

**ANALISIS ESTRATIGRAFICO DE LA FORMACION CHIPAQUE EN  
INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE TOTA AL ESTE DEL MACIZO DE  
FLORESTA, CORDILLERA ORIENTAL**

**CARLOS LEONARDO BERNAL ORTIZ  
SILVIA NATALIA DURAN HERNANDEZ**

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

**2014**

**ANALISIS ESTRATIGRAFICO DE LA FORMACION CHIPAQUE EN  
INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE TOTA AL ESTE DEL MACIZO DE  
FLORESTA, CORDILLERA ORIENTAL**

**CARLOS LEONARDO BERNAL ORTIZ  
SILVIA NATALIA DURAN HERNANDEZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
Geólogo**

**Directora  
ADRIANA PATRICIA DUEÑES GARCES  
Geóloga**

**Co-director  
JUAN CARLOS RAMIREZ ARIAS  
Geólogo, M. Sc.**

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

**2014**

## *Dedicatoria Silvia*

*Dedico este trabajo a mis padres y hermanos, quienes con su amor y cariño me brindaron su apoyo durante todos los años del pregrado Universitario.*

# *Agradecimientos*

Agradezco a mi compañero de tesis “Charlie” por la oportunidad de trabajar a su lado en este paso tan importante de nuestras vidas, a la UIS por formarme como futura Geóloga a través de las enseñanzas de sus maestros, al ICP por la oportunidad de desarrollar mi tesis de pregrado en uno de sus proyectos y finalmente a mis padres, quienes han hecho un gran esfuerzo por verme como una profesional más de la familia.

## *Dedicatoria Carlos*

*Dedico este trabajo a mis Padres, ya que con sus sacrificios, sus enseñanzas y su amor me llevaron a ser quien soy hoy en día.*

# *Agradecimientos*

Agradezco a mi papá Alcibiades y a mi mamá Luz Marina ya que siempre creyeron en mí y en cada instante me brindaron su apoyo en mis estudios, a mis hermanas Luz Karine y Andrea ya a pesar de las peleas, siempre estuvieron ahí pendientes. A mi tía Blanca que a pesar de estar lejos siempre considero tenerla cerca en todo momento por su preocupación en mí. A mi compañera de tesis Silvia con quien compartí este proceso tan importante y último requisito para convertirnos en Geólogos y por último a mis compañeras favoritas y ante todo amigas Nathaly y Cristina por su compañía y apoyo en las buenas y en las malas.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	20
<b>1 DEFINICION DEL PROBLEMA</b> .....	21
<b>2 JUSTIFICACION</b> .....	22
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	23
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	23
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	23
<b>4 MARCO DE REFERENCIA</b> .....	24
<b>4.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL</b> .....	24
<b>4.2 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	28
<b>4.3 GEOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	30
<b>4.3.1 Estratigrafia de la zona de estudio</b> .....	30
<b>4.3.2 Geologia estructural</b> .....	35
<b>5 ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO</b> .....	38
<b>6 METODOLOGIA</b> .....	40
<b>7 RESULTADOS</b> .....	51
<b>7.1 COLUMNA ESTRATIGRAFICA</b> .....	51
<b>7.2 MUESTRAS</b> .....	53
<b>7.3 CATALOGO DE FOTOS</b> .....	54
<b>7.4 DESCRIPCION DE LIFOTACIES Y ATRIBUTOS</b> .....	54
<b>7.5 ANALISIS LITOFACIAL POR SEGMENTOS</b> .....	56
<b>7.6 AMBIENTES DE DEPOSITACION</b> .....	88
<b>7.7 INTERPRETACION DE AMBIENTES</b> .....	92
<b>8 CONCLUSIONES</b> .....	97
<b>9 RECOMENDACIONES</b> .....	98
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	99
<b>ANEXOS</b> .....	106

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de las principales provincias tectónicas de Colombia .....	26
<b>Figura 2.</b> Carta estratigráfica generalizada del flanco Este de la Cordillera Oriental. ....	27
<b>Figura 3.</b> Localización del área de estudio .....	28
<b>Figura 4.</b> Localización de la sección Base y Sección tope .....	29
<b>Figura 5.</b> Detalle del área de estudio .....	33
<b>Figura 6.</b> Principales estructuras presentes en la zona de estudio .....	36
<b>Figura 7.</b> Bastón de Jacob .....	41
<b>Figura 8.</b> Materiales para campo.....	42
<b>Figura 9.</b> Redondeamiento y Esfericidad de partículas.....	45
<b>Figura 10.</b> Empaquetamiento.....	45
<b>Figura 11.</b> Calibrado de las partículas.....	46
<b>Figura 12.</b> Armazón.....	46
<b>Figura 13.</b> Matriz .....	47
<b>Figura 14.</b> Contactos entre partículas .....	47
<b>Figura 15.</b> Clasificación composicional de las areniscas .....	48
<b>Figura 16.</b> Diagrama Triangular para la clasificación textural de las rocas terrígenas de grano fino .....	49
<b>Figura 17.</b> Muestra de la formación Guadalupe .....	51
<b>Figura 18.</b> Columna Estratigráfica generalizada de la Formación Chipaque .....	52
<b>Figura 19.</b> Fotografías Segmento 1 .....	57
<b>Figura 20.</b> Fotografía segmento 2 .....	58
<b>Figura 21.</b> Fotografía segmento 5 .....	60
<b>Figura 22.</b> Fotografía Segmento 6 .....	61
<b>Figura 23.</b> Fotografías segmento 9 .....	63
<b>Figura 24.</b> Fotografías Segmento 10.....	64
<b>Figura 25.</b> Fotografía segmento 13.....	65

<b>Figura 26.</b> Fotografía segmento 15 .....	66
<b>Figura 27.</b> Fotografía segmento 17 .....	67
<b>Figura 28.</b> Fotografía segmento 18 .....	68
<b>Figura 29.</b> Fotografía segmento 19 .....	69
<b>Figura 30.</b> Fotografías segmento 20 .....	70
<b>Figura 31.</b> Fotografía segmento 21 .....	71
<b>Figura 32.</b> Fotografías segmento 23 .....	72
<b>Figura 33.</b> Fotografía segmento 24 .....	73
<b>Figura 34.</b> Fotografía segmento 28 .....	75
<b>Figura 35.</b> Fotografías segmento 31 .....	76
<b>Figura 36.</b> Fotografías segmento 34 .....	78
<b>Figura 37.</b> Fotografía segmento 36 .....	79
<b>Figura 38.</b> Fotografía segmento 37 .....	80
<b>Figura 39.</b> Fotografías segmento 43 .....	83
<b>Figura 40.</b> Fotografía segmento 46 .....	84
<b>Figura 41.</b> Fotografía segmento 48 .....	85
<b>Figura 42.</b> Fotografías segmento 51 .....	87
<b>Figura 43.</b> Subdivisión de la plataforma continental .....	89
<b>Figura 44.</b> Bloque diagrama de llanura mareal silisiclástica .....	90
<b>Figura 45.</b> Características sedimentológicas según Batimetría .....	91

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Correlación Litoestratigráfica del Cretácico y Terciario.....	34
<b>Tabla 2.</b> Tamaño de grano de Wentworth .....	44
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de rocas terrígenas de grano fino.....	50
<b>Tabla 4.</b> Descripción de los códigos de litofacies .....	55
<b>Tabla 5.</b> Lista de atributos .....	56

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo A.** Catálogo de Fotos

**Anexo B.** Columna estratigráfica Formación Chipaque al Este del Macizo de Floresta

## RESUMEN

**TITULO:** ANALISIS ESTRATIGRAFICO DE LA FORMACION CHIPAQUE EN INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE TOTA AL ESTE DEL MACIZO DE FLORESTA, CORDILLERA ORIENTAL \*

**AUTORES:** CARLOS LEONARDO BERNAL ORTIZ  
SILVIA NATALIA DURAN HERNANDEZ \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Cordillera Oriental, Cretácico Tardío, Facies, Formación Chipaque, Tota.

### CONTENIDO:

El estudio de las unidades finas de las rocas cretácicas de la Cordillera Oriental ha sido motivo de investigación para el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), razón por la cual ha nacido este proyecto bajo el convenio que mantiene dicha institución con la Universidad Industrial de Santander (UIS).

El objetivo general que se alcanzó con este trabajo fue la realización de una evaluación facial, interpretación de ambientes sedimentarios y medición del espesor de la Formación Chipaque en los alrededores del municipio de Tota. Como productos se muestra en el contenido del presente trabajo, una columna estratigráfica detallada a escala 1:100 de la Formación Chipaque, un catálogo fotográfico y una descripción litofacial por segmentos con los respectivos ambientes de sedimentación interpretados.

Los resultados obtenidos destacan un espesor total de 649m para la Formación Chipaque, donde 87m corresponden a una sección estratigráfica levantada en la vía Mongua-La Salina y 562m a la sección del Crucero en la vía Sogamoso-Pajarito, la recolección de 24 muestras ricas en materia orgánica, la descripción de 52 segmentos litofaciales con la descripción de los ambientes sedimentarios correspondientes a: Costa, Playa, Anteplaya, Llanura mareal arenosa, Llanura mareal lodosa, Llanura mareal lodo arenosa, Plataforma interna, Plataforma media a interna, Plataforma media, Plataforma media a externa y Plataforma externa.

---

\* Proyecto de Grado.

\* Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Geología. Director: Adriana Patricia Dueñes Garcés, Geóloga, UIS; Co-Director: Juan Carlos Ramírez Arias, M. Sc. UIS.

## ABSTRACT

**TITLE:** STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF THE CHIPAQUE FORMATION AROUND THE MUNICIPALITY OF TOTA AT THE EAST SIDE OF THE FLORESTA MASSIF, EASTERN CORDILLERA \*

**AUTHORS:** CARLOS LEONARDO BERNAL ORTIZ  
SILVIA NATALIA DURAN HERNANDEZ \*\*

**KEYWORDS:** Eastern Cordillera, Upper Cretaceous, Facies, Chipaque Formation, Tota.

### DESCRIPTION:

The study of the fine units of the Cretaceous rocks of the Eastern Cordillera has been a subject of research for the Colombian Petroleum Institute (ECOPETROL - ICP), reason why this project was born in the covenant that keeps this institution with the "Universidad Industrial de Santander" (UIS).

The general objective reached by this work was the facies assessment, interpretation of sedimentary environments and the thickness measurement of the Chipaque Formation nearby of the municipality of Tota. As a result of this complete work we built a detailed stratigraphic column of the Chipaque formation at a scale 1:100, a photographic catalog and a lithofacial description by segments with respective sedimentary deposition environments.

The highlighted results are a complete detailed stratigraphic column which shows for the Chipaque Formation a thickness of 649 meters, where 87 meters correspond to a section raised in the Mongua–La Salina Road and 562 meters correspond to the section "El Crucero" in the Sogamoso–Pajarito route, both sections were studied in the Boyaca Department. 24 samples were collected with a high content of organic matter and the description and assessment of 52 lithofacial segments are also included in this work. The deposition environments found in this section are: Coast, Beach, Foreshore, tidal sandy plain, tidal muddy plain, tidal sandy-muddy plain, inner shelf, middle to inner shelf, middle shelf, middle to external shelf, external shelf.

---

\* Degree Project.

\*\* Physical Chemistries Sciences Faculty, Geology School, Director: Adriana Patricia Dueñas, Geóloga, UIS; Co-Director: Juan Carlos Ramírez Arias, M. Sc. UIS.

## INTRODUCCION

En busca de profundizar los conocimientos que se tienen acerca de la Formación Chipaque en las inmediaciones de la laguna de Tota, en la parte central de la Cordillera Oriental, departamento de Boyacá, este proyecto ofrece una descripción detallada de la Formación Chipaque, mediante un reconocimiento amplio de la zona con la cual se logró encontrar el espesor total de dicha formación rica en materia orgánica.

El levantamiento estratigráfico de la Formación Chipaque se hizo a escala 1:100 y se llevó a cabo relacionando dos secciones, una en la vía que del Municipio de Mongua conduce a La Salina y otra en el sitio El Crucero, ambas secciones localizadas en el departamento de Boyacá. La primera sección estratigráfica se denominó Vía La Salina, en ella se describió la base de la Formación Chipaque, y se obtuvo un espesor de 87 metros, los cuales fueron medidos a partir del contacto con la infrayacente Formación Une. La segunda sección estratigráfica fue levantada en la vía que de Sogamoso conduce a Pajarito, en el sitio denominado El Crucero, se obtuvo un espesor de 562 metros y se describió en detalle la mayor parte de la secuencia de la Formación Chipaque, hasta su contacto con el suprayacente Grupo Guadalupe.

En este trabajo, se muestra una actualización de las Litofacies que se encuentran durante toda la secuencia de la Formación Chipaque teniendo como base la estandarización textural que realizó Farrell (2012). Por último, se ofrecen una descripción litofacial por segmentos, agrupados por características litológicas y su respectiva interpretación de ambiente de depositación.

## **1 DEFINICION DEL PROBLEMA**

La necesidad de profundizar en el conocimiento que se tiene hasta ahora de la Cordillera Oriental, y en especial de las unidades ricas en materia orgánica depositadas durante el Cretácico Tardío, permiten direccionar el desarrollo de este proyecto, donde se busca complementar la información existente a través de un estudio detallado de la Formación Chipaque en la parte media de la Cordillera Oriental al Este del macizo de Floresta, con el fin de apoyar el proyecto de Arenas Bituminosas desarrollado por el ICP y como parte de éste, el proyecto de maestría al que estamos aportando el cual pretende obtener la historia de subsidencia de la cuenca Cretácica usando los espesores específicos que se determinaron de las secciones construidas a partir de la fase de campo realizada en este proyecto.

## 2 JUSTIFICACION

El proyecto de arenas bituminosas que se desarrolla en el Instituto Colombiano del Petróleo – ICP, tiene la necesidad de estudiar a fondo las unidades finas de las rocas Cretácicas de la Cordillera Oriental. Por esta razón, nace este proyecto el cual pretende realizar un análisis a fondo de las litofacies y ambientes sedimentarios con los cuales se va a determinar la procedencia de los sedimentos que conforman las Formaciones del Cretácico Tardío en el área de estudio. Con la medición del espesor exacto se pretende aportar un nuevo dato de la Formación Chipaque para la parte media de la Cordillera Oriental al Este del Macizo de Floresta y de esta forma contribuir a la obtención de la historia de subsidencia termal de la cuenca de la Cordillera Oriental.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la evaluación de facies, interpretar los ambientes sedimentarios y medir el espesor de la Formación Chipaque en los alrededores del municipio de Tota al Este de Macizo de Floresta.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Realizar la descripción detallada de la Formación Chipaque ubicada al Este del Macizo de Floresta a partir de la medición de una columna estratigráfica a escala 1:100 y recolectar muestras con alto contenido de materia orgánica (MO).

Determinar el espesor total de la Formación Chipaque al Este del Macizo de Floresta mediante una columna compuesta con una sección en El Crucero y otra en la Vía Mongua – La Salina.

Delimitar las litofacies que conforman la Fm. Chipaque cada vez que haya variaciones considerables y de esta manera interpretar los ambientes de sedimentación.

## 4 MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

Los principales eventos tectónicos que influenciaron el desarrollo de las cuencas Colombianas están ampliamente relacionados con la evolución del margen occidental activo de la Cordillera de los Andes. (Cooper et al., 1995). El basamento Colombiano es dividido en tres zonas, separadas por estructuras principales (Suárez, 1990) (Ver Figura 1):

- El Escudo de la Guyana Oriental (A).
- La Provincia central con rocas del Precámbrico-Paleozoico temprano (B).
- Fragmentos de corteza oceánica acrecionada por subducción (C).

Durante el Triásico-Jurásico y Cretácico temprano, el Norte de Suramérica fue periféricamente afectada por un *rift* asociado a la separación de América del Norte y América del Sur en el proto-caribe (Jaillard et al., 1990). Maze (1984) propuso un mecanismo alternativo para la extensión en un ambiente de *back-arc* el cual daba la naturaleza oblicua de la zona de subducción con una componente trans-tensional.

Para el norte de los Andes y el piedemonte llanero la deformación se desarrolló debido a la interacción entre las placas Nazca-Caribe con la placa Suramericana. La Cordillera Oriental es un orógeno de inversión bivergente norte-nororiente relacionado con la reactivación Cenozoica de las estructuras de rift cretácicas durante la compresión de orientación E-W (Coletta et al., 1990; Cooper et al., 1995; Mora et al., 2006). La principal fase de inversión tectónica en la Cordillera Oriental ocurrió en el Mioceno (Taboada et al., 2000) y ha sido atribuida a la

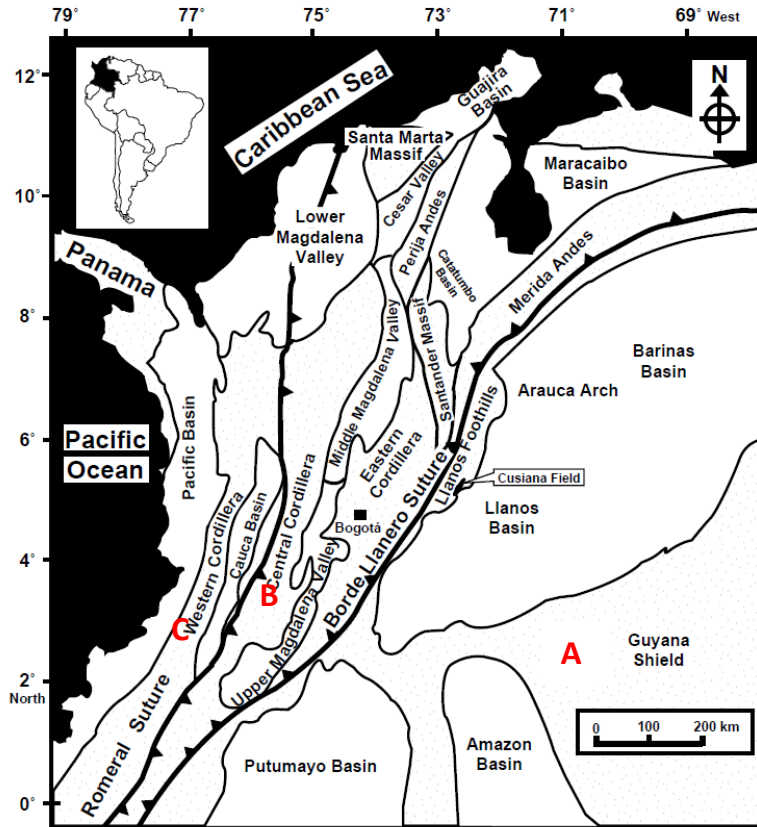
colisión del arco Baudó-Panamá con el activo margen occidental de Sur América (Duque- Caro, 1990).

La Cordillera Oriental comprende la zona externa de los Andes Colombianos y está separada de la Cordillera Central por el Valle Medio del Magdalena-VMM. La cuenca intramontana de esta Cordillera Orientales limitada al Este por el sistema de fallas del borde llanero, y al Oeste por unas fallas de cabalgamientos con vergencia al Oeste que la separa del Valle del Río Magdalena. (Butler and Schamel, 1988; Namson, et al., 1994; Gómez., et al., 2003). (Figura 1).

Estudios paleogeográficos y sedimentológicos en la Cordillera Oriental (Fabre, 1985; Hebrard, 1985; Colleta et al., 1990; Dengo and Covey, 1993; Cooper et al., 1995; Sarmiento, 2001) sugieren que el *rifting* regional del Jurásico tardío - Cretácico temprano generó la megasecuencia de sedimentos *sin-rift* (marinos y continentales) como la Fm. Guavio, Fm Buenavista, Fm Macanal, Fm Las Juntas y la Fm Fómeque que suprayacen al basamento o las unidades del Paleozoico para el Este de la Cordillera Oriental.

Los sedimentos que cubren el Paleozoico son marinos y presentan espesores variables, indicando diferencias de subsidencia tectónica; las areniscas del Albiano al Cenomaniano son clasificadas como la Formación Une, esta formación está suprayacida por shales pertenecientes a la Formación Chipaque y por encima de esta, se encuentra el Grupo Guadalupe.

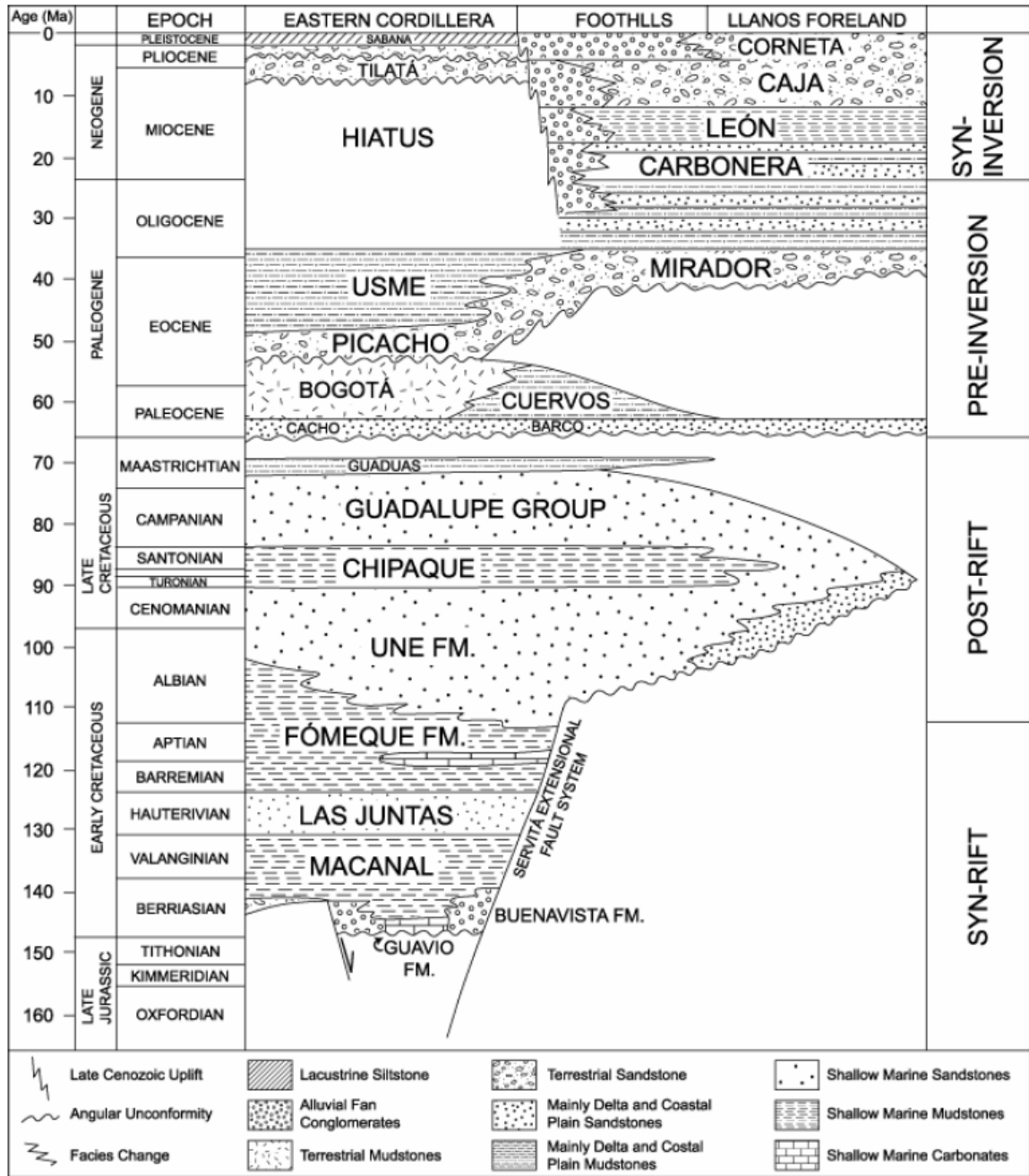
**Figura 1.** Mapa de las principales provincias tectónicas de Colombia



Marco tectónico de Colombia y sus principales provincias Geológicas. Tectónicas (Tomado y modificado de Cooper et al., 1995.)

En el piedemonte, la secuencia Paleoceno-Eoceno constituye hasta 600 m. de arenisca continental y lodolita fósil que conforma las formaciones Barco, los Cuervos y Mirador. Estas unidades son suprayacidas por ~3km de secuencia Oligoceno - Mioceno Inferior de lodolita fósil y arenisca marina marginal a deltaicas de la Formación Carbonera (Parra, 2008). Sobre esta unidad la Formación León de lodolitas del Mioceno medio constituye 500m. de espesor de horizonte continuo interpretado como la última incursión marina en el área. Esta formación está cubierta por una sucesión continua de arenisca continental y conglomerados de la Formación Guayabo del Mioceno Superior-Plioceno. La Formación Guayabo Superior es lateralmente equivalente con la formación Corneta la cual se compone de conglomerados de gravas gruesa (Parra, 2008). (Figura 2)

**Figura 2.** Carta estratigráfica generalizada del flanco Este de la Cordillera Oriental



Tomado de Mora et al., 2006.

## 4.2 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona donde se desarrollara este trabajo, comprende los alrededores de la Laguna de Tota en el departamento de Boyacá y al noreste del municipio de Mongua, lugar donde se encontró el contacto inferior de la Formación Chipaque con La Formación Une.

**Figura 3.** Localización del área de estudio

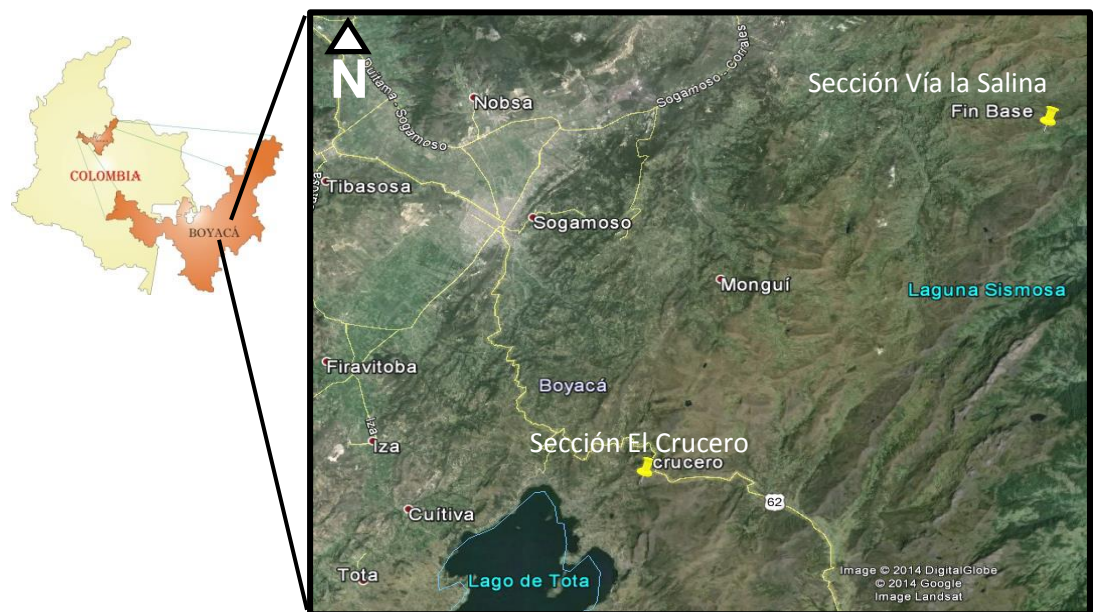
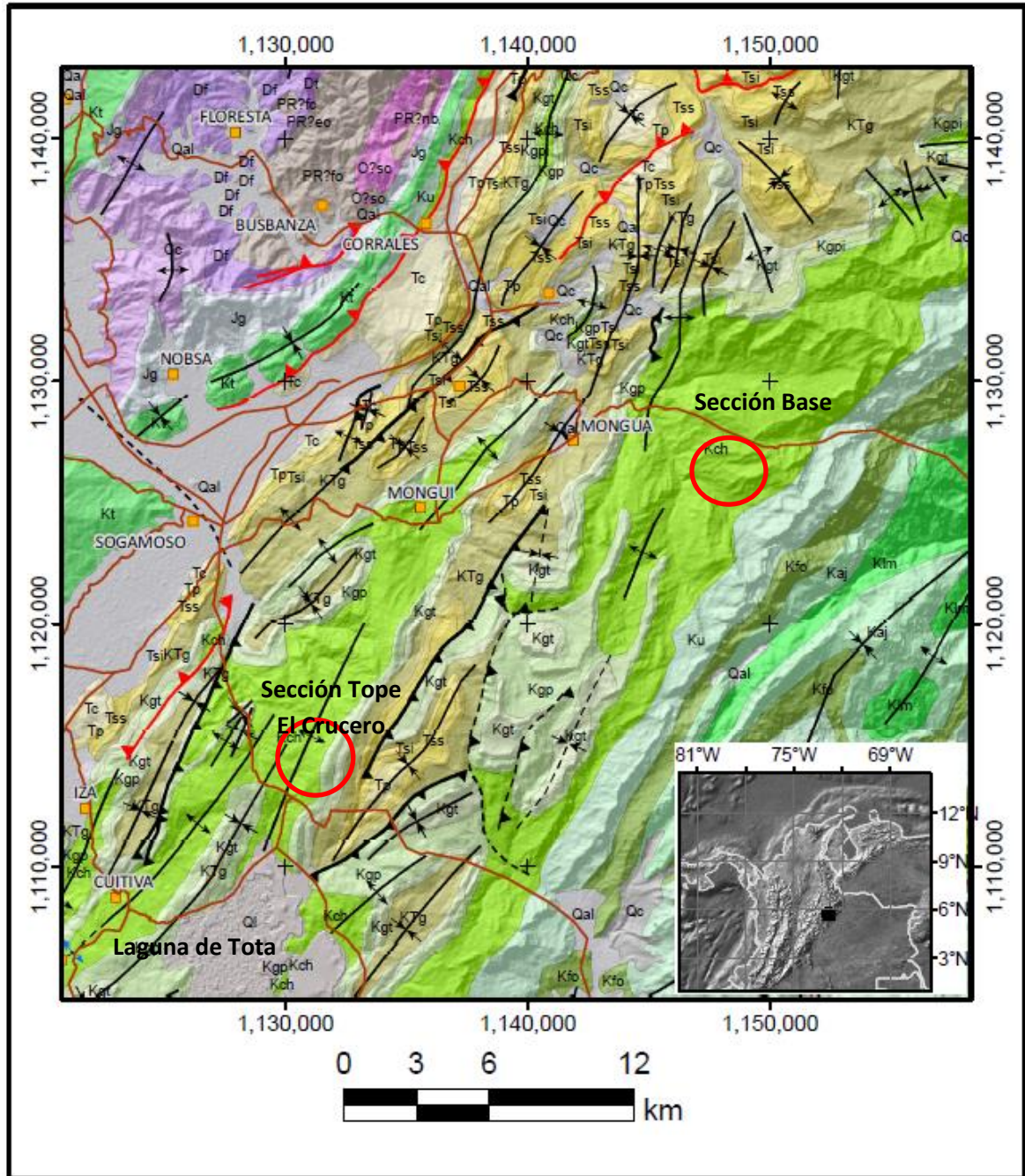


Imagen izquierda tomada y modificada de la página web de la Alcaldía de Chivor, Boyacá. Imagen derecha es la vista que se tiene de la Laguna de Tota y los puntos donde se tomaron las dos secciones estratigráficas en imagen Landsat de Google Earth. Tomada en abril de 2014.

De acuerdo a los objetivos planteados en este proyecto, se realizó el levantamiento de dos secciones estratigráficas, La primera, se encuentra localizada en el sector de la Laguna de Tota, plancha 192 en el departamento de Boyacá. Este afloramiento se encuentra en la vía Sogamoso – Pajarito, a 12.5 km de la cabecera municipal de Sogamoso. (Figura 3)

Figura 4. Localización de la sección Base y Sección tope



En la imagen se relaciona la sección Tope, cerca de la laguna de Tota y la sección base al noreste del municipio de Mongua, la distancia lineal en la que se encuentran estas dos secciones es de 25 kilómetros. Tomado y modificado de ICP- ECOPETROL, 2009.

La segunda sección es algo más retirada del casco urbano. Esta se encuentra en la vía que de Mongua conduce a las canteras de La Salina, es por eso que durante todo el trabajo se denominó Vía La Salina, ubicada a 45 minutos del municipio de Mongua.

Geológicamente el área de estudio, se encuentra en la parte central de la Cordillera Orienta al Este del Macizo de Floresta, donde secuencias sedimentarias fueron depositadas durante el Cretácico y el Terciario, zona que fue afectada tectónicamente por la deformación del levantamiento de la Cordillera Oriental.

### **4.3 GEOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La evaluación de facies, el análisis de las variaciones de espesor y la interpretación de ambientes de depositación se realizaron para la Fm. Chipaque que aflora en esta parte de la Cordillera Oriental, motivo por el cual en el siguiente apartado del libro se cita la descripción litológica general que existe en la literatura actual de dicha unidad, así como también las descripciones de la unidad infrayacente (Formación Une) y las unidades suprayacentes (Grupo Guadalupe).

#### **4.3.1 Estratigrafía de la zona de estudio.**

En el área de estudio afloran principalmente rocas del Cretácico en las que se resalta la Fm. Une (Kiu), Fm. Chipaque (Ksc) y el grupo Guadalupe el cual está dividido en tres miembros: Formaciones Dura y Plaeners (Ksgtp), Formaciones Labor y Los Pinos (Ksgp) y la Fm. Arenisca Tierna (Ksgt). También afloran unidades Terciarias como la Fm. Guaduas (Tkg), Fm. Areniscas de Socha (Tpars) y Fm. Arcillas de Socha (Tpas). (Figura 5)

### **Formación Une (Kiu)**

El nombre de la formación fue dado por Hubach (1957a). Su localidad tipo se encuentra al sureste de Bogotá, en la carretera Bogotá-Villavicencio, entre Chipaque y Cáqueza. Aflora en la parte central y oriental del área de estudio y forma grandes escarpes, que contrastan con la morfología de suaves colinas de las unidades supra e infrayacente (Chipaque y Fomeque, respectivamente).

La Formación Une suprayace transicionalmente a la Formación Fómeque e infrayace concordantemente a la Formación Chipaque. La edad de la formación en el área de estudio ha sido definida como Albiano medio al Cenomaniano por Bürgl (1957), de acuerdo con las faunas colectadas en los alrededores de Choachí; en el área del Cocuy, Fabre (1985) considera una edad de Albiano a Cenomaniano; Diana Gutiérrez colectó algunos fósiles, datándolos como del Cretácico Superior, pero no fue posible una mejor clasificación, debido a su mala conservación.

En general, la Formación Une representa el paso de Fómeque a condiciones netamente marinas con depósitos litorales de marcada tendencia deltaica en la desembocadura de ríos. (Ulloa et al., 2001)

### **Formación Chipaque (Ksc)**

El nombre de Formación Chipaque fue dado por Hubach (1931b) en la parte de la Sabana de Bogotá y redefinido por Renzoni (1962) para la región del Piedemonte. La formación se caracteriza por lodolitas que suprayacen e infrayacen a unidades areníticas, que son respectivamente la Formación Une y el Grupo Guadalupe (Guerrero & Sarmiento, 1996). La localidad tipo se encuentra en las inmediaciones de la población de Chipaque en el Departamento de Cundinamarca.

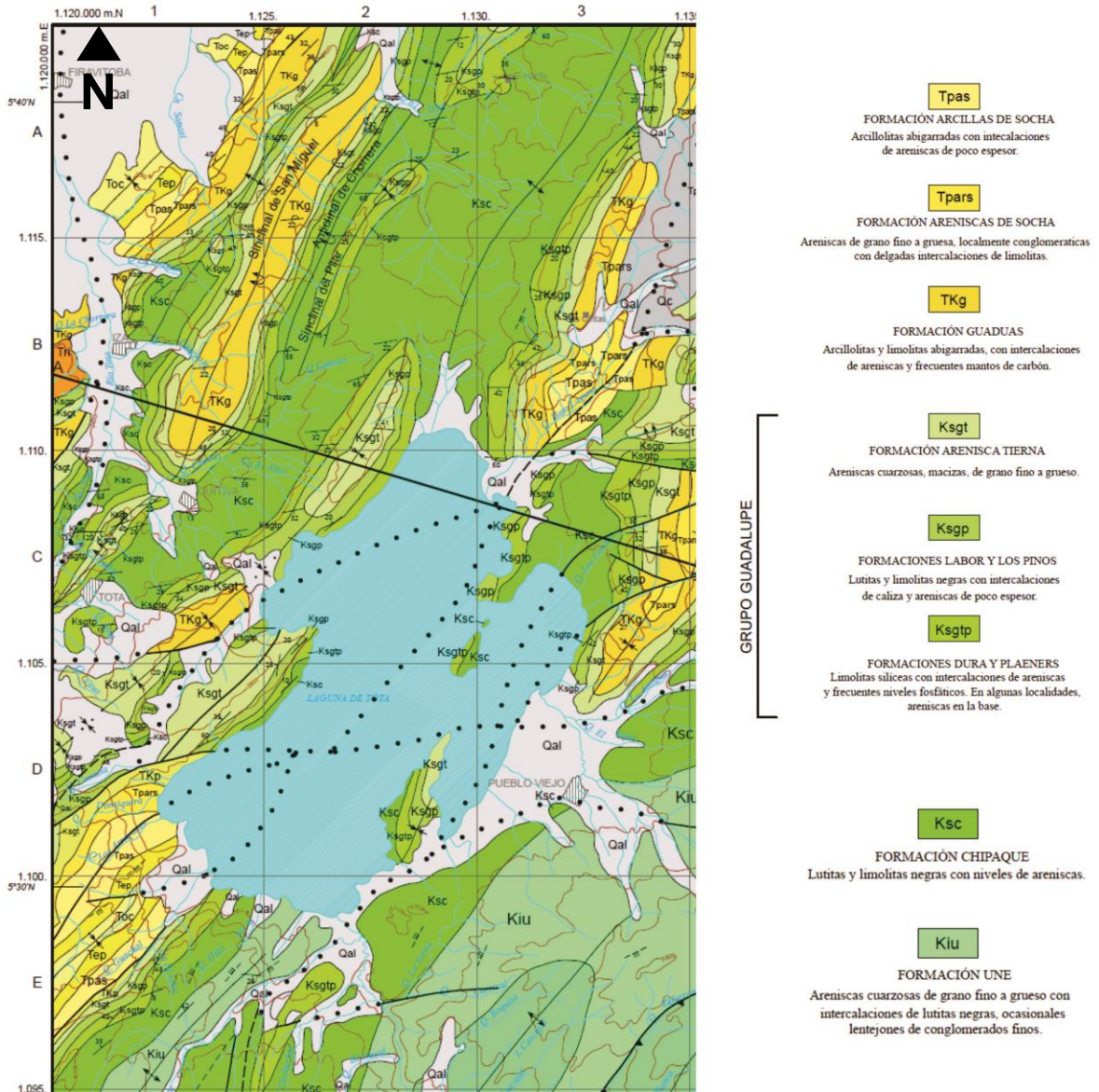
En la carretera Sogamoso-Pajarito, en el sitio del Crucero está expuesta la Formación Chipaque, con un espesor de 480 m (Vergara & Rodríguez, 1997).

En la sección del crucero, donde fue medida en detalle por Alzate & Bueno (1995), tiene un espesor de 467 m., que puede ser mayor debido a que la base de la formación no aflora. La litología es esencialmente de lodolitas gris oscuras con laminación plano paralela y ondulada, las cuales alternan con capas medias a gruesas de arenitas de cuarzo y limolitas donde prima la estratificación interna ondulada. Las arenitas de la sucesión presentan con frecuencia fosfatos, rara vez glauconita, de granulometría de arenita fina a muy fina y frecuentemente bioturbación. Los fósiles más frecuentes son los foraminíferos. Algo importante en esta sección es la presencia de capas de bentonitas, asociadas a una capa con abundantes restos de vegetales.

Vergara & Rodríguez (1995) realizaron análisis bioestratigráficos con muestras recolectadas cerca al sitio denominado El Crucero y de secciones en el área del piedemonte; obtuvieron una edad para esta formación del Cenomaniano al Campaniano. Del estudio palinológico, Guerrero & Sarmiento (1996) discuten la distribución bioestratigráfica de palinomorfos, que permiten establecer correlaciones con otras sucesiones del país y del continente situados en el Cinturón Tropical y concluyen en su estudio que la Formación Chipaque, en la parte más inferior es de edad Turoniano temprano y la parte superior de acuerdo con la composición palinológica es indicativo de edad Santoniano (Tabla 1).

**Figura 5. Detalle del área de estudio**

Detalle del área de estudio, plancha 192, Laguna de Tota



En esta figura se muestran las diferentes unidades geológicas presentes entre las coordenadas planas 1'120.000 - 1'135.000 al Este y 1'095.000 – 1'120.000 al Norte. Modificado de Geología de la Plancha 192, Laguna de Tota, (Ulloa et al., 1998)

La Formación Chipaque para la región del Piedemonte Llanero , en su parte inferior refleja zonas de bahías someras, zonas inundadas con depósitos de pantanos, lagunas costeras, llanuras de marea en un régimen de baja energía

dominado por olas, según Guerrero & Sarmiento (1996). La presencia de arcillolitas negras ricas en materia orgánica, son indicativo de depósitos en aguas poco profundas. Hacia la parte media de la formación se predominan las arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, que son indicativas de un sistema transgresivo con ambientes marinos de fuera de costa.

**Tabla 1.** Correlación Litoestratigráfica del Cretácico y Terciario

EDAD	VAN DER HAMMEN 1958 HUBACH 1957a Sabana de Bogota	RENZONI 1969 (L11) Piedemonte Llanero	PEREZ Y SALAZAR 1973 Sabana de Bogotá	RENZONI 1967 (J-12) Piedemonte Llanero	ALVARADO Y SARMIENTO 1944 Sabana de Bogotá	CORDILLERA ORIENTAL, Ulloa et al. 2001		
						REGION OCCIDENTAL Sabana de Bogota	REGION OCCIDENTAL Sabana de Bogota	
EOCENO INFERIOR	SABANA TILATA			TILATA				
	FORMACION USME				FORMACION CONCENTRACION	FORMACION CONCENTRACION	FORMACION SAN FERNANDO	
	FORMACION REGADERA				FORMACION PICACHO	FORMACION PICACHO	FM. ARENISCA DEL LIMBO	
PALEOCENO				FORMACION BOGOTA	FM SOCHA SUPERIOR	FM SOCHA SUPERIOR	FM ARCILLAS DE SOCHA	
					FM SOCHA INFERIOR	FM SOCHA INFERIOR	FM ARENISCA DE SOCHA	
MAASTRIEHT. TAR.	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	GRUPO PALMICHAL	
MAASTRIEHT. TEM.	Nivel dos Ar. Tierra	Formación Labor y Tierra	Fm Ar Tierra		FORMACION ERMITAÑO	Arenisca Tierra		
CAMPANIANO TAR.	Miembro de los Placers	Formación Placers	Fm Ar Labor			Miembro los Pinos		
CAMPANIANO TEM.	Ar. Dura	Fm. Raizal	Fm. Ar Dura		Fm. Placers			
CONIACIANO	GRUPO VILLETA	Chipaque	FORMACION CHIPAQUE		GRUPO CHURUVITA	VILLETA	FORMACION CHIPAQUE	FORMACION CHIPAQUE
TURONIANO		Une	FORMACION UNE		FM UNE		FORMACION UNE	FORMACION UNE
CENOMANIANO		Fomeque	FORMACION FOMEQUE					FORMACION FOMEQUE
ALBIANO								
APTIANO								
BARREMIANO		Arenisca de Caqueza	FORMACION ALTO DE CAQUEZA			FORMACION TIBASOSA		FORMACION TIBASOSA
HAUTERIVIANO								
VALANGENIANO	Conjunto Medio	Parte media del Caqueza						FM LUTITAS DE MACANAL

Parte Central de la Cordillera Oriental de Colombia. El recuadro de color naranja, muestra la parte de la Cordillera Oriental en la que se desarrolló el presente trabajo. (Modificado de Ulloa et al. 2001)

En los alrededores de la Laguna de Tota, La Formación Chipaque aflora en sectores cercanos a Cuitiva, El Crucero y Aquitania, con base en lo evidenciado durante la primera campaña de campo. (Figura 4).

### **Grupo Guadalupe**

El término Guadalupe fue empleado por primera vez por Hettner, 1892 (en Hubach, 1957), como Piso de Guadalupe. Posteriormente, Hubach (1931) dividió al Guadalupe en dos conjuntos, inferior arcilloso y superior arenoso; denominó el conjunto inferior como Formación Guadalupe Inferior y el conjunto arenoso como Formación Guadalupe Superior.

Renzoni (1962) redefine el Grupo Guadalupe, engloba el Guadalupe inferior de Hubach en la Formación Chipaque y eleva el Guadalupe Superior a la categoría de grupo, constituido por la Formación Arenisca Dura, la Formación Plaeners y la Formación Labor y Tierna. Pérez & Salazar (1978) caracterizaron en detalle este grupo en los cerros aledaños a Bogotá y lo dividieron en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna.

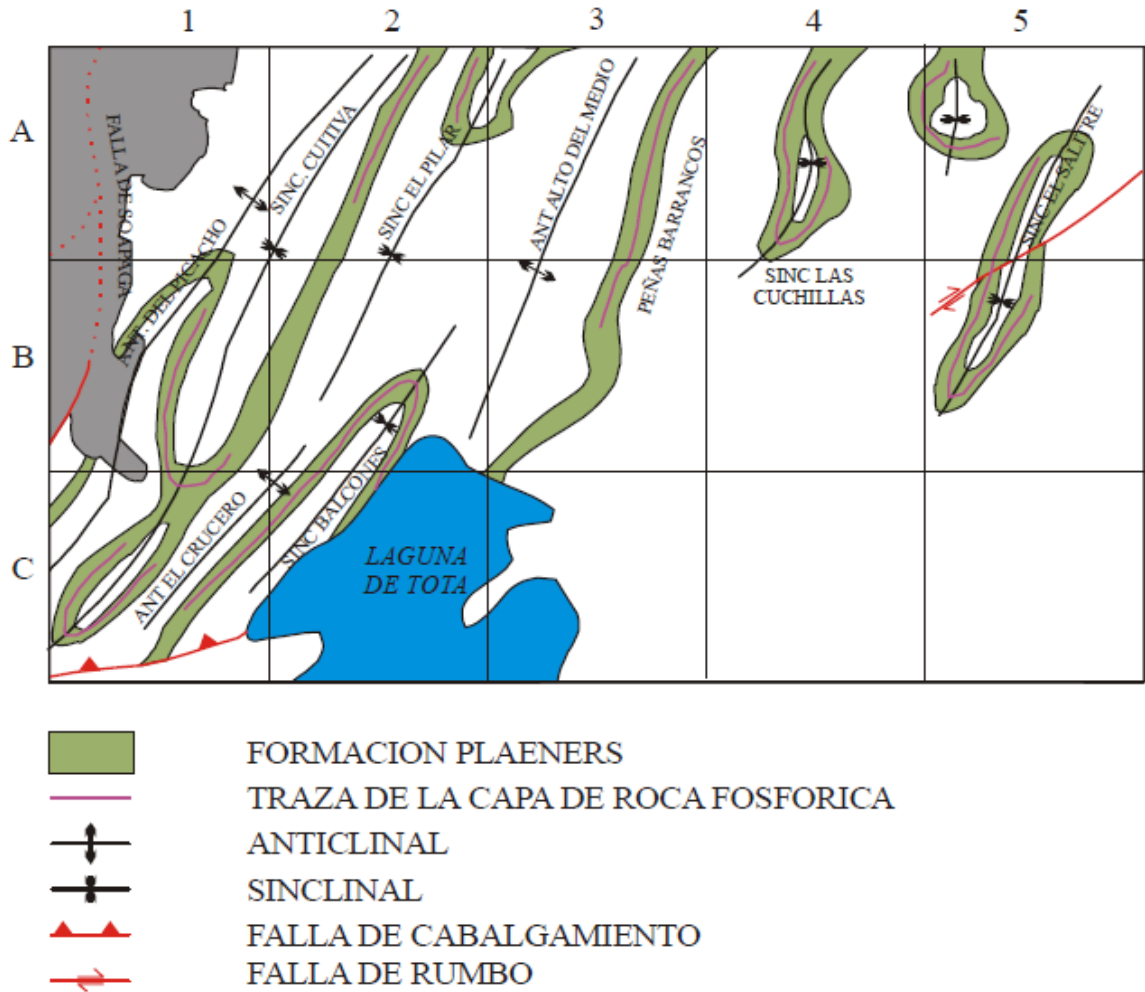
#### **4.3.2 Geología Estructural.**

El macizo de Floresta es un cuerpo limitado por fallas de tipo inverso, estas estructuras son asociadas al levantamiento reciente de la Cordillera Oriental durante la Orogenia Andina, por medio de una reactivación con variación en el sentido de los bloques (inversión tectónica). Este macizo representa una gran estructura anticlinal con rumbo NE-SW, cabeceando al sureste y cierre fuera del área. Al norte la estructura no es clara, pero posiblemente también presenta leve inclinación (ICP-ECOPETROL, 2009).

El sector nor-occidental de la plancha 192 Laguna de Tota, está limitado al occidente por la Falla de Soapaga y al oriente por la Falla Cedral-Romazal. Este sector se caracteriza por presentar rocas del Cretácico Temprano al Terciario Tardío las cuales conforman inclinables y anticlinales estrechos de aproximadamente 1,3 km de ancho, con direcciones que varían entre N25°E y

N35°E. En esta zona se destacan los sinclinales de Iza-Cuítiva, San Miguel, del Pilar y Balcones y el Anticlinal del Picacho (Figura 6) (Ulloa et al., 2001).

**Figura 6.** Principales estructuras presentes en la zona de estudio



En la figura se encuentran las estructuras principales al Nor-oeste de la plancha 192, Laguna de Tota. Tomado y modificado de Ulloa et al., 2001.

La zona de la Plancha 192 Laguna de Tota presenta actualmente una tectónica compresiva de gran complejidad en los sectores suroriental y occidental, ya que presenta gran fallamiento y estructuras estrechas e invertidas, mientras que en el sector central se observa una tectónica más sencilla, al presentar estructuras

amplias y de gran longitud. Las rocas más antiguas presentes en el área fueron acumuladas durante el Cretácico temprano, bajo un ambiente marino en un régimen tectónico de Back Arc (Cooper et al., 1995); la subsidencia de los grabens formados por este evento tectónico continuó hasta el Paleoceno medio, período en el cual comienza a actuar una tectónica compresiva que origina una rotación de las fallas normales preexistentes y posteriormente invierte el desplazamiento relativo de éstas. Esta inversión provocó el levantamiento de bloques con desarrollo de fallas de cabalgamiento. Para el Terciario tardío y el Cuaternario, el evento compresivo genera retro-cabalgamientos menores que afectan la secuencia sedimentaria.

## 5 ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO

En las inmediaciones de la Laguna de Tota se han efectuado pocos trabajos geológicos relacionados con el levantamiento de la Formación Chipaque; se conocen trabajos de investigación de zonas aledañas, como los publicados por Botero (1950) quien realizó un reconocimiento Geológico por los municipios de Belén, Cerinza, Corrales, Floresta, Nobsa y Santa Rosa de Viterbo, Alvarado & Sarmiento (1944) los cuales trabajaron la región de Paz del Río; Renzoni (1969) en el área de Tunja y Ulloa & Rodríguez (1976) en el área de Guateque.

Dentro de la zona de estudio, relacionados con las estratigrafía se encuentran Vergara & Rodríguez (1995) quienes trabajaron el Piedemonte Llanero al igual que Guerrero & Sarmiento (1996). También algunas tesis de grado de las cuales se pueden destacar Rosero (1996) quien estudio el sur de Sogamoso, Vidal & Parra (1991) el Anticlinal de Tota, Alzate & Bueno (1995) Sogamoso y Osorno (1994) el noreste de Sogamoso.

Respecto a la Formación Chipaque como tal y quienes han tratado de estimar su espesor en las diferentes zonas donde aflora (dentro y fuera del área del proyecto) con ayuda de columnas estratigráficas, así como también las facies que la conforman y la interpretación de ambientes en la que ésta fue depositada, se encuentra a Renzoni (1967) quien estimó un espesor de 450 m. en la sección a lo largo de la vía Bogotá- Choachí, Miller (1979) el cual dio un espesor de 1000-1200 m. a la Fm. Gachetá (nombre equivalente a la Fm. Chipaque) en la carretera Aguazul- Sogamoso aunque no incluyó columnas. Según columnas generalizadas de Ulloa & Rodríguez (1979) la Fm. Chipaque tiene un espesor de 350-520 m. en las secciones de las carreteras Pachavita – Tibaná y Santa María – San Luis de Gaceno respectivamente, para Guerrero & Sarmiento (1996) la Fm. Chipaque presenta un espesor de 1390 m. aguas arriba de la Quebrada San Antonio y 565

m. en la Quebrada San Antonio del Piedemonte Llanero, finalmente como columna generalizada se tiene la realizada para la Memoria Explicativa de la plancha 192 de la Laguna de Tota (Ulloa et al., 1998) la cual da un espesor de 750 m. para la Fm. Chipaque.

En estudios anteriores realizados por Ecopetrol S.A., se ha levantado la Formación Chipaque en sitio El Crucero, información que se pretende completar en este trabajo. Puntos importantes que se van a adicionar es el análisis a fondo de las litofacies y ambiente sedimentarios con los cuales se va a determinar los procesos de sedimentación que conforman las Formaciones del Cretácico Tardío. Con la medición del espesor exacto se pretende aportar un dato verídico de la Formación Chipaque para esta parte de la Cordillera Oriental y usando este espesor obtener la historia de subsidencia tectónica de la cuenca Cordillera Oriental.

## 6 METODOLOGIA

Para la realización de este proyecto y poder alcanzar los objetivos planteados, el desarrollo del presente trabajo, se lleva a cabo de acuerdo a la siguiente metodología.

- **Etapas de recopilación Bibliográfica:** en esta etapa se recolecto la mayor información posible acerca de la estratigrafía, sedimentología, geología estructural, evolución tectónica y estudios relacionados de dicha zona de la Cordillera Oriental que nos sirve de base para guiar este proyecto, teniendo en cuenta los trabajos que ya han sido publicados y las mejoras que se deben hacer. En esta etapa se identificaron las secciones que han sido levantadas cuyos resultados se encuentran publicados en la literatura acerca de la Formación Chipaque, con la idea de complementarlos y determinar su espesor en el área. La cartografía geológica de acuerdo a la plancha 192 Laguna de Tota y 172 Paz del Rio fueron de gran importancia ya que basados en los contactos infrayacentes y suprayacentes de la Formación Chipaque fueron de ayuda para la ubicación en la zona y poder continuar con la etapa de reconocimiento en campo que se muestra a continuación.
- **Reconocimiento de campo:** de acuerdo a lo planteado, se realizó una campaña de campo entre los días 5 al 8 de Febrero de 2014, periodo donde se evaluaron las posibles zonas en las cuales se podría realizar el levantamiento de dichas secciones para la estimación del espesor real. Al finalizar el reconocimiento, se eligieron dos secciones donde se levantaría los contactos inferior y superior de la Formación Chipaque, de esta forma complementar la literatura, poder realizar los estudios, toma de datos y muestras pertinentes siguiendo los objetivos del presente proyecto.

- **Primera comisión de campo:** la primera comisión de campo fue efectuada entre los días 12 al 25 de Marzo de 2014, en esta ocasión se realizó un entrenamiento con los funcionarios de Ecopetrol S.A. en los alrededores del municipio de Acacias y Cubarral en el departamento del Meta, donde se aprendió la metodología aplicada para el levantamiento de secciones estratigráficas.

El levantamiento de dichas secciones se inició después de haber seleccionado las localidades con mejor exposición de roca. Las secciones fueron levantadas con poligonal abierta usando una cinta métrica y brújula dejando marcados los puntos en la carretera para poderlos amarrar a la columna estratigráfica. Estos puntos fueron referenciados con ayuda del GPS. Adicional se midió la secuencia estratigráfica usando el Bastón de Jacob.

**Figura 7.** Bastón de Jacob



El Bastón de Jacob consta de un nivel Abney con transportador, laser para apuntar, 1.5 m de largo con divisiones cada 10 cm.

Culminada la fase de medición, se procedió a la descripción de los diferentes conjuntos litológicos al detalle en escala 1:100 según los objetivos propuestos, tomando muestras de shale orgánico muy fresco, para ser enviados a los laboratorios de geoquímica del ICP y hacer análisis de TOC, dichos resultados son de interés particular del ICP y no serán incluidos en esta tesis.

Para la descripción detallada se utilizaron elementos como la tabla del tamaño de grano, ácido clorhídrico diluido al 10% para encontrar rastros de carbonatos, lupa de aumentos 10x y 20x, martillo geológico Eastwing y Brújula Brunton,

**Figura 8.** Materiales para campo



En la figura podemos encontrar el martillo geológico y la Brújula Brunton.

- **Segunda comisión de campo:** esta tuvo lugar entre los días 2 al 11 de Abril de 2014 donde se terminó la medición y descripción de la secuencia estratigráfica de la Formación Chipaque hacia el tope en el sitio El Crucero y se levantó la sección base que aflora en la vía que de Mongua conduce a La Salina.

En esta actividad se describió y se interpretó 649 metros de columna estratigráfica; la relación de las muestras tomadas, fotos y espesores de las dos secciones se encuentran detallados en el Capítulo Resultados de este documento.

- **Clasificación de rocas:** para la clasificación de las rocas terrígenas encontradas durante el levantamiento de la sección estratigráfica de la Formación Chipaque, se realizó una descripción macroscópica textural y composicional empleando lupa de mano de 10x y 20x, navaja, ácido clorhídrico, tablas e imágenes comparativas de tamaño de grano, dicha descripción fue registrada en los formatos de información estratigráfica que se llevaban a campo y posteriormente se pasó esta información en forma digital a la columna estratigráfica del Anexo 2 que se puede encontrar en el cd de este proyecto.

El primer paso que se realizaba al tener las muestras de roca era observarlas con la lupa detallando 3 características principales: el tamaño, la forma y el calibrado.

Para definir el tamaño de los granos que conformaban la roca, se usó como guía la tabla de tamaño de grano de Wentworth, (Tabla 2). La forma de los granos se determinó con las imágenes comparativas de grado de redondeamiento y esfericidad de Powers 1953, en Compton 1962 (Figura 9) y el calibrado mediante las imágenes de calibrado de partículas propuesta por Pettijhon, en Boggs, Jr., 1987 (Figura 10).

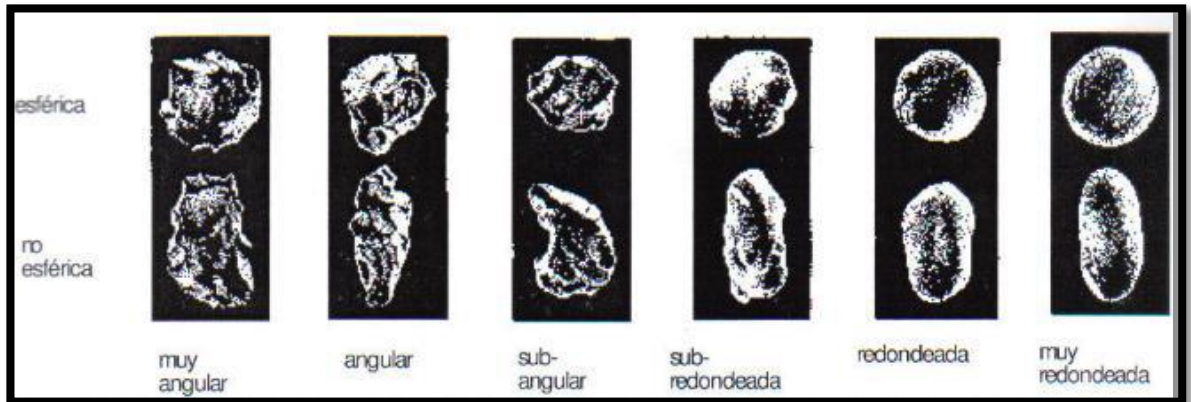
Una vez definidas las anteriores 3 características de la roca, se proseguía a identificar el empaquetamiento, armazón, matriz y contactos entre las partículas de la roca (Figuras 11, 12, 13, 14).

**Tabla 2.** Tamaño de grano de Wentworth

No de malla para tamiz U.S. estandard	Milímetros (mm)	Micrones ( $\mu$ )	Phi ( $\Phi$ )	Clase de tamaño Wentworth		Clase Mayor	Una vez Litificado el sedimento	
			-20	Cantos		GRAVA	CONGLOMERADO	
	4096		-12					
	1024		-10					
	256		-8					
	64		-6					
	16		-4	Guijas				
5	4		-2	Gránulos				
6	3.36		-1.75					
7	2.83		-1.5					
8	2.38		-1.25					
10	2.0		-1	Upper Arena muy gruesa Lower	ARENA	ARENISCA		
12	1.68		-0.75					
14	1.41		-0.5					
16	1.19		-0.25	Upper Arena gruesa Lower				
18	1	1.0	0.0					
20	0.84		0.25					
25	0.71		0.5					
30	0.59		0.75	Upper Arena media Lower				
35	½	0.5	500				1	
40		0.42	420				1.25	
45		0.35	350	1.5	Upper Arena fina Lower			
50		0.3	300	1.75				
60	¼	0.25	250	2.0				
70		0.21	210	2.25				
80		0.177	177	2.5	Upper Arena muy fina Lower			
100		0.149	149	2.75				
120	1/8	0.125	125	3.0				
140		0.105	105	3.25	Upper Arena muy fina Lower			
170		0.088	88	3.5				
200		0.074	74	3.75				
230	1/16	0.0625	62.5	4.0	Grueso (4 a 5 $\Phi$ )	Limos Limolita	LODO	LODOLITA
270		0.053	53	4.25				
325		0.044	44	4.5	medio fino muy fino			
		0.037	37	4.75				
	1/32	0.031	31	5.0				
	1/34	0.0156	15.6	6.0				
	1/128	0.0078	7.8	7.0				
	1/256	0.0039	3.9	8.0	Algunos usan 9 $\Phi$ como limite de la arcilla	Arcillas Arcillolita		
		0.002	2	9.0				
		0.00098	0.98	10				
		0.00049	0.49	11				
		0.00012	0.12	13				
		0.00006	0.06	14				

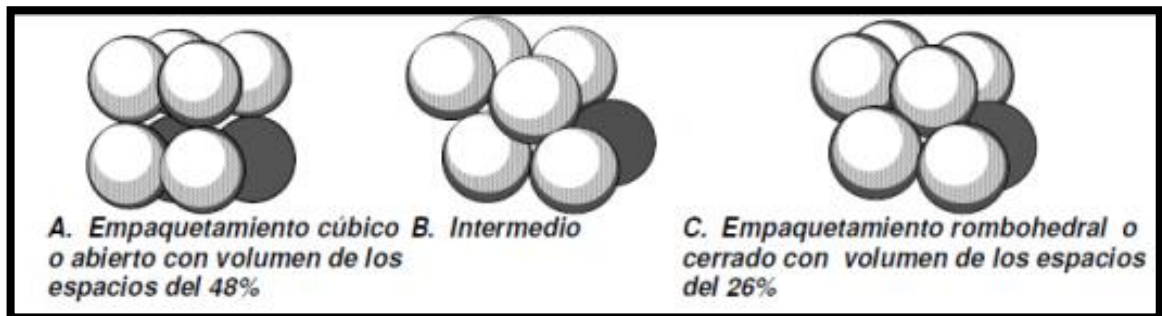
Tabla de tamaño de grano (textura) de Wentworth. Tomada de Folk 1974.

**Figura 9.** Redondeamiento y Esfericidad de partículas



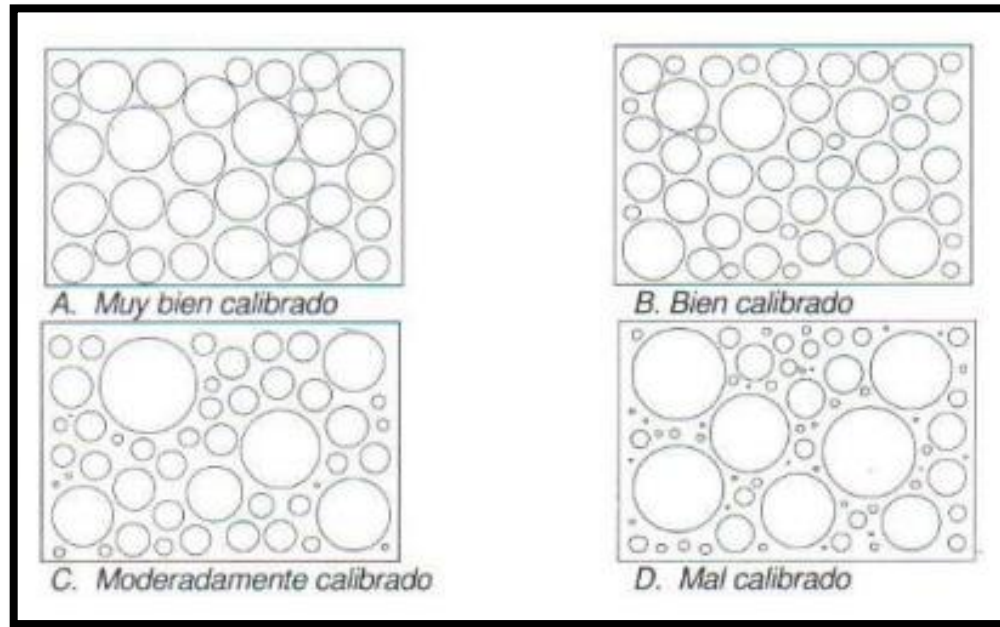
Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers, en Compton 1962.

**Figura 10.** Empaquetamiento



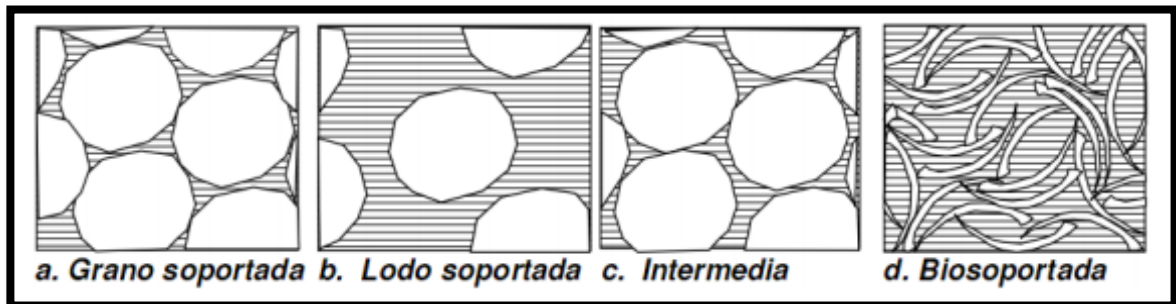
Tipos de empaquetamiento en esferas ilustrando el decrecimiento progresivo de la porosidad. Modificado de Gratton y Fraser, 1935 en Boggs, 1987.

**Figura 11.** Calibrado de las partículas



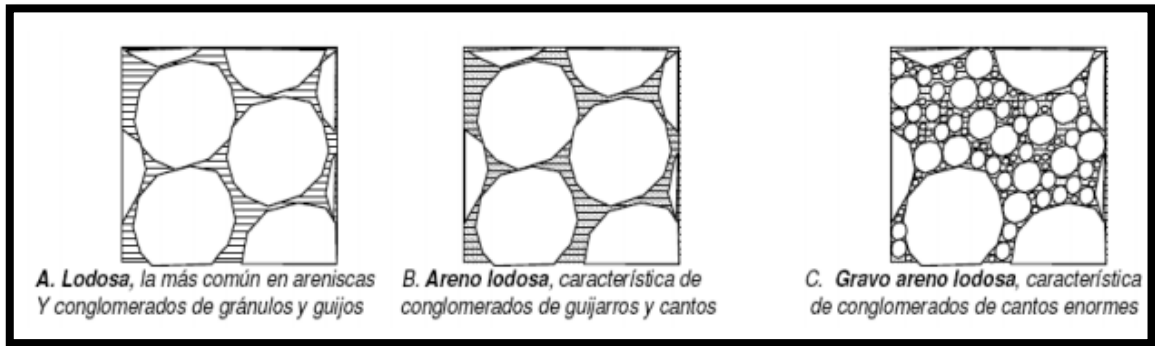
Imágenes de calibrado de las partículas Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987.

**Figura 12.** Armazón



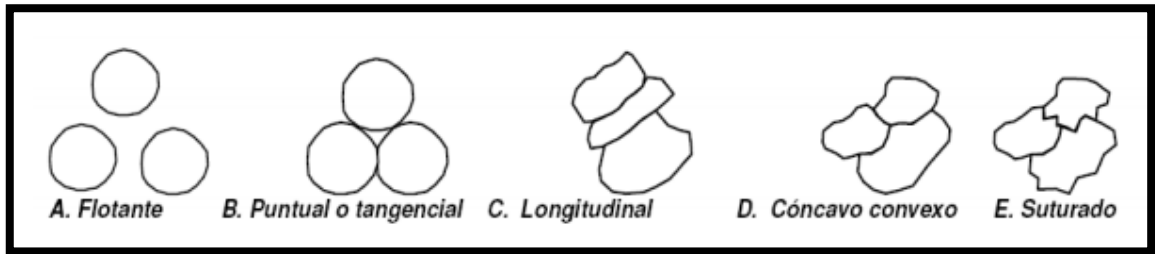
Tipos de fábrica presentes en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. Tomado de Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos. Escuela de Geología, UIS 2007.

**Figura 13. Matriz**



Tipos de matriz presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. Tomado de Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos. Escuela de Geología, UIS 2007.

**Figura 14. Contactos entre partículas**



Tipos de contacto entre partículas en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos. Escuela de Geología, UIS 2007.

- **Descripción composicional- textural:** para la clasificación composicional de las arenas terrígenas encontradas en la Fm. Chipaque de este proyecto, se usó la clasificación composicional de areniscas terrígenas y para las rocas de grano fino se usó la clasificación textural de rocas terrígenas de grano fino, propuestas por Folk 1974.

- **Clasificación composicional de areniscas terrígenas:** fue propuesta por Folk 1974 y utiliza como base los tres tipos principales de partículas, cuarzo (Q), feldespato (F) y fragmentos de roca (FR). Las areniscas se clasifican composicionalmente en tres grupos principales (Figura 15):
  1. Areniscas o Cuarzoarenitas.
  2. Litarenitas.
  3. Arcosas.

Se proponen otros cuatro grupos, híbridos de los principales:

4. Subarcosa.
5. Sublitarenita.
6. Arcosa lítica.
7. Arenita feldespática.

La definición de estos grupos es determinar la proporción de los tres componentes, Q, F y FR.

**Figura 15.** Clasificación composicional de las areniscas

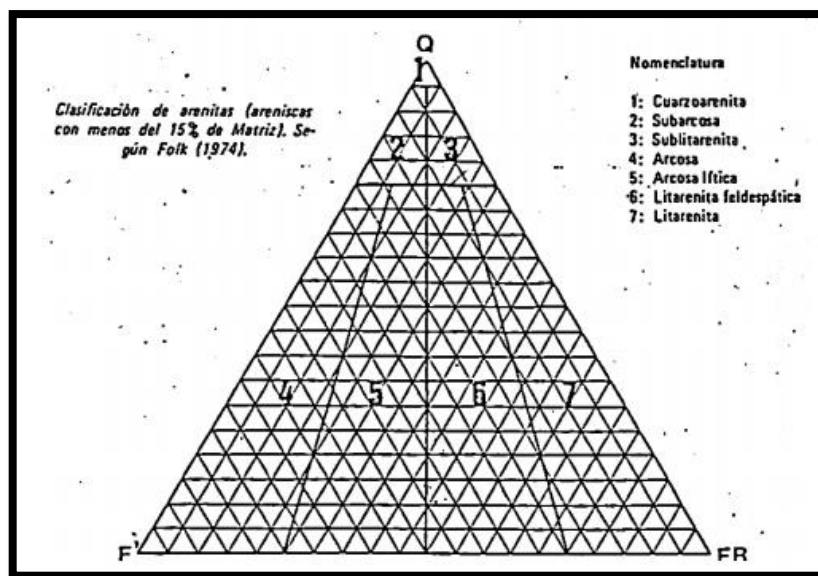
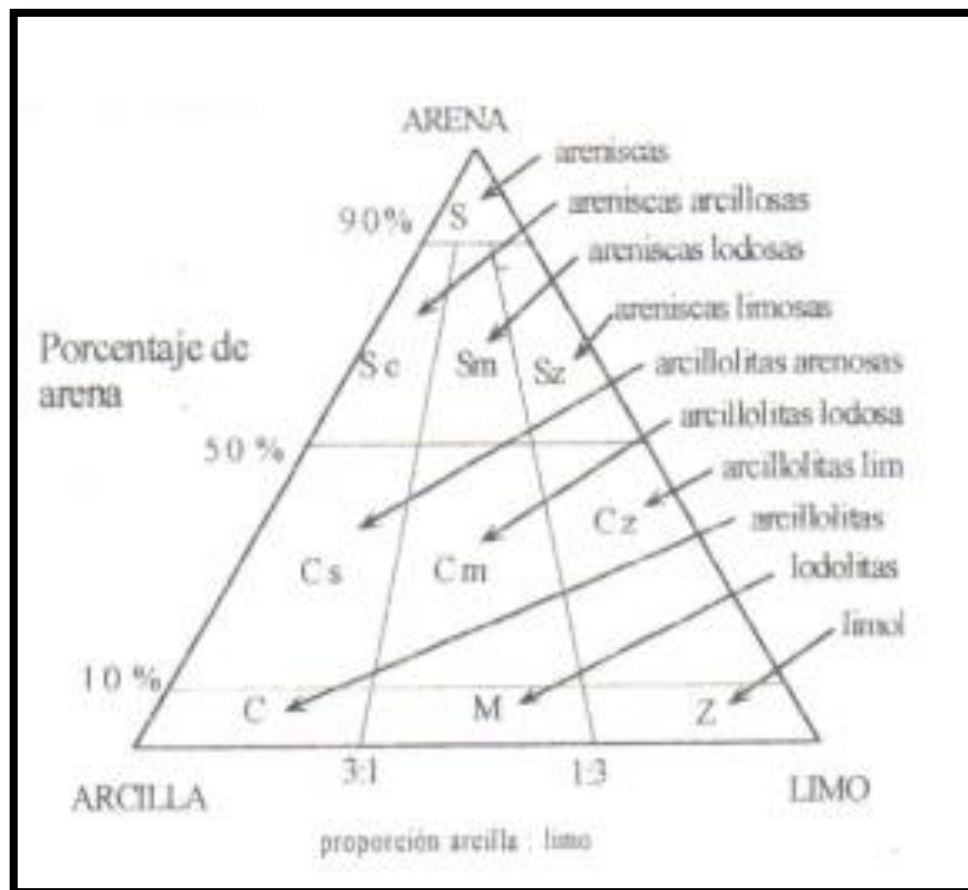


Diagrama triangular para la clasificación composicional de las areniscas. Propuesto por Folk 1974, Fig., 13, pág. 129.

- **Clasificación textural de rocas terrígenas de grano fino:** para las rocas que contienen tanto lodo como arenas se usa el diagrama triangular propuesto por Folk 1974 (Figura 16). Cuando las rocas sedimentarias de grano fino son aquellas que contienen más del 50 % de fragmentos terrígenos y al menos 75% tienen tamaños menores de  $62\mu$  se usa una clasificación basada en el tamaño de grano, litificación y fisilidad, Folk 1974 (Tabla 3).

**Figura 16.** Diagrama Triangular para la clasificación textural de las rocas terrígenas de grano fino



Proporción de arena, arcilla y limo que definen la clasificación textural de rocas sedimentarias terrígenas de grano fino, tomado de Folk 1974.

**Tabla 3.** Clasificación de rocas terrígenas de grano fino

Clase Textural		Sedimento (material no litificado)	Roca (litificado no fisil)	Roca (litificado fisil)
Z	S	Limo (> 67% limo)	Limolita	Limolita Shale
M	L	Lodo (intermedio)	Lodolita	Lodolita Shale
C	A	Arcilla (<67% arcilla)	Arcillolita	Arcillolita Shale
Zc	Sa	Limo arenoso	Limolita arenosa	Limolita arenosa shale
Ms	La	Lodo arenoso	Lodolita arenosa	Lodolita arenosa shale
Cs		Aa	Arcilla Arenosa	Arcillolita arenosa Shale

Nomenclatura y terminología para la clasificación de las rocas terrígenas de grano fino basada en el tamaño de grano, la litificación y la fisilidad, tomado de Folk, 1974.

- Cotejo, clasificación y organización de la información:** como etapa final se organizó la información obtenida en campo, se realizó la digitalización de las columnas estratigráficas utilizando el software SedLog 3.0 con su respectivo análisis de litofacies, así como la interpretación de los ambientes de depositación. La organización de las muestras y las fotografías tomadas de la columna, se muestran en el presente documento.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 COLUMNA ESTRATIGRAFICA

El levantamiento de esta formación arrojó un espesor total de 649 metros que se encontraron correlacionando las dos secciones anteriormente descritas. El espesor en la Vía la Salina es de 87 metros donde se encuentra el contacto con la infrayacente Formación Une, dicho contacto es de carácter transicional y se puede evidenciar por las secuencias de areniscas espesas intercaladas con los shales orgánicos. Estas capas de areniscas van disminuyendo a medida que se sube estratigráficamente.

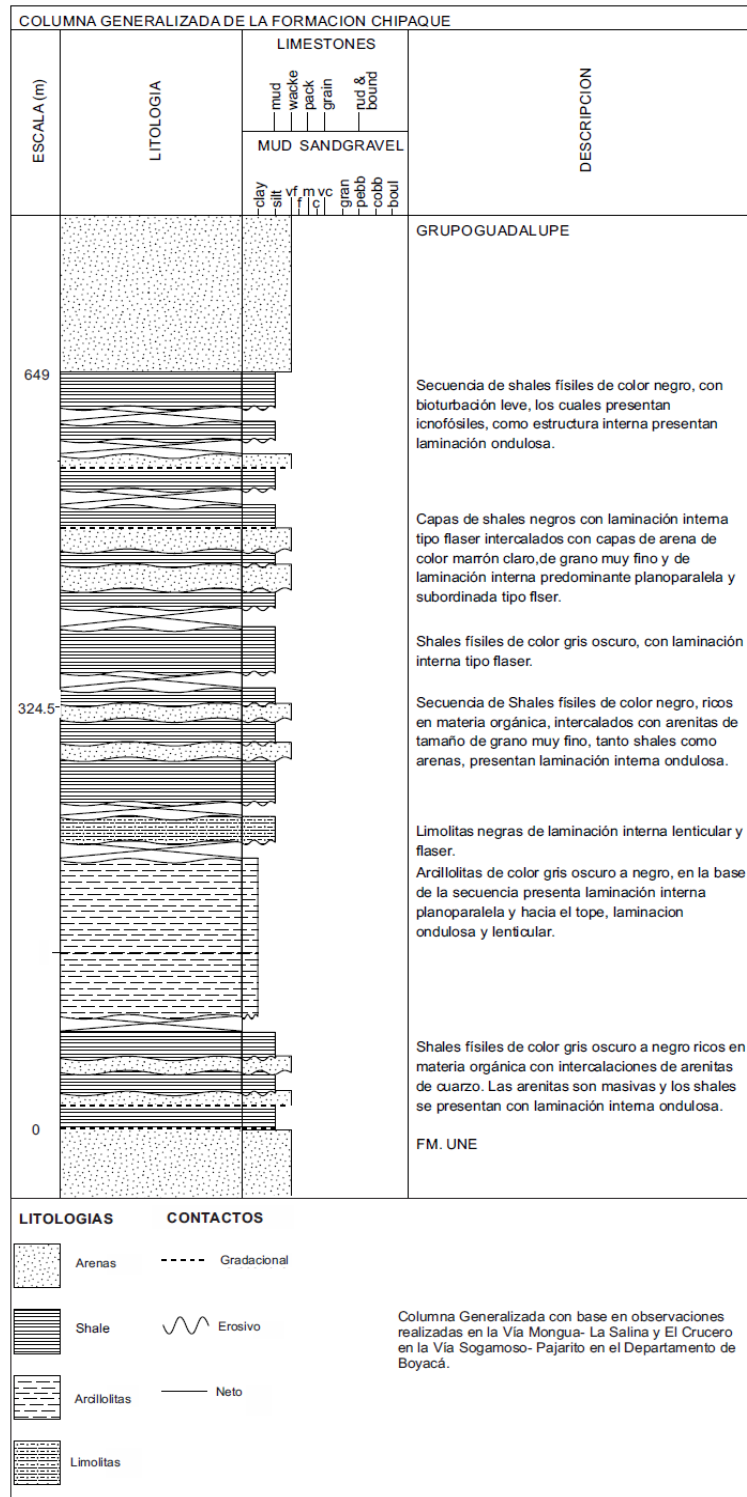
En la sección El Crucero se midió un espesor de 562 metros. En la parte media de la sección hay una secuencia de espesas capas de lodolita y shale físil con pequeñas intercalaciones de arenas de grano muy fino. Al tope de esta sección se encuentra el contacto neto con el Grupo Guadalupe.

**Figura 17.** Muestra de la formación Guadalupe



Muestra de arenisca del Grupo Guadalupe tomada en el contacto.

**Figura 18.** Columna Estratigráfica generalizada de la Formación Chipaque



A lo largo de toda la secuencia se encontraron en total 139.95 metros de sección cubierta en tramos de espesor variable, estos espesores se dedujeron con la ayuda de la poligonal abierta que se realizó durante la etapa de campo. Esta columna estratigráfica detallada se encuentra en el **Anexo A – Columna Estratigráfica**.

En la figura 18 observamos los rasgos más generales encontrados de la Formación Chipaque reducidos a una columna generalizada.

## 7.2 MUESTRAS

En total se recolectaron 24 muestras, siempre verificando que fueran muy frescas, esto se logró descartando aquellas muestras que presentaban oxidación o aquellas que sencillamente estaban desintegradas, para ello se procuró realizar un hueco y tomar aquellas con la coloración más oscura, sin embargo, en algunas zonas era muy difícil la toma de muestras.

La nomenclatura utilizada se encuentra descrita a continuación:

- Sección El Crucero

Muestras recolectadas: 19

CC - ## - B##

(Crucero Chipaque – Número de Muestra – Bastón número)

- Sección Vía la Salina

Muestras recolectadas: 5

VLS - ## - B##

(Vía La Salina – Número de Muestra – Bastón número)

Cabe resaltar que las muestras llevan un número consecutivo y que la primera sección que se levanto fue la de El Crucero, debido a eso las muestras de la sección base en la Via la Salina, tienen números mayores.

### **7.3 CATALOGO DE FOTOS**

Para la elaboración de este catálogo se tuvieron en cuenta las fotos de detalle y las panorámicas que mejor representaban las características resaltadas en la columna estratigráfica. La nomenclatura se realizó de la siguiente manera:

AFL - ##

Afloramiento – Número de Foto.

DET - ##

Detalle – Número de Foto.

Estas fotos se encuentran compiladas en el **Anexo B – Catálogo de fotos.**

### **7.4 DESCRIPCION DE LIFOTACIES Y ATRIBUTOS**

De acuerdo a FARRELL (2012), se propone una clasificación basada en la textura de rocas sedimentarias clásticas que puede ser aplicada universalmente, esta clasificación es independiente de la composición, cementación y ambiente geológico, y está relacionada estrechamente a procesos sedimentológicos. De esta forma, se ha dividido la columna estratigráfica en 52 segmentos separados donde existe una variación considerable de litología. A continuación se muestra el cuadro de descripción litofacial.

**Tabla 4.** Descripción de los códigos de litofacies

Colección Completo de las Clases texturales en Sedimentos Clásticos				
	Código	Código	Equivalente consolidado	Equivalente Consolidado
Arena	S	A	Sandstone	Arenisca
	(g)S	A(c)	Slightly gravelly sandstone	Arenisca ligeramente conglomeratica
	(m)S	A(l)	Slightly muddy sandstone	Arenisca ligeramente lodosa
	mS	A(L)	Muddy sandstone	Arenisca lodosa
	gS	A(C)	Gravelly sandstone	Arenisca conglomeratica
	(gm)S	A(c)l	Slightly gravelly and muddy sandstone	Arenisca ligeramente conglomeratica y lodosa
	(mg)S	A(l)c	Slightly muddy and gravelly sandstone	Arenisca ligeramente lodosa y conglomeratica
	(g)mS	Al(c)	Slightly gravelly muddy sandstone	Arenisca lodosa ligeramente conglomeratica
	(m)gS	Ac(l)	Slightly muddy gravelly sandstone	arenisca conglomeratica ligeramente lodosa
	gmS	Acl	Gravelly muddy sandstone	arenisca conglomeratica lodosa
	mgS	Alc	Muddy gravelly sandstone	arenisca lodosa conglomeratica
	Lodo	M	L	Mudstone
(s)M		L(a)	Slightly sandy mudstone	Lodolita ligeramente arenosa
(g)M		L(c)	Slightly gravelly mudstone	Lodolita ligeramente conglomeratica
sM		L(A)	Sandy mudstone	Lodolita arenosa
gM		L(C)	Gravelly mudstone	lodolita conglomeratica
(sg)M		L(l)c	Slightly sandy and gravelly mudstone	Lodolita ligeramente arenosa y conglomeratica
(gs)M		L(ca)	Slightly gravelly and sandy mudstone	Lodolita ligeramente conglomeratica y arenosa
(s)gM		Lc(a)	Slightly sandy gravelly mudstone	Lodolita conglomeratica ligeramente arenosa
(g)sM		La(c)	Slightly gravelly sandy mudstone	Lodolita arenosa ligeramente conglomeratica
sgM		Lac	Sandy gravelly mudstone	Lodolita arenosa conglomeratica
gsM	Lca	Gravelly sandy mudstone	Lodolita conglomeratica arenosa	

Tabla de las litofacies con su respectiva nomenclatura y traducción del inglés al español. Modificado de Farrel (2012).

**Tabla 5.** Lista de atributos

Atributos			
Codigo	Codigo	Descripcion	Descripcion
m	M	Massive	masiva
biot	biot	Bioturbated	bioturbada
b	mad	Burrowed	madrigueras
lam	lam	Laminated	laminada
l	l	lenticular bedding	estratificacion lenticular
w	W	wavy bedding	Estratificacion ondulosa
f	F	flaser bedding	Estratificacion flaser
gr-lam	gr-lam	graded laminates	Laminacion gradual
x	X	cross-bedded	Estratificacion cruzada
r	ond	Rippled	Ondulosa
r-lam	o-lam	ripple-laminated	Laminacion ondulosa
mld	mld	Moldic	moldes
intr	intr	Intraclastic	intraclastos
df	Dp	dissolution fabric	porosidad por disolucion
mot	mot	Mottled	moteado
org	org	plant debris	restos vegetales
rh	Cr	rhythmically layered	ritmicamente en capas
bnd	bnd	Banded	bandeado
cem	cem	Cemented	cementado
p	P	Pelletal	pellets
C	A	clay	arcilla
Z	L	silt	limolita
c	A	clayey	arcilloso
z	L	silty	limoso
/	Int	interlayered	intercalado

Tomado y modificado de Farrel (2012).

## 7.5 ANALISIS LITOFACIAL POR SEGMENTOS

La columna realizada de la Fm. Chipaque se dividió en 52 segmentos de manera ascendente, siendo el último (Segmento 52) correspondiente al Grupo Guadalupe. A continuación se hace la descripción litofacial de dichos segmentos, se nombra el

ambiente de depositación que se interpretó para estos segmentos, los cuales se describirán en el capítulo 7.7.

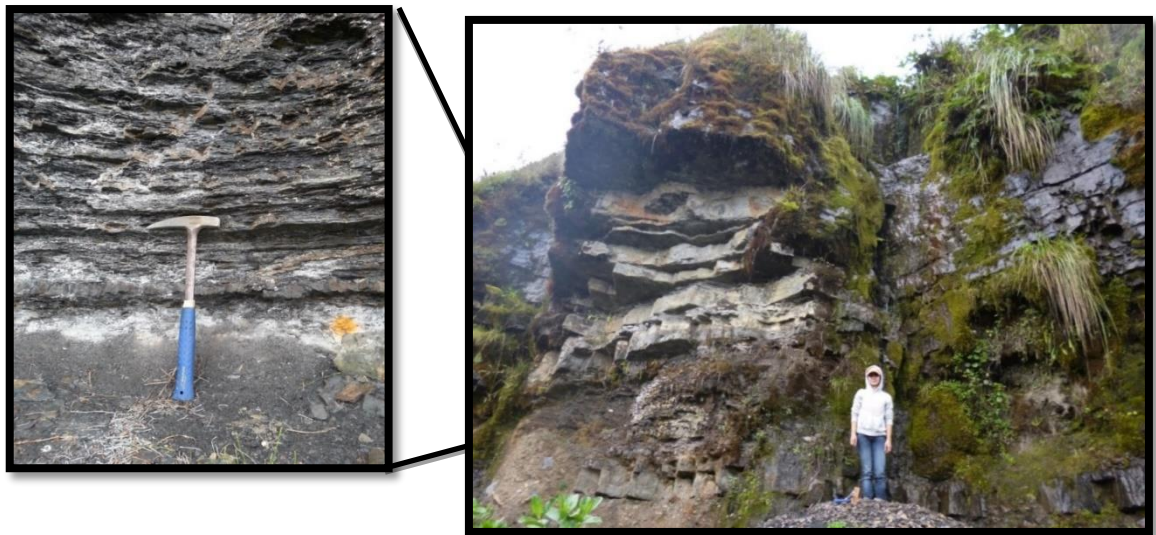
### **Segmento 1:**

Definido entre los metros 0 y 1.2, un espesor de 1.2 metros, la litología dominante son shales oscuros muy fítiles y orgánicos, la litofacies que dominan son lodolitas (L) con alto contenido de materia orgánica muy fítiles, con laminación interna ondulosa (o-lam).

Entre los metros 1.2 y 4.5, un espesor de 3.3 metros, donde aparecen en proporción de 1.2 a 1 arenitas y lodolitas respectivamente, las litofacies predominantes son arenisca ligeramente lodosa (Al) con lodolitas masivas (Lm) de laminación interna ondulosa (o-lam).

Ambiente de depositación: Plataforma interna.

**Figura 19.** Fotografías Segmento 1



Secuencia de areniscas intercaladas con Lodolitas rica en materia orgánica localizadas entre los metros 1.2 y 4.5 en la columna estratigráfica de la Formación Chipaque.

## Segmento 2:

Ubicado entre los metros 4.5 y 15, un espesor de 10.5 metros, donde la litología que conforma el segmento se compone únicamente de cuarzoarenitas, la litofacies dominante corresponde a arenitas masivas (Am) sin ninguna estructura interna definida, muy cementada con tipo de cemento silíceo y tamaños de grano que no varían; la otra litofacies presente es la de arenitas con estratificación ondulosa (Ao), el contacto con el segmento infrayacente es neto planar.

Ambiente de depositación: Playa a anteplaya.

**Figura 20.** Fotografía segmento 2



Capas de cuarzoarenitas masivas.

### **Segmento 3:**

Se encuentra entre los metros 15 y 20 con un espesor de 5 metros, la litología dominante con shales oscuros muy físciles y orgánicos, la litofacies que dominan son lodolitas (L) ricas en materia orgánica muy físciles, con laminación interna plano paralela.

Ambiente de depositación: Plataforma media.

### **Segmento 4:**

Se localiza entre los metros 20 y 22, con un espesor de 2 metros, la litología que lo conforma corresponde a cuarzoarenitas de tamaño de grano muy fino de litofacies arenitas masivas (Am) con ausencia de estructuras internas, presenta una bioturbación leve (biot) y su contacto infrayacente es erosivo.

Ambiente de depositación: Playa.

### **Segmento 5:**

Definido entre los metros 22 y 33, con un espesor de 11 metros, la litología dominante son shales oscuros muy físciles y orgánicos, la litofacies que dominan son lodolitas (L) ricas en materia orgánica muy físciles, laminadas (lam) y algo bioturbadas (biot) así mismo con subordinados moldes fósiles (mld)

Entre los metros 33 a 45, sumando 12 metros, encontramos en su parte basal 1 m de cuarzoarenita de litofacies arenitas masivas (Am) sin estructura interna definida, su contacto infrayacente es erosivo, le siguen a estas cuarzoarenitas una secuencia de shales oscuros muy físciles y orgánicos, de litofacies lodolitas (L) con alto contenido de materia orgánica muy físciles, laminadas (lam) y algo bioturbadas (biot) así mismo con subordinados moldes fósiles (mld).

Ambiente de depositación: Plataforma media a externa.

**Figura 21.** Fotografía segmento 5



Intercalación de arenas con lodolitas, capas gruesas de shale muy fisil y orgánico.

### **Segmento 6:**

Se ubica entre los metro 45 a 49, con un espesor de 4 metros, Intercalación de Lodolitas físisles con alto contenido de materia orgánica con capas de cuarzoarenitas de grano fino, en proporción 1 a 2 y de litofacies lodolitas (L) y areniscas masivas (Am) de estratificación interna cruzada plana (x), el cemento es silíceo y los contactos ondulosos.

Se encuentra entre los metros 49 y 54, un espesor de 5 metros con litología predominante de cuarzoarenitas y una capa de lodolita rica en materia orgánica subordinada de 20 cm de espesor. El contacto inferior del segmento es ondulado mientras que el contacto superior es plano neto.

Ambiente de depositación: Llanura mareal arenosa.

**Figura 22.** Fotografía Segmento 6



Intercalación de areniscas con capas muy delgada de lodolita, contactos ondulados y bioturbación incipiente.

### **Segmento 7:**

Localizado entre los metros 54 y 55.5, con un espesor de 1.5 metros, se conforma de una litología de shales oscuros muy fítiles y orgánicos, de litofacies lodolitas (L), laminadas (lam) y algo bioturbadas (biot).

Entre los metros 55.5 y 73 se observa un espesor de 17.5 metros, se trata de interlaminaciones de shale o arcillolitas con cuarzoarenitas en proporción 20 a 1 presenta moscovita hasta un 5 % en los planos de laminación, la litofacies lodolita laminada (L-lam) es la dominante mientras que las interlaminaciones onduladas (o-lam) y lenticulares (l) están subordinadas. En la parte basal y media se encuentran unas capas significativas de 75 cm de espesor de arenitas masivas

(Am) sin estructuras internas. El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma externa a media.

### **Segmento 8:**

A este segmento 18 se le asignaron 14 metros que representan la separación entre la sección base de la Fm. Chipaque medida en la vía Mongua-La Salina con la sección medida en El Crucero. Dichos 14 metros son un espesor estimado, mas no representan un espesor medido debido a que en El Crucero no se pudo encontrar la base completa.

### **Segmento 9:**

Ubicado entre los metros 87 y 89 con 2 metros de espesor, de litología principalmente limosa (l), de litofacies limolita con laminación interna plano paralela (Lpp), de color gris claro y presencia de foraminíferos, su contacto inferior es erosivo.

Se ven entre los metros 89 y 90.5 un espesor de 1.5 metros y se trata de interposiciones de shale o arcillolitas con arenitas en proporción 1 a 0.5 presenta moscovita hasta un 2%, la litofacies limolita laminación plano paralela (Lpp) es la dominante mientras que las interlaminaciones onduladas (o-lam), lenticulares (l) y flasser (f) están subordinadas. El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de depositación: Llanura mareal lodosa.

**Figura 23.** Fotografías segmento 9



Areniscas de grano muy fino y limolitas con laminación interna plano paralela que presenta alguna láminas con mayor contenido de materia orgánica que otras.

### **Segmento 10:**

Delimitado por los metros 90.5 y 118.5, de espesor total de 27.5 metros, la litología presente son interlaminaciones e interposiciones de shales-cuarzoarenitas en proporción 20:1 respectivamente, presenta moscovita hasta un 10 % en los planos de laminación, también son observados icnofósiles; la litofacies lodolita planoparalela (Lpp) domina la parte inferior hasta la parte media de la secuencia mientras que las interlaminaciones de lodolitas (L) ondulosa (o-lam) y lenticulares (l) se presentan de la parte media hasta la parte superior. El contacto infrayacente es erosivo a ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma externa.

**Figura 24.** Fotografías Segmento 10



Shales y Cuarzoarenitas amarillentas con bioturbación alta y porosidad móldica.

**Segmento 11:**

15.5 metros cubiertos

**Segmento 12:**

Esta entre los metros 133.5 y 137.5, de espesor 4 metros, las litologías presentes son acillas, limos, de forma granocreciente, e intercalaciones de capas delgadas de estos limos con cuarzoarenitas muy finas hacia el tope de la secuencia; las litofacies son arcilla de laminación interna planoparalela (app), limolita de laminación interna plano paralela (Lpp) y arenisca lodosa A(L) de laminación interna planoparalela (pp). El contacto inferior es erosivo.

Ambiente de depositación: Llanura mareal lodo arenosa.

**Segmento 13:**

Localizado entre los metros 137.5 y 142.5, de espesor 5 metros donde la litología predominante es de cuarzoarenitas a sublitoarenitas, las litofacies dominantes

corresponden a arenitas con estratificación ondulada (A) o-lam; el contacto con el segmento infrayacente es neto.

Ambiente de depositación: Anteplaya.

**Figura 25.** Fotografía segmento 13



Capas de cuarzoarenitas grano-creciente con laminación interna plana.

#### **Segmento 14:**

Ubicado en los metro 142.5 a 150, de espesor 7.5 metros, la litología presente son interlaminaciones e interposiciones de shales-cuarzoarenitas o subarcosas en proporción 20 a 1 y 1 a 1 respectivamente, presenta moscovita hasta un 10 % en los planos de laminación, también son observadas foraminíferos, en la base y en el tope de este segmento predominan los shales y arcillolitas con algunos lentecitos y láminas de arenitas, la litofacies (Lpp) es la dominante mientras que las interlaminaciones onduladas (o-lam) y lenticulares (l) están subordinadas. El contacto inferior es erosivo.

Ambiente de depositación: Llanura mareal lodo arenosa.

### **Segmento 15:**

Se encuentra entre los metros 150 y 154 con un espesor de 4 metros, se compone de Intercalaciones muy delgadas de subarcosas-shale en proporciones 2 a 1 y 1 a 1, presentan moscovita, donde es dominante la litofacies (Lpp) (o-lam), los últimos 2.5 metros del segmento presenta cuarzoareniscas de grano muy fino, dominando la litofacies (App); el contacto con el segmento infrayacente es neto planar.

Ambiente de depositación: Playa

**Figura 26.** Fotografía segmento 15



Intercalaciones de subarcosas y shales.

### **Segmento 16**

30 metros cubiertos.

### Segmento 17:

Definido entre los metros 184 y 209.5 con un espesor total de 25.5 metros, donde la litología dominante son shales con nueve interdigitaciones de curarzoarenitas a subarcosas que no superan los 20 cm que contienen moscovita en trazas y litofacies dominantes (A o-lam), y subordinadas las litofacies (Af y Aw). Los shales presentan moscovita, fosfatos, pellets y foraminíferos; la litofacies dominante son las lodolitas con laminación plano ondulosa (L o-lam), como subordinadas las litofacies (Lf). El contacto con el segmento infrayacente está cubierto.

Ambiente de depositación: Plataforma externa a media

**Figura 27.** Fotografía segmento 17



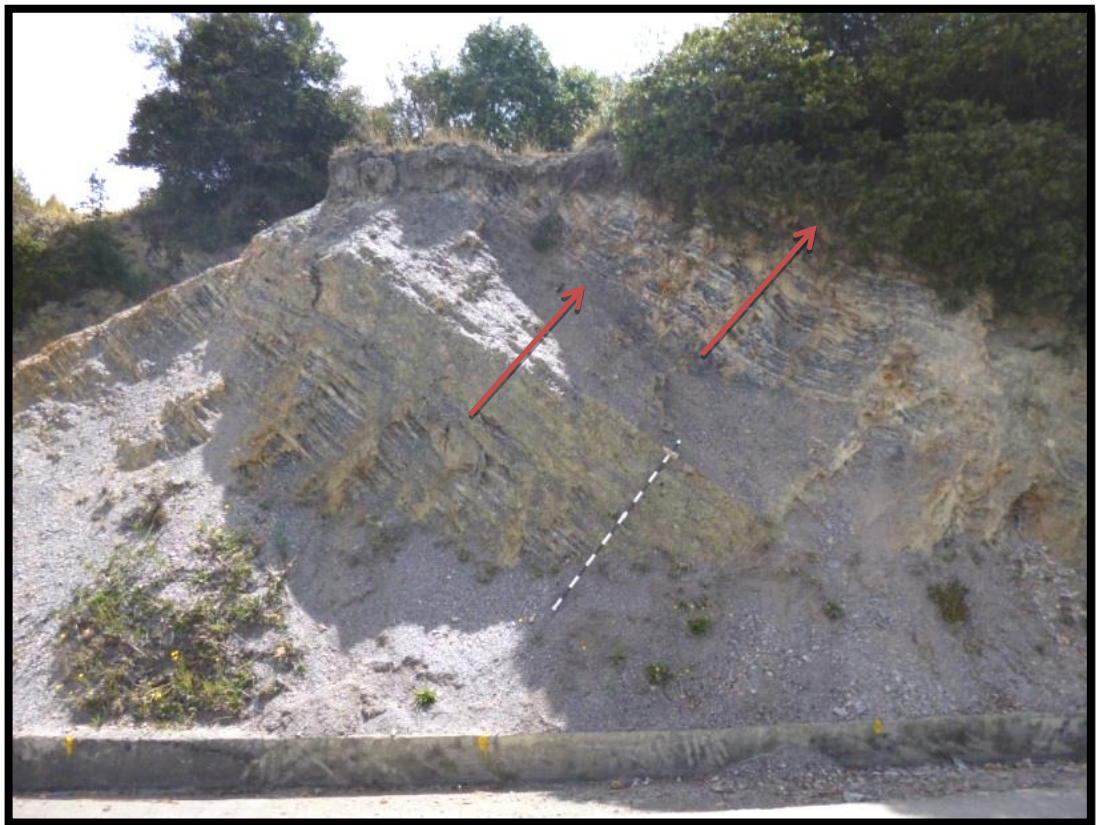
Shales fósiles con alto contenido de materia orgánica.

### Segmento 18:

Se delimita por los metros 209.5 y 215.5 con un espesor de 6 metros, presenta en la base y en el tope cuarzoarenitas, subarcosas y arcosas intercaladas con shales orgánicos en menor proporción; presentan moscovita, pellets, e icnofósiles con litofacies dominante (Ao-lam) seguida por (Lo-lam) y subordinadas son laminaciones flaser, (Af) y (Lf). El contacto con el segmento infrayacente es neto ondulado.

Ambiente de deposición: Plataforma media.

**Figura 28.** Fotografía segmento 18



Se observan claramente las parasecuencias grano crecientes.

### **Segmento 19:**

Esta entre los metros 215.5 y 224, de espesor 8.5 metros, la litología dominante son interposiciones de capas gruesas de shales con litofacies (Lo-lam), los shales presentan icnofósiles y moscovita, se encuentran interdigitadas arenitas o limonitas silíceas o arcillolitas silíceas con litofacies dominantes (Ao-lam) y subordinadas (Af, Aw y Lf, Lw). El contacto con el segmento infrayacente ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma media a interna

**Figura 29.** Fotografía segmento 19



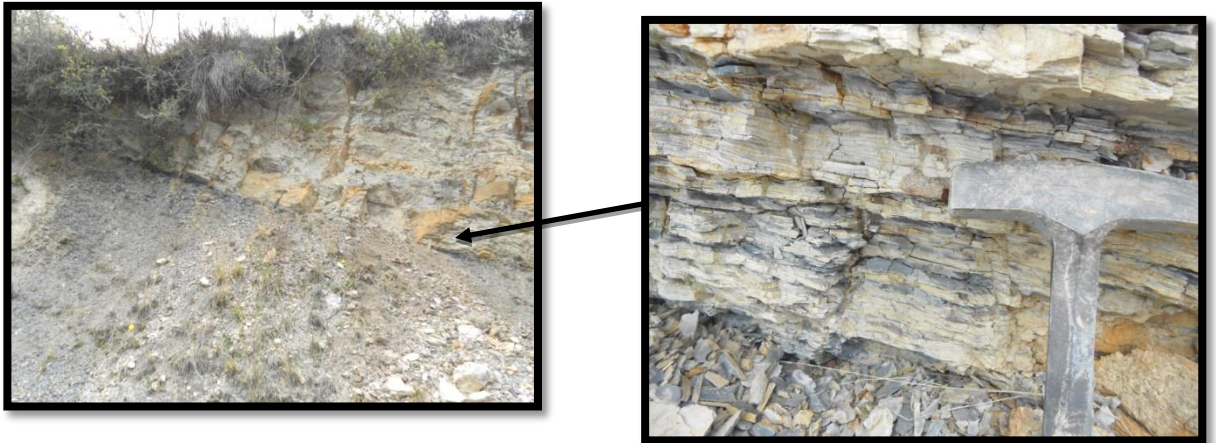
Capas de shales con estratificación ondulosa y bioturbación moderada.

### Segmento 20:

Localizado entre los metros 224 y 236.5, con un espesor de 12.5 metros, la litología dominante son shales de color gris claro y cuarzoarenitas gris claro en una proporción 2 a 1 respectivamente, las litofacies presentes son (Lpp) y (App) con bioturbación leve (biot) y subordinados madrigueras (mad) y moldes de conchillas fósiles (mld). El contacto inferior es ondulado a erosivo.

Ambiente de depositación: Plataforma interna.

**Figura 30.** Fotografías segmento 20



La estratificación interna de las areniscas son intercalaciones rítmicas donde varía el tamaño de grano y la coloración.

### Segmento 21:

Se encuentra entre los metros 236.5 y 242 completando un espesor de 5.5 metros donde la litología dominante son shales y arcillolitas con alto contenido de materia orgánica presentan muscovita y fosfatos las litofacies dominante son shales con laminación plano paralela (Lpp) como subordinadas se encuentran las arcillolitas ricas en materia orgánica y shales con laminación ondulada (Lo-lam) y lenticular (Lf). El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de deposición: Plataforma media.

**Figura 31.** Fotografía segmento 21



Secuencia de arcillolitas y shales con alto contenido de materia orgánica intercalada con capas de arenisca de poco espesor.

**Segmento 22:**

Se encuentra entre los metros 242 y 255, de espesor de 13 metros, la litología dominante son shales de color gris claro y cuarzoarenitas gris claro en una proporción 2 a 1 respectivamente, las litofacies presentes son (Lpp) y (App) con bioturbación leve (biot) y subordinados madrigueras (mad) y moldes de conchillas fósiles (mld). El contacto inferior es ondulado a erosivo.

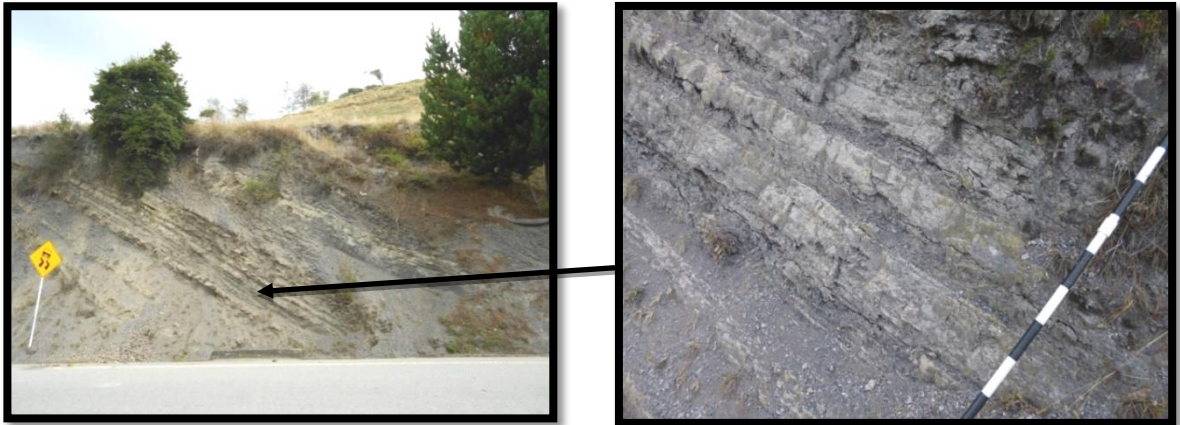
Ambiente de deposición: Plataforma interna.

### Segmento 23:

Entre los metros 255 y 268, con un espesor total de 13 metros; donde la litología dominante son shales con interdigitaciones de cuarzoarenitas a subarcosas que no superan el metro que contienen moscovita en trazas y litofacies dominantes (App). Los shales presentan moscovita, fosfatos, pellets foraminíferos y moldes (mld); la litofacies dominante son los shales con laminación plano paralela (Lpp), como subordinadas las litofacies (Lf). El contacto con el segmento infrayacente es ondulado a erosivo.

Ambiente de deposición: Plataforma media.

**Figura 32.** Fotografías segmento 23



Se observan la intercalación de shales con cuarzoarenitas.

### Segmento 24:

Ubicado entre los metros 268 y 291, con un espesor de 23 metros; la litología dominante son shales y arcillolitas con alto contenido de materia orgánica presentan moscovita y fosfatos las litofacies dominante son shales con laminación plano paralela (Lpp) como subordinadas se encuentran las arcillolitas ricas en

materia orgánica y shales con laminación ondulosa (Lo-lam) y lenticular (LI). El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma interna.

**Figura 33.** Fotografía segmento 24



Intercalaciones de arcillolitas y shales negros.

### **Segmento 25:**

Delimitado por los metros 291 y 311.5 formando un espesor de 20.5 metros, la litología que compone la secuencia se trata de intercalación de capas de 1 metro de espesor de cuarzoarenitas con capas de 1 metros de espesor de shales de color gris claro, es decir la proporción es de 1 a 1, las litofacies dominantes son (App) y (Lpp), bioturbación leve (Biot) con presencia de rastros de organismos fósiles y algunas madrigueras (mad), el contacto inferior es ondulado.

Ambiente de depositación: Llanura mareal lodo arenosa.

**Segmento 26:**

15 metros cubiertos.

**Segmento 27:**

Localizado entre los metros 326.5 y 330.5, con un espesor de 4 metros, posee una litología de intercalación en proporción 1:1 de capas de aproximadamente 1 metro de espesor de cuarzoarenitas amarillas claras con capas de shales de color marrón claro, las litofacies dominantes son (App) y (Lpp), bioturbación leve (Biot) con presencia de rastros de organismos fósiles y algunas madrigueras (mad), el contacto inferior es erosivo.

Ambiente de depositación: Llanura mareal.

**Segmento 28:**

Se encuentra entre los metros 330.5 a 344.5, de espesor de 14 metros, donde la litología dominante son shales algo silíceos y arcillolitas silíceas homogéneas (liditas) interdigitadas en láminas muy gruesas a delgadas, los shales presentan litofacies dominantes (Lpp) y subordinadas las litofacies (Lf y Lo-lam). El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma media a externa.

**Figura 34.** Fotografía segmento 28



Secuencia de shales y arcillolitas silíceas de laminación interna planoparalela.

**Segmento 29:**

Se define en los metros 344.5 y 366.5, con un espesor de 22 metros, la litología dominante son shales y arcillolitas con contenido de materia orgánica presentan moscovita y fosfatos las litofacies dominante son shales con laminación plano paralela (Lpp) como subordinadas se encuentran las arcillolitas ricas en materia orgánica y shales con laminación ondulada (Lo-lam) y lenticular (LI), poseen foraminíferos y marcas de conchillas o moldes (mld). El contacto con el segmento infrayacente es neto planar.

Ambiente de depositación: Plataforma externa.

**Segmento 30:**

Ubicado en los metros 366.5 y 374, espesor de 7.5 metros, domina la litología de shales algo silíceos y arcillolitas silíceas homogéneas (lilitas) interdigitadas en láminas muy gruesas a delgadas, los shales presentan litofacies dominantes (Lpp) y subordinadas las litofacies (Lf y Lo-lam). El contacto con el segmento infrayacente es onduloso.

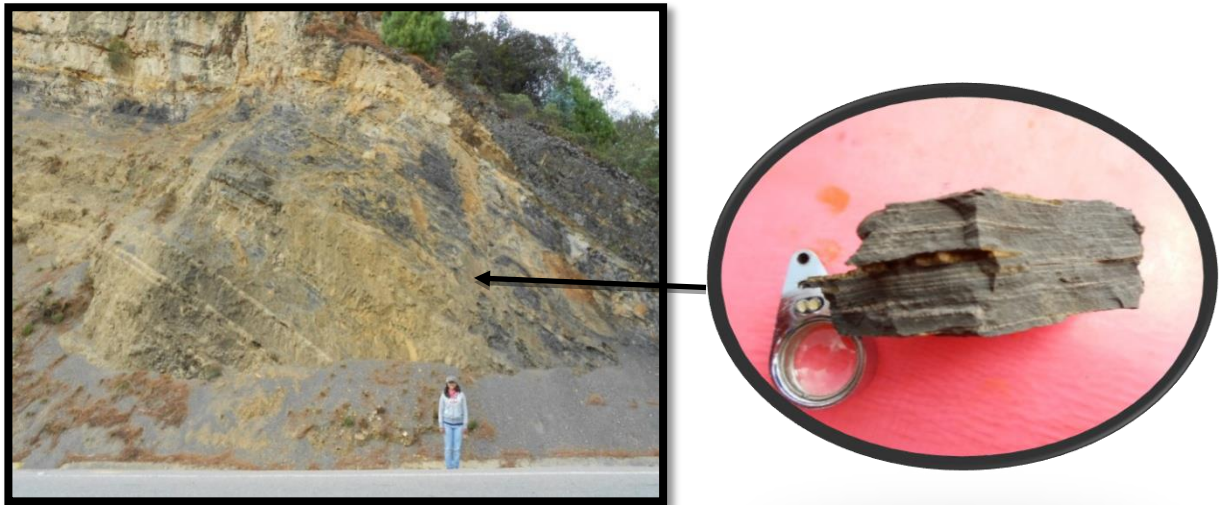
Ambiente de depositación: Plataforma media a externa.

### **Segmento 31:**

Delimitado por los metros 374 y 396, con un espesor de 22 metros; donde la litología que predomina corresponde a shales y arcillolitas con materia orgánica presentan moscovita y fosfatos las litofacies dominante son shales con laminación plano paralela (Lpp) como subordinadas se encuentran las arcillolitas ricas en materia orgánica y shales con laminación ondulada (Lo-lam) y lenticular (LI), poseen foraminíferos y marcas de conchillas o moldes (mld). El contacto con el segmento infrayacente es onduloso.

Ambiente de depositación: Plataforma externa.

**Figura 35.** Fotografías segmento 31



En el detalle se observa una lodolita con variación de tonalidad rítmica.

### **Segmento 32:**

20 metros cubiertos.

**Segmento 33:**

Se encuentra entre los metros 416 y 424.3, con un espesor de 8.3 presenta interposiciones de capas medias y gruesas de cuarzoarenitas, subarcosas y sublitoarenitas que contiene moscovita, dominando las litofacies (App) y como subordinadas las litofacies (Ao-lam, Af y Aw) y shales orgánicos que contienen moscovita, con litofacies dominante (Lpp) y subordinadas los shales con laminaciones onduladas y lenticulares (Lo-lam y LI); el contacto infrayacente es erosivo.

Ambiente de depositación: Plataforma media a interna.

**Segmento 34:**

Se define en los metros 424.3 y 433.3, con un espesor de 9 metros, la litología dominante son cuarzoarenitas y sublitoarenitas con litofacies dominantes (App, Ao-lam) y como subordinada la litofacies (Af). El contacto con el segmento infrayacente es neto planar.

Ambiente de depositación: Costa.

**Figura 36.** Fotografías segmento 34



Sublitoarenitas con laminación interna ondulosa.

**Segmento 35:**

12.1 metros cubiertos

**Segmento 36:**

Localizado entre los metros 445.4 y 450 con un espesor de 4.6 metros; donde la litología dominante son cuarzoarenitas y sublitoarenitas con litofacies dominantes (App, Ao-lam) y como subordinada la litofacies (Af). El contacto con el segmento infrayacente es erosivo.

Ambiente de depositación: Costa.

**Figura 37.** Fotografía segmento 36



Cuarzoarenita de grano muy fino con laminación interna planoparalela.

**Segmento 37:**

Ubicado en los metros 450 y 465, con un espesor de 15 metros; la litología dominante son arenitas lodosas A (L), presentan moscovita y predominan las litofacies (App) y como subordinadas las litofacies (Ao-lam); estas arenitas están separadas por shales y/o arcillolitas con moscovita, materia orgánica y posiblemente pellets y son litofacies subordinadas a las arenitas, litofacies (Lpp). El contacto con el segmento infrayacente es neto ondulado.

Ambiente de depositación: Llanura mareal arenosa.

**Figura 38.** Fotografía segmento 37



Arenitas lodosas de grano muy fino con laminación interna plano.

### **Segmento 38:**

Delimitado por los metros 465 y 476. Un espesor de 11 metros, donde predominan los shales con laminación plano paralela continua (Lpp), es común la presencia de moscovita en estos shales, como litofacies subordinadas se presentan arcillolitas o shales con laminación ondulada o lenticular (Lo-lam y LI) a lo largo de la secuencia se encuentra capas muy finas de sublitoarenitas a subarcosas con litofacies dominante (Ao-lam) como subordinadas litofacies (App y Af). Dominan la litofacies (Lpp) y como subordinadas las interlaminaciones onduladas, flaser, lenticulares y wavy (o-lam, f, l y w). El contacto con el segmento infrayacente es neto ondulado.

Ambiente de depositación: Llanura mareal lodosa

### **Segmento 39:**

Definido en los metros 476 a 500.3, con un espesor de 24 metros; las litologías dominantes son arenitas lodosas, sublitoarenitas, cuarzoarenitas y subarcosas donde la moscovita puede llegar hasta el 5%, la litofacies dominante es (App) como subordinadas se encuentran las litofacies (Am) y muy localmente la litofacies (Ao-lam); a lo largo del segmento a las arenas se interponen lodolitas y/o shales y/o arcillolitas con moscovita hasta en un 5%, en estas sedimentitas finas predominan la litofacies (Lo-lam) y como subordinada la litofacies (LI). El contacto con el segmento infrayacente es neto planar.

Ambiente de depositación: Llanura mareal arenosa.

### **Segmento 40**

Se encuentra en los metros 500.3 y 527, con un espesor de 26.7 metros; predominan los shales con laminación plano paralela continua (Lpp) seguidos por cuarzoarenitas de laminación interna plano paralela (App) las proporciones entre estos shales y arenas es de proporciones 2 a 1, es común la presencia de moscovita, en ambas litologías y dominan la litofacies (Lpp). El contacto con el segmento infrayacente es neto ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma media.

### **Segmento 41**

12 metros cubiertos.

### **Segmento 42:**

Localizado en el metro 539 y 548, con un espesor de 9 metros; es una secuencia rítmica de shales y cuarzoarenitas en proporciones 1 a 0.5, presenta moscovita,

restos vegetales (?), restos fósiles, se encuentra moderadamente bioturbado (biot), con trazas y también moldes de conchillas (mld) en los shales. La litofacies dominante es (Lo-lam) como subordinadas se encuentran las litofacies (LI y Lf). El contacto con el segmento infrayacente está cubierto.

Entre los metros 548 y 552.3 se mide un espesor de 4.3 metros; este segmento se compone de los shales con laminación ondulosa (Lo-lam), como litofacies subordinadas se presentan arcillolitas o shales con laminación lenticular (LI) presenta rastros de organismos y moldes de conchillas (mld). El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma media.

### **Segmento 43:**

Delimitado por los metros 552.3 y 558; un espesor de 5.7 metros, en la base del segmento aparece una capa de 2 metros de espesor de cuarzoarenita de grano fino de litofacies (App) la cual presenta algunos nódulos y bioturbación (biot) de alto grado, a esta capa le sigue una secuencia rítmica de 3.7 metros de esta misma cuarzoarenita pero con espesores menores intercalándose con capas de shales muy orgánicos que presentan fosfatos y restos de peces, las litofacies dominantes para estos son (Lo-lam) y subordinado (Lf y LI). El contacto inferior es ondulado.

Entre los metros 558 y 568, se mide un espesor de 10 metros, la litología dominante son cuarzoarenitas las cuales presentan moscovita y predominan las litofacies (App); estas arenitas están separadas por shales y/o arcillolitas con fosfatos y restos de peces, las litofacies de estos shales son (Lo-lam) y subordinadas (Lf y LI). El contacto con el segmento infrayacente es ondulado.

Ambiente de depositación: Plataforma interna a anteplaya.

**Figura 39.** Fotografías segmento 43



Cuarzoarenitas con bioturbación de alto grado, niveles fosfáticos y restos de peces.

**Segmento 44:**

10 metros cubiertos

**Segmento 45:**

Se encuentra en los metros 578 y 582.5, con un espesor de 4.5 metros, donde el segmento se conforma por una secuencia rítmica de cuarzoarenita de grano fino de litofacies (App) la cual presenta algunos nódulos y bioturbación (biot) de alto grado que se intercala con capas de shales muy orgánicos que presentan fosfatos y restos de peces, las litofacies dominantes para estos shales son (Lo-lam) y subordinado (Lf y LI). El contacto inferior es erosivo.

Ambiente de depositación: Plataforma interna a anteplaya.

**Segmento 46:**

Localizado en el metro 582.5 y 593.5 con un espesor de 11 metros; el segmento se compone de arcillolitas de contenido medio de materia orgánica con interlaminaciones de arenitas en proporciones 5 a 1 (5 de arcilla y 1 de arena) presenta moscovita y restos vegetales con litofacies dominante (Lpp) y

subordinadas las litofacies (Ll, Lf y Lw); las litofacies dominantes para las capas de arena son (Ao-lam y App) y como subordinadas las litofacies (Af y Aw); se interdigitan entre ellas láminas de arcillolitas y/o shales con moscovita, restos vegetales e icnofósiles. Las últimas capas de arcillolitas del segmento se encuentran muy alteradas. El contacto con el segmento infrayacente es ondulado neto.

Ambiente de deposición: Llanura mareal lodosa.

**Figura 40.** Fotografía segmento 46



Arcillolitas de laminación interna planoparalela.

**Segmento 47:**

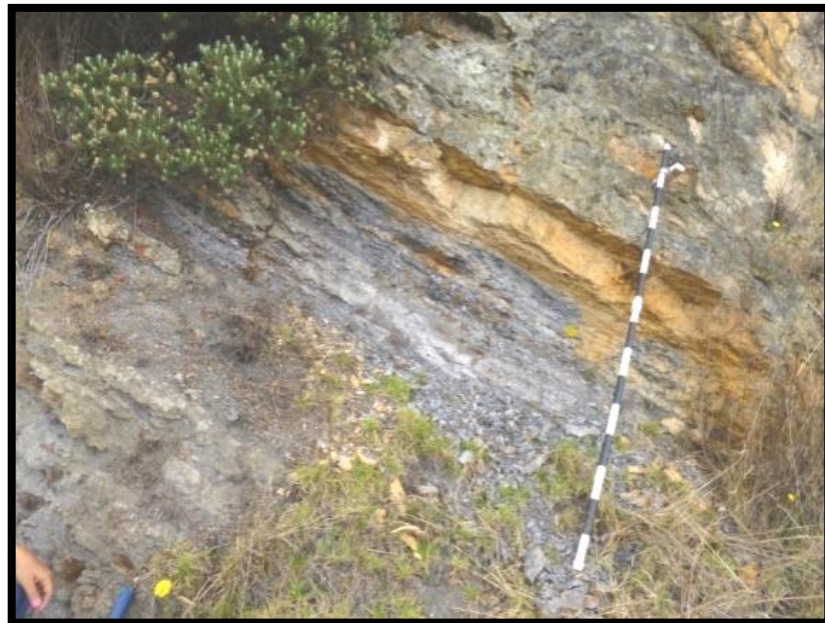
12 metros cubiertos.

### **Segmento 48:**

Delimitado por los metros 605.5 y 614.5 con un espesor de 9 metros, este segmento se compone de la misma litología y litofacies que se tenían antes del cubierto del segmento 54, excepto que las ultimas capas de shale de éste no se encuentran alteradas; siendo así la descripción de este segmento es: arcillolitas de contenido medio de materia orgánica con interlaminaciones de arenitas en proporciones 5 a 1 (5 de arcilla y 1 de arena) presenta moscovita y restos vegetales con litofacies dominante (Lpp) y subordinadas las litofacies (LI, Lf y Lw); las litofacies dominantes para las capas de arena son (Ao-lam y App) y como subordinadas las litofacies (Af y Aw); se interdigitan entre ellas láminas de arcillolitas y/o shales con moscovita, restos vegetales e icnofósiles. El contacto inferior es erosivo debido al cubierto.

Ambiente de depositación: Llanura mareal lodosa

**Figura 41.** Fotografía segmento 48



Lodolitas infrayaciendo capas de arenitas, estas presentan bioturbación media.

**Segmento 49:**

Ubicado entre el metro 614 y el metro 623.5, con un espesor de 9.5 metros, éste segmento se compone de una sola litología, cuarzoarenitas de grano muy fino con moscovita hasta del 3% y glauconita en trazas, no se observan estructuras de estratificación interna es decir es una arenisca masiva, por tanto el predominio absoluto de la litofacies es (Am), posee algo de thallasinoides y madrigueras (mad) verticales y horizontales en su superficie superior. El contacto con el segmento infrayacente onduloso.

Ambiente de depositación: Playa.

**Segmento 50:**

Se encuentra en los metros 623.5 y 636 con un espesor de 12.5 metros; capas muy gruesas de arcillolitas ricas en materia orgánica con moscovita las cuales van disminuyendo su espesor hacia el tope del segmento con predominio de la litofacies (Lo-lam) y como subordinada la litofacies (Lf) y (LI) e interposiciones de arenita y shales donde es observada moscovita, nódulos y conchillas fósiles, posiblemente restos vegetales (?). El contacto con el segmento infrayacente es onduloso a erosivo.

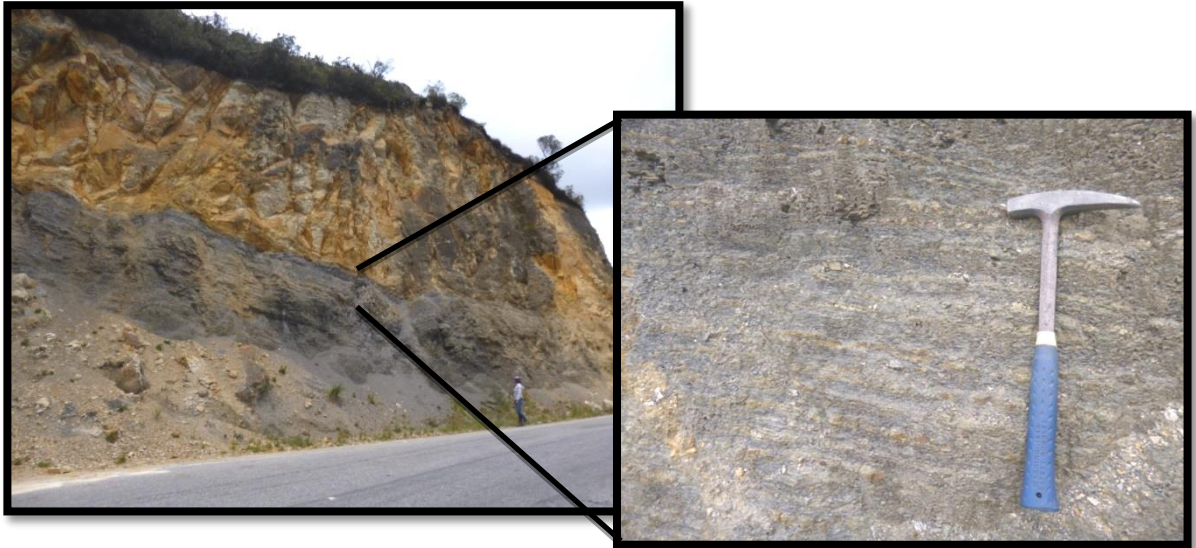
Ambiente de depositación: Llanura mareal lodosa.

**Segmento 51:**

Definido en los metros 636 y 649, con un espesor de 13 metros; se conforma básicamente de shales muy orgánicos y fósiles interlaminados esporádicamente con arenitas las cuales presentan muscovita, predominan las litofacies (Lo-lam y Lpp) y como subordinadas las litofacies (Lf y LI). Presenta bioturbación moderada (biot), moldes de conchas en los shales (mld) y algunos rastros de organismos. El contacto con el segmento infrayacente es neto onduloso.

Ambiente de depositación: Plataforma interna.

**Figura 42.** Fotografías segmento 51



Contacto neto con las areniscas del grupo Guadalupe, se observan litofacies de lodolitas arenosas infrayaciendo el contacto con el Grupo Guadalupe.

**Segmento 52:**

Corresponde a las Arenas del suprayacente Grupo Guadalupe las cuales son unas arenitas muy homogéneas con alto contenido de glauconita y moscovita. El contacto con el segmento infrayacente es neto ondulado.

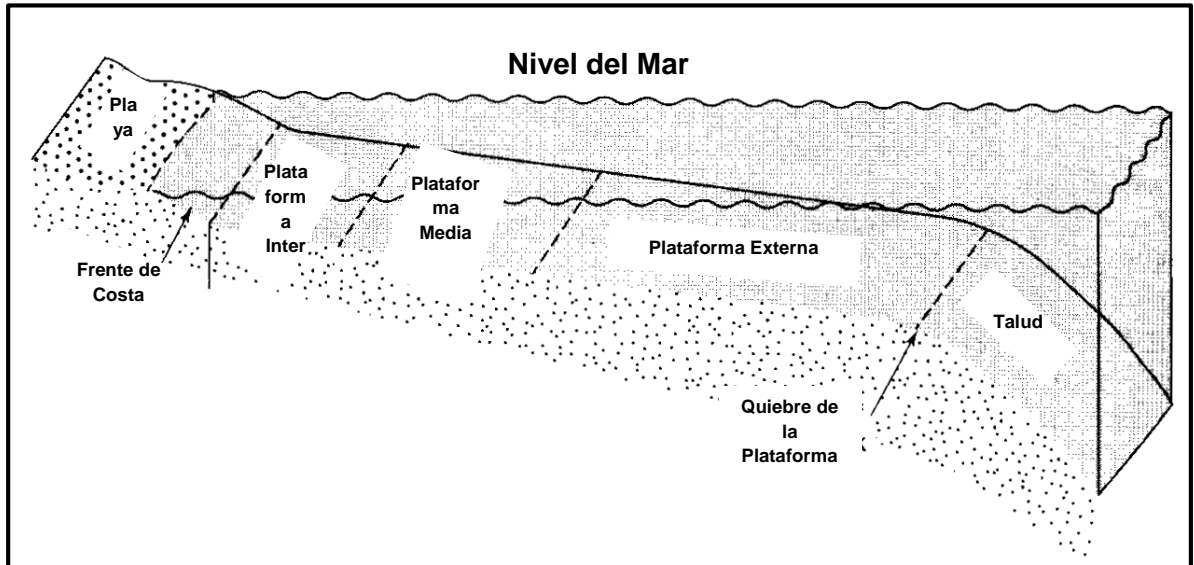
Ambiente de depositación: Playa

## **7.6 AMBIENTES DE DEPOSITACION**

La sección estratigráfica de la Fm. Chipaque que se muestra en este trabajo muestra un predominio de depósitos marinos de plataforma y en menor proporción los de Llanura mareal silisiclástica. Los ambientes depositacionales identificados para plataforma van desde plataforma externa hasta ambientes de playa (Figura 34) y los identificados en llanura mareal van desde Llanura mareal arenosa hasta Llanura mareal lodosa (Figura 35). La interpretación de dichos ambientes se realizó teniendo en cuenta características litológicas, estructuras sedimentarias, minerales y fósiles o las trazas de éstos, que según su ubicación en la plataforma marina permiten identificar un determinado ambiente como se puede ver a manera de resumen en la Figura 36. Según lo anterior, los ambientes de despositación identificados para la sección estratigráfica de la Fm. Chipaque (Vía La Salina – El Crucero) son:

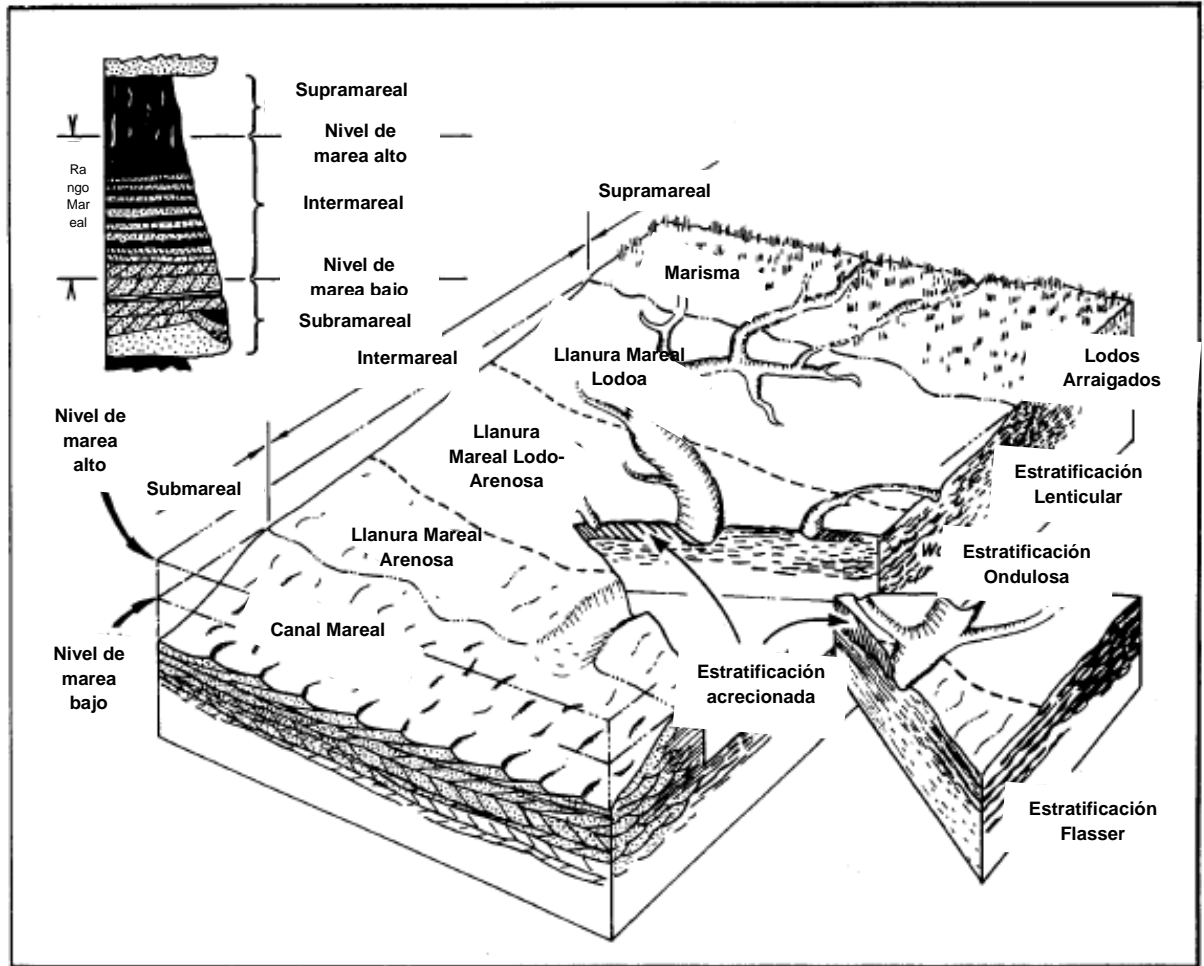
- 1.** Plataforma Interna.
- 2.** Playa a Anteplaya.
- 3.** Plataforma Media.
- 4.** Playa.
- 5.** Plataforma Media a Externa.
- 6.** Llanura mareal Arenosa.
- 7.** Plataforma Externa a Media.
- 8.** Llanura mareal Lodosa.
- 9.** Plataforma Externa.
- 10.** Llanura mareal Lodosa-Arenosa.
- 11.** Anteplaya.
- 12.** Plataforma Media–Interna.
- 13.** Costa.
- 14.** Plataforma Interna a Anteplaya.

**Figura 43.** Subdivisión de la plataforma continental



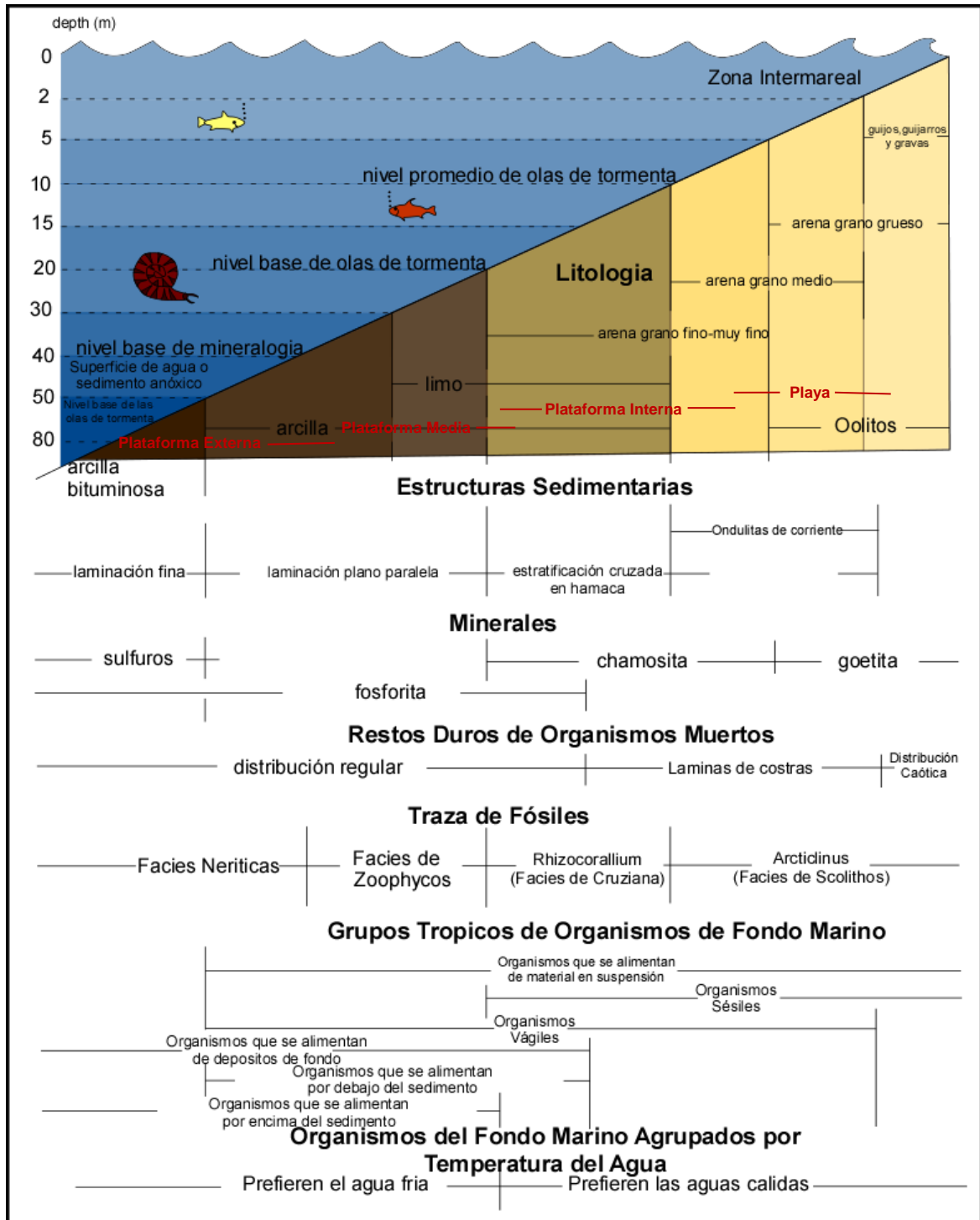
Tomado y Modificado de Boggs, 2006.

**Figura 44.** Bloque diagrama de llanura mareal silisiclástica



En esta figura se muestran las estructuras sedimentarias que se pueden formar según la ubicación de las subdivisiones de la llanura mareal y el nivel del mar. Tomado y Modificado de Boggs, 2006.

**Figura 45.** Características sedimentológicas según Batimetría



Litología, estructuras sedimentarias, minerales y fósiles depositados De acuerdo a la batimetría. Tomado y modificado de ICP - Ecopetrol, 2009.

## **7.7 INTERPRETACION DE AMBIENTES**

### **Plataforma Interna:**

Se ha podido identificar este ambiente debido a la presencia de shales y arcillolitas laminadas con moscovita, intercaladas con arenitas predominando las interposiciones planoparalelas y ondulosas y en menor proporción las lenticulares; hay algunos icnofósiles horizontales, posiblemente hayan pellets y restos vegetales, los cuales se forman en plataforma interna.

### **Playa a Anteplaya:**

Se caracteriza por una litología compuesta de cuarzoarenitas a sublitoarenitas e intercalaciones de capas muy delgadas de shales o arcillolitas laminadas con presencia de moscovita en trazas e icnofósiles horizontales, algunos paquetes de arenas no presentan una estructura interna definida, más bien son masivas, pero otros paquetes de arenas si muestran estructuras internas ondulosas y las intercalaciones arenitas-shale o arcillolita tienen laminación ondulosa indicando depósitos playa a anteplaya.

### **Plataforma Media:**

Los depósitos en esta sección estratigráfica que presentan este ambiente se distinguen porque poseen interlaminaciones de shale o arcillolitas con cuarzoarenitas que tienen moscovita hasta en un 5 % en los planos de laminación; predominan las interlaminaciones plano paralelas y algunas interlaminaciones ondulosas y lenticulares, las cuales se forman en plataforma media.

### **Playa:**

Este ambiente se ha identificado por la presencia de subarcosas que contienen glauconita y moscovita dispuestas planoparalelamente, también por la presencia de cuarzoarenitas de grano medio hasta fino, homogéneas con moscovita hasta el

3% y glauconita en trazas, no se observan estructuras físicas, y en algunas ocasiones se observan thalassinoides en el paquete de roca, indicando que se formó en playa.

#### **Plataforma Media a Externa:**

Los rasgos que permiten identificar este ambiente de depósito en la sección estratigráfica levantada son las interlaminaciones e interposiciones de shales-cuarzoarenitas o subarcosas, con presencia de moscovita hasta en un 10 % en los planos de laminación, también hay fosfatos e icnofósiles con predominio de los horizontales sobre los verticales, escamas y espículas de peces, pellets y fosfatos, algunas conchas de bivalvos, son comunes las interlaminaciones planoparalelas y poco frecuentes las lenticulares, en ocasiones, algunas capas medias y delgadas de cenizas volcánicas, pueden estar en el tope del segmento; estas son depositadas por debajo del nivel de olas en ámbitos de baja a muy baja energía pertenecientes a plataforma media a externa.

#### **Llanura Mareal Arenosa:**

Los sedimentos característicos son arenas limpias con estructura interna debida a la migración de ripples y/o megaripples tanto de flujo como de refluo (bipolaridad); en este ambiente los fangos se mantienen en suspensión y los sedimentos se depositan como carga de fondo. En un ambiente en donde los sedimentos se encuentran sumergidos la mayor parte del ciclo mareal y están sujetos a fuertes corrientes mareales.

#### **Plataforma Externa a Media:**

La litología dominante en este ambiente es de interposiciones de shales-arcillolitas-arenitas, en ellas se observa moscovita icnofósiles verticales y horizontales y fosfatos en disposición ondulada y planoparalela en menor proporción lenticulares, wavy y flaser, también arcillolitas laminadas

paralelamente con moscovita. Esto indica que la roca fue formada en plataforma externa superior y media.

### **Llanura mareal lodosa:**

Se caracteriza por el alto contenido de limos o sedimentos fangosos. La estructura interna característica es la laminación paralela de baja energía por decantación. No se produce transporte ni depósito por carga de fondo, pero los fangos que van en suspensión pueden decantar y depositarse. Las corrientes en este ambiente de depósito suele ser cero.

### **Plataforma Externa:**

Las características principales que permiten interpretar este ambiente es la presencia de una litología compuesta por shales algo silíceos y arcillolitas silíceas interdigitadas en láminas muy gruesas a delgadas, shales y arcillolitas con materia orgánica que presentan muscovita y fosfatos e interposiciones de láminas delgadas de shales–cenizas volcánicas de ceniza muy fina (bentonitas?), los shales presentan icnofósiles horizontales y muscovita muy localmente se encuentran interdigitadas arenitas o limonitas silíceas o arcillolitas silíceas dominando las laminaciones plano-paralelas continuas, localmente son observadas laminaciones lenticulares, wavy y flasser. Esto indica que fueron formadas en zonas tranquilas de muy baja energía localizadas en la plataforma externa.

### **Llanura Mareal Lodosa-Arenosa:**

En este ambiente ocurre tanto sedimentación por carga de fondo de arenas, como sedimentación por decantación de fangos. Las estructuras características son laminación flasser, laminación wavy y laminación lenticular. Es un ambiente donde los sedimentos se encuentra sumergidos y expuestos durante mas o menos el mismo periodo de tiempo. La acción del oleaje es muy pequeña.

**Anteplaya:**

Se ha podido interpretar este ambiente debido a la presencia de cuarzoarenitas a sublitoarenitas con intraclastos lodosos e icnofósiles horizontales en la base e intercalaciones de capas delgadas de cuarzoarenitas y shales o arcillolitas laminadas con presencia de moscovita en trazas e icnofósiles horizontales, las arenitas tienen estratificación ondulada y las intercalaciones arenitas-shale o arcillolita laminación ondulosa indicando depósitos de anteplaya.

**Plataforma Media – Interna:**

Dicho ambiente en la sección estratigráfica se muestra con interposiciones de capas muy gruesas de arcillolitas ricas en materia orgánica y/o shales con moscovita y posibles restos vegetales en disposición planoparalela y en menor proporción ondulosa e interposiciones de arenita y shales donde es observada moscovita e icnofósiles horizontales, puede contener restos vegetales, predominan las laminaciones planoparalelas y ondulosas, en menor proporción están las interlaminaciones lenticulares, flasser y wavy indicando que se formaron en plataforma media a interna.

**Costa:**

Este ambiente se ve en la sección estratigráfica cuando hay interposiciones de capas delgadas a láminas gruesas de subarcosas y sublitoarenitas con alto contenido de moscovita y arcillolitas ricas en materia orgánica que contienen moscovita e icnofósiles verticales y horizontales en disposición ondulosa y planoparalela en las arenitas y/o arcillolitas; en menor proporción ocurren las laminaciones flasser, lenticular y wavy; esto indica que son rocas formadas en costa.

### **Plataforma Interna a Anteplaya:**

Se interpreta este ambiente cuando hay sublitoarenitas y subarcosas con moscovita, icnofósiles horizontales y posiblemente restos vegetales, en disposición ondulosa y planoparalela. Se interdigitan entre ellas, láminas de arcillolitas y/o shales los cuales localmente presentan laminación lenticular y wavy, las arcillolitas están muy alteradas, donde hay moscovita es homogénea, indicando que fueron formadas en plataforma interior.

## 8 CONCLUSIONES

Se obtuvo un espesor total de 649 metros para la Formación Chipaque conformados por 87 metros en la sección Vía a la Salina y 562 metros en la sección de El Crucero, de esos 649 metros, 139.95 corresponden a áreas cubiertas.

Se dividió la columna estratigráfica de la Formación Chipaque en 52 segmentos basados en variaciones importantes de litología y de esta forma, de acuerdo a la estandarización textural realizada por Farrell 2012, se hizo la descripción de dichos segmentos teniendo en cuenta las litofacies dominantes y los atributos evidenciados en campo.

Se interpretaron los ambientes de deposición de los segmentos litofaciales identificados, teniendo en cuenta la litología, estructuras, mineralogía, icnofósiles, bioturbación y estructuras internas de las capas, dando como resultado los siguientes ambientes sedimentarios: Costa, Playa, Anteplaya, Llanura mareal arenosa, Llanura mareal lodosa, Llanura mareal lodo arenosa, Plataforma interna, Plataforma media a interna, Plataforma media, Plataforma media a externa y Plataforma externa.

## 9 RECOMENDACIONES

El muestreo es de vital importancia que se haga en rocas lo mas frescas posible, evitando recolectar aquellas que se encuentren oxidadas, así se asegura que vengan con la mayor cantidad de materia orgánica, imprescindible para que los resultados que el laboratorio arroje sean datos confiables y en especial los resultados de los análisis de TOC y geoquímicos.

Se recomienda un muestreo mas continuo para la sección El Crucero y La Salina, desafortunadamente no se pudo hacer por las condiciones del terreno y la falta de ayuda de alguien que pudiera realizar huecos profundos para la toma de muestra fresca y en buen estado, de gran importancia para un correcto resultado de los análisis de laboratorio.

Se recomienda hacer un estudio mas profundo de la Formación Chipaque en el sector de La Salina ya que se encuentra ampliamente expuesta y posiblemente completa desde su contacto inferior al superior lo que podria servir para hacer correlaciones a futuro con aquellas secciones que ya se encuentran levantadas.

## BIBLIOGRAFIA

ALVARADO, B. & SARMIENTO, R., 1944, Informe Geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz del Río, Departamento de Boyacá. Serv. Geol. Nal., Informe 468. Bogotá.

ALZATE, J. C. & BUENO, J. M. 1995, Análisis estratigráfico secuencial de las rocas Cretácicas de la parte oriental del Departamento de Boyacá, municipios de Sogamoso, Belencito y Aquitania. Trab. Grado, U. Nal. Bogotá.

BOGGS, S., 1987, Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Early Edition, Pearson Edition, 169 p.

BOGGS, S.Jr., 1987, Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Pearson New International Edition, 169 p.

BOGGS, S., 2006, Principles of Sedimentology and Stratigraphy, 4ta Edición, Universidad de Oregon, 662 p.

BOTERO, E., 1950, Reconocimiento Geológico del área comprendida por los municipios de Belén, Cerinza, Corrales, Floresta, Nobsa y Santa Rosa de Viterbo. Ingeominas, CEGOC, 8:244-331. Bogotá.

BUTLER, K., & SCHAMEL, S., 1988, Structure along the eastern margin of the Central Cordillera, Upper Magdalena Valley, Colombia: Journal of South American Sciences, v. 1, p. 109–120.

CRUZ, L. E. & CABALLERO, V. M. 2007, Guías de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos, Publicaciones UIS, 89 p.

COLLETA, B., HEBRARD, J., LETOUZEY, P., WERNER, P. & RUDKIWEIEZ, J. L., 1990, Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera, Colombia from a balanced cross section, *in* Letouzey, J., ed., Petroleum and Tectonics in Mobile Belts: Paris, Editions Technip, p. 81-100.

COMPTON, R. R., 1962, Manual of field geology, John Wiley & Sons, 378 p.

COOPER, M., ADDISON, A., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, S. H., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J. & TABORDA, A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: AAPG Bulletin, v. 79, No. 10, p. 1421 - 1493.

DENGO, C. & COVEY, M., 1993, Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: implication for trap styles and regional tectonics: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 77, p. 1315-1337.

DUQUE-CARO, H., 1990, The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications: Journal of South American Earth Sciences, v. 3, p. 71-84.

ETAYO-SERNA, F. 1985, Paleontología estratigráfica del Sistema Cretáceo en la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia). Proyecto Cretácico. Ingeominas, Publ. Geol. Esp., (16) Cap. 24:1-47. Bogotá.

FABRE, A., 1985, Estratigrafía de la Sierra Nevada del Cocuy, Boyacá y Arauca. Cordillera Oriental (Colombia): Geología Norandina, v. 4, p. 3-12.

FARRELL, K. M., HARRIS, W. B., MALLINSON, D.J., CULVER, S. J., RIGGS, S. R., PIERSON, J., SELF-TRAIL, J. M. & LAUTIER, J.C., 2012, Standardizing texture and facies codes for a process-based classification of clastic sediment and rock: *Journal of Sedimentary Research*, v. 82, p. 364-378.

FOLK, R.L., 1974, *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company, Austin, TX, 185 p.

GOMEZ, E., JORDA, T. E., ALLMENDINGER, R. W., HEGARTY, K., KELLEY, S. & HEIZLER, M., 2003, Controls on architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia: *Geological Society of America Bulletin*, v. 115, p. 131-147.

GUERRERO, J. & SARMIENTO, G., 1996, *Estratigrafía Física, Palinológica, Sedimentológica y Secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera.- Geología Colombiana*, Bogotá. n. 20, p. 3-66.

HEBRARD, F., 1985, *Les foothills de la Cordillère Orientale de Colombie entre les rios Casanare et Cusiana. Evolution geodynamique depuis l'Éo Crétacé [Ph.D thesis]: Paris, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI*, 162 p.

HUBACH, E., 1931b. Exploración en la región de Apulo-San Antonio-Viotá. *Bol.Min. Petr.*, (27-27):41-60. Bucaramanga.

ICP-ECOPETROL, 2009, Informe del Proyecto: Cronología de la Deformación en cuencas Subandinas. In: ICP-ECOPETROL (Ed.), ICP-ECOPETROL.

ICP-ECOPETROL, 2009, Levantamiento de cinco secciones estratigráficas del intervalo Cenomaniano- Santoniano en la Cordillera Oriental para caracterizar la posible roca generadora de Hidrocarburos (Proyecto Llanos). In: ICP-ECOPETROL (Ed), ICP-ECOPETROL.

JAILLARD, E., SOLER, P., CARLIER, G. & MOURIER, T., 1990, Geodynamic evolution of the northern and central Andes during early to middle Mesozoic times: a Tethyan model: *Journal of the Geological Society of London*, v. 47, p. 1009–1022.

MAZE, W. B., 1984, Jurassic La Quinta Formation in the Sierra de Perija, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks, *in* W. E. Bonini, R. B. Hargraves, and R. Shagam, eds., *The Caribbean–South American plate boundary and regional tectonics: Geological Society of America Memoir 162*, p. 263–282.

MILLER, T., 1979, The Geology of the Eastern Cordillera between Aguazul-Sogamoso-Villa de Leiva. Part I, Geology of the Llanos Basin and adjacent Eastern Cordillera, *Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysists (eds) Field Conference 1972. – Geological fieldtrips, Colombia 1959 – 1978*, p. 351-379, Bogotá

MORA, A., PARRA, M., STRECKER, M. R., KAMMER, A., DIMATE, C. & RODRIGUEZ, F., 2006, Cenozoic contractional reactivation of Mesozoic extensional structures in the eastern Cordillera of Colombia: *Tectonics*, v. 25, p. TC2010,doi:10.1029/2005TC001854

NAMSON, J., CUNNINGHAM, R. & WOODCOCK, G., 1994, Structural geology and hydrocarbon potential of the northern part of the Upper Magdalena Basin,

Colombia, in V Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en la Cuencas Subandinas, Puerto La Cruz, Venezuela, p. 356-364.

OSORNO, J. F., 1994, Estratigrafía y ambientes de depósito de la secuencia regresiva localizada al noreste de Sogamoso. Tesis grado, U. Caldas. 102 p. Manizales.

PARRA, M., 2008. Cenozoic foreland-basin evolution in the northern Andes: insights from thermochronology and basin analysis in the Eastern Cordillera, Colombia. Tesis doctoral, Universitat Potsdam, Alemania, 146p.

RENZONI, G. 1962. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. Serv. Geol. Nal., Bol. Geol., 10(1-3):59-79.

RENZONI, G., 1967. Geología del Cuadrángulo J12-Tunja. Serv. Geol. Nal., Informe 1546, 20 p. Bogotá.

RENZONI, G., 1969, Geología del Cuadrángulo L11-Villavicencio, escala 1:200.000, Serv. Geol. Nal. Bogotá.

ROSERO, A. J., 1996, Análisis estructural tridimensional del sistema de fallamiento y plegamiento al sur de Sogamoso, Boyacá, Colombia. Tesis Grado, U. Nal. Santa Fe de Bogotá.

SARMIENTO- ROJAS, L. F., 2001, Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes [Ph.D. thesis]: Amsterdam, Vrije University, 295 p.

SUAREZ, A. F., 1990, The basement of the Eastern Cordillera, Colombia: an allochthonous terrane in northwestern South America: *Journal of South American Earth Sciences*. v. 3,p. 141–151.

TABOADA, A., RIVERA, L. A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILIP, H., BIJWAAD, H., OLAYA, J. & RIVERA,C., 2000, Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia): *Tectonics*, v. 19, no. 5, p. 787-813.

ULLOA, C., RODRIGUEZ, E., 1976, *Geología del Cuadrángulo K12- Guateque*. Ingeominas, Informe 1701, Bogotá.

ULLOA, C., RODRIGUEZ, E., 1979. *Guía geológica de las planchas 170-Vélez y 190- Chiquinquirá*. Ingeominas, Informe 1794. Bogotá.

ULLOA, C., RODRIGUEZ, E. & ESCOVAR, R., 1998, *Geología de la plancha 192, Laguna de Tota, Mapa a escala 1:100.000*, Ingeominas, Bogotá.

ULLOA, C., RODRIGUEZ, E. & ESCOVAR, R., 2001, *Memoria Explicativa, Plancha 192 Laguna de Tota*, Ingeominas, 51 p.

VERGARA, L. E. & RODRÍGUEZ, G. A, 1995, *Estandarización de la Nomenclatura estratigráfica – Cretáceo Superior - Piedemonte Llanero*, Convenio Ingeominas - ICP.

VERGARA, L. E. & RODRÍGUEZ, G. A. 1997. *The Upper Cretaceous and Lower Paleocene of the Eastern Bogotá Plateau and Llanos Thrustbelt, Colombia: Alternative Appraisal to the Nomenclature and Sequence Stratigraphy*. *U. Nal., Geol. Col.*, (22).

VIDAL, G. F., & PARRA, J. M., 1991, Cartografía Geológica y análisis estructural del Anticlinal de Tota, Tesis Grado, U. Nal. Bogotá.

## **ANEXOS**

**ANEXO A: COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA FORMACIÓN CHIPAQUE  
VIA LA SALINA Y EL CRUCERO (BOYACA) ESCALA: 1:100**

**ANEXO B: CATALOGO DE FOTOS**

**NOTA: VER ANEXOS DENTRO DEL CD EN  
CARPETA ADJUNTA**