



**CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DE  
UNA SECUENCIA CORAZONADA DE LA FORMACIÓN RANCHO,  
VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA**

**HOLMAN DARIO RINCÓN CUERVO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2008**

**CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLOGICA Y ESTRATIGRÁFICA DE  
UNA SECUENCIA CORAZONADA DE LA FORMACIÓN RANCHO,  
VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA**

**HOLMAN DARIO RINCÓN CUERVO**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título  
de Geólogo**

**Directora  
GEORGINA GUZMÁN OSPITIA  
Geóloga Ph. D.**

**Co-Director  
GERMAN DAVID MESA  
Geólogo Msc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUCARAMANGA  
2008**

*A Dios por haberme guiado e iluminado el camino.*

*A Mis Padres Carlos y Blanca por darme siempre su apoyo y por que a pesar de la distancia siempre me acompañaron y estuvieron conmigo cuando más los necesite.*

*A mis Hermanos por acompañarme en esta etapa de mi vida.*

*A los que me acompañaron en el proceso de formación como profesional en especial a Laura Rueda por haber sido mi amiga incondicional en todo momento y por haber compartido todos estos años de vida estudiantil.*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Georgina Guzmán Ospitia por haber aceptado ser mi directora.**

**A Alberto Ortiz por el apoyo en la realización de este proyecto.**

**A Helga Niño por todos los consejos y la ayuda que me brindó en el transcurso del desarrollo de este trabajo de investigación.**

**Al Grupo de Investigación en Estratigrafía (GIE).**

**A los profesores de la Escuela de Geología por la formación como profesional.**

**A las personas que de alguna u otra forma estuvieron involucrados en el transcurso y realización de este trabajo.**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>3</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2 Objetivos Generales</b>	<b>3</b>
<b>1.1.3 Objetivos Específicos</b>	<b>3</b>
<b>1.2 LOCALIZACIÓN AREA DE ESTUDIO</b>	<b>4</b>
<b>2. MARCO GEOLOGICO</b>	<b>9</b>
<b>2.1 ESTRATIGRAFIA</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1 Formación Alférez</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2 Miembro Barcelona</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3 Formación Mandatú</b>	<b>14</b>
<b>2.2 ESTRUCTURAS</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1 Falla de Romeral</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2 Lineamiento de Sinú</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3 Arco Magangué-Cicuco</b>	<b>17</b>

<b>2.2.4 Falla Bucaramanga-Santa Marta</b>	<b>18</b>
<b>2.2.5 Falla de Oca</b>	<b>18</b>
<b>2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE COLOMBIA</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1 Cretáceo Tardío-Paleoceno (Cansoniense Temprano)</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2 Paleoceno-Eoceno Medio (Cansoniense Medio y Tardío)</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3 Orogenia Pre-Andina (Eoceno Medio)</b>	<b>22</b>
<b>2.3.4 Eoceno Tardío-Oligoceno (Carmeniense Temprano)</b>	<b>23</b>
<b>2.3.5 Diastrofismo Oligoceno-Mioceno</b>	<b>24</b>
<b>2.3.6 Mioceno Temprano a Medio (Carmeniense Medio)</b>	<b>25</b>
<b>2.3.7 Mioceno Tardío-Plioceno (Carmeniense Tardío)</b>	<b>26</b>
<b>2.3.8 Orogenia Andina (Plio-Pleistoceno)</b>	<b>27</b>
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>30</b>
<b>3.1 METODOLOGÍA DESCRIPCIÓN DE CORAZONES</b>	<b>30</b>
<b>4. CARACTERIZACIÓN DE FACIES</b>	<b>36</b>
<b>4.1 TIPOS DE FACIES</b>	<b>36</b>
<b>4.1.1 Litofacies</b>	<b>36</b>
<b>4.1.2 Biofacies</b>	<b>37</b>
<b>4.2 METODOLOGIA PARA CARACTERIZACIÓN DE FACIES</b>	<b>37</b>

<b>5. DESCRIPCIÓN FACIAL</b>	<b>39</b>
<b>5.1 FACIES ARENISCAS MASIVAS SIN ESTRUCTURAS (Am)</b>	<b>40</b>
<b>5.2 FACIES ARENISCAS BIOTURBADAS (Amb)</b>	<b>40</b>
<b>5.3 FACIES ARENISCAS CON LAMINACIONES (Amcl)</b>	<b>41</b>
<b>5.4 FACIES LIMOLITAS CON BIOCLASTOS (FLb)</b>	<b>42</b>
<b>5.5 FACIES LIMOLITAS CON LAMINACIONES (FLI)</b>	<b>44</b>
<b>5.6 ASOCIACION DE FACIES</b>	<b>47</b>
<b>5.6.1 Asociación de las Facies Am</b>	<b>47</b>
<b>5.6.2 Asociación de las Facies Amb</b>	<b>47</b>
<b>5.6.3 Asociación de las Facies Amcl</b>	<b>48</b>
<b>5.6.4 Asociación de las Facies FLb</b>	<b>49</b>
<b>5.6.5 Asociación de las Facies FLI</b>	<b>50</b>
<b>6. INTERPRETACIÓN AMBIENTAL</b>	<b>51</b>
<b>6.1 Interpretación Ambiental Pozo Carmen-Zambrano 1</b>	<b>53</b>
<b>6.2 Interpretación Ambiental Pozo Carmen-Zambrano 2</b>	<b>54</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>62</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1. Facies identificadas en los Pozos Estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen Zambrano 2</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 2. Espesores y Facies en el Pozo Carmen-Zambrano 1</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 3. Espesores y Facies en el Pozo Carmen-Zambrano 2</b>	<b>46</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1. Ubicación del Cinturón Plegado de San Jacinto</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2. Localización Geografica de los Pozos Estratigráficos Analizados</b>	<b>8</b>
<b>Figura 3. Cinturón Plegado de San Jacinto</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4. Unidades Litoestratigráficas para el Cinturón Plegado de San Jacinto</b>	<b>12</b>
<b>Figura 5. Unidades Estratigráficas aflorantes entre las Poblaciones de Carmen de Bolívar y Zambrano</b>	<b>15</b>
<b>Figura 6. Principales Sistemas de Fallas en el Noroccidente de Colombia. Mapa Estructural Generalizado</b>	<b>16</b>
<b>Figura 7. Paleogeografía y Paleosutura de Romeral durante el Cretáceo Superior-Paleoceno</b>	<b>19</b>
<b>Figura 8. Esquema Evolutivo. Cretáceo Superior-Eoceno Inferior</b>	<b>20</b>
<b>Figura 9. Esquema Evolutivo. Orogenia Preandina</b>	<b>22</b>

<b>Figura 10. Bloque Diagrama Ilustrativo del Mecanismo de Distensión y la Configuración Inicial de la Subcuenca Plato-San Jorge</b>	<b>23</b>
<b>Figura 11. Esquema Evolutivo. Mioceno Temprano-Medio</b>	<b>25</b>
<b>Figura 12. Esquema Evolutivo. Mioceno Tardío</b>	<b>27</b>
<b>Figura 13. Esquema Evolutivo. Plio-pleistoceno</b>	<b>28</b>
<b>Figura 14. Núcleos Tendidos Pozo Carmen Zambrano 1</b>	<b>31</b>
<b>Figura 15. Núcleos Tendidos Pozo Carmen Zambrano 2</b>	<b>31</b>
<b>Figura 16. Formato Utilizado para la descripción de Núcleos</b>	<b>32</b>
<b>Figura 17. Estéreo microscopio ZEISS Stemi DV4</b>	<b>33</b>
<b>Figura 18. Facies Areniscas Masivas sin Estructuras (Am)</b>	<b>40</b>
<b>Figura 19. Facies Areniscas Bioturbadas (Amb)</b>	<b>41</b>
<b>Figura 20. Facies Areniscas con Laminaciones (Amcl)</b>	<b>42</b>
<b>Figura 21. Facies Limolitas con Bioclastos (FLb). Foraminífero Bentónico</b>	<b>43</b>
<b>Figura 22. Facies Limolitas con Bioclastos (FLb). Fragmentos de Conchas</b>	<b>43</b>
<b>Figura 23. Facies Limolitas con Laminaciones (FLI). Laminación Convoluta</b>	<b>44</b>
<b>Figura 24. Facies Limolitas con Laminaciones (FLI). Laminación</b>	

<b>Plano-Paralela</b>	<b>45</b>
<b>Figura 25. Asociación de las Facies Am</b>	<b>47</b>
<b>Figura 26. Asociación de las Facies Amb</b>	<b>48</b>
<b>Figura 27. Asociación de las Facies Amcl</b>	<b>49</b>
<b>Figura 28. Bloque-diagrama del Ambiente de Sedimentación de los Pozos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano</b>	<b>55</b>

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO 1. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLOGICA Y ESTRÁTIGRAFICA REPRESENTADA A ESCALA 1:100 DEL POZO CARMEN-ZAMBRANO 1. FORMACIÓN RANCHO</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO 2. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLOGICA Y ESTRÁTIGRAFICA REPRESENTADA A ESCALA 1:100 DEL POZO CARMEN-ZAMBRANO 2. FORMACION RANCHO</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO 3. POZO ESTRATIGRAFICO CARMEN-ZAMBRANO 1 COLUMNA GENERALIZADA REPRESENTADA A ESCALA 1:1000</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 3. POZO ESTRATIGRAFICO CARMEN-ZAMBRANO 2 COLUMNA GENERALIZADA REPRESENTADA A ESCALA 1:1000</b>	<b>66</b>

## RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACION SEDIMENTOLOGICA Y ESTRATIGRAFICA DE UNA SECUENCIA CORAZONADA DE LA FORMACION RANCHO, VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA\*.

AUTOR: HOLMAN DARIO RINCÓN CUERVO\*\*

PALABRAS CLAVES: DESCRIPCION SEDIMENTOLOGICA, POZOS ESTRATIGRAFICOS, FACIES SEDIMENTARIAS, AMBIENTE DE DEPOSITACION

En la caracterización sedimentológica y estratigráfica de los pozos Carmen-Zambrano 1 y 2, tomados en el departamento de Bolívar el cual hace parte del Valle Inferior del Magdalena, se describieron aproximadamente 421 metros de pozos corazonados correspondientes a la Formación Rancho la cual aflora entre las poblaciones del Carmen de Bolívar y Zambrano; para la realización de este trabajo se describieron los pozos estratigráficos correspondientes a esta Formación de tope a base y se determinaron las facies sedimentarias (5 facies) que representan las características más visibles y notables que hacen parte de estos dos pozos con las cuales se determino el ambiente en el que ocurrió la depositación de esta Formación.

Los resultados que se obtuvieron para estos dos pozos estratigráficos muestran que la depositación ocurrió en un ambiente de origen marino por las características y la tasa de sedimentación baja que fueron observadas en los dos pozos estratigráficos. Los núcleos fueron ubicados en una zona de sedimentación deltaica por el tamaño de grano muy fino a fino en las arenas y el gran porcentaje de lodos que se encontraron además de la poca fauna en la que observo algunos foraminíferos bentónicos y fragmentos de conchas; con estas y con las características faciales se concluyo que la depositación ocurrió en una zona que va desde una parte distal (Prodelta) a una zona más proximal (Frente de delta).

---

\*Tesis de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Directora PhD. Georgina Guzmán Ospitia. Codirector Msc Germán Meza.

## ABSTRACT

TITLE: SEDIMENTOLOGYCAL AND STRATIGRAPHIC CHARACTERIZATION OF A CORE SEQUENCE OF THE RANCHO FORMATION, LOWER MAGDALENA VALLEY\*.

AUTHOR: HOLMAN DARIO RINCON CUERVO\*\*

KEY WORDS: SEDIMENTOLOGYCAL CHARACTERIZATION, STRATIGRAPHIC CORE, SEDIMENTARY FACIES, DEPOSIT ENVIRONMENT.

The sedimentologycal and stratigraphic characterization of the stratigraphic cores Carmen-Zambrano 1 and 2 took in Bolivar department, the section is situated on the western margin which is part of the Lower Magdalena Valley, there were described approximately 421 meters of core sample corresponding to the Rancho Formation and outcrop in the town of Carmen de Bolivar and town of Zambrano, for the carrying out of this work were described the cores from the top to base and in this Formation were determined sedimentary facies (5 facies) that represent the most visible and remarkable characteristics of both of them.

The characteristics and sedimentation rate shows that the cores were deposited in a marine environment, they were ubicated in a deltaic field because in the samples the size grain in the cores were very fine to fine sands and mainly muds in both, and the fauna was poor where only recognized benthic foraminifera and Shell fragments, with this facial characteristics be determined that the deposition were in a distal zone (Prodelta) to an area more proximal zone (Front delta).

---

\* Thesis of Degree

\*\* Faculty of Physico-chemistry Engineerings. Geology School. Director PhD. Georgina Guzmán Ospitia. Codirector Msc Germán Meza.

## INTRODUCCIÓN

El Valle Inferior del Magdalena (VIM) es una de las cuencas que en los últimos años ha empezado a ser explorada con mayor interés y a tener una gran importancia en las industrias dedicadas a la búsqueda de hidrocarburos como es el caso de Ecopetrol y de otras compañías que están explorando el territorio nacional.

Estos trabajos de investigación se han incrementado en las zonas que han sido poco estudiadas o que hasta el momento han sido poco productivas y que últimamente han vuelto a retomar las labores de exploración y explotación.

En la industria petrolera hay muchos factores que son de vital importancia en las primeras fases de exploración y obtener los registros corazonados es una de ellas puesto que se convierten en elementos tangibles para su posterior descripción e interpretación y además proporcionan la información necesaria para que un proyecto sea de interés y se encuentre dentro de los parámetros para que sea económicamente viable o no.

El alcance final de este trabajo es la descripción tanto sedimentológica como estratigráfica de estos dos pozos corazonados Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2 tomados en el área de Carmen de Bolívar y Zambrano en el departamento de Bolívar y con la realización de este trabajo se pueda tener una descripción más completa, detallada y actualizada de un pozo estratigráfico, para que con esta información y con futuras investigaciones y

estudios sirvan de apoyo y se logre complementar y determinar la importancia de esta cuenca para la exploración de hidrocarburos en el país.

Este proyecto forma parte del convenio 005 de 2007 de la Unidad de investigación del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y el Grupo de Investigación en Estratigrafía (GIE) perteneciente a la Universidad Industrial de Santander (UIS).

# **1. GENERALIDADES**

## **1.1 OBJETIVOS**

Con este trabajo se busca completar la información de una de las secciones estratigráficas más completa desde el punto de vista de sedimentación, pero a la vez la más incompleta desde el punto de vista de exposición en afloramientos, secuencia que fue estudiada en el trabajo clásico de Petters y Sarmiento, 1956.

### **1.1.2 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la descripción petrológica y sedimentológica de los pozos estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2 que corresponden a una sección del Grupo Rancho en el Tope de la Formación Alférez.

### **1.1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Descripción macroscópica de los registros corazonados de dos pozos estratigráfico (421 m aproximadamente) tomados en el Tope de la Formación Alférez del área comprendida entre Carmen de Bolívar y Zambrano.

- Realizar las columnas estratigráficas (Escala 1:100) con la información recolectada en los pozos estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2.
- Determinar las facies sedimentarias a partir de la descripción sedimentológica de los pozos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2.
- Establecer el ambiente de depósito de la Formación o Formaciones identificadas en dichos pozos.

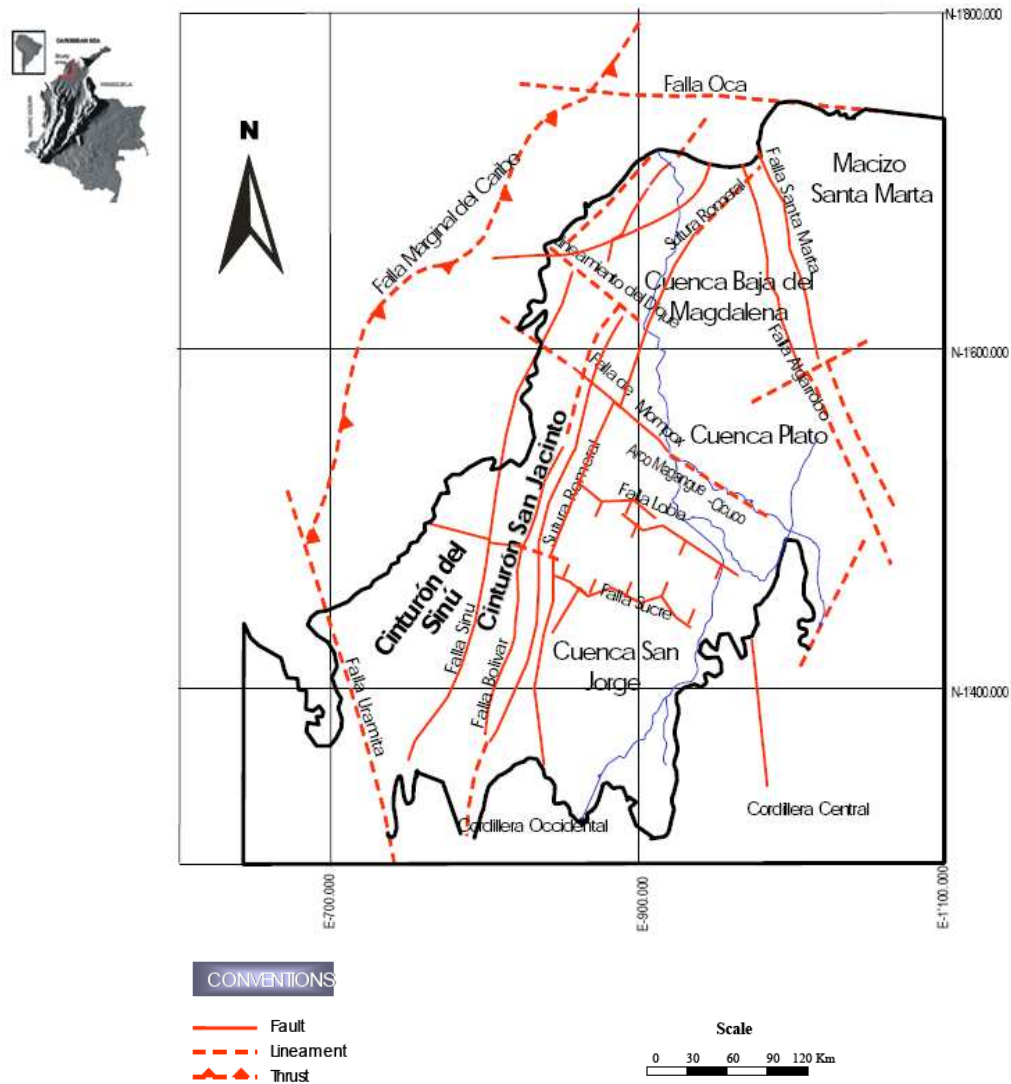
## **1.2 LOCALIZACIÓN AREA DE ESTUDIO**

La provincia geológica conocida como Cinturón Plegado de San Jacinto se localiza en el Noroccidente de Colombia, en el dominio fisiográfico del Valle Inferior del Magdalena entre el Cinturón de Sinú y las depresiones de Plato y San Jorge, con una dirección general N20°E, una longitud de 360 Km y un Ancho de 20 km aproximadamente (Caro M., 2003).

El cinturón de San Jacinto (Duque-Caro., 1978 en Guzmán., 2004), se encuentra limitado al oriente por el lineamiento de Romeral que lo separa de las subcuencas de San Jorge y Plato y al occidente por el lineamiento del Sinú que lo separa del cinturón del Sinú (Figura 1). Se considera que las rocas de este sector yacen sobre basamento de corteza oceánica mientras que los de San Jorge y Plato yacen sobre basamento de corteza continental, de acuerdo con los tipos de roca encontrados durante la perforación de algunos pozos de petróleo.

La provincia continental se extiende hacia el Este de la sutura de Romeral y está formada por la Cuenca Inferior del Magdalena (Definida por Duque-Caro., 1979,1984, en Guzmán., 2007) la cual corresponde a la región localizada entre el límite Oeste de la Sierra Nevada de Santa Marta y los cinturones adyacentes de Sinú y San Jacinto.

**Figura 1. Ubicación del Cinturón Plegado de San Jacinto.**



Fuente: Modificado de Duque-Caro., 1979, en Guzmán 2007.

La provincia oceánica se extiende desde el Oeste de la sutura de Romeral y está formada por dos principales facciones geológicas: los Cinturones de Sinú y San Jacinto limitados por los lineamientos estructurales de Colombia, Sinú y Romeral (Duque-Caro., 1979, en Guzmán, 2007).

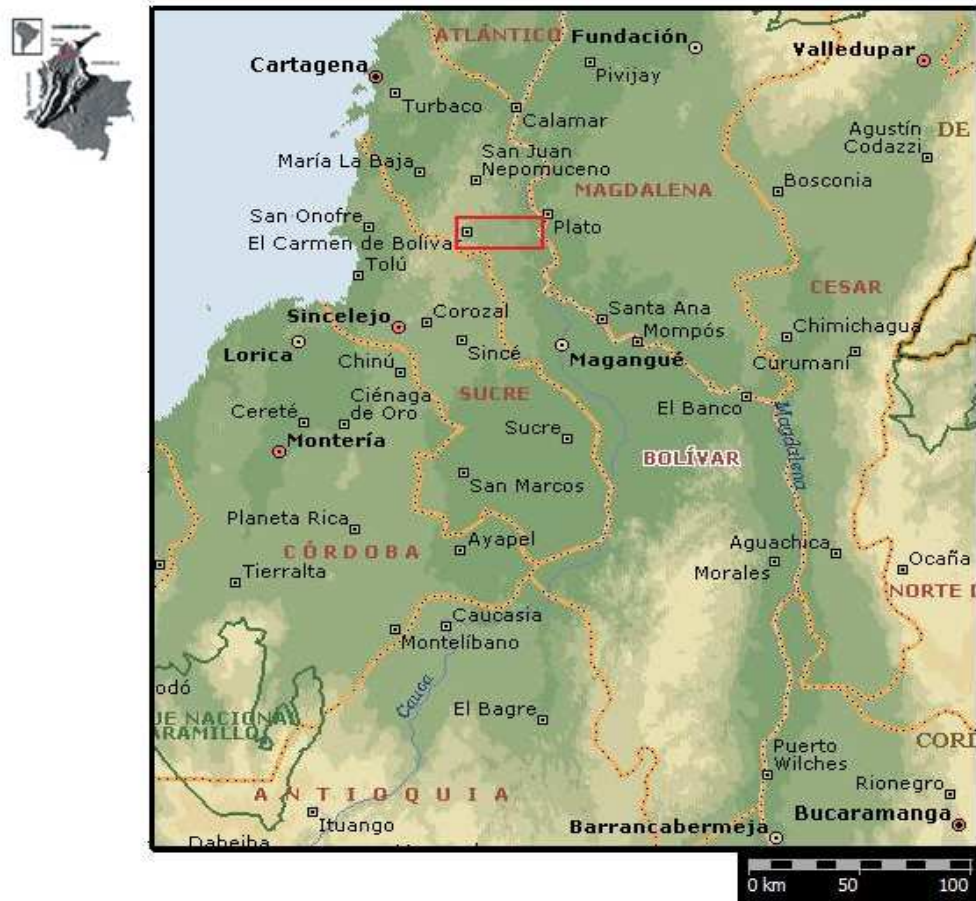
Este trabajo se ha realizado con núcleos de perforación pertenecientes a los pozos estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen Zambrano 2 los cuales se encuentran ubicados en la parte Norte del Cinturón Plegado de San Jacinto más exactamente en la Cuenca de Plato.

Los Pozos estratigráficos fueron tomados entre las poblaciones de El Carmen de Bolívar y Zambrano en el Departamento de Bolívar (Figura 2) los cuales se encuentran ubicados en las siguientes coordenadas:

*Pozo Carmen-Zambrano Estratigráfico 1*      *Latitud*    9°43'23.9"N  
*Longitud* 75°0'12.7"O

*Pozo Carmen-Zambrano Estratigráfico 2*      *Latitud*    9°43'23.9"N  
*Longitud* 75°0'12.7"O

**Figura 2. Localización Geográfica de los Pozos Estratigráficos Analizados.**



Fuente: Enciclopedia Encarta y Google Earth.

## 2. MARCO GEOLOGICO

Los patrones estructurales que se presentan en esta provincia geológica, al igual que en todo el Norte de Colombia, están determinadas por las características tectónicas, dominadas por interacción de las placas tectónicas Caribe y Suramericana. Producto de esta dinámica tectónica, la estructura de este Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ) la conforman anticlinales estrechos y sinclinales amplios (Duque Caro., 1977; en Reyes, 1996).

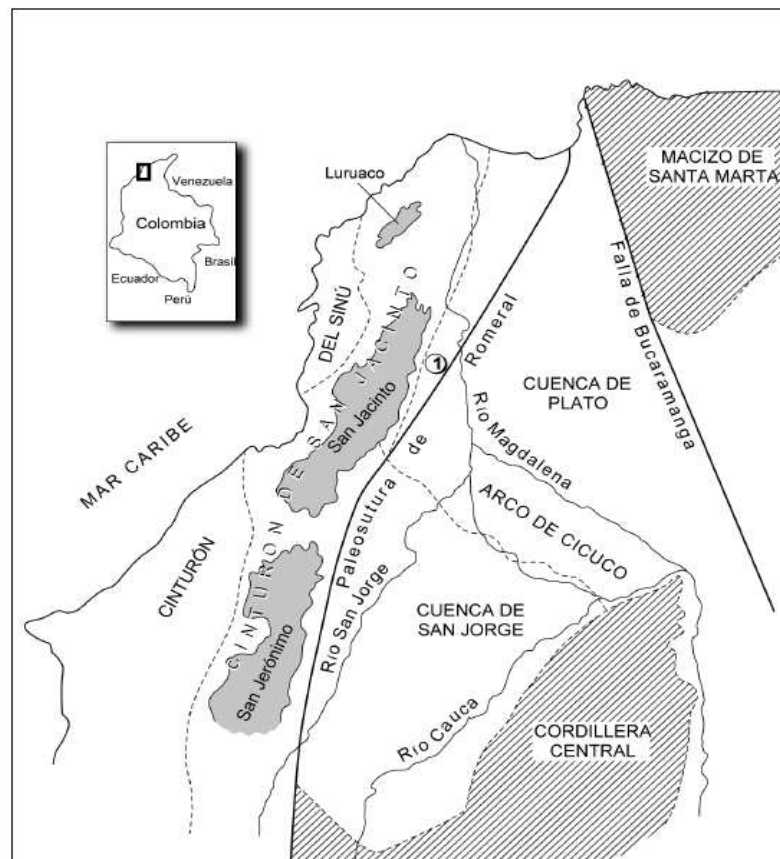
El Cinturón de San Jacinto se localiza en el extremo noroccidental del Valle Inferior del Magdalena. Tectónicamente se limita al Oeste por el Lineamiento Estructural del Sinú, al este por el Lineamiento Estructural de Romeral (Figura 3). El estilo estructural de este terreno o bloque tectónico está caracterizado por presentar una dirección general N-S a N20°E, flexión aparente en su extremidad hacia el occidente. Anticlinales estrechos y sinclinales amplios con fallamiento principal hacia las estructuras anticlinales.

Dos clases de geoformas caracterizan esta unidad tectonoestratigráfica:

**Unidades Estructurales Menores:** expresadas por colinas sencillas y cónicas, compuestas por estratos intensamente contorsionados de pelagitas y hemipelagitas y principalmente localizados hacia los flancos occidentales del cinturón, como ocurre en el área del Golfo de Morrosquillo donde estas formas aparecen como masas aisladas emergiendo de los terrenos planos circundantes con altitudes de aproximadamente 20 m (Duque-Caro., 1979).

**Unidades Estructurales Mayores:** separadas entre sí por terrenos planos y cenagosos, los cuales aumentan la altitud hacia el sur. Colinas cónicas características en el anticlinorio de Luruaco alcanzan altitudes máximas de 475 m, 850 m en el de San Jacinto, y 1270 m en el de San Jerónimo. Las rocas más antiguas a lo largo de los núcleos de estos anticlinales están compuestas por lodolitas y cherts silíceas de edad Cretáceo Superior, las que comúnmente estas circundadas por turbiditas de edad Paleoceno a Eoceno Medio (Duque-Caro., 1979). Hacia la zona nuclear del levantamiento, tanto los cherts como lodolitas silíceas aparecen más intensamente deformadas (macro y microplegadas) que los estratos de las turbiditas suprayacentes.

**Figura 3. Cinturón Plegado de San Jacinto.**



Fuente: De Porta, 2003

## 2.1 ESTRATIGRAFIA

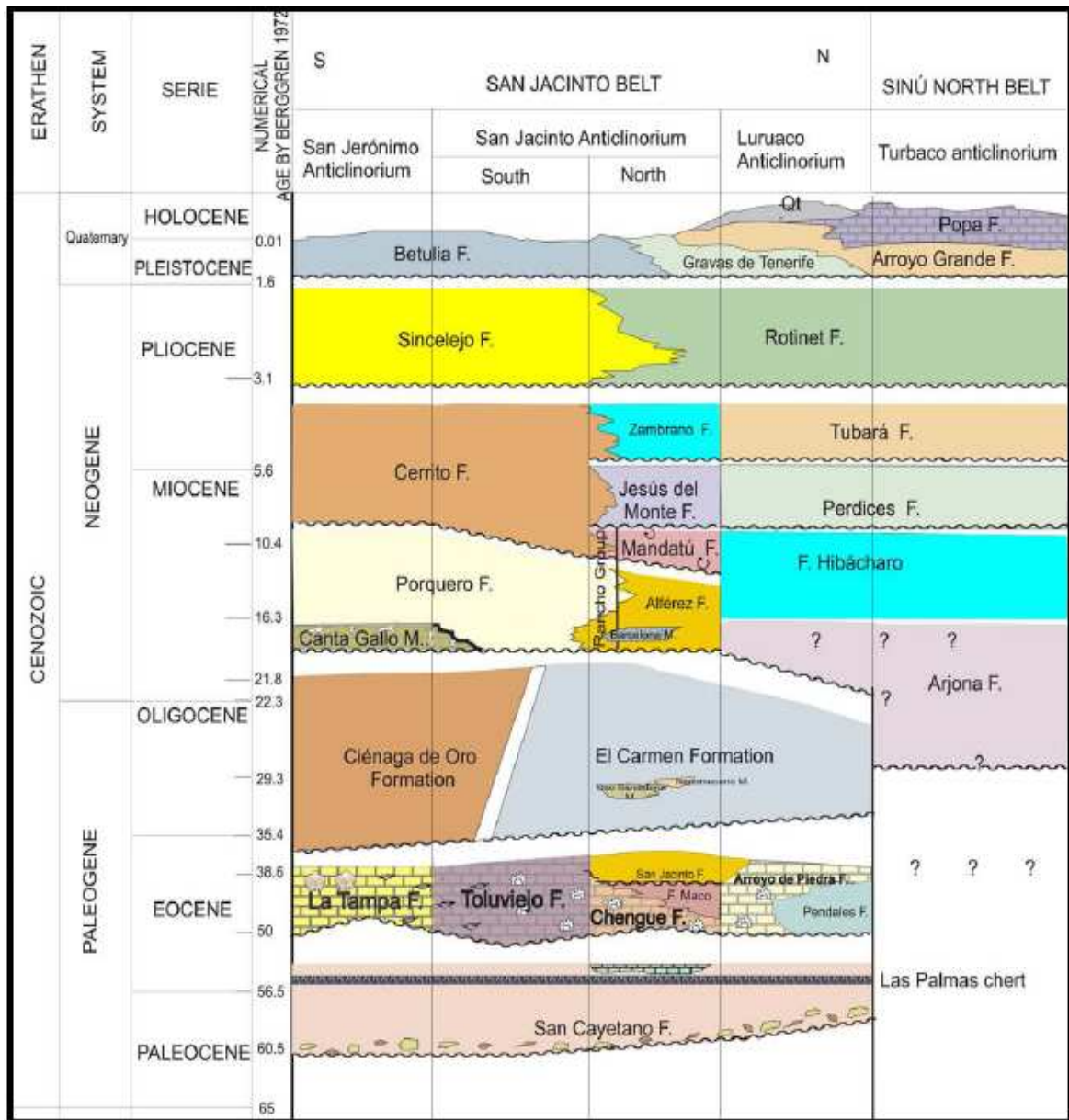
Los cinturones de Sinú y San Jacinto que se encuentran en la región noroccidental son muy similares pero difieren en edad, el cinturón de Sinú tiene una edad Oligoceno-Holoceno y el cinturón de San Jacinto Cretácico Superior-Holoceno (Duque-Caro., 1984, en Guzmán, 2007).

En general la región noroccidental de Colombia está caracterizada por cambios laterales de las secuencias sedimentarias depositadas hecho que se debe principalmente a la paleogeografía presente en el momento de la depositación y las condiciones tectónicas dominadas por la convergencia de placas desde el Cretácico tardío al Terciario temprano (Duque-Caro., 1977, en Reyes, 2000).

La estratigrafía tomada para este trabajo comprende las Formaciones que pertenecen al Grupo denominado Rancho el cual hace parte del Cinturón plegado de San Jacinto en la Cuenca de Plato y de los cuales se tomaron los dos pozos estratigráficos para la realización de este trabajo.

A continuación se muestran las unidades litoestratigráficas del Cinturón Plegado de San Jacinto tanto en el Norte como en el Sur de este cinturón (Figura 4).

**Figura 4. Unidades Litoestratigráficas para el Área del Cinturón Plegado de San Jacinto.**



Fuente: Guzmán, 2007

Las unidades estratigráficas que conforman el Grupo Rancho son la Formación Alférez, Miembro Barcelona y la Formación Mandatú las cuales se describen brevemente a continuación:

**2.1.1 Formación Alférez:** Predominantemente, formada por arcillas de color negro verdoso. Las arcillas se encuentran interestratificadas con arcillas calcáreas, seguidas por lodos calcáreos bioturbados con intercalaciones esporádicas de areniscas de grano fino. La Formación Alférez se le da una edad de Mioceno Temprano-Tardío a Mioceno Medio. El espesor de esta formación es de 515 m en el arroyo Alférez, en la carretera que comunica al Carmen de Bolívar y Zambrano, 520 m en la sección del arroyo San Jacinto, 320 m en la sección arroyo Salvador, y 215 m en la sección arroyo Guamo Desconsolado en donde el contacto inferior con la Formación el Carmen no es observado. La sección arroyo Salvador corresponde al flanco occidental del sinclinal. La base presenta un alto grado de bioturbación y existe un mayor predominio de limolitas en relación con la sección de la carretera El Carmen-Zambrano (Guzmán G., 2007).

Dentro de la Formación Alférez se incluye el Miembro Barcelona el cual se caracteriza por ser un miembro calcáreo y es aquí donde mejor se encuentra expuesto.

**2.1.2 Miembro Barcelona:** Este miembro es calcáreo con abundantes componentes clásticos cuyo origen proviene de condiciones tectónicas e influenciadas por condiciones de retrodegradación permitiendo la formación de bio-esparita terrígena. Se caracteriza por lechos tabulares de calcita y bioclastos de calcarenitas principalmente color gris rojizo, estos están intercalados con paquetes medios y gruesos de arcilla calcárea color negro grisáceo. Los lechos de

calcarenitas muestran una matriz de micrita y estratificación cruzada hummocky (Guzmán G., 2007).

Una monótona secuencia de lechos delgados tabulares de arenas finas a medias con laminación planoparalela interna seguida de laminación ondulosa paralela en el tope de la capa del Miembro Barcelona. El espesor promedio de este miembro es de aproximadamente 5 metros y aflora en la sección Arroyo Alférez y en el Arroyo San Jacinto.

El Miembro Barcelona aflora entre los municipios de San Juan Nepomuceno y San Jacinto, corresponde a un horizonte de bioesparita clástica conocido como las Calizas de Barcelona y no presenta continuidad lateral (Guzmán., 2004).

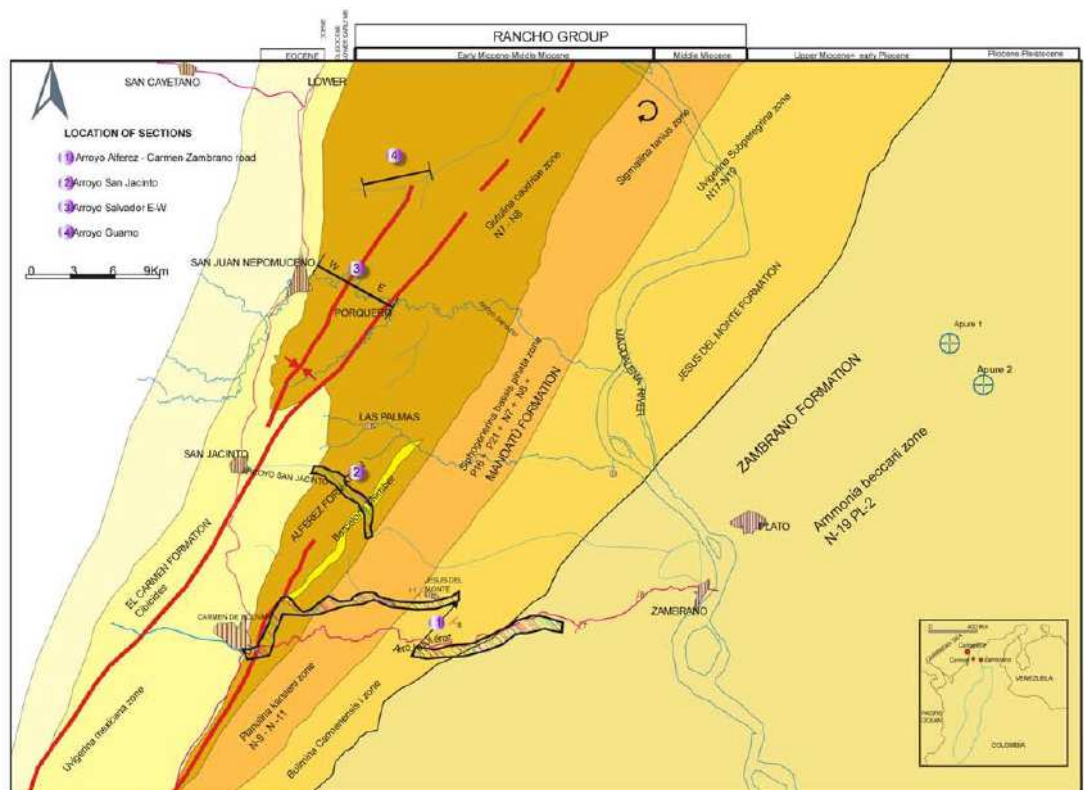
**2.1.3 Formación Mandatú:** está formación se caracteriza por tener arena de grano fino a media con intercalaciones de arcilla masiva, los lechos de arena muestran laminación cruzada y convoluta, ocasionalmente con laminaciones planares hacia la base. Con análisis micropaleontológicos se ha logrado determinar la edad de esta Formación es Mioceno Medio-tardío a Mioceno Tardío incluyendo la fauna retrabajada del Oligoceno.

La bioturbación es frecuente a lo largo de esta Formación y esta es muy común en la base. Estructuras slumping son comunes a lo largo de la formación, también hay concreciones compactas de arena calcárea que son encontradas en cuerpos de arena con clastos de arcilla con tamaños que van desde 3 centímetros a más de un metro (Guzmán G., 2007).

Fragmentos de Bivalvos, foraminíferos arenáceos y foraminíferos planctónicos escasos representan el contenido fósil además restos de plantas son comunes a lo largo de este intervalo (Guzmán., 2007).

En la carretera que del Carmen de Bolívar comunica con la población de Zambrano se encuentran cuatro Formaciones de las cuales solamente se describieron las tres unidades estratigráficas que conforman al Grupo Rancho (Figura 5).

**Figura 5. Unidades Estratigráficas aflorantes entre las poblaciones de Carmen de Bolívar y Zambrano.**

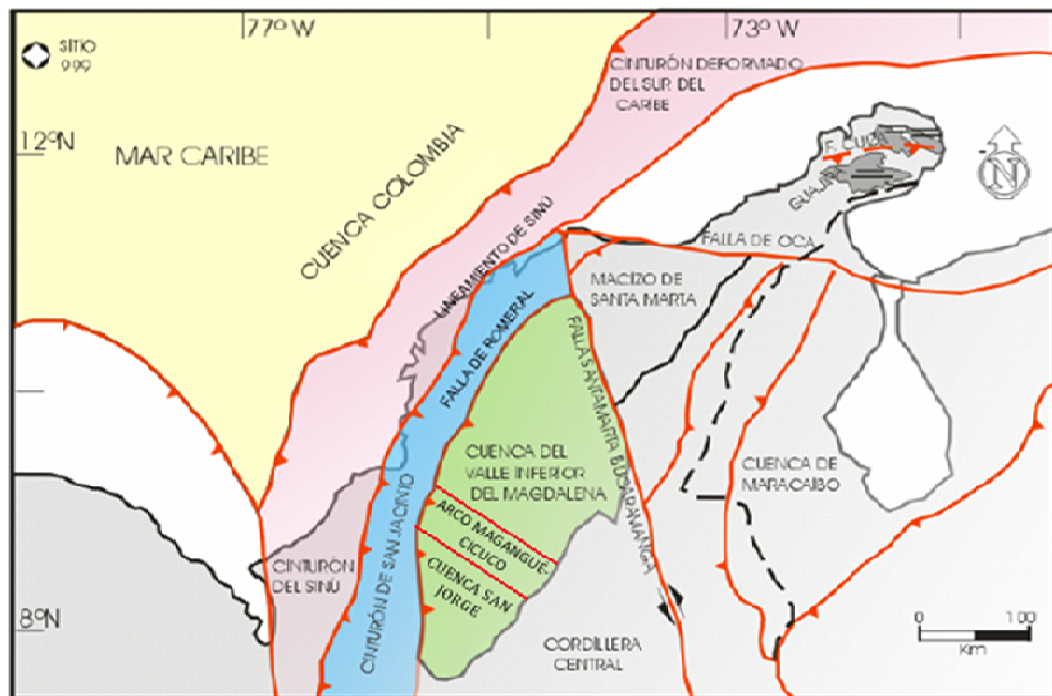


Fuente: Guzmán, 2007.

## 2.2 ESTRUCTURAS

Los elementos claves del noroccidente colombiano como la Sutura de Romeral, el lineamiento de Sinú, el Arco de Magangué-Cicuco, la Falla de Bucaramanga-Santa Marta y de Oca juegan un papel importante en la evolución tectono-estratigráfica desde el Cretácico Superior hasta la actualidad, donde se fueron modelando los fondos de sedimentación en el área Caribe de Colombia; de oriente a occidente: el Cinturón Plegado del Sinú, el Cinturón Plegado de San Jacinto y las cuencas de San Jorge y Plato, términos definidos por Duque-Caro, 1979 (Figura 6).

**Figura 6. Principales Sistemas de Fallas en el Noroccidente de Colombia. Mapa Estructural Generalizado.**



Fuente: Modificado de Caro, 2003.

**2.2.1 Falla de Romeral:** Barrero et al. (1969) usaron el nombre de falla Romeral para designar una zona de falla con una longitud de más de 800 Km a partir del sur de Colombia hacia el norte, esta forma el borde del cinturón plegado de San Jacinto. Una de las características más importante que tiene esta zona de falla es que también separa dos ambientes o provincias geológicas: continental al oriente y oceánica al occidente, la Sutura de Romeral fue prolongada y trazada en el área Caribe Colombiana por Duque–Caro, 1979. Esta sutura ha representado la margen de la esquina norte Suramericana desde el cretácico. La provincia continental se extiende al oriente de la Sutura de Romeral y esta formada por la cuenca del Valle Inferior del Magdalena (Duque-Caro., 1979 en Guzmán, 2004).

**2.2.2 Lineamiento de Sinú:** este rasgo estructural fue propuesto por Duque-Caro (1979, 1980), para separar los Cinturones de Sinú y San Jacinto en la parte Sur del cinturón de Sinú (Barrera., 2001, en Guzmán., 2004), la cual sirve de límite entre ambos cinturones a la altura de San Antero.

De la misma manera que el lineamiento de Romeral, el de Sinú también se interpreta como un antiguo surco marginal del Cinturón de San Jacinto durante las etapas iniciales de la evolución. Esta interpretación está basada en la ocurrencia de sedimentos pelágicos y turbiditas abisales de Oligoceno tardío a Mioceno tardío-Plioceno hacia el occidente, y facies de carbonatos de poca profundidad con la misma edad al oriente (Duque-Caro., 1980).

**2.2.3 Arco de Magangué-Cicuco:** La zona del Arco de Magangué-Cicuco en líneas generales sirve de límite entre las dos Cuencas la de Plato y San Jorge. Se trata de un alto del basamento con una orientación Este-Oeste sobre el que se depositaron facies carbonatadas como las Calizas de Cicuco. Así la Cuenca de

San Jorge, que es la más meridional, se encuentra limitada por la Cordillera Central al oriente y al sur, y al norte por el Arco de Magangué-Cicuco y el Río Magdalena (Duque-Caro., 1974, 1980, en De Porta., 2003).

**2.2.4 Falla Bucaramanga- Santa Marta:** Falla de deslizamiento lateral sinistral con componente inversa activa desde el Terciario temprano (?) con una máxima rata de desplazamiento durante el Mioceno (Gulf., 1983, en Caro., 2003), con una longitud aproximada de 220 km con azimut de  $160^\circ$  y buzamiento Este a vertical. Esta falla separa a las dos provincias, la cuenca del Valle Inferior del Magdalena (VIM) la Oeste y las rocas cristalinas del Macizo de Santander al Este.

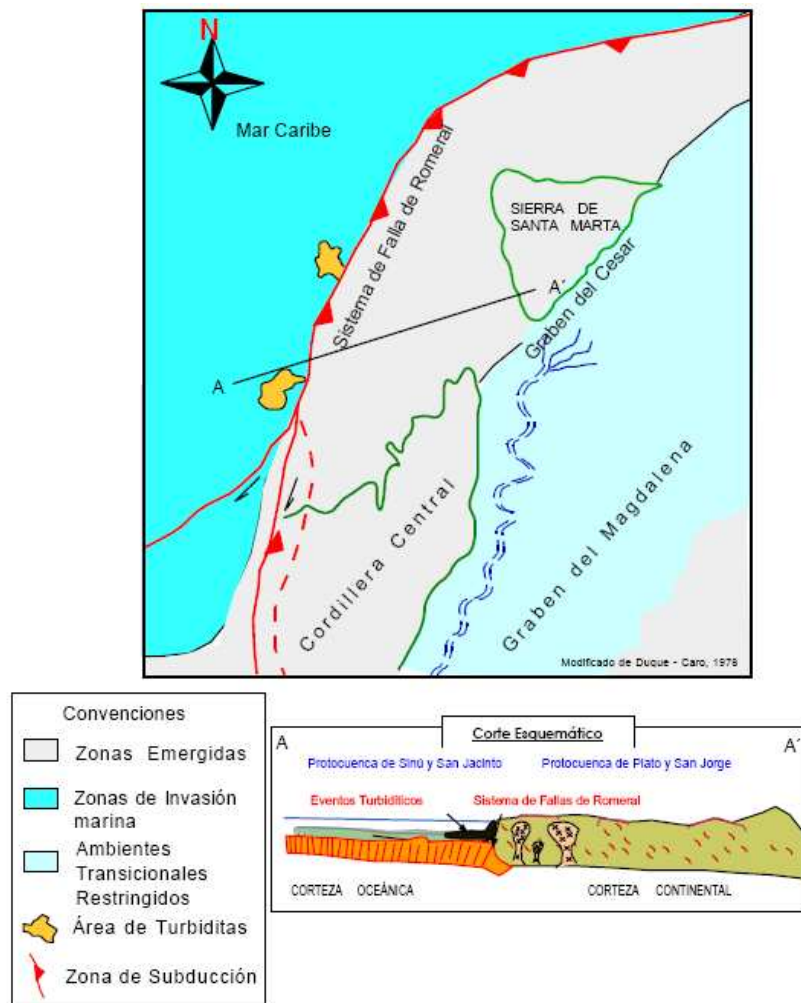
**2.2.5 Falla de Oca:** esta falla define la margen norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, el tipo de movimiento es dextral, la longitud total es de 137 Kilómetros con una azimut de  $90^\circ$  a  $105^\circ$ . Tiene un trazo muy recto con rumbo preferencial este-oeste, ha llegado a un trazo mas sinuoso en la parte W, esta falla penetra a Venezuela pasando por la boca del Golfo de Maracaibo (Duque G., 1998).

## **2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE COLOMBIA**

**2.3.1 Cretáceo Tardío-Paleoceno (Cansoniense Temprano)** El panorama paleo geográfico de la región durante este intervalo consistía en aéreas emergidas como la plataforma propiamente dicha, la Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta sujetas a erosión, y áreas sumergidas con un ambiente oceánico al occidente.

El margen occidental de la plataforma estaba limitado por el surco de Romeral, muy pendiente, con una longitud de por lo menos 1700 km, ya que no solamente comprendía la zona noroccidental sino que se extendía hacia el sur hasta el golfo de Guayaquil, siempre bordeando el margen occidental de la Cordillera Central (Duque-Caro., 1980), (Figura 7).

**Figura 7. Paleogeografía y Paleosutura de Romeral durante el Cretáceo Tardío-Paleoceno.**

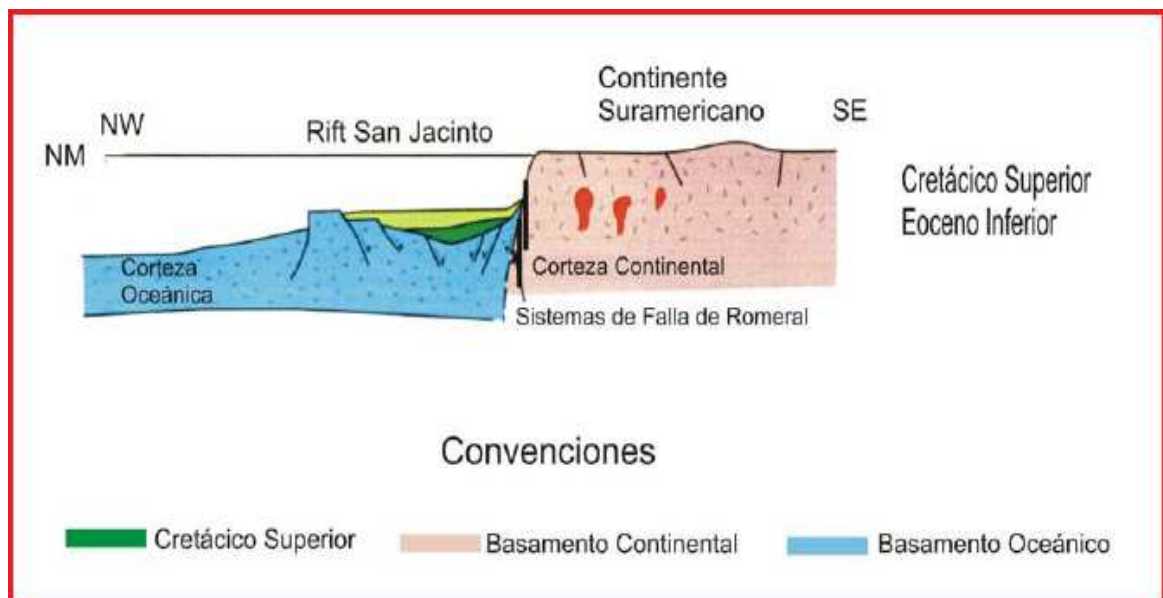


Fuente: Reyes et al., 2000.

En el dominio oceánico al oeste de la plataforma tenía una sedimentación pelágica con abundante microfauna planctónica y de turbiditas constituidas principalmente por combinaciones de arcillas, arenas y conglomerados con mucho aporte terrígeno (Duque-Caro., 1980).

Hacia el Cretáceo Superior, como resultado de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Suramericana, se generó un arco volcánico que en Colombia corresponde a los primeros estadios de la Cordillera Central y cuya zona de sutura está representada actualmente por el sistema de Fallas de Romeral (Barrero, 1969, en Reyes et al., 2000), la cual sirvió como límite acrecionario para el Cinturón Plegado de San Jacinto (Figura 8). Este sistema de Fallas o paleosutura, separa la corteza de dominio oceánico al oeste y la afinidad continental al este.

**Figura 8. Esquema Evolutivo. Cretáceo Superior-Eoceno Inferior**



Fuente: Modificado de Caro, 2003.

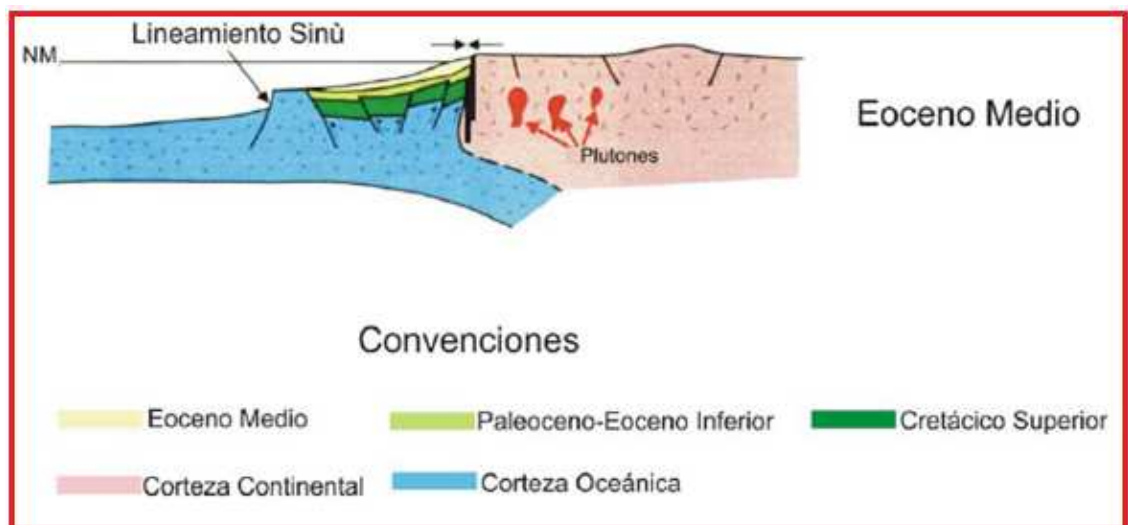
El área que hoy corresponde a las depresiones de Plato y San Jorge, se presenta como una zona expuesta que hacia parte del mismo bloque representado por la Cordillera Central unido hacia el norte con el Macizo de Santa Marta (McDonald y Hurley, 1969, en Reyes et al., 2000). Formándose una barrera natural que separo los ambientes netamente marinos al occidente y transicionales restringidos en las actuales zonas del Valle del Cesar y Valle Medio del Magdalena.

**2.3.2 Paleoceno-Eoceno Medio (Cansoniense Medio y Tardío)** Durante esta época, el área de la plataforma, la sierra de Santa Marta y la Codillera Central se encuentran por encima del nivel del mar. Sin embargo, el surco de Romeral sufrió un hundimiento pronunciado como consecuencia de los esfuerzos compresionales normales al margen de la plataforma. Este hundimiento se reflejo naturalmente en un ambiente sedimentario más profundo, con profundidades de agua superiores a los 4000 metros (Duque-Caro., 1972, 1975). Es precisamente a finales de este periodo, que tuvo lugar el depósito de sedimentos silíceos. Al mismo tiempo se produjo un vulcanismo marginal a la plataforma; dando origen a una serie de conos volcánicos submarinos que corresponden a la fase inicial embriónica del levantamiento del cinturón fragmentado de San Jacinto (Duque-Caro., 1980).

En el Paleoceno Medio, un incremento en el régimen compresivo permitió un primer crecimiento del Cinturón Plegado de San Jacinto. Esto se ve reflejado en el metamorfismo de bajo grado observado en rocas Cretáceas de las Serranías de la Alto Guajira. Antes de dicho evento, un cambio significativo en la dirección de desplazamiento de la Placa Caribe pudo haber ocurrido (Hernández R et al., 2003).

**2.3.3 Orogenia Pre-Andina (Eoceno Medio)** Los esfuerzos compresionales laterales alcanzaron un clímax durante este evento diatrófico (Van Der Hammen., 1958; Irving., 1971, en Duque-Caro., 1980), produciéndose como consecuencia un metamorfismo de bajo grado a lo largo del margen occidental de la plataforma (Zona de Romeral) y el primer levantamiento importante del cinturón de San Jacinto y la Cordillera Occidental. Este levantamiento del orden de los 5000 metros de desplazamiento vertical, dejando emergidas las áreas de San Antero, San Onofre y la Cordillera Occidental (Figura 9).

**Figura 9. Esquema Evolutivo. Orogenia Pre-andina**

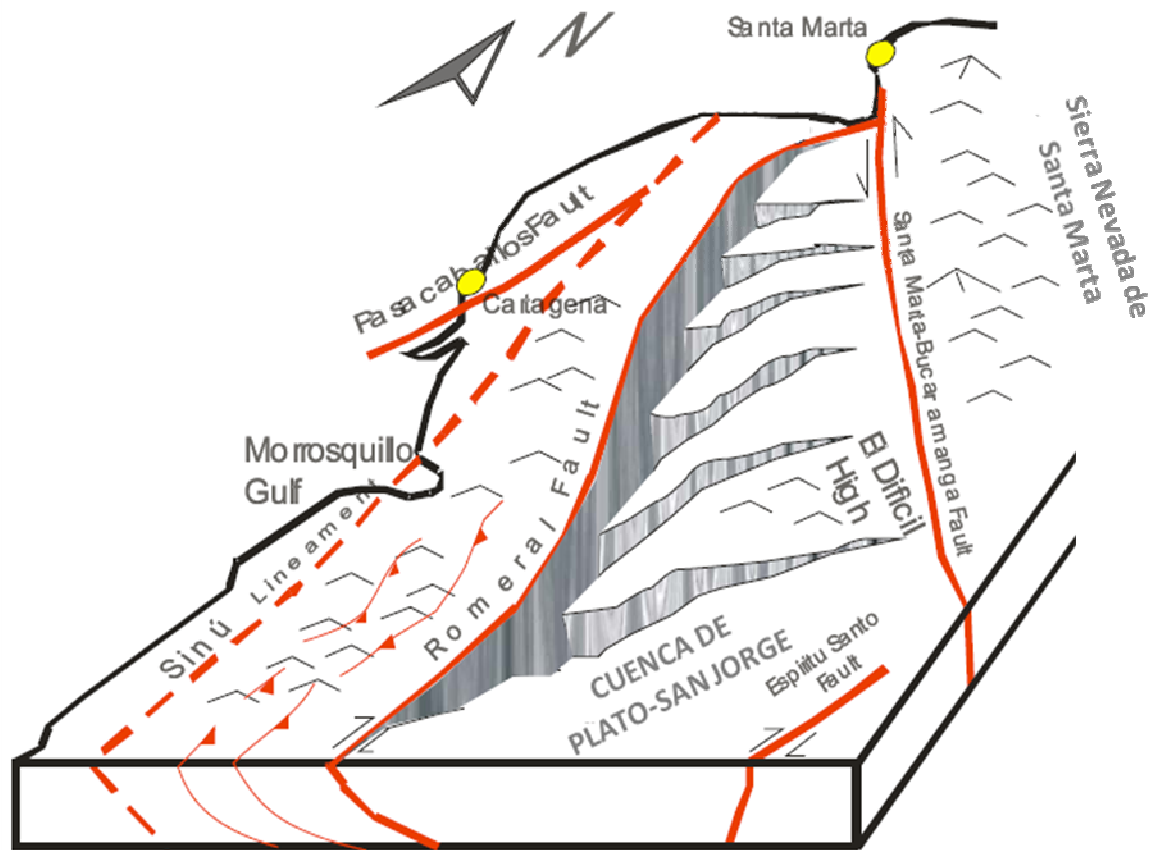


Fuente: Modificado de Caro, 2003.

El flanco occidental del Cinturón quedó separado de la llanura abisal por el nuevo surco de Sinú, resultando así una migración al occidente del fenómeno originalmente descrito como surco de Romeral. La plataforma continuó emergida pero sufriendo un basculamiento hacia el occidente dando origen a la

configuración inicial de la Cuenca de San Jorge (Duque-Caro., 1977, en Hernández., 1996), (Figura 10).

**Figura 10. Bloque-diagrama ilustrativo del mecanismo de distensión y la configuración inicial de la Subcuenca de Plato-San Jorge.**



Fuente: Modificado de Crowell, 1974.

**2.3.4 Eoceno Tardío-Oligoceno (Carmeniense Temprano)** Como consecuencia de la Orogenia Pre-Andina, la geografía de la costa noroccidental de Colombia

queda modelada en tal forma, que el mar inició una invasión progresiva a la Cuenca de San Jorge, desde el norte y el occidente. Comenzó desde el noroccidente con la sedimentación de facies de carbonatos en el norte, con conglomerados, areniscas y shales, lo mismo que calizas arrecifales, pasando en el sur a facies deltaicas en el área de Ciénaga de Oro. Mientras tanto y hacia el oriente, el mar alcanzaba las partes más bajas a lo largo del margen de plataforma. De esta manera se inicio un nuevo ciclo sedimentario el Carmenense (Duque-Caro., 1972, 1975).

El flanco oriental del anticlinorio de Luruaco, también fue favorable para el depósito de facies de carbonatos, de la misma manera que las depresiones del anticlinorio de San Jacinto en el flanco occidental (Duque-Caro., 1980).

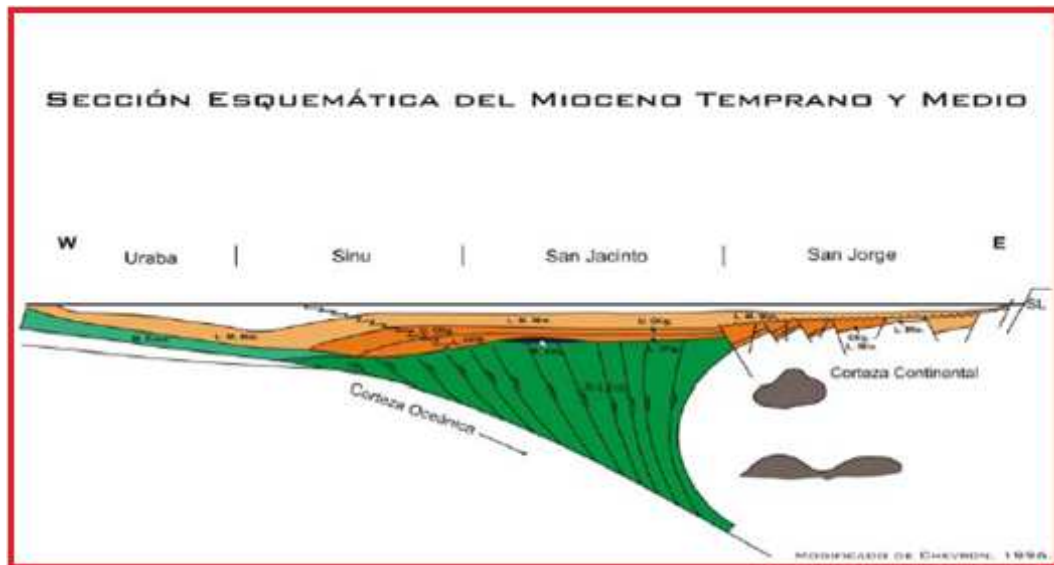
A finales del Oligoceno, la sedimentación se hizo característica más profunda con el depósito de sedimentos arcillosos muy abundante en fauna planctónica de foraminíferos y radiolarios. Simultáneamente, al occidente del Cinturón de San Jacinto, a lo largo del surco de Sinú, tenía una sedimentación eminentemente pelágica con poco o ningún aporte terrígeno (Duque-Caro., 1980).

**2.3.5 Diastrofismo Oligoceno-Mioceno** Esta fase tectónica fue denominada así por Stainforth (1968). Fue una consecuencia inmediata de otro aumento de los esfuerzos compresionales existentes sobre las márgenes de la plataforma; se manifestó con un basculamiento hacia el occidente de la plataforma y un nuevo levantamiento del Cinturón de San Jacinto. Este basculamiento trajo como consecuencia un cambio brusco en la paleobatimetría con profundización de la cuenca, hecho muy notable a lo largo de la zona de Romeral y asociada a una

invasión marina, que eventualmente cubriría toda el área de plataforma (Duque-Caro., 1975).

**2.3.6 Mioceno Temprano a Medio (Carmeniense Medio)** Como consecuencia del diastrofismo anterior, se inicio un nuevo ciclo sedimentario, el Carmeniense Medio, en la cuenca de San Jorge (área de la Plataforma). La invasión marina se extendió mucho más hacia el sur, hasta las estribaciones septentrionales de la Cordillera Occidental, y hacia el oriente sobre gran parte de la plataforma cubriendo los altos de Cinuco y el Difícil. La sedimentación consistió principalmente en facies de carbonatos, muy similar al tipo de sedimentación iniciada durante el Eoceno Tardío (Duque-Caro., 1980), (Figura 11).

**Figura 11. Esquema Evolutivo. Mioceno Temprano y Medio.**

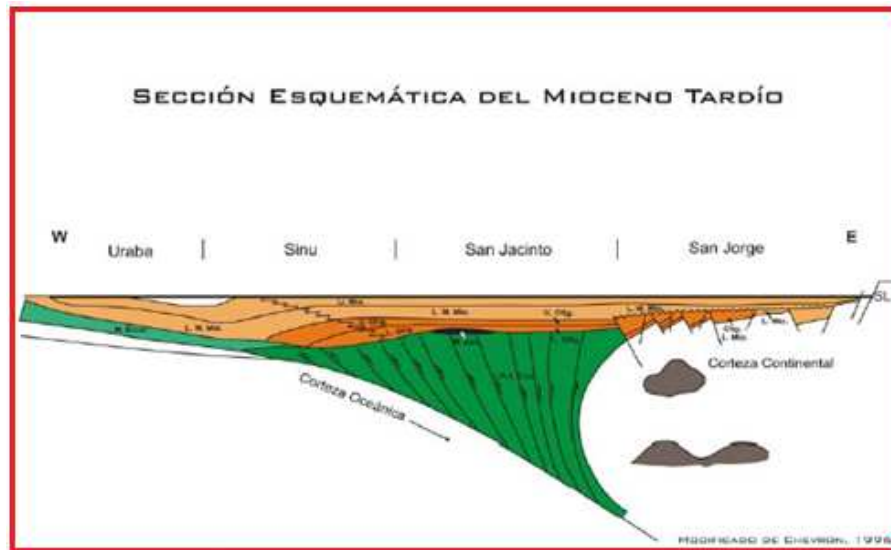


Fuente: Modificado de Chevron, 1986.

**2.3.7 Mioceno Tardío-Plioceno (Carmeniense Tardío)** Esta época está asociada con una mayor inestabilidad en la región noroccidental Colombiana, como consecuencia de las fuerzas compresionales laterales (compresión orogénica de Kugler, 1968), cada vez más intensos, lo que trajo como resultado la separación relativa de la Sierra Nevada de Santa Marta de la Cordillera Central a lo largo de la Falla de San Jorge y la plataforma de la geo-fractura de Plato y la depresión tectónica de Sucre. El Rio Magdalena fue cambiado de su curso original (el cual se cree fue hacia el noreste, a la posición actual de la Cuenca de Maracaibo), para verter sus aguas en la geo-fractura de Plato y depresión tectónica de Sucre, que a partir de este momento empezaron a comportarse como cañones submarinos: la sedimentación era de alta energía (turbiditas) con derrumbe y deslizamientos a gran escala, y por consiguiente un gran aporte sedimentario incrementado por el levantamiento de las áreas adyacentes.

La sedimentación en la llanura abisal, inmediatamente al occidente del cinturón de San Jacinto y a lo largo del surco de Sinú fue eminentemente turbidítica con gran aporte terrígeno, donde los paleo-cañones del Plato, Sucre y posiblemente otro importante localizado más hacia el sur, se comportaron como grandes canales de descarga del gran volumen sedimentario procedente del interior del continente. Las máximas acumulaciones de sedimento ocurrieron en el área del cinturón de Sinú, en las intersecciones con los cañones submarinos, particularmente los de Plato y Sucre (Duque-Caro., 1980), (Figura 12).

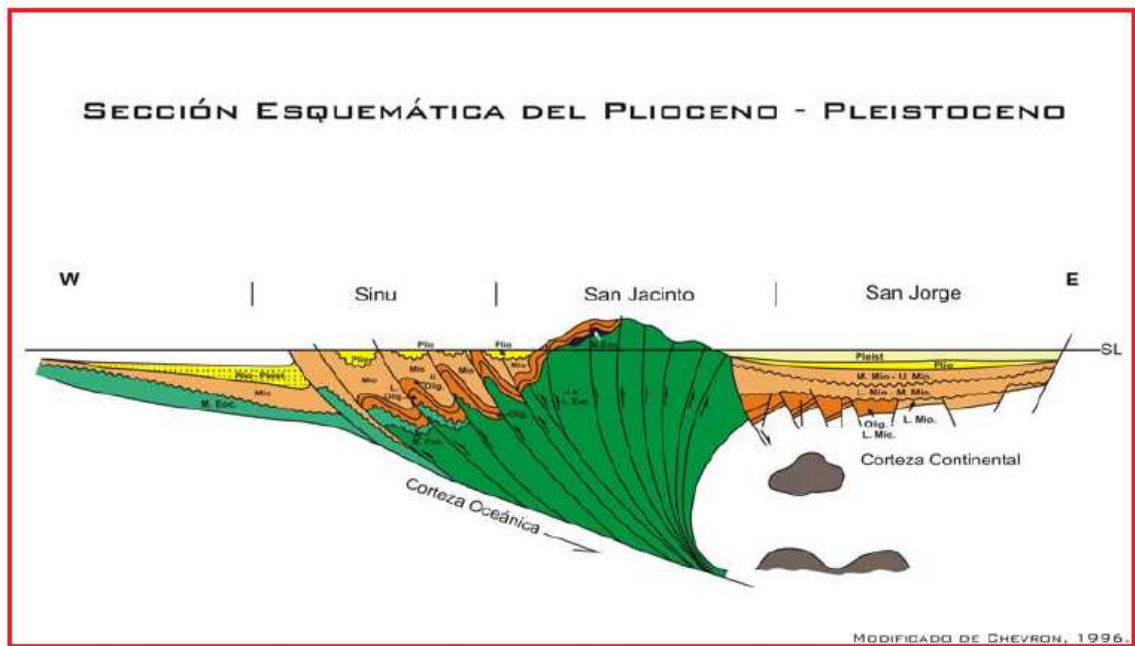
**Figura 12. Esquema Evolutivo. Mioceno Tardío.**



Fuente: Modificado de Chevron, 1986.

**2.3.8 Orogenia Andina (Plio-Pleistoceno)** este importante episodio orogénico de la evolución de los Andes Colombianos (Van Der Hammen, 1958, Inving, 1972), se extendió septentrionalmente hasta el noroccidente de Colombia, los esfuerzos laterales compresionales existentes sobre la plataforma, que están controlando la evolución tectónica y sedimentaria de esta zona del país, además del levantamiento, plegamiento y fallamiento normales al esfuerzo principal, produjeron un fenómeno tectónico mucho más variado y complejo acompañado por fallamiento transcurrente y flexiones paralelas a los trenes estructurales mayores (Duque-Caro., 1980), (Figura 13).

**Figura 13. Esquema Evolutivo. Plio-Pleistoceno**



Fuente: Modificado de Chevron, 1986.

Los siguientes fenómenos se consideran característicos y resultado de esta situación durante la Orogenia Andina (Duque-Caro., 1980):

1). Volcanismo de Lodo dentro de la franja de sedimentos acumulados en el surco de Sinú, levantando y deformando inicialmente el Cinturón, causando un cambio brusco en la Batimetría (Duque-Caro., 1975) y la formación del Surco de Colombia a lo largo del margen occidental.

2). Estrechamiento estructural del cinturón de Sinú en su extremo meridional e inflexión estructural en su parte media, posiblemente como resultado de esfuerzos compresionales convergentes.

3). Levantamiento y plegamientos completos del Cinturón de San Jacinto, asociados con cierres estructurales en S a lo largo del flanco oriental, los que también parecen ser consecuencia de las mismas causas que dieron origen a la inflexión del Cinturón de Sinú y al movimiento transcurrente a lo largo del lineamiento de Romeral.

4). Corrimiento sinistral-lateral de la Sierra de Santa Marta a lo largo del lineamiento de su mismo nombre. (Raasveldt, 1956; Campbell, 1968 en Duque-Caro., 1980).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 METODOLOGIA PARA DESCRIPCION DE CORAZONES**

Este capítulo corresponde a las metodologías utilizadas para la descripción de corazones, facies y ambientes depositacionales de los pozos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2, siendo la descripción de núcleos el punto de partida para el desarrollo de este trabajo. La descripción de corazones tiene como objetivo primordial observar a detalle las características fundamentales de la roca, tales como color, textura, estructura y composición todo esto para determinar las facies sedimentarias y establecer las asociaciones faciales.

La metodología que se utilizó para la descripción de los núcleos corazonados con los que se realizó este trabajo fue la siguiente:

1. Revisión general de los pozos estratigráficos que se encuentran en la Litoteca Nacional “Bernardo Taborda Arango” ubicada en las instalaciones del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), esta revisión se realizó con el primer pozo tendido de tope a base, esto se hizo para identificar la variación y composición litológica del pozo, se observaron características físicas como color, composición, variación del tamaño de grano, posibles alteraciones fisicoquímicas y el grado de preservación en el que se encontraba el pozo, se observan también las propiedades químicas tales como presencia de carbonatos de calcio utilizando ácido clorhídrico para diferenciar las rocas carbonatadas (Folk., 1960 en Krumbein., 1963) de las siliciclásticas en las zonas de interés, después de

terminar la descripción del primer pozo estratigráfico se realizó un proceso similar con el segundo pozo (Figura 14 y 15).

**FIGURA 14. Núcleos Tendidos Pozo Carmen-Zambrano 1**



**FIGURA 15. Núcleos Tendidos Pozo Carmen-Zambrano 2**



2. Descripción detallada en un formato estándar representado a escala 1:10 utilizado para la descripción de núcleos por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) el cual se muestra a continuación (Figura 16).



Para identificar y determinar el tamaño de las partículas se utilizaron las tablas de grano publicadas por el INGEOMINAS y la ayuda de un estereomicroscopio marca ZEISS Stemi DV4 (Figura 17) con rangos de enfoque entre 40X y 50X para tener un mejor detalle y visión de las muestras seleccionadas dentro de los núcleos y así poder diferenciar el tamaño y forma de los granos, el calibrado / sorting de la muestra, la matriz, los accesorios o inclusiones y su composición más fácilmente, para determinar la presencia de carbonatos se utilizo acido clorhídrico diluido al 10 % y alcohol etílico para limpiar las muestras y obtener una mejor observación bajo el microscopio.

**Figura 17. Estéreomicroscopio ZEISS Stemi DV4**



3. Una vez diferenciadas las rocas siliciclásticas de las rocas carbonatadas se procedió a realizar la siguiente metodología para una descripción más detallada de cada tipo de roca:

a). Caracterización textural, incluyendo: descripción tamaño de grano, usando la escala de tamaño de grano (Modificada de Miall., 1990) utilizada por el INGEOMINAS, grado de selección (Pettijhon., 1956 en Cruz., 2001), armazón, matriz, cemento, porosidad y forma de las partículas (Powers., 1953 en Cruz., 2001).

b). Descripción e identificación de estructuras sedimentarias mecánicas presentes, tales como laminaciones (regulares e irregulares) y ripples.

c). Descripción de estructuras biogénicas dentro de los núcleos las cuales son formadas por acumulación de restos orgánicos (Fragmentos de conchas, foraminíferos bentónicos, gasterópodos, trazas, galerías entre otros).

4. Luego de este proceso se procedió a tomar un registro fotográfico de las estructuras y características más importantes y representativas que se encontraron presentes en los dos pozos corazonados realizándose este proceso con una cámara fotográfica marca Canon *SD750* de 7.1 megapíxeles.

5. Posteriormente se realizaron las columnas estratigráficas detalladas correspondientes a los dos pozos estratigráficos con la información recolectada en el laboratorio de la Litoteca Nacional y anotada en el formato anteriormente

mencionado, las 2 columnas se representaron a una escala 1:100 en formato digital utilizando el programa CorelDRAW 13 X3, incorporando las facies que se identificaron e interpretaron luego de haber descrito en su totalidad los 2 pozos corazonados.

6. Realización de dos columnas generalizadas representadas a escala 1:1000 en formato digital con el programa anteriormente mencionado para tener una mejor visión e idea general de cómo están conformados litológicamente los dos pozos estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2.

7. Impresión de las dos columnas detalladas las cuales fueron realizadas en formato digital y representadas a escala 1:100 tal como se dijo en el numeral 5, estas dos columnas quedaran como anexos a este trabajo realizado.

## 4. CARACTERIZACIÓN DE FACIES

El termino facies fue empezado a utilizar por Amanz Gressly (1838), y se denomina facies al conjunto de rocas con determinadas características, ya sean paleontológicas (fósiles) y litológicas (como la forma, el tamaño, la disposición de sus granos y su composición de minerales) que ayudan a conocer dónde y cuándo se formó la roca. Las facies es la forma ideal de un distintivo de roca que se forma en determinadas condiciones de sedimentación, lo que refleja un proceso o ambiente particular.

El concepto de facies puede ser utilizado en un sentido descriptivo o interpretativo (Miall., 1984 en Spalleti., 2007) en el primer caso se procede a la identificación y descripción de facies con énfasis en la definición objetiva del producto sedimentario, por ejemplo, facies de areniscas con estratificación entrecruzada de gran escala; mientras que el empleo en sentido interpretativo, involucra la definición de los procesos sedimentarios que originaron el cuerpo sedimentario.

### 4.1 TIPOS DE FACIES

**4.1.1 Litofacies:** Solo referidas al aspecto litológico, sin fósiles o con fósiles pero considerándolos como clastos que no sirven para la caracterización de la roca. No deben de ser confundidas con unidad litoestratigráfica o con un medio sedimentario.

Una litofacies alude a un conjunto de características litológicas de unos materiales y a las condiciones físico-químicas reinantes durante el depósito. Generalmente las litofacies son homogéneas desde un punto de vista litológico. Las litofacies se definen con base en las características sedimentarias, las cuales pueden estar conformadas por una sola litología o por intercalaciones de varias litologías (Gressly., 1838).

**4.1.2 Biofacies:** Son aquellos materiales caracterizados por los restos de los distintos organismos, que se diferencian de los adyacentes (Bromley, 1996), y que nos aportan datos del medio. Son el conjunto de características paleontológicas que definen a los materiales, y que son a su vez reflejos de las condiciones biológicas reinantes durante el depósito. Tienen un gran valor en las calizas y en algunos terrígenos.

Los fósiles que interesan en las biofacies son los denominados fósiles de facies que son organismos que dependen del medio o fondo sobre el que viven.

## **4.2 METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACIES**

Para la caracterización de las facies sedimentarias que se reconocieron e identificaron en los dos pozos estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2 se utilizó el siguiente procedimiento y/o metodología.

1. Las facies se identificaron y determinaron en los dos pozos estratigráficos una vez se terminó de describir los núcleos corazonados y las cuales se basaron en

las características más representativas vistas en cada uno de los núcleos tomando como base las composiciones litológicas y las estructuras sedimentarias presentes a lo largo de los pozos.

2. El nombre y nomenclatura de las Facies se determinaron a partir de las características físicas y estructurales reconocidas en el paso anterior, se trato de utilizar una nomenclatura corta para su mejor uso y tener un manejo simplificado dentro de las columnas estratigráficas (Anexo 1 y 2).

3. Una vez elegidas las facies y la nomenclatura adecuada se procedió a realizar la asociación facial de acuerdo a la disposición vertical de los estratos las cuales son evidencia del ambiente de depositación observando las variaciones del tamaño de grano y características tanto físicas como químicas representadas ahora en las facies anteriormente escogidas y que son de vital importancia para poder determinar el tipo de ambiente y/o subambientes si los hay.

4. Por último teniendo las columnas digitalizadas en escala representativa 1:100 se procedió a colocar las correspondientes facies en las diferentes zonas en las que estas se encontraban ubicadas dentro de los dos núcleos.

## 5. DESCRIPCIÓN FACIAL

En el presente estudio y de acuerdo con el análisis litológico se lograron identificar 5 facies sedimentarias en los registros corazonados haciendo referencia a los principales atributos texturales, estructurales y paleontológicos vistos y reconocidos a lo largo de la descripción de los dos pozos.

En la siguiente tabla se presentan las 5 facies existentes y que se describen posteriormente según las características más sobresalientes e importantes vistas en los registros como son la textura, la composición, presencia o no de microfósiles (foraminíferos bentónicos) y la composición litológica que son las más importantes en la obtención y descripción de las facies.

**Tabla 1. Facies Identificadas en los Pozos Estratigráficos**

<b>Am</b>	<b>Facies Arenisca sin Ningún tipo de Estructura</b>
<b>Amb</b>	<b>Facies Arenisca con Bioturbación</b>
<b>Amcl</b>	<b>Facies Arenisca con Laminaciones</b>
<b>FLb</b>	<b>Facies Limolitas con Bioclastos</b>
<b>FLI</b>	<b>Facies Limolitas con Laminaciones</b>

**5.1 FACIES ARENISCAS MASIVAS SIN ESTRUCTURAS (Am):** Arenisca de grano muy fino a fino en el que no se observa ningún tipo de laminación, de colores pardos, amarillos claro, la forma de las partículas van de subangulares a subredondeadas que se encuentran entre moderadamente calibradas a bien calibradas, no se observa ningún tipo de estructura interna. (Figura 18).

**Figura 18. Facies Areniscas Masivas sin Estructuras (Am)**



**Am= Areniscas sin ningún tipo de Estructura**

**5.2 FACIES ARENISCAS BIOTURBADAS (Amb):** Areniscas de grano muy fino a fino de color grisáceo verdoso y de tonalidades amarillas, con partículas

subangulares a subredondeadas que se encuentra entre moderadamente calibrada a bien calibrada con presencia de pequeñas bioturbaciones la cual se encuentran localmente dentro de las muestras. (Figura 19).

**Figura 19. Facies Arenisca Bioturbada (Amb)**



**Amb: Arenisca con Bioturbación**

**5.3 FACIES ARENISCA CON LAMINACIONES (Amcl):** Arenisca de grano fino a muy fino con laminaciones cruzadas, regulares e irregulares con presencia de láminas de materia orgánica de unos pocos milímetros, la areniscas son de color

naranja claro y negro verdoso, la forma de las partículas van de subangulares a subredondeados moderadamente calibrada (Figura 20).

**Figura 20. Facies Arenisca con Laminación Cruzada (Amcl)**



**Amcl: Arenisca con Laminaciones**

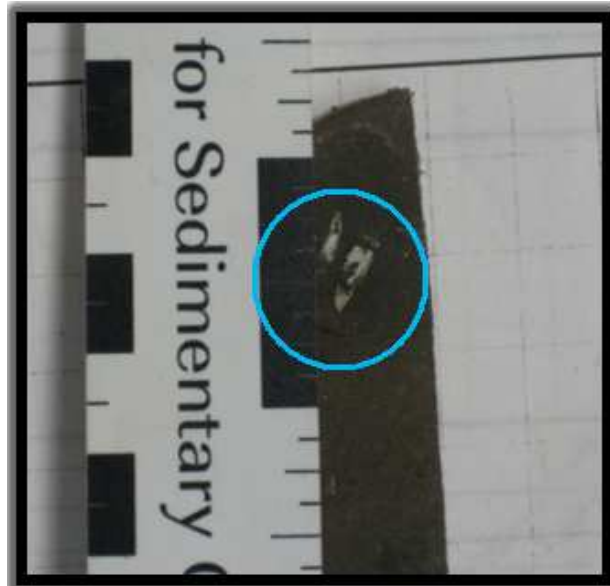
**5.4 FACIES LIMOLITAS CON BIOCLASTOS (FLb):** Limolita Arcillosa /Arcillolita Limosa de color negro grisáceo a negro oliva con presencia de foraminíferos bentónicos alargados y aglutinados (*Lenticulinas*, *Nodosarias*, *Fronicularias*, *Milliolidos*) y fragmentos de conchas (Figura 21 y 22).

**Figura 21. Facies Limolita con Bioclastos (FLb). Foraminífero Bentónico.**



**FLb:** Facies limolitas con Bioclastos

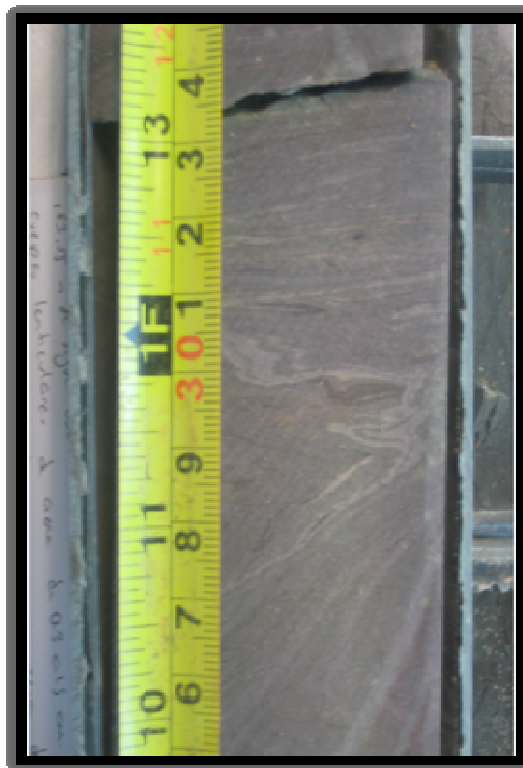
**Figura 22. Facies Limolita con Bioclastos (FLb). Fragmentos de Conchas.**



**FLb:** Facies limolitas con Bioclastos

**5.5 FACIES LIMOLITAS CON LAMINACIONES (FLI):** Limolitas arcillosas / Arcillolita limosa de color negro grisáceo a negro oliva con laminaciones irregulares plano paralelas y onduladas de arenita cuarzosa muy fina, ocasionalmente lentes, laminaciones convoluta y laminaciones onduladas y plano paralelas continuas se observa localmente pequeños niveles de color rojizo de limolitas que varían entre pocos milímetros y van de 1 a 2 centímetros, estas pequeñas laminas se encuentran asociadas con las laminas de arenita (Figuras 23 y 24).

**Figura 23. Facies de Limolita con Laminaciones (FLI). Laminación Convoluta.**



**FLI: Facies limolita con laminaciones**

**Figura 24. Facies de Limolita con Laminaciones (FLI). Laminación Planoparalela**



**FLI: Facies limolita con laminaciones**

Estas facies fueron identificadas en cada uno de los dos pozos estratigráficos, a continuación se muestran dos tablas en las que se observan los espesores y porcentajes en que se encuentran las respectivas facies en los pozos estratigráficos.

**Tabla 2. Espesores y Porcentajes de las Facies en el Pozo Carmen-Zambrano 1**

Facies	Abreviatura	Espesor Aproximado (metros)	Porcentaje
<b>Areniscas masivas sin estructura</b>	<b>Am</b>	<b>9.1</b>	<b>4.55 %</b>
<b>Areniscas Bioturbadas</b>	<b>Amb</b>	<b>3.2</b>	<b>1.6 %</b>
<b>Areniscas con laminaciones</b>	<b>Amcl</b>	<b>8.4</b>	<b>4.2 %</b>
<b>Limolitas con Bioclastos</b>	<b>FLb</b>	<b>75.6</b>	<b>37.8 %</b>
<b>Limolitas con Laminaciones</b>	<b>FLI</b>	<b>103.7</b>	<b>51.85 %</b>

**Tabla 3. Espesores y Porcentajes de las Facies en el Pozo Carmen-Zambrano 2**

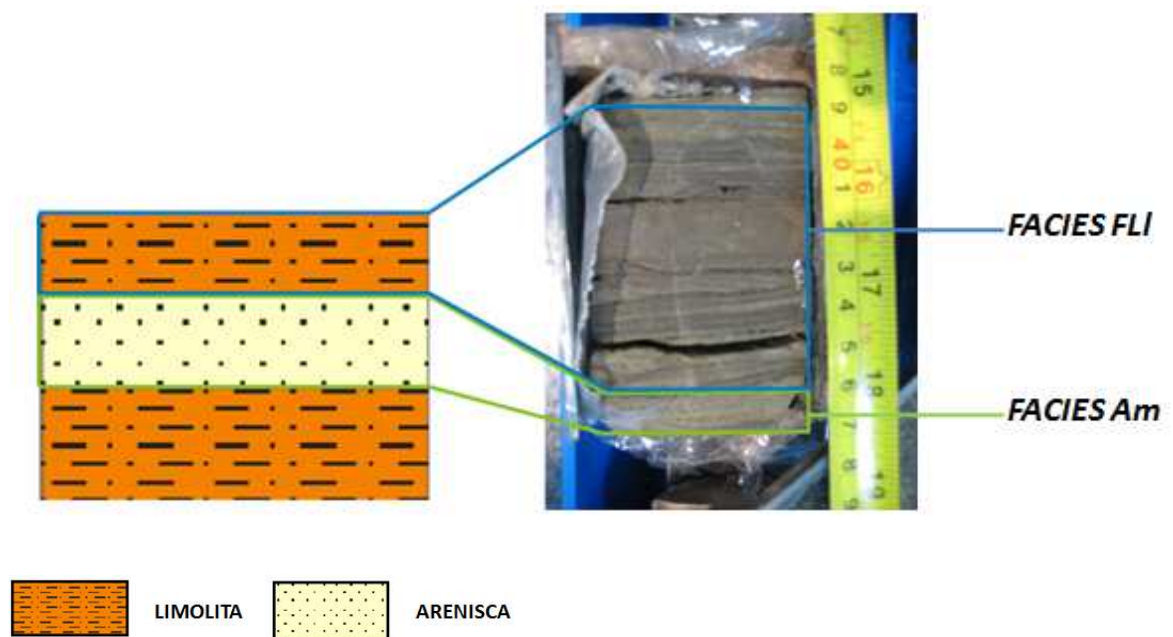
Facies	Abreviatura	Espesor Aproximado (metros)	Porcentaje
<b>Areniscas masivas sin estructura</b>	<b>Am</b>	<b>0.9</b>	<b>0.41 %</b>
<b>Areniscas Bioturbadas</b>	<b>Amb</b>	<b>1.3</b>	<b>0.58 %</b>
<b>Areniscas con laminaciones</b>	<b>Amcl</b>	<b>1.5</b>	<b>0.67 %</b>
<b>Limolitas con Bioclastos</b>	<b>FLb</b>	<b>121.8</b>	<b>55.11 %</b>
<b>Limolitas con Laminaciones</b>	<b>FLI</b>	<b>95.5</b>	<b>43.21 %</b>

## 5.6 ASOCIACION DE FACIES

La asociación se realizó entre las facies vistas en los dos pozos estratigráficos y se encontraron las siguientes asociaciones:

**5.6.1 Asociación de las facies Am:** Las Facies Am se encuentra relacionada con las facies FLb y FLI (Figura 25) principalmente en los pozos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2, siendo esta facie más predominante y con mayor abundancia hacia el tope del primer pozo estratigráfico.

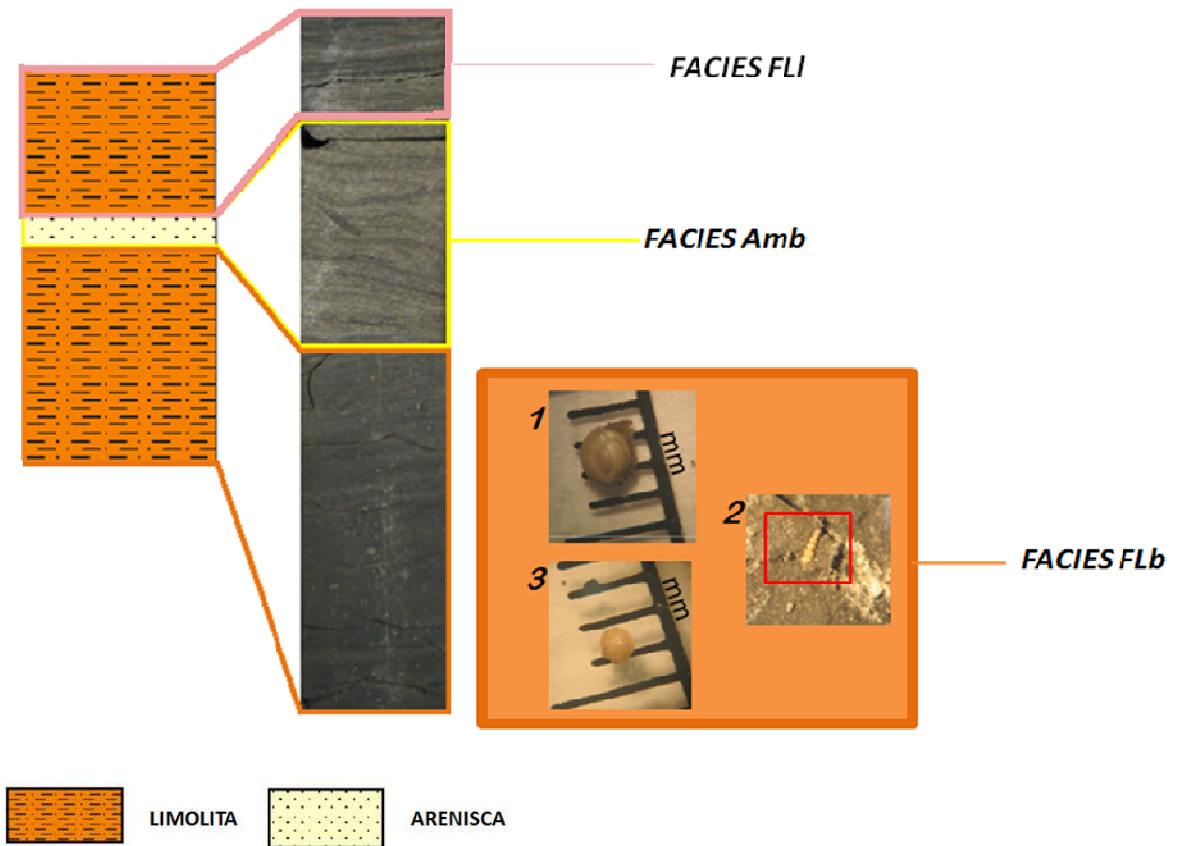
**Figura 25. Asociación de las Facies Am**



**5.6.2 Asociación de las facies Amb:** Las Facies Amb se encuentran en pequeñas proporciones en los dos núcleos corazonados (Figura 26) y están

relacionados con las facies FLb y FLI principalmente y por lo general estas Facies FLb se encuentran infrayaciendo y las facies FLI están suprayaciendo a estas facies (Amb).

**Figura 26. Asociación de las Facies Amb**



**Foraminíferos encontrados en las Facies FLb: 1. Milliolido, 2. Nodosaria, 3. Lenticulina**

**5.6.3 Asociación de las facies Amcl:** Las Facies Amcl están localmente en los dos pozos Estratigráficos, y están relacionadas con las facies FLb y FLI (Figura 27) donde la facies FLb se encuentra suprayaciendo a la facies Amcl y la facies



**5.6.5 Asociación de las facies FLI:** las facies FLI esta primordialmente relacionado con las facies FLb y se encuentran ubicadas en los dos pozos y al igual que con las facies FLI se relacionan con el resto de facies ya que por su porcentaje considerable están infrayaciendo o suprayaciendo a las demás facies.

## 6. INTERPRETACIÓN AMBIENTAL

En la descripción de los registros corazonados de los pozos estratigráficos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2 correspondientes a la Formación Rancho se lograron identificar 5 Facies Sedimentarias las cuales se asociaron para determinar e interpretar el tipo de ambiente en que se desarrollo y/o deposito esta formación. Las Facies presentan como singularidad el tamaño de grano el cual principalmente es limo, en el caso de las arenas las partículas presentan un tamaño de muy fino a fino (Anexo 1 y 2).

En el caso de las arenas masivas sin estructuras (Am) los paquetes son muy pequeños y se encuentran distribuidos aleatoriamente dentro de los núcleos y en las facies con presencia de limolitas, la forma de los granos de esta arenas van de subangulares a subredondeados y nos indica que las partículas sufrieron transporte desde la fuente de aporte, en estos paquetes de arena se encuentra un contenido considerable de cuarzo (>80%) el cual puede ser resistente a la abrasión y a la alteración química, las arenas se encuentran bien calibradas, estas facies generalmente están en contacto con las facies de Limolitas presentes (FLb y FLI) donde los aportes de sedimentos gruesos estuvieron restringidos, esto nos sugiere que la depositación ocurrió en un ambiente marino alejado de la costa.

Las Facies de arenas con Bioturbación (Amb) se encuentran en los dos pozos estratigráficos y están en pequeños paquetes dentro de los núcleos, la bioturbación es no diferenciada ya que no se logra reconocer ni determinar el tipo al cual corresponde, no se observan cavidades de habitación o morada que se encuentran en los sustratos firmes como madrigueras (Thalassinoides), el tamaño de las partículas es de muy fino a fino y los granos van de subangulares a

subredondeados, no se observó ningún tipo de individuos, conchas completas, ni gasterópodos o bivalvos que se encuentran más ligados a zonas costeras lo que nos sugiere que la depositación ocurrió en un ambiente alejado de la costa donde la presencia de los individuos que hicieron estas madrigueras o marcas eran escasos y vivían bajo ciertas condiciones extremas, ausencia de luz, oxígeno, temperaturas bajas y presiones hidrostáticas que van aumentando con la profundidad. Las arenas con bioturbación son escasas y de menor porcentaje que las arenas presentes en las otras facies (Am y Amcl). En el tope del primer pozo se encontró un paquete de arenas muy pobremente bioturbadas con tamaño de grano de fino a medio el cual hace parte de la Formación Mandatú la cual suprayace a la Formación Alférez.

Las Facies de Arena con laminaciones (Amcl) también se caracterizan por el tamaño de sus partículas y por tener la forma de los granos subangulares a subredondeados que son formados por el transporte de las partículas, aquí se observa algunas pequeñas láminas de material orgánico en descomposición tanto en las que presentan laminaciones regulares como irregulares, las laminaciones por lo general presentes en estos sustratos son plano paralelas continuas y discontinuas, como la principal característica de todas estas arenas es el tamaño de grano que va de muy fino a fino y también su porcentaje de cuarzo (>80%) que es mayor a la concentración de otros minerales presentes y pequeños fragmentos de rocas, las arenas se encuentran intercaladas con paquetes gruesos de limolita arcillosa/arcillolita limosa dándose la depositación de estas arenas en ambientes tranquilos el cual es característico en ambientes deltaicos (prodeltas).

Las asociaciones faciales principales se presentan con las Facies Limolitas con Bioclastos (FLb) y con las Facies Limolitas con Laminación (FLI) ya que como principal característica los dos pozos corazonados están compuestos por grandes

paquetes de este material fino y el grado de empaquetamiento es alto donde las arcillas una vez depositadas tienen resistencia a la erosión en los ambientes tranquilos pero si la corriente es fuerte puede arrastrar objetos como raíces o clastos que pueden labrar surcos en el sustrato o directamente la corriente que producen la marca (Bouma., 1962 en Mutti., 2002) , esta es otra clara evidencia que estas partículas se depositaron en un ambiente tranquilo de baja energía ya que no se encontraron estas marcas o surcos dentro de los corazones además se encontraron porcentajes (8-10%) de micas muscovita que son relativamente resistente a la descomposición química. En las facies FLb hay presencia de foraminíferos bentónicos y pequeños fragmentos de conchas los cuales no se encuentran en grandes cantidades o acumulaciones dentro de las muestras, en los corazones es raro o casi no se encuentran cuerpos enteros de conchas las cuales presentan un relleno homogéneo de material fino, la facies FLI presenta laminaciones tanto continuas como discontinuas dependiendo del flujo de acumulación especialmente planares tanto continuas como discontinuas, las laminaciones continuas se forman cuando la corriente o energía es relativamente baja, lo que hace que las partículas se deslicen unas sobre otras como si fueran laminas paralelas, las cuales se depositan en un ambiente tranquilo de baja energía donde las partículas de traídas en suspensión por las aguas son transportados más allá del frente deltaico.

### **6.1 Interpretación Ambiental del Pozo Carmen-Zambrano 1**

En el pozo estratigráfico Carmen-Zambrano 1 se observa de techo a base que en los primeros metros hay un pequeño paquete de arena pobremente bioturbada el cual hace parte de la Formación Mandatú que esta suprayaciendo a la Formación Alférez, la característica principal de estas arenas es el tamaño de las partículas que se encuentran en un rango de fino a medio y que están pobremente

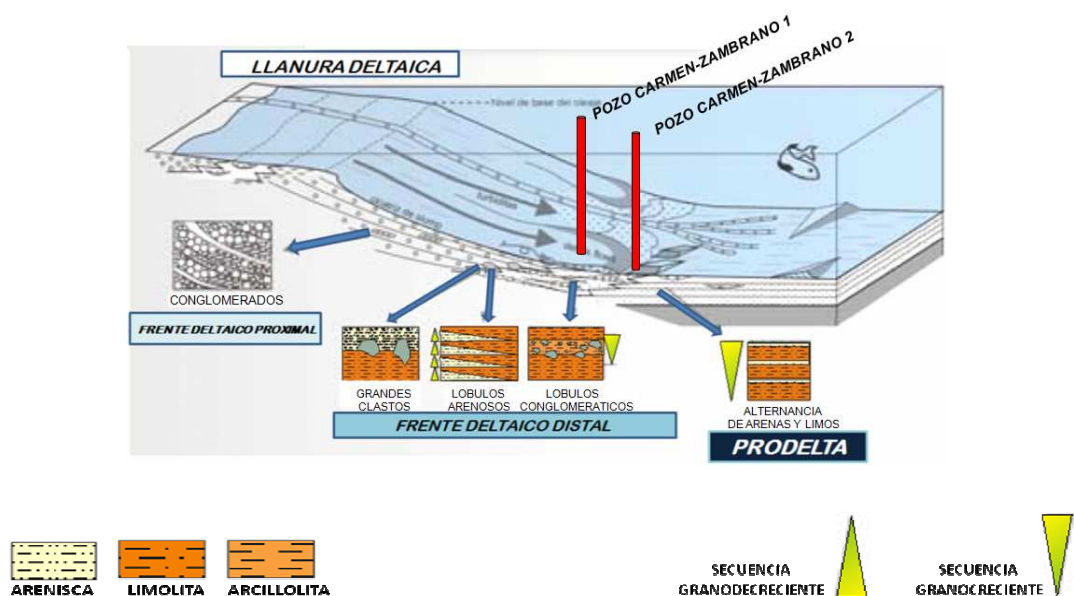
bioturbadas, también se observaron una serie de clastos redondeados en el tope dentro de una secuencia de arcillas lo que nos sugiere que la energía era alta y se encontraba más cerca a la costa, después de estos primeros metros comienzan las secuencias clásticas de limolitas arcillosas/arcillolitas limosas que se convierten y forman paquetes de grandes espesores y que conforman principalmente este pozo en cual es interrumpido por pequeños paquetes de arenas que a diferencia de las arenas observadas en los primeros metros tienen la particularidad que el tamaño de los granos están entre muy fino a fino y que estos tamaños se mantienen en los pequeños paquetes encontrados en este pozo, estas características nos sugieren que la tasa de depositación fue lenta en un ambiente tranquilo donde la energía de las olas era poca o la fuente de aporte proveía los sedimentos finos, también como característica principal en las limolitas no se encontraron organismos diferentes a foraminíferos bentónicos y conchas las cuales estaban fragmentadas y algunas ya disueltas como las condiciones a altas profundidades son extremas por la falta de oxígeno (ambientes reductores), alimento, la presión hidrostática y las condiciones para sobrevivir hacen que los organismos sean escasos y la poca bioturbación que se dio fue en sustratos blandos, algunas conchas ya estaban disueltas dejando como resultado un molde interno relleno de material fino, se encontraron pequeños cuerpos rellenos de azufre que son concentraciones de materia orgánica que estaban bajo condiciones reductoras y la falta de oxígeno probablemente causó la baja circulación de las aguas bajo estas condiciones el ambiente de depositación se encuentra desde un frente de delta a un del prodelta (de una parte proximal a una distal, Figura 28).

## **6.2 Interpretación Ambiental del Pozo Estratigráfico Carmen-Zambrano 2**

Para este segundo pozo estratigráfico las condiciones son prácticamente similares al primer pozo estratigráfico, aquí la única diferencia es que este pozo al ser

observado de tope a base en los primeros metros carece del paquete de areniscas de grano fino a medio que hacen parte de la Formación Mandatú y que se encuentran pobremente bioturbadas como en el primer pozo, se siguen observando los grandes paquetes de limolita arcillosa/arcillolita limosa con algunas pocas intercalaciones de arena compuestas por grano muy fino a fino dispuestas localmente en pequeños paquetes a lo largo del pozo, los espesores de estas paquetes disminuyen considerablemente en comparación con el primer pozo estratigráfico, las características principales siguen siendo prácticamente las mismas que en el primer pozo ya que este pozo se encuentra muy cerca de donde se perforo el primero, también la fauna es escasa con presencia de foraminíferos bentónicos y las conchas que al igual que en el primer pozo se encuentran fragmentadas y con algunos moldes internos hechas por estas y rellenos de material fino además tampoco se observaron organismos diferentes a estos bajo estas condiciones se puede concluir que el ambiente en el que se deposito este segundo pozo es similar al primero, en ambientes tranquilos como en un delta en su parte más distal (Figura 28).

**Figura 28. Bloque-diagrama del Ambiente de Sedimentación de los Pozos Carmen-Zambrano 1 y Carmen-Zambrano 2**



## 7. CONCLUSIONES

- Los paquetes de arena en los 2 pozos Estratigráficos son muy escasos y se encuentran separados por grandes paquetes de limolitas arcillosas/arcillolitas limosas.
- En el pozo Estratigráfico Carmen-Zambrano 1 las arenas representan aproximadamente el 10.35% del total del pozo y en el Estratigráfico Carmen-Zambrano 2 representan el 1.66%.
- En los 221 metros descritos en el pozo Estratigráfico Carmen-Zambrano 1 se encontró un pequeño paquete de arena con tamaño de grano fino a medio en el tope, el cual representa el 1.6% del total de las arenas encontradas en este pozo y corresponden a la base de la Formación Mandatú.
- Los paquetes de arena son más escasos y de menor espesor en el pozo Estratigráfico Carmen Zambrano 2 que en el primer pozo estratigráfico.
- Las Facies Sedimentarias Am, Amb, Amcl, FLb y FLI se encuentran distribuidos en los dos pozos Estratigráficos.
- Las Facies FLI Y FLb son las que presentan mayor porcentaje de acomodación en los dos pozos estratigráficos conformando entre un 90 y casi el 100% especialmente en el pozo estratigráfico Carmen-Zambrano 2,

lo que nos sugiere que la energía de depositación y la acción del oleaje fue baja.

- Al hacer la descripción se observó que no se encontraron fósiles traza y fauna diferente a fragmentos de conchas dispersas además de pequeños paquetes de arena con bioturbación no diferenciada en los núcleos con lo que se concluye que el ambiente en que la depositación se dio fue una parte alejada de la costa donde estos restos de conchas fueron a parar y la actividad de algunos seres era escasa y/o restringida.
- Teniendo en cuenta la información recopilada y las características vistas en cada pozo se puede interpretar que las unidades lito-estratigráficas de los pozos estratigráficos se depositaron en la parte de un delta que va de una zona distal (*Prodelta-Carmen-Zambrano 2*) a una zona más proximal (*Frente de Delta-Carmen-Zambrano 1*).

## BIBLIOGRAFIA

Beltrán M., 1996. Oligocene-Miocene Depositacional History of the Northern Part of the Lower Magdalena Basin, Colombia, Based on Foraminiferal Biofacies and Seismic Stratigraphy. University of Texas.

Bouma A., Stone C. Fine Grained Turbidite Systems. AAPG Memoir 72. Tulsa, Oklahoma.

Caro M., 2003. Structural Evolution of the San Jacinto Fol Belt, NW Colombia. Department of Geology and Geophysics. University of Calgary, Alberta.

Cruz L., Mier R., 2001. Sedimentología para Ingenieros de Petróleos Prácticas de Laboratorio. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Chevron Overseas Petroleum., 1986. Geology of the Sinu Basin, Northwest Colombia, Hydrocarbon Evaluation.

De Porta J., 2003. La Formación del Istmo de Panamá. Su incidencia en Colombia. Revista de la Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 17. Colombia

Duque G., 1998. Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia.

Duque-Caro H., 1979. Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia. AAPG Memoir 29.

Duque-Caro H., 1980. Geología del Noroccidente de Colombia, Boletín Geológico Vol. 23. Colombia.

Duque-Caro H., 1984. Estilo Estructural, Diapirismo y Episodios de Acrecimiento del Terreno Sinú-San Jacinto en Noroccidente de Colombia. Vol. 27. Colombia.

Duque-Caro H., 1987. Los Foraminíferos Planctónicos y el Terciario de Colombia. Revista Española de Micropaleontología. Vol. VII. Numero 3, p 403-427.

Einsele G., 1991. Cycles and Events in Stratigraphy. New York, Springer Verlag.

Flinch J., 2003. Structural Evolution of the Sinú-Lower Magdalena Area. Northern Colombia. AAPG Memoir 79, p 776-796.

Geochem Laboratories., 1982. Estudio Geoquímico Integrado de la Cuenca Inferior del Magdalena. Houston.

Guzmán G., 2007. Stratigraphy and Sedimentary Environments and Implications in the Plato Basin and San Jacinto Belt Northwestern Colombia, University of Liège, Francia.

Guzmán G; Gómez E; Serrano B., 2004. Geología de los Cinturones del Sinú, San Jacinto y Borde Occidental del Valle Inferior del Magdalena Caribe colombiano, INGEOMINAS.

Guzmán G; Duarte L; Duque-Caro H., 1994. Cambios Paleoclimáticos en el Intervalo Eoceno Medio- Mioceno Superior, en el Cinturón de San Jacinto, Costa Caribe, INGEOMINAS.

Hernández M; Maldonado I; Gonzales J; Clavijo J; Reyes G., 2002. Geología de las Planchas 25 Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil, INGEOMINAS.

Krumbein W; Sloss L., 1963. Estratigrafía y Sedimentación. San Francisco.

Mutty E; Tinterri R; Remacha E; Angela S., 2002. An Introduction to the Analysis of Ancient Turbidite Basins from an Outcrop perspective, Università di Parma.

Normark W., 1993. Turbidite Systems: State of the Art and Future Directions. Geological Survey Menlo Park, California.

Ortiz A., Niño H., 1998. Modelo Sedimentológico y Estratigráfico del Terciario Pre-Mioceno de la Subcuenca de Plato, Valle Inferior del Magdalena. Instituto Colombiano del Petróleo.

Peter S., Spearing D., Sandstones Depositional Enviroments. AAPG. Tulsa. Oklahoma.

Ramos E., 2005. Evolución Tectónica de la Región Caribe Colombiana. INGEOMINAS.

Reineck H; Sing I., 1980. Depositional Sedimentary Enviroments. Springer, New York.

Reyes A; Montenegro G., Gómez P., 2000. Evolución Tectonoestratigráfica del Valle Inferior del Magdalena, Simposio Colombiano de Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Bogotá D.C.

Reyes J; González J., 2000. Facies Sísmicas de un Depósito de Plataforma Marina, Depresión del Plato, Cuenca del Valle Inferior del Magdalena, Convención Técnica de la ACGGP. Consorcio G & G, Bucaramanga, Colombia.

Spaletti L; Poiré D; Veiga G., 2007. Cátedras de Sedimentología y Rocas Sedimentarias. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de la Plata.

Tarazona C; Gómez E., 1990. Evaluación del Potencial de Hidrocarburos de la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena, Subcuenca de Plato a través del Modelo Computarizado RASP. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Torres V., Fiorini F., Rueda M., Flórez M., Garzón S., Pulido M., Duque-Caro H., Jaramillo C., 2007. Micropaleontología de la Formación Carmen (Sección Carmen-Zambrano), Referencia para el Oligoceno-Mioceno Medio del Norte de Colombia. PDVSA.

Van Dover., 2000. The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents. Princeton University Pres, Princeton.

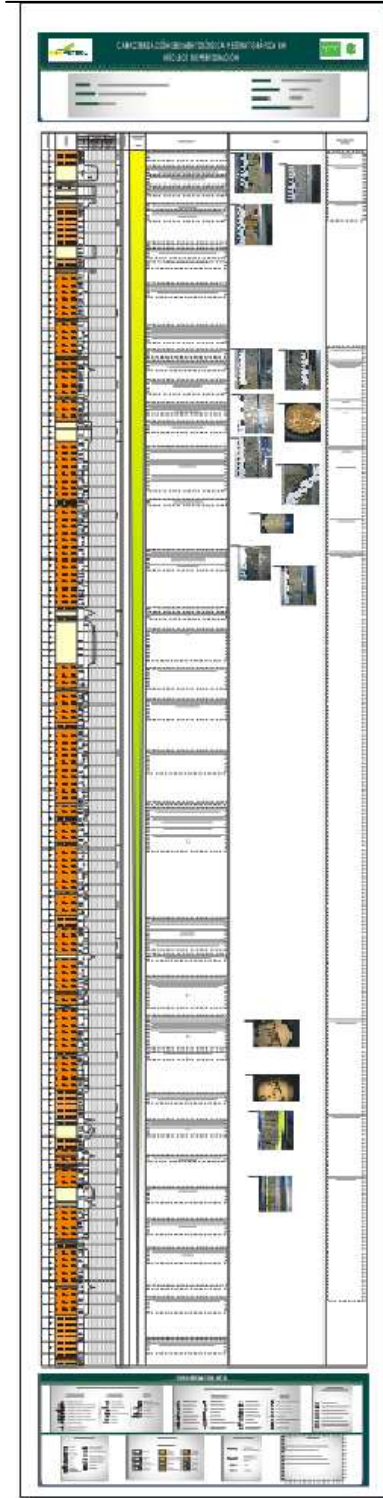
Walker R., 1984. Facies Models. Geological Association of Canada.

Weller J., 1960. Stratigraphic Principles and Practice. University of Chicago.

## **ANEXOS**

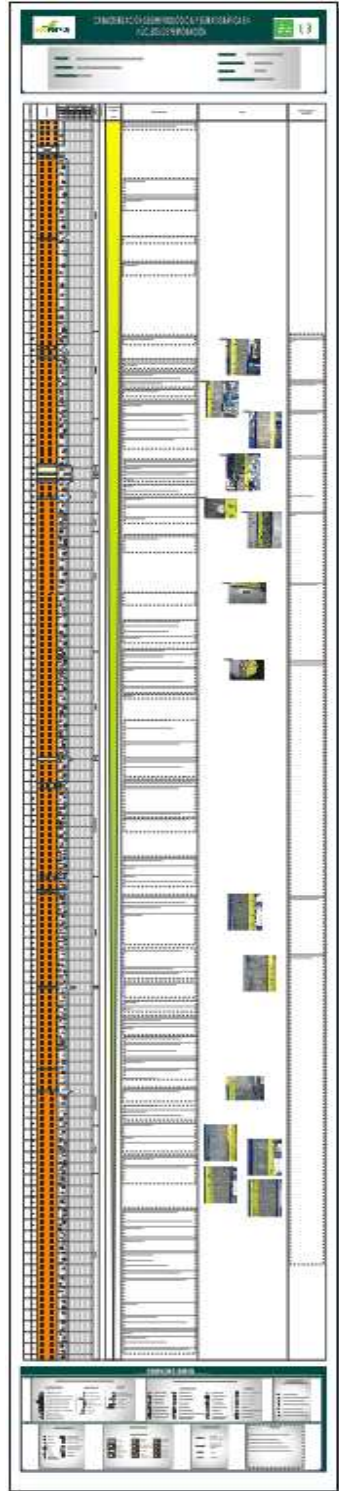
# ANEXO 1

## POZO ESTRATIGRÁFICO: CARMEN-ZAMBRANO 1



## ANEXO 2

### POZO ESTRATIGRÁFICO: CARMEN-ZAMBRANO 2



## ANEXO 3

### POZO ESTRATIGRÁFICO: CARMEN-ZAMBRANO 1

Profundidad: 200.1 metros

Escala: 1:1000

