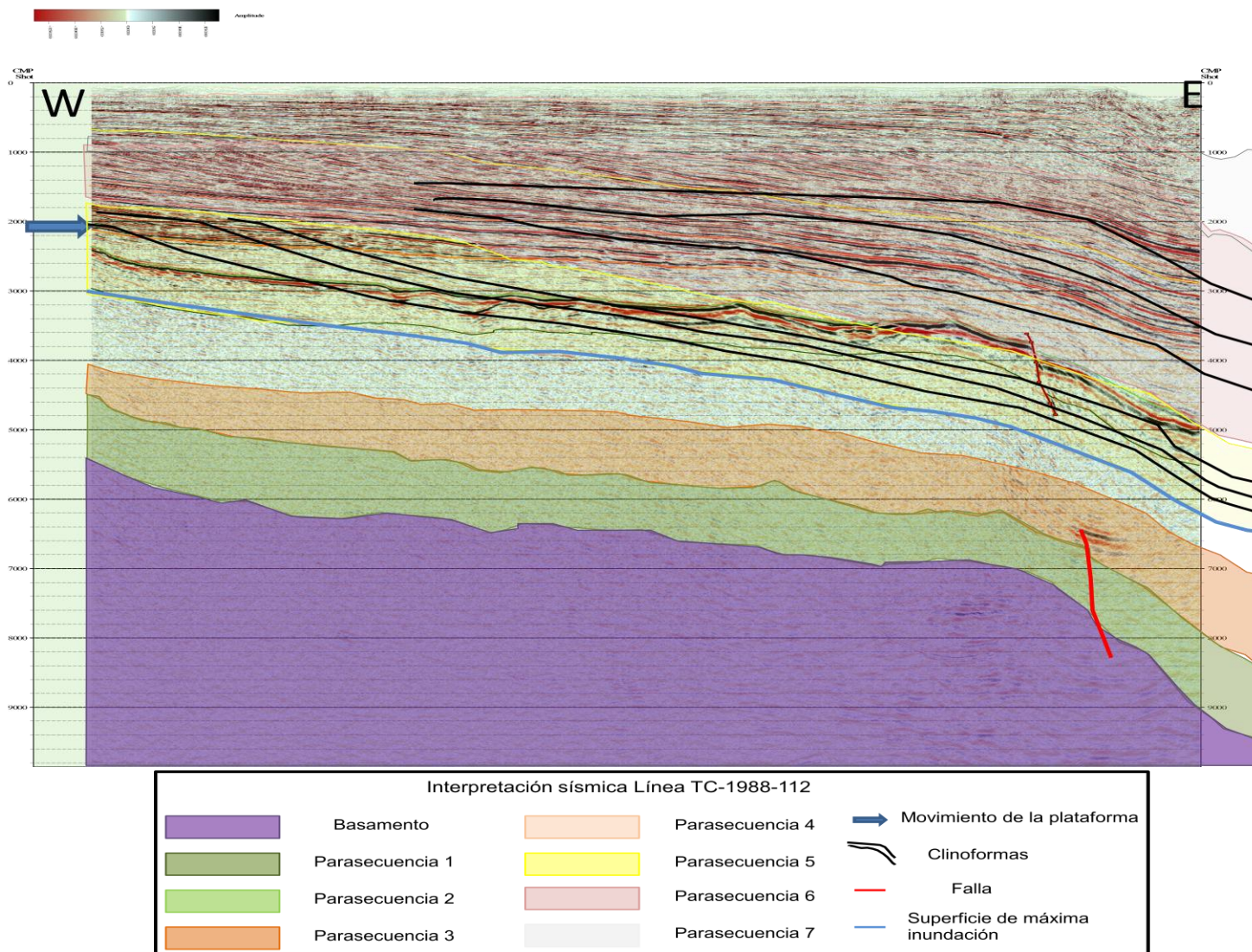


Figura 27. Interpretación sísmica en profundidad (m) de la línea TC-1988-112, Offshore.



## 8.2 MODELAMIENTO GEOQUÍMICO

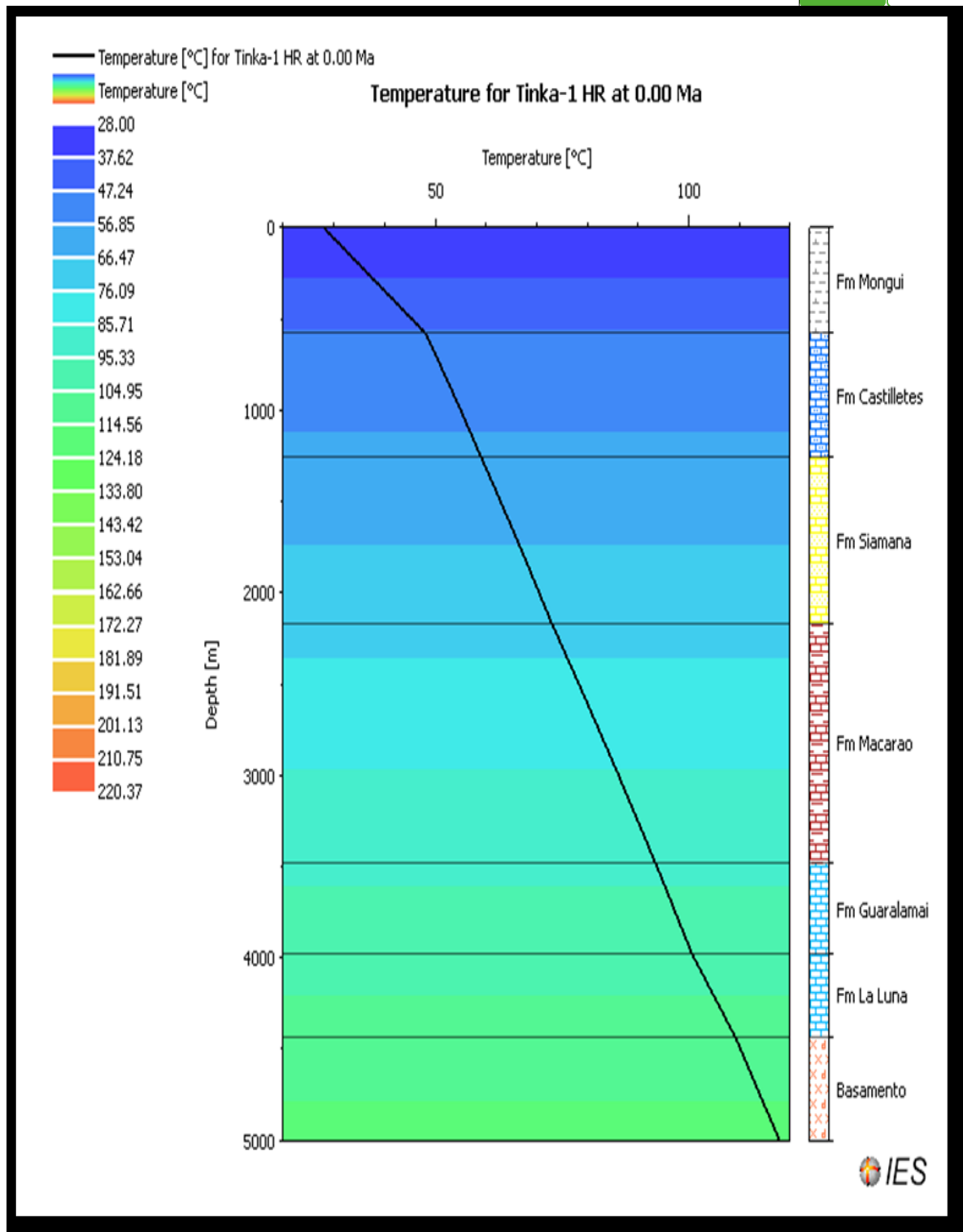
El modelamiento geoquímico se usa para extrapolar información en áreas y donde la información es escasa, estudiando la compactación, decompactación, y conductividad térmica de las rocas, y el flujo de calor.

Se evaluó en la línea sísmica L-1973-34 el comportamiento individual de los indicadores de madurez, los procesos de generación, migración y expulsión de los fluidos; generando un modelo 1D y 2D, tomando la historia de subsidencia de acuerdo a los datos del pozo Tinka-1 para calibrar algunos factores requeridos en el modelo 2D.

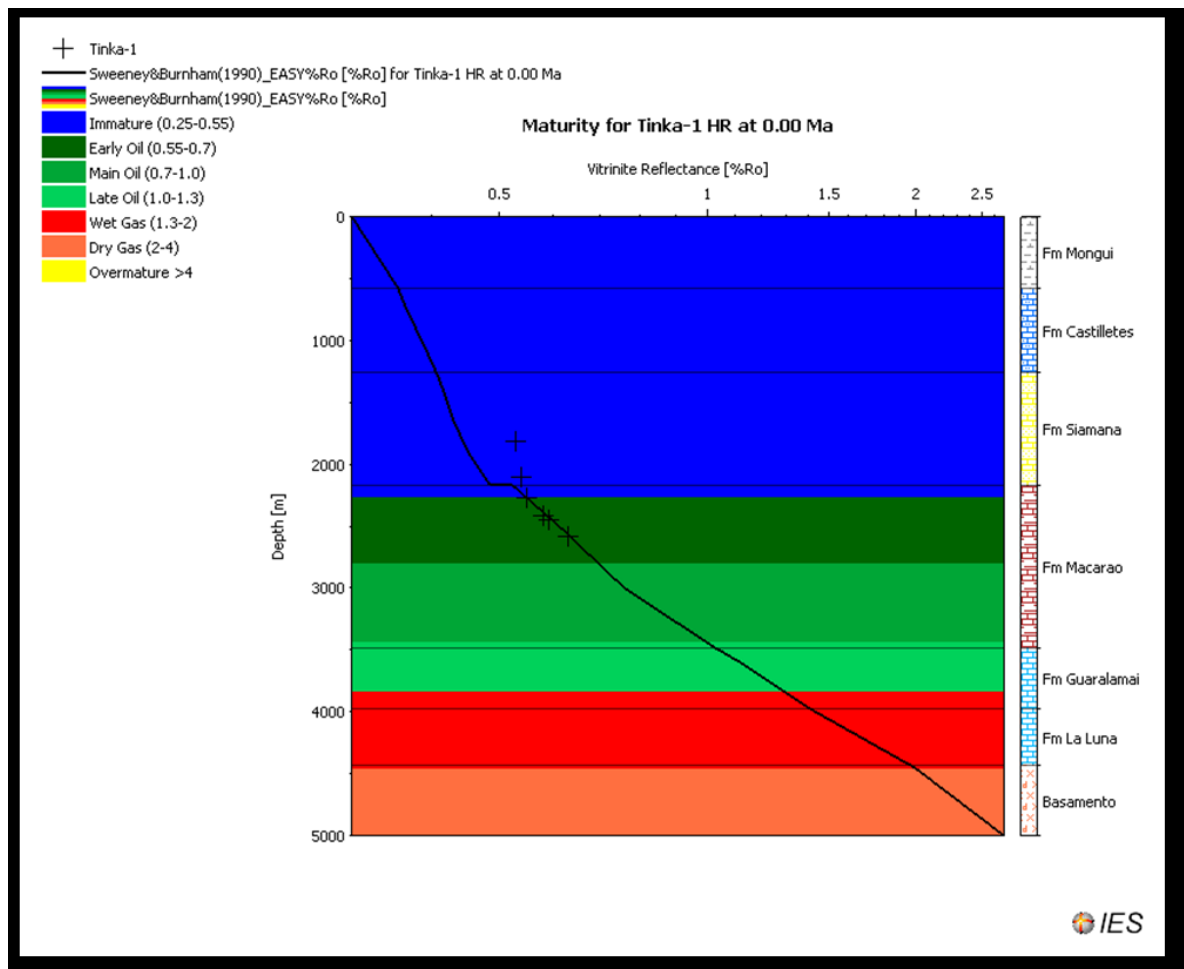
Se utilizaron las estimaciones elaboradas por García- González et al., 2008 de las condiciones de paleo profundidad basadas en los ambientes de depósito de cada una de las Formaciones (*PWD - Paleo Water Depth*), paleo temperatura (SWIT - *Sedimentary Water Interface* temperatura) y flujo de calor (HF - *Heat Flow*) El flujo de calor actual empleado es **50.5 mW/m<sup>2</sup>**, el cual fue calculado por García González, et al., 2008. Para PWD, se tuvo en cuenta la profundidad al momento de depositación de las formaciones con respecto al tiempo; para SWIT 30 °C, temperatura actual en la subcuenca como base.

Se elaboraron gráficas de profundidad contra temperatura de fondo y reflectancia de vitrinita respectivamente, las cuales se calibraron con los datos de pozo, y, con datos geoquímicos de trabajos anteriores. Figuras 28 y 29.

A nivel de madurez se tienen tres rangos basados en el porcentaje de Ro: madurez media (pico de madurez), Ro entre 0.7% y 1%; madurez tardía, Ro entre 1 y 1.35%; y, sobremadurez, Ro desde 1.35% en adelante.



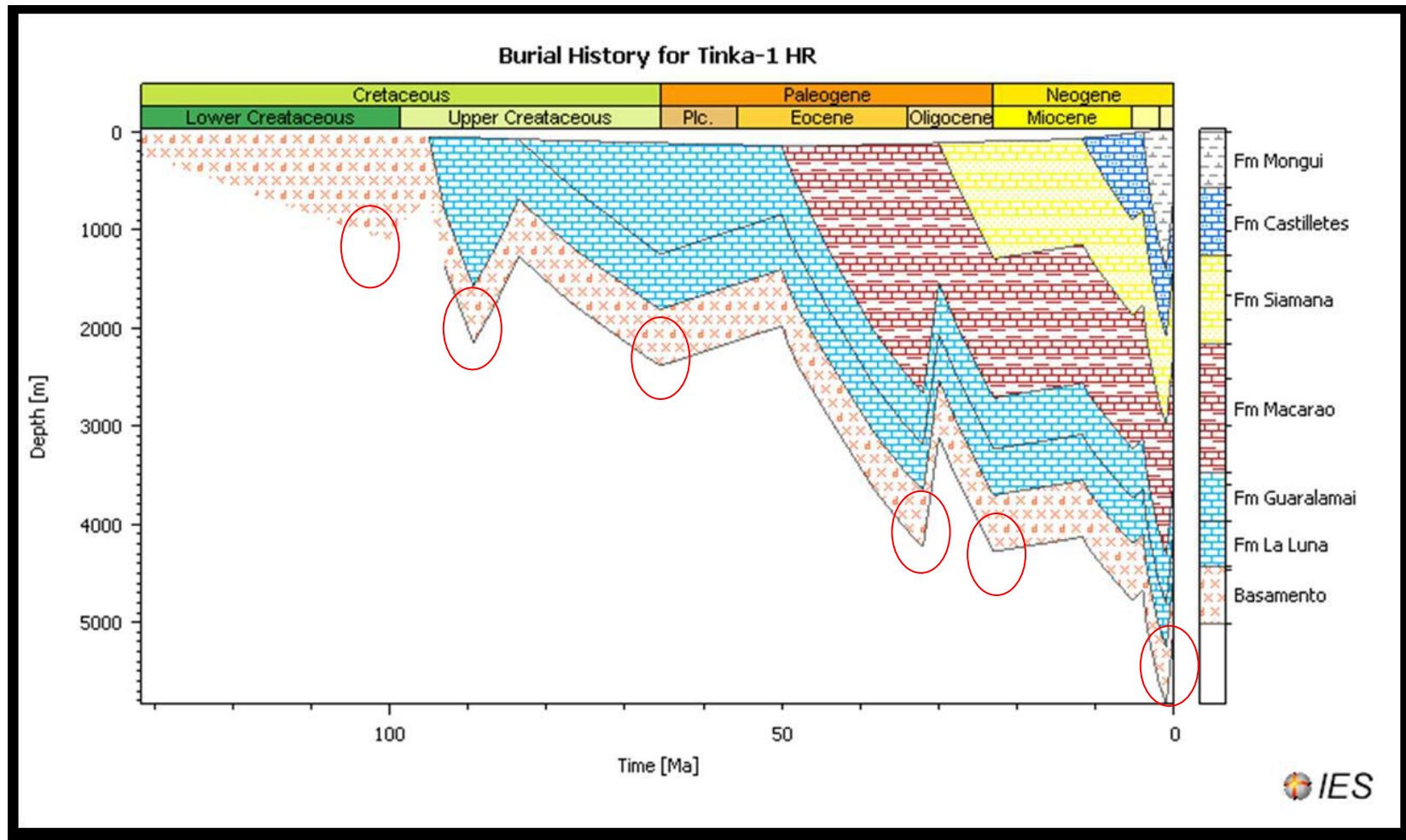
**Figura 28.** Diagrama de Profundidad (m) vs. Temperatura de Fondo (°C - Celsius). La línea negra indica la temperatura actual en el pozo Tinka-1.



**Figura 29.** Profundidad (m) vs. Reflectancia de Vitrinita (%Ro). La línea negra indica los valores de reflectancia de vitrinita

En la figura 30 se puede apreciar claramente gracias al modelamiento geoquímico 1D, la profundidad y edad de las formaciones, así como los diferentes eventos erosivos que afectan la subcuenca Baja Guajira.

En los diagramas de enterramiento se muestran las variables, temperatura (Figura 31), reflectancia de vitrinita (Figura 32), y por último el diagrama de enterramiento (Figura 32) en función de la profundidad de enterramiento y la edad de cada una de las unidades de roca.



**Figura 30.** Diagrama de enterramiento con respecto a la profundidad y la edad. Los círculos en rojo muestran los eventos erosivos.



El diagrama de enterramiento muestra que la Formación La Luna inició su depositación hace 95 Ma, y se va profundizando con el tiempo; esta Formación sufre un evento erosivo alrededor de los 89 Ma, donde ocurre un levantamiento, y posteriormente al iniciarse la depositación de la Formación Guaralimai, la Formación La Luna continúa profundizándose. Al iniciarse la depositación de la Formación Macarao, aproximadamente a 50 Ma, se observa una subsidencia de la cuenca que posteriormente es acompañada de un evento erosivo aproximadamente a los 32Ma que afecta a la formación La Luna, generando un levantamiento de las unidades en ese entonces depositadas. A medida que se depositan las Formaciones Macarao, Siamana, Castilletes, la cuenca continúa profundizándose. Otro evento Erosivo se observa a los 23Ma. La cuenca alcanza su máxima profundidad en el Plioceno entre 4 a 2 Ma, y desde 2 Ma ocurre el último evento de levantamiento producto de la deformación del Caribe Norte Colombiano.

De acuerdo al diagrama de subsidencia y evolución termal de la secuencia sedimentaria del pozo Tinka-1 (ver **fig. 29** y **fig. 30**), la Formación La Luna alcanzó la ventana de generación de gas húmedo, muy posiblemente producto del craqueo de aceite y llegó a estar muy cercana de la ventana de generación de gas seco, lo que indica que la evolución termal de La Formación La Luna en esta zona de la cuenca Baja Guajira es avanzada (Los puntos de calibración del modelo, de la **fig. 29**, se ilustran en las cruces negras, son medidas directas de reflectancia de vitrinita de muestras de roca perforadas por el pozo Tinka-1).

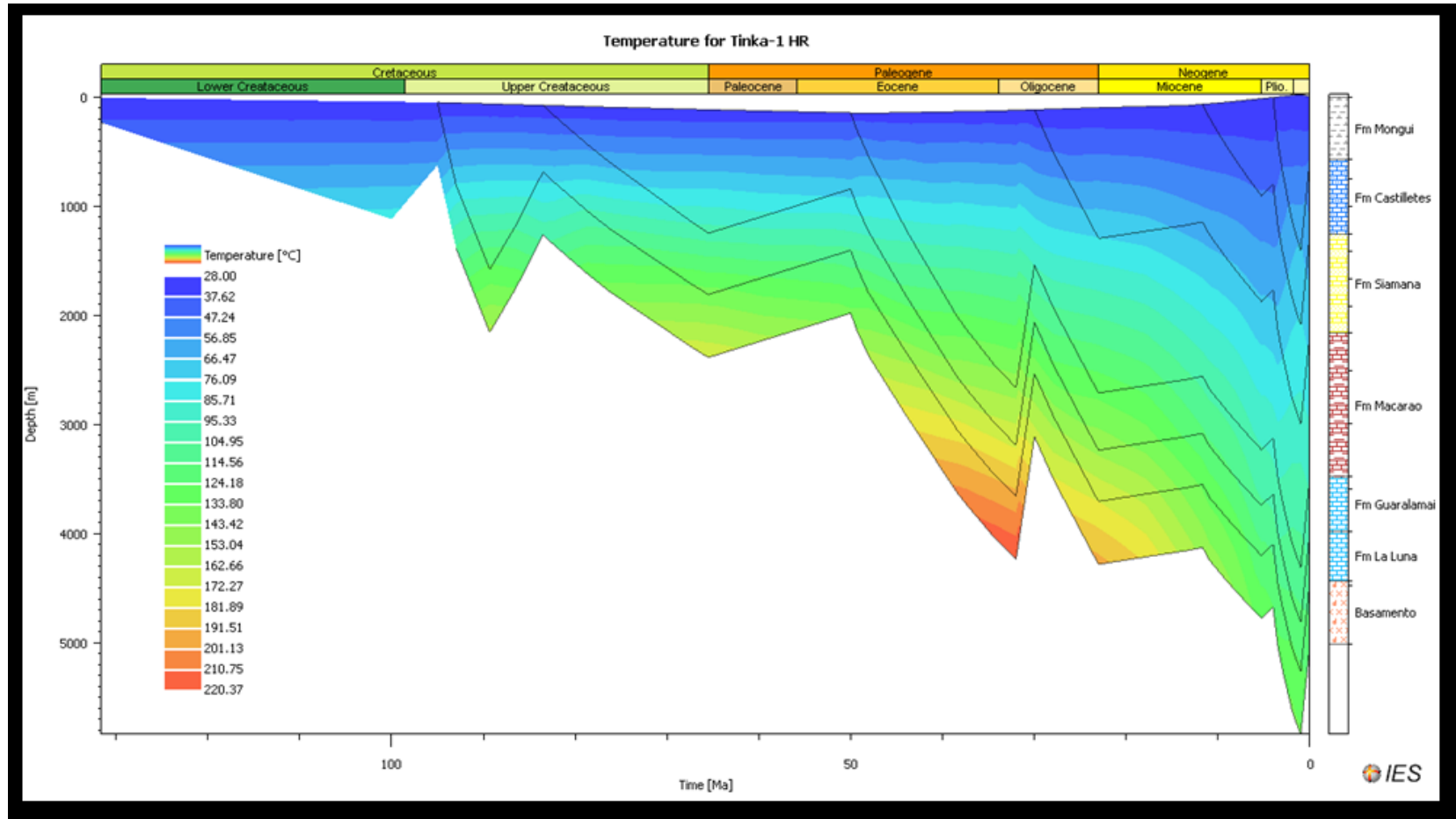
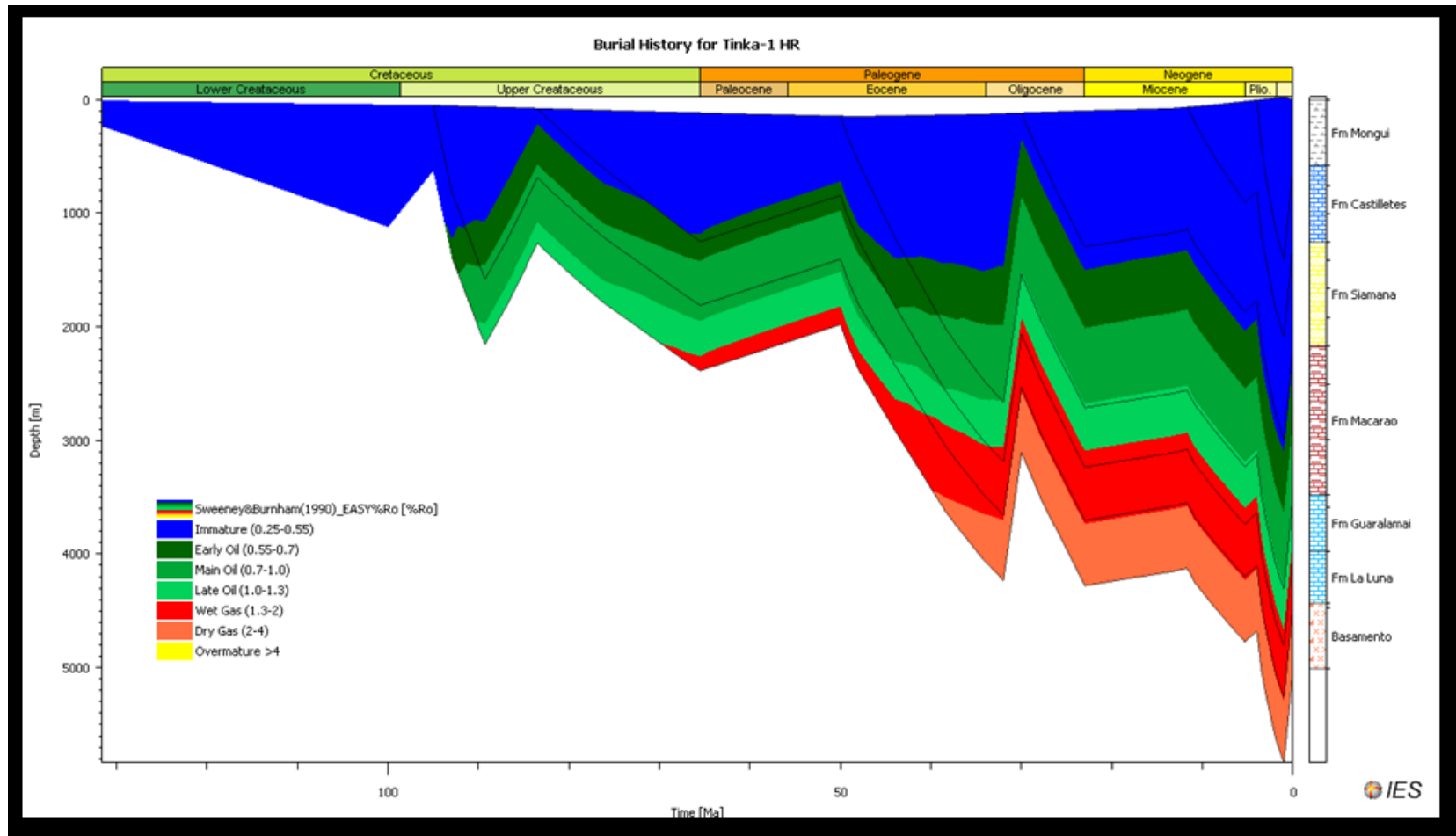


Figura 31. Diagrama de enterramiento. Variación de la temperatura (°C) con respecto a la profundidad y la edad.



**FIGURA 32.** Diagrama de enterramiento. Variación de la reflectancia de vitrinita (%Ro) con respecto a la profundidad y la edad.



Para el diagrama de enterramiento se establecieron seis eventos erosivos asociados a levantamientos:

Eventos erosivos	
Formación	Edad de levantamiento (Ma)
Castilletes - Mongui	4 – 1 Ma
Siamana - Castilletes	11.7 – 5.3 Ma
Macarao - Siamana	30 – 23 Ma
Guaralamai - Macarao	50 – 32 Ma
La Luna - Guaralamai	83.5 – 65.5 Ma
Basamento – La Luna	95 – 89.3 Ma

Tabla 2. Eventos erosivos.

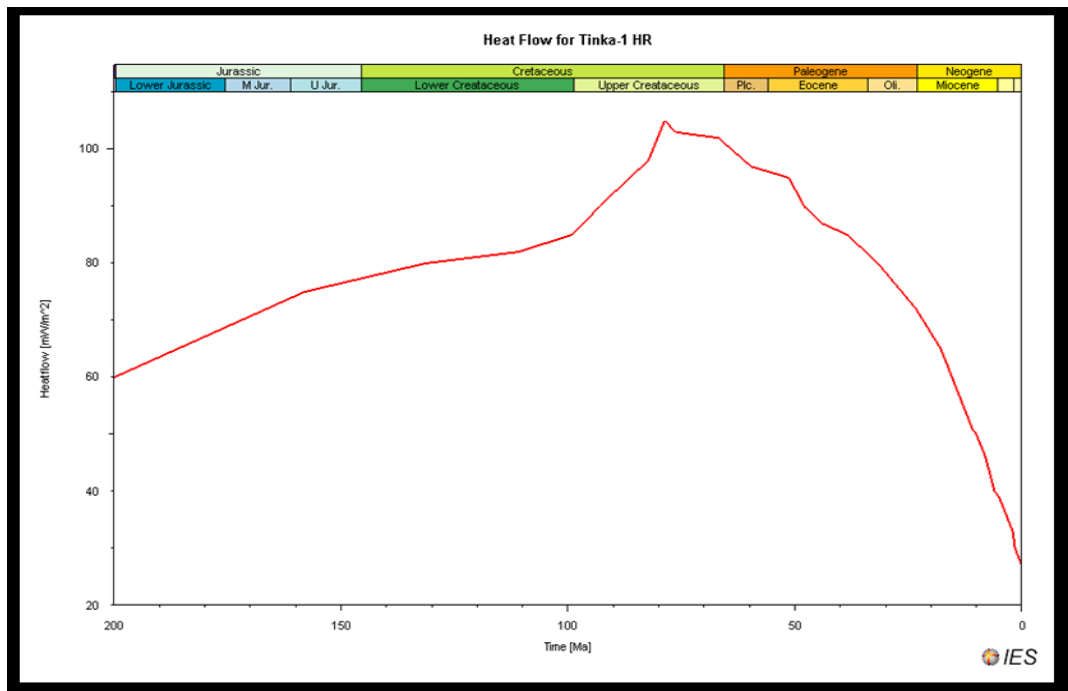
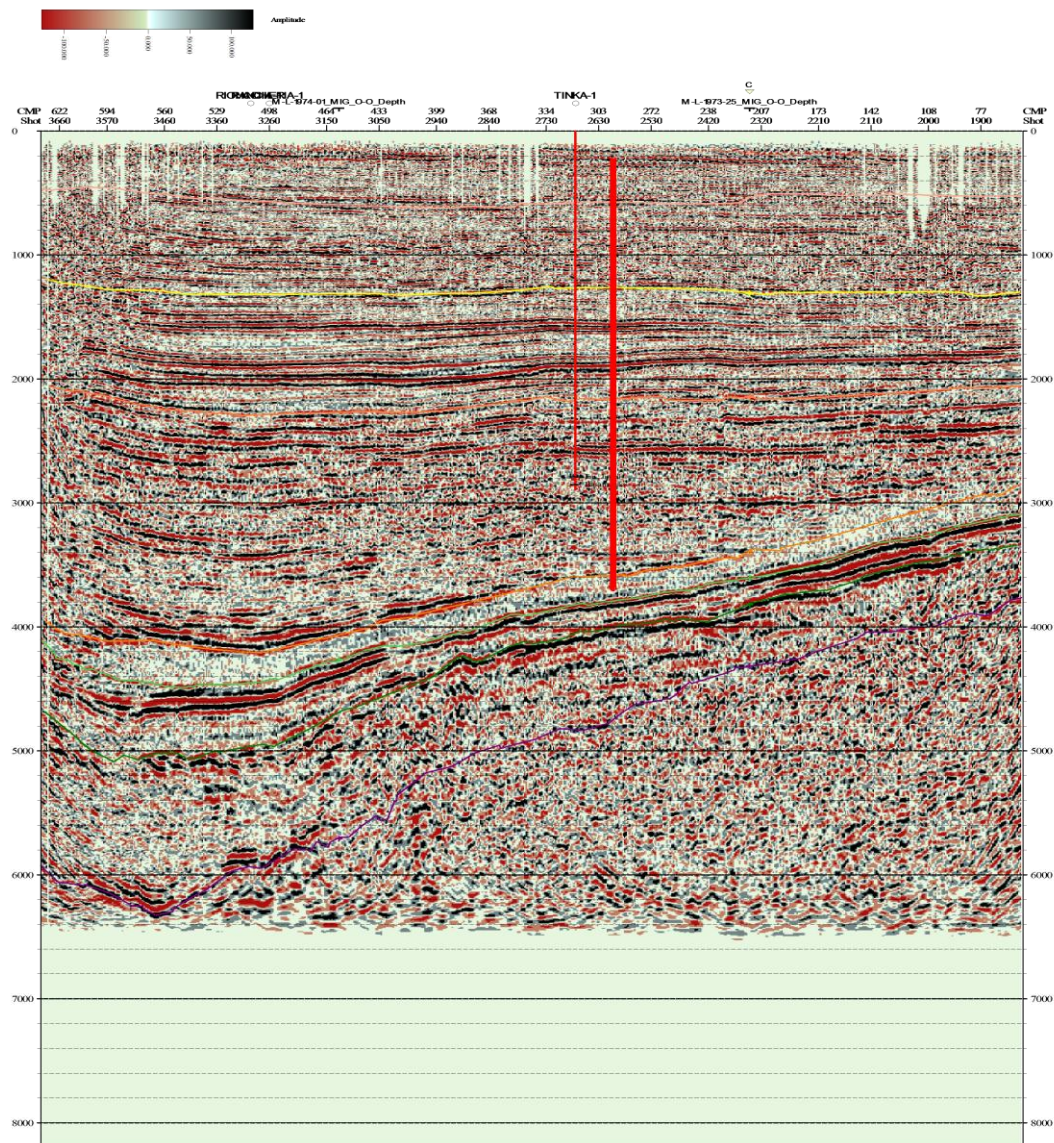


Figura 33. Variación del flujo de calor Vs tiempo para el pozo Tinka-1. Esta curva fue calibrada con el modelo de evolución termal y de subsidencia del pozo, el valor actual (0Ma) de flujo de calor es de 28 mW/m<sup>2</sup> y valor máximo alcanzado de 105 mW/m<sup>2</sup> en 78.7 Ma

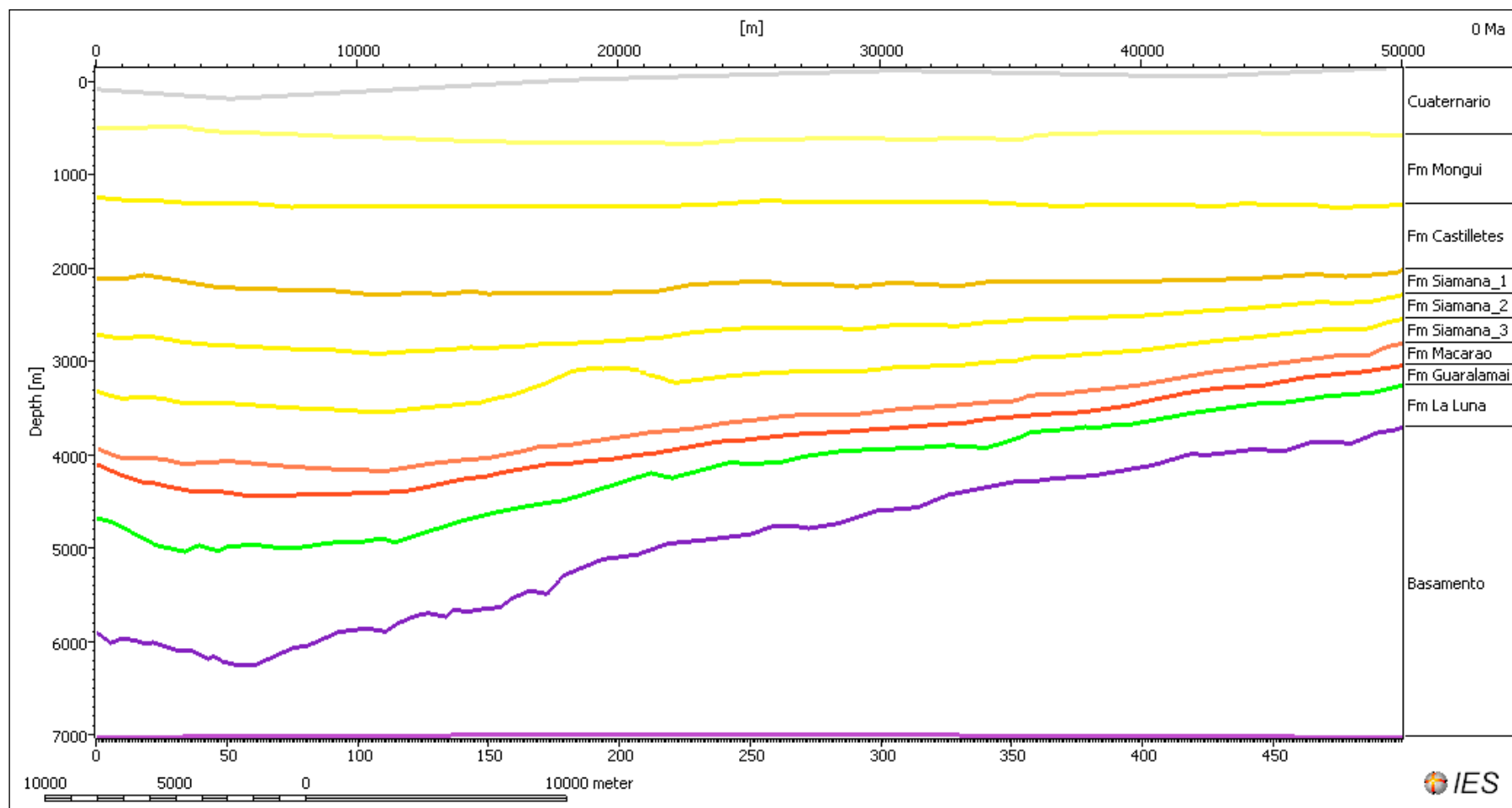


## MODELAMIENTO 2D DE LA LINEA L-1973-34

La línea sísmica L-1973-34 (Figura 33) interpretada en profundidad, se seleccionó para el modelado 2D ya que se observan mejor los horizontes y en ella se encuentra ubicado el pozo Tinka-1. En esta se diferencian los horizontes correspondientes a la columna tipo de la Subcuenca Baja Guajira.



**Figura 34.** Línea sísmica interpretada en profundidad que se utilizó para realizar el modelamiento geoquímico.



**Figura 35.** Horizontes Iniciales cargados en el Software PETROMOD 11, para realizar el modelamiento geoquímico.

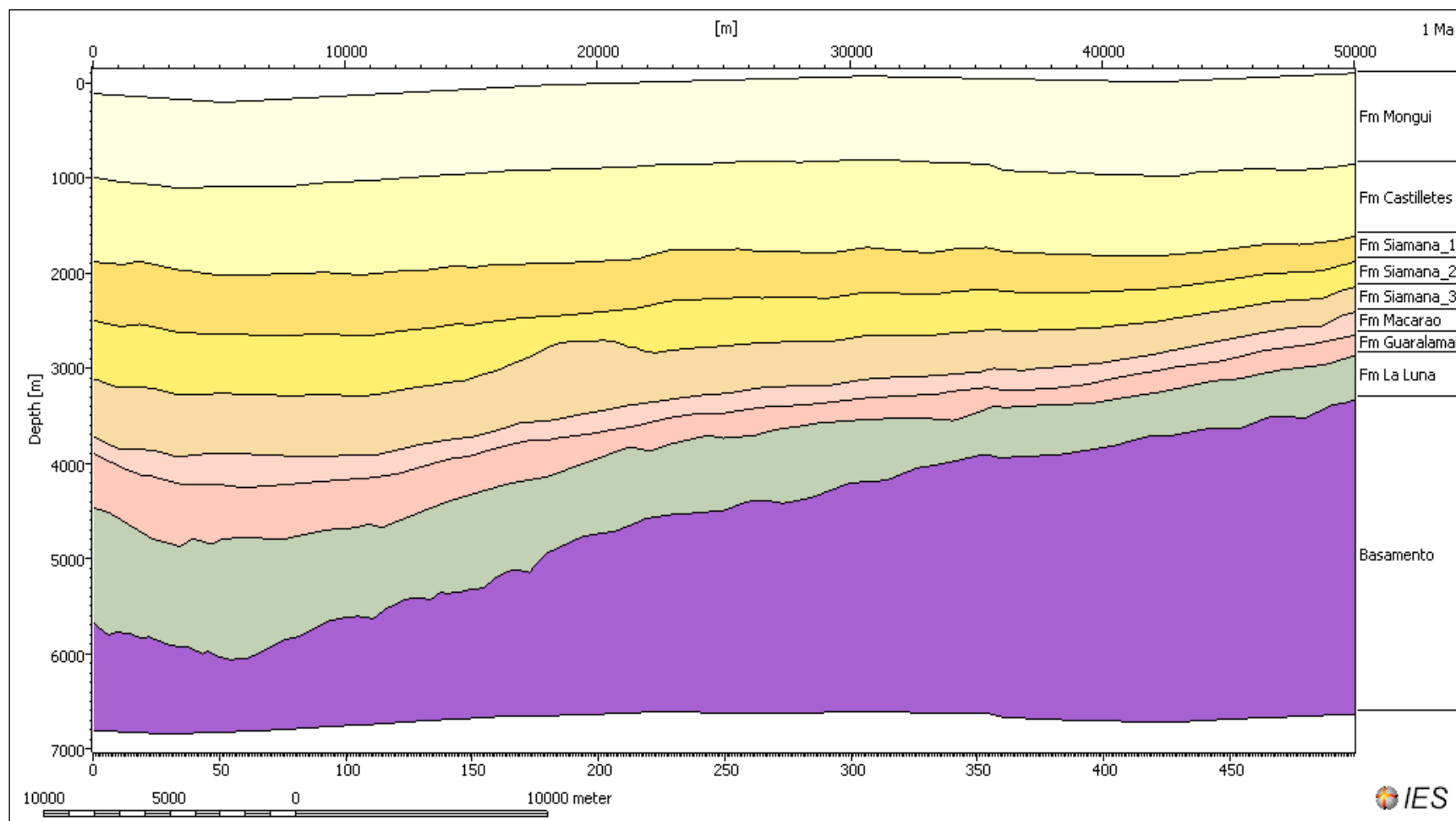


Figura 36. Sección Grillada que se trazó para realizar el modelamiento geoquímico.

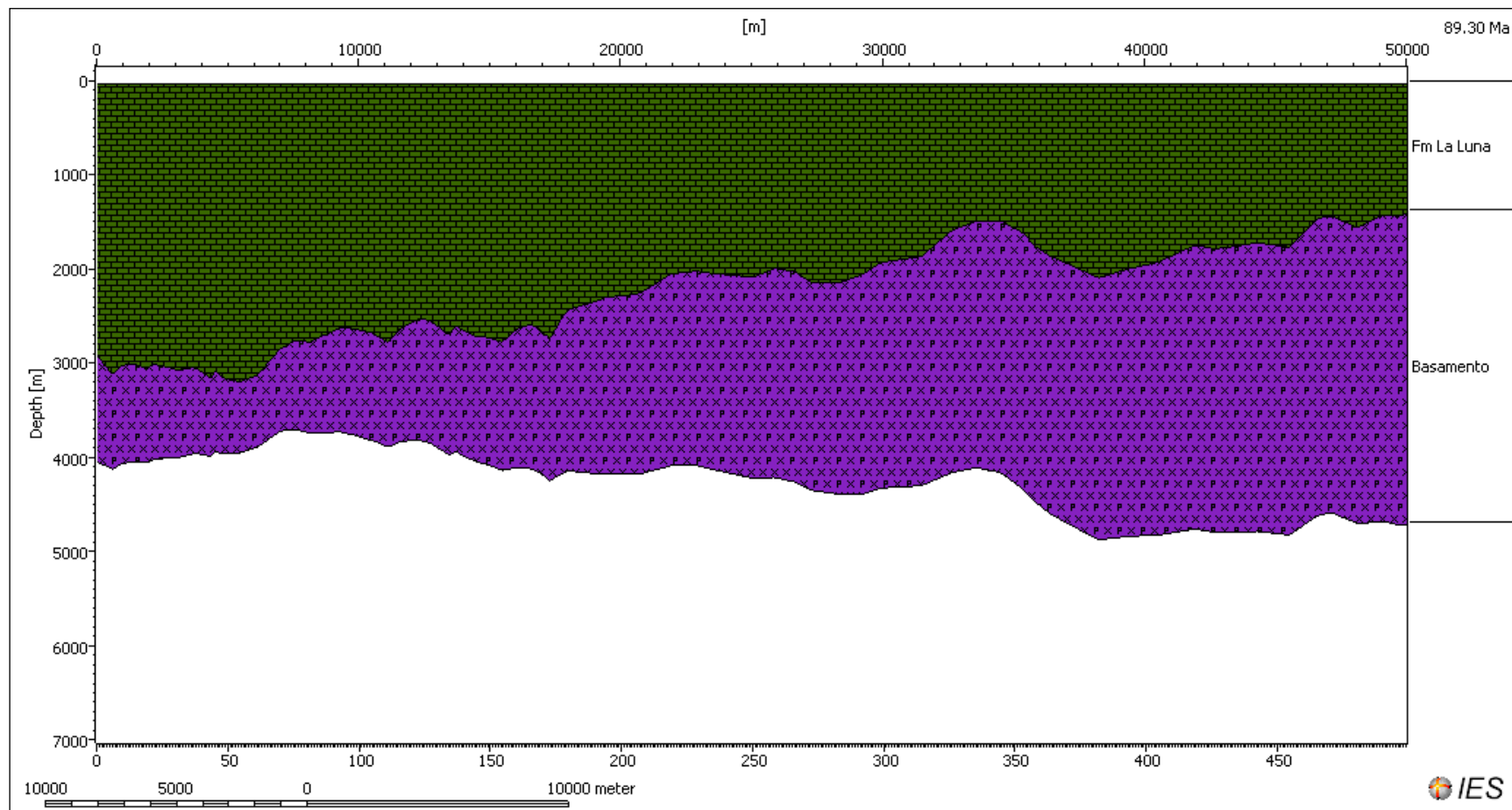
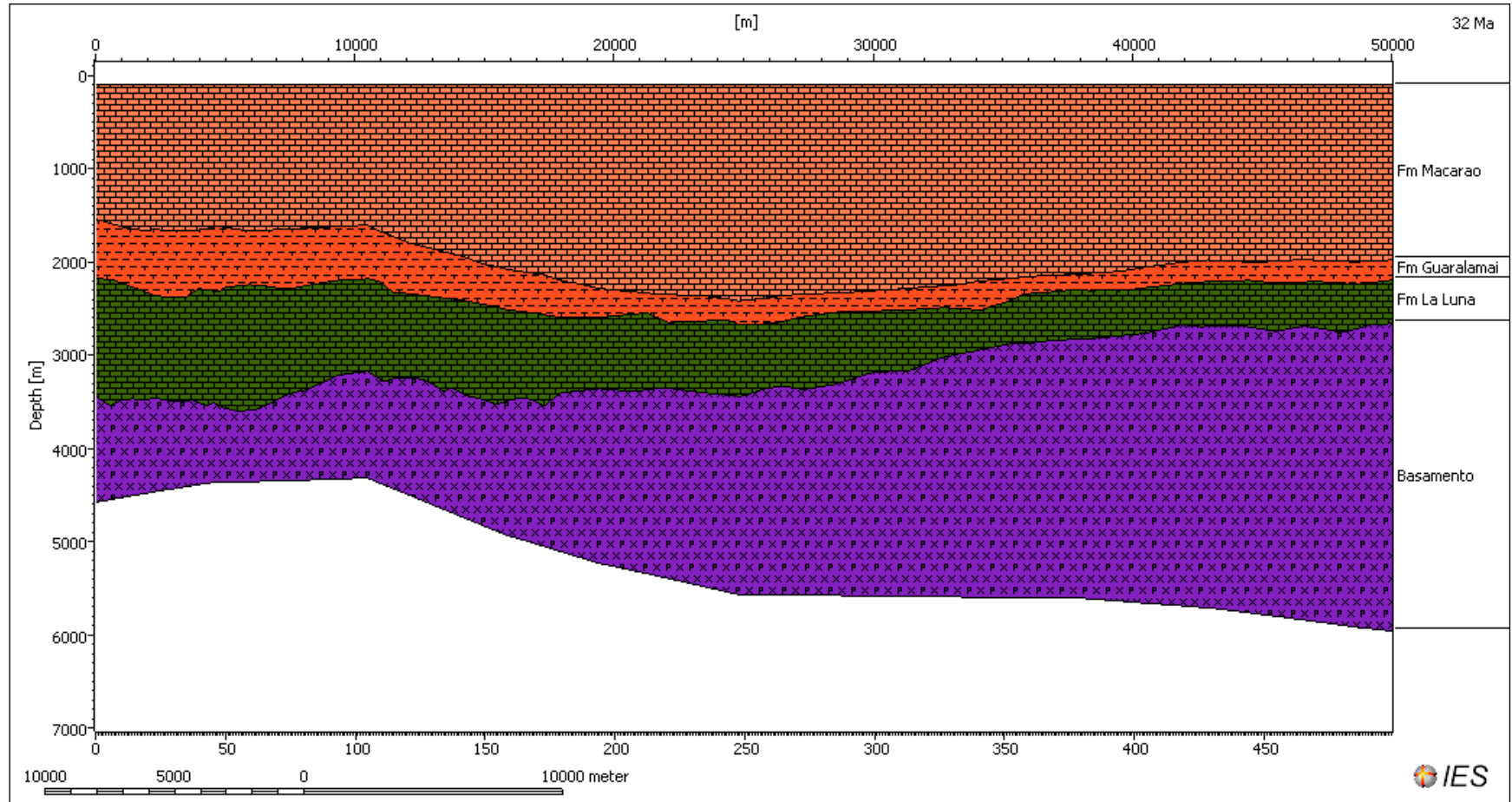
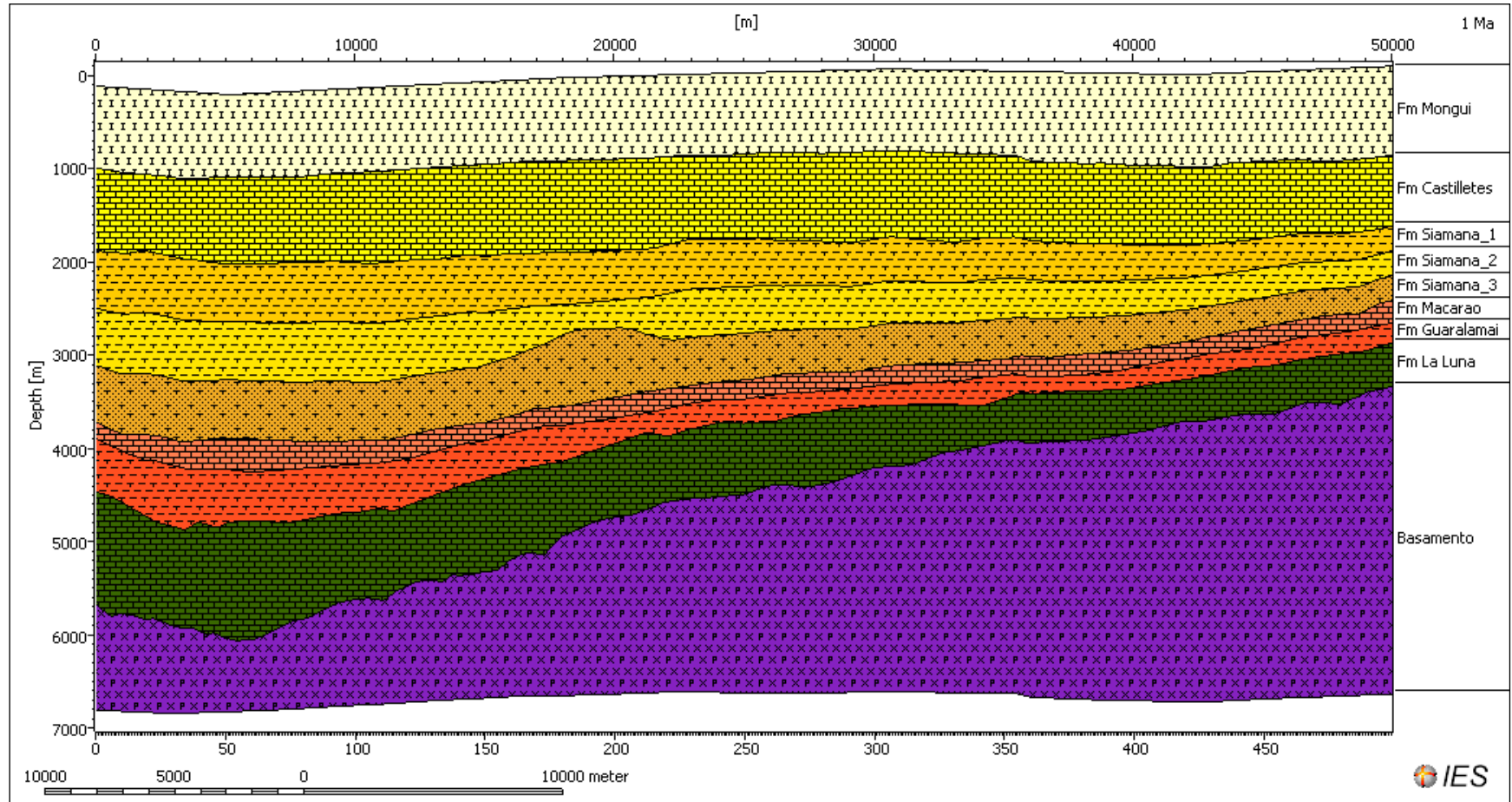


Figura 37. Formación La Luna depositándose a los 89 Ma



**Figura 38.** Se puede apreciar la disminución en el espesor de la Formación La Luna debido a que se empezaron a depositar las Formaciones Guaralamai y Macarao.



**Figura 39.** Se puede apreciar la disminución en el espesor de las Formaciones y posterior depositación de las Formaciones Siamana, Castilletes y Mongui.

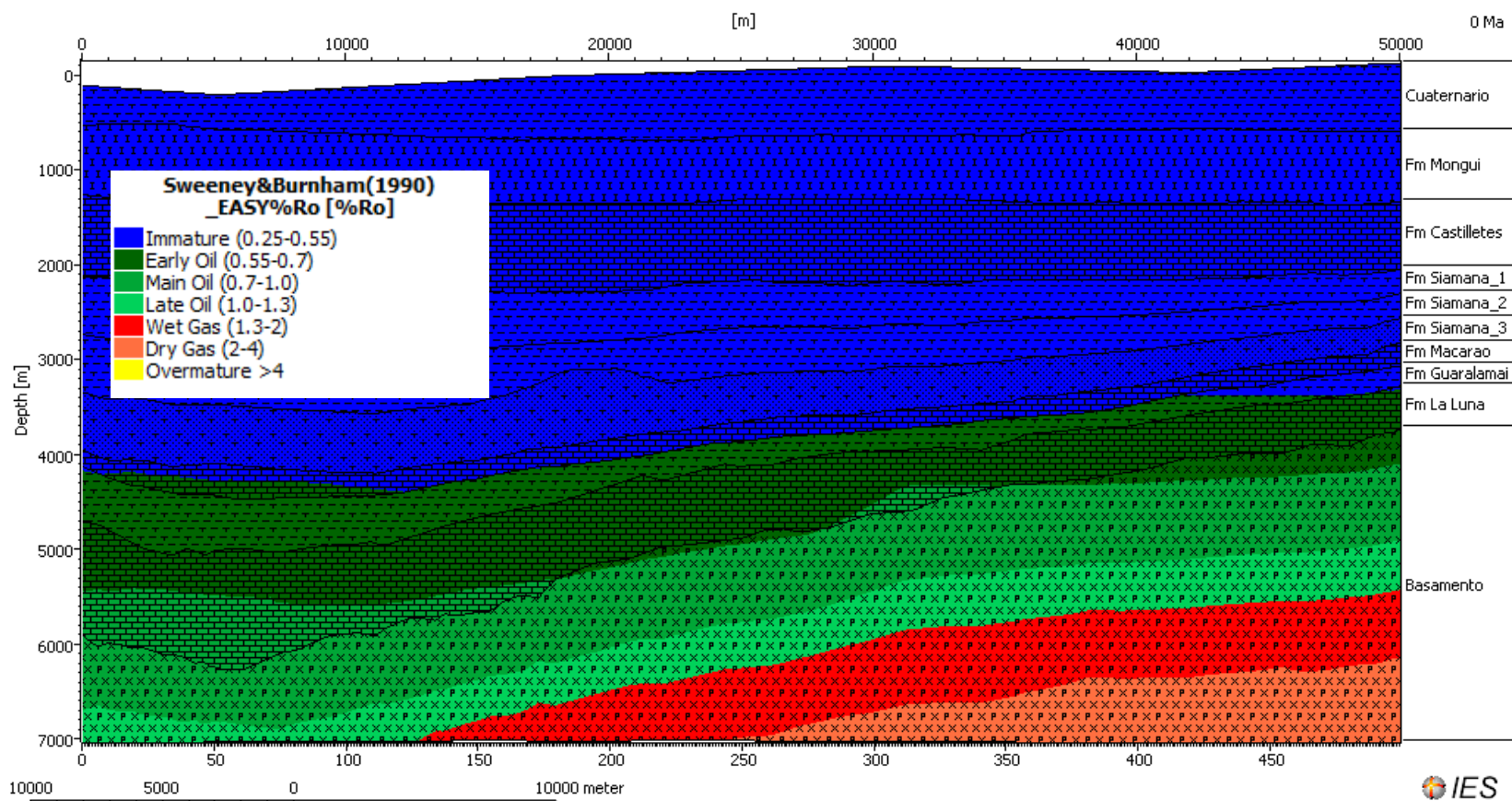
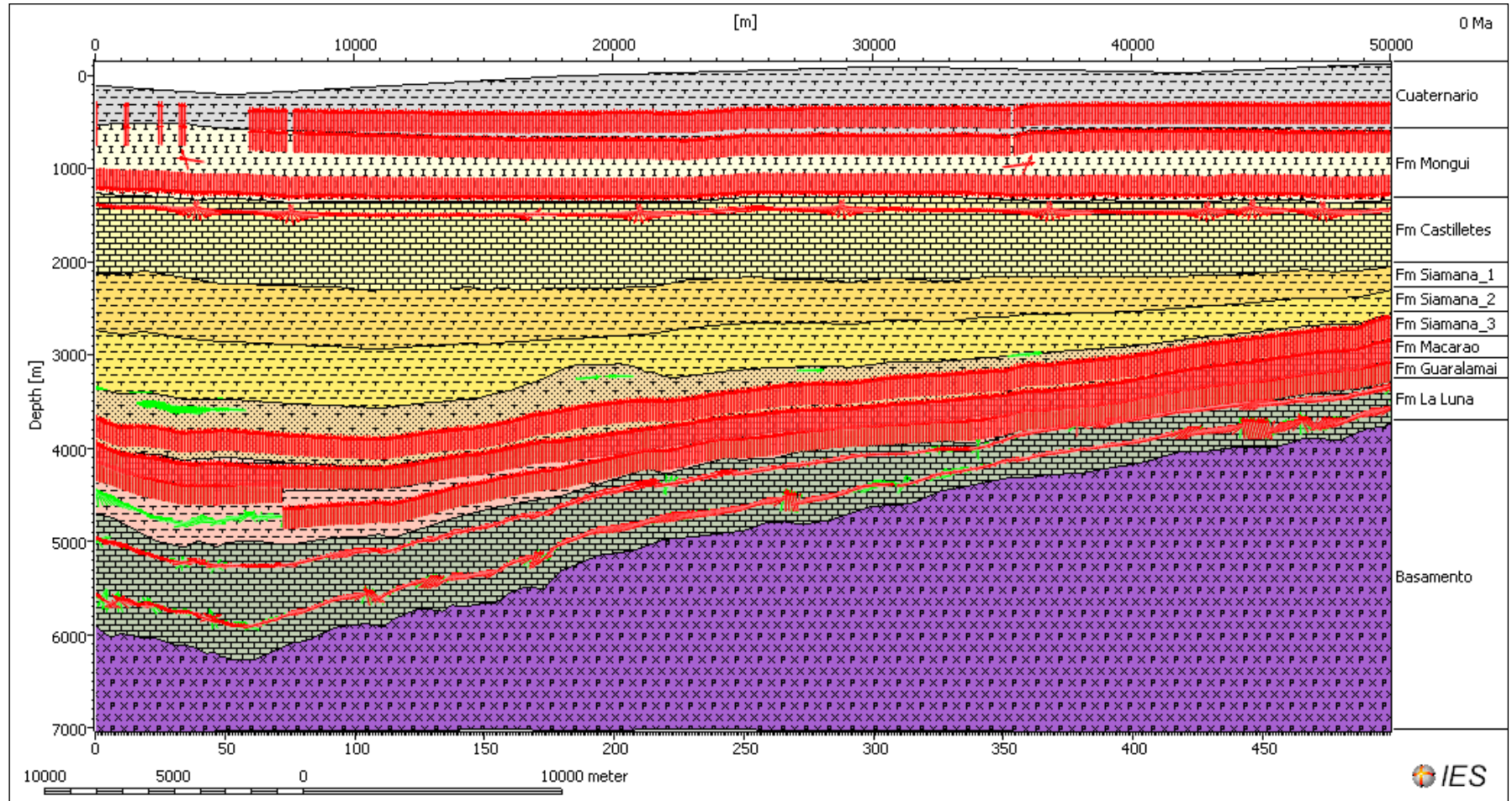


Figura 40. Profundidad Vs Reflectancia de Vitrinita (Ro). (Madurez).



**Figura 41.** Resultado del Modelo geoquímico 2D de la línea sísmica L-1973-34. Las rutas de migración de aceite se indican con flechas verdes, las rutas de migración de gas se indican con flechas rojas.



Este es el resultado del modelo realizado a la línea sísmica. Se aprecian acumulaciones mayores de gas y algunas de líquido. Ocorre generación de gas en las Formaciones Siamana, Macarao y Guaralamai al igual que la Formación La Luna, donde hay migración vertical. El modelo no muestra acumulaciones por la carencia de sello; las cantidades generadas migran verticalmente hacia la Formación Guaralamai y demás formaciones sobreyacentes.

El diagrama de enterramiento muestra que al iniciarse la depositación de la Formación La Luna, aproximadamente a 95 Ma, se observa una subsidencia de la cuenca que posteriormente es acompañada de un evento erosivo aproximadamente desde 85 Ma a 83 Ma que afecta a la formación La Luna, generando un levantamiento de las unidades en ese entonces depositadas. A medida que se depositan las Formaciones La Luna, Guaralamai y Macarao, la cuenca continúa profundizándose. Figuras 34 a 39.



## 9. CONCLUSIONES

Se identificaron 7 secuencias estratigráficas a partir de la interpretación sísmica en la que se evidencian los cambios relativos del nivel del mar en la subcuenca Baja Guajira desde el cretácico al reciente.

Las interpretaciones geológicas realizadas reflejan diferencias con los estudios anteriormente realizados en la Subcuenca Baja Guajira, principalmente en que el basamento cristalino se encuentra a los 6000 metros de profundidad, la formación La Luna en el área de estudio se encuentra a mayor profundidad y se identificaron otras formaciones existentes en otros sectores de la Subcuenca que según los modelamientos geoquímicos 1D y 2D alcanzaron la generación de hidrocarburos.

El modelo geoquímico 1D del pozo Tinka-1 fue calibrado con los datos de reflectancia de vitrinita ( $R_o\%$ ) de mediciones directas en roca perforada. Los resultados indican que las secuencias Cretácicas y Terciarias alcanzaron la ventana de generación de hidrocarburos. La Formación La Luna alcanzó la ventana de generación de gas húmedo, muy posiblemente producto del craqueo de aceite y llegó a estar muy cercana de la ventana de generación de gas seco.

El resultado del modelo 2D indica que los hidrocarburos son generados en las Formaciones La Luna, Guaralamai, Macarao, así mismo estos hidrocarburos migran hacia la superficie llegando a las formaciones Castilletes y Mongui. De acuerdo al 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 efectiva, en caso de no existir la capa sello el gas alcanza la superficie donde se dispersa.

Con base en el modelo geoquímico 2D se concluye que en la Subcuenca Baja Guajira ocurrió la generación de gas, producto de la alta madurez termal



alcanzada por las formaciones La Luna, Guaralamai y Macarao. Los hidrocarburos generados no fueron atrapados y acumulados en estructuras debido a la ausencia de niveles de rocas sello. Sin embargo en otras áreas de la Subcuenca de la Guajira podrían existir sistemas petrolíferos con la presencia de capas sello efectivas especialmente en la área costa afuera (offshore).

Según la interpretación sísmica realizada no está de acuerdo con las interpretaciones previas y por este motivo se sugiere una revisión de la información de pozo, sobre todo en lo referente a la identificación del basamento cristalino. Debido a esto se plantea una nueva interpretación en la estratigrafía de la plataforma en la cual se identificó la presencia de una secuencia sedimentaria Cretácica que incluye las Formaciones la Luna, Guaralamai y Macarao. Con base en esta nueva interpretación se construyeron modelos geoquímicos 1D y 2D que explican los procesos de generación de gas termogénico en la Subcuenca Baja Guajira.

Los trabajos anteriores realizados por Rangel y otros no tenían claridad en cuanto al origen termogénico o biogénico del gas de los campos Chuchupa y Ballena, en este trabajo se concluyó que el gas de estos campos es de origen termal a partir de los depósitos de calizas ricas en materia orgánica de la Formaciones La luna, Guaralamai y Macarao.



## 10. REFERENCIAS CITADAS

Emery. D., y K. J. Myers, 1996, Sequence Stratigraphy.

García, M. Cruz, L. Mier, R. Vásquez, M. Jiménez, M. Moreno, M., 2008, Evolución térmica de la subcuena de la baja guajira, Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones, UIS-ANH.

Kendall. C. G. St. C. SEPM Sequence Stratigraphy Web, South Carolina University, < <http://sepmstrata.org/index.html>>, consultado el 8 de octubre de 2010.

Miall. A. D., 1997, The Geology of Stratigraphic Sequences: Berlín, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 439 páginas.

Ramirez. V, 2007; Stratigraphic Framework and Petroleum Systems Modeling, Guaiira Basin Northern Colombia. Tesis de Maestría, Universidad de Alabama.

Reading. H. G., 1998, Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy: Reino Unido, Blackwell Science Ltd, 691 páginas.

Rodríguez, G., y A. C. Londoño, 2002, Mapa Geológico del Departamento de la Guajira: Geología, recursos minerales y amenazas potenciales, INGEOMINAS, Medellín, Colombia.

Snedden, J. W., y J. F. Sarg, 2008, Seismic Stratigraphy-A Primer on Methodology. Search and Discovery Article #40270, 29 páginas.



Torres. E, 2008; Interpretación Sísmica, Estructural y Modelamiento Geoquímico de la Formación La Luna, en el Noreste de Colombia. Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Vail, P.R., R. M. Mitchum, JR., y S. Thompson, 1977, Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 3: Relative Changes of Sea Level from Coastal Onlap, *in* New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Socorro, New Mexico 87801.

Van Wagoner. J. C., y G. T. Bertram., 1995, Sequence Stratigraphy of Forelands Basin Deposits. Outcrop and subsurface Examples from the Cretaceous of North America: Tulsa, Oklahoma, U.S.A., The American Association of Petroleum Geologist (AAPG).

Vence. E, 2008, Subsurface structure, stratigraphy, and regional tectonic controls of the Guajira margin of northern Colombia, Tesis de Maestría, Universidad de Austin, Texas.

Zimmerle. Winfried, 1995, Petroleum Sedimentology: Holanda, Kluwer Academic Publishers.