

**ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO GUADALUPE Y TOMA DE REGISTRO GAMMA
RAY SUPERFICIAL, EN LAS QUEBRADAS LA ARGENTINA Y LAS BLANCAS
UBICADAS EN LOS ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE ACACIAS (META)**

**JUAN DAVID FIGUEROA PULIDO
DEMMIS LUDWING ARENAS SARMIENTO**

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

2014

**ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO GUADALUPE Y TOMA DE REGISTRO GAMMA
RAY SUPERFICIAL, EN LAS QUEBRADAS LA ARGENTINA Y LAS BLANCAS
UBICADAS EN LOS ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE ACACIAS (META)**

**JUAN DAVID FIGUEROA PULIDO
DEMMIS LUDWING ARENAS SARMIENTO**

**Trabajo de investigación para optar el título de
GEÓLOGO**

Director

**ANDRÉS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
Geólogo, Candidato Msc. ICP-ECOPETROL S.A**

Co-Directora

**YASMIN PELAYO SERRANO
Geóloga, Docente UIS. ICP-ECOPETROL S.A**

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

2014

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme culminar con éxito esta etapa. A mis madres Luz marina Pulido (Q.E.P.D) y Alicia Margarita Jiménez Vargas, a mis padres German Figueroa y Fernando Vargas Ospina, gracias por todas las enseñanzas, valores y principios que me han dado, por siempre encaminar mi vida de la mejor manera, y por ayudarme a afrontar los momentos más difíciles de mi vida y estar ahí para disfrutar de los mejores.

Mis hermanos, Javier, Leo, Elkin, Alejandra y Juan Fernando, gracias por todo y por siempre estar ahí cuando los necesito, a mi abuelita Rosa, por siempre ser ese ser especial y amoroso para todos nosotros, a mis tíos y tías, especialmente Miryam, Luz Dary y Fabiola, por ser esas madres siempre que hubo la necesidad de serlo, a mis primos por todas las anécdotas que estos años han dejado, a mis Cuñadas y mi sobrinita Sara Sofía.

A mis amigos de Éxodo, Jeffer, Oscar, Fank y Renzo, gracias por ser esos hermanos de madres distintas que siempre están ahí en todo momento al igual que sus novias. A Chucho Porras por sus enseñanzas. A mi equipo de Rugby (Toros UIS), por enseñarme constancia y sacrificio, y a todos los que en algún momento estuvimos luchando hombro a hombro como una familia. Y a todos aquellos amigos que han estado ahí, gracias.

A mi compañero de Tesis Demmis Arenas (Luki), excelente geólogo, persona y amigo, por ser tan paciente, también por todos los momentos de alegría cuando el estrés y agotamiento llegaban. A mi Director Andrés Martínez, porque con su forma particular de enseñar, estuvo siempre para lo que necesitamos.

A Andrés Mora (con sus apodos) por sus enseñanzas y guía, profesional y personalmente durante la fase de campo. A Isaid Quintero, Geovanni Romero,

Víctor Caballero, por compartir con nosotros y enseñarnos técnicas de trabajo y ayudarnos a entrar en este camino de aprendizaje maravilloso que es la Geología. A “Martín Martín” por su ayuda como baquiano junto a Juan Sebastián Carvajal Torres, gracias por renombrar el pozo que ahora se llama “La piscina de Juancito”.

Al profesor Juan Carlos Ramírez por su guía y su tiempo durante el proceso de elaboración de este trabajo junto con nuestra Codirectora Yazmín Pelayo Serrano a ustedes y a todos los profesores que sentaron las bases de este camino, Javier Peña, Georgina Guzmán, Luis Carlos Mantilla, Luis Moreno.

A mis Compañeros que siempre estuvieron ahí para estudiar, explicar, acompañar, madrugar, trasnochar o para una cerveza, gracias a todos ustedes, en especial Alejandra Güiza (Goyi), Feli, Chacón, Nicolás Flórez, Florián, César Suárez, Nico Villamizar, Adri, Lucho y Dani, a todos Gracias.

“los grandes espíritus siempre han encontrado violenta oposición de parte de los mediocres, Estos últimos no pueden entender cuando un hombre no sucumbe impensadamente a prejuicios hereditarios sino que, honestamente y con coraje usa su inteligencia” **Albert Einstein**

JUAN DAVID

DEDICATORIA

Me es grato expresar en estas líneas mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda, paciencia, apoyo y amistad han colaborado de alguna manera mi proceso de formación como profesional, primeramente a mis padres Carlos y Nancy, gracias infinitas por ser ese motor incondicional en mi vida, al igual que mis dos hermanas, y mi abuela Alicia Q.E.P.D, a Gina por estar ahí cuando he necesitado una sacudida y un empujón más.

A Juan David, mi compañero y amigo de tesis, por su dedicación y esfuerzo a la hora de trabajar y por ser una de las personas que hizo posible todo esto, a Andrés Martínez director de este proyecto, por la orientación, el seguimiento, la supervisión y su afán de que seamos unos buenos ciudadanos; agradezco especialmente a la profesora Georgina Guzmán, al profesor Juan Carlos Ramírez, por su ayuda en este trabajo.

Gracias a todos los que me acompañaron a lo largo de esta carrera haciéndome reír y pasar ratos memorables, a Sebastián Carvajal, Giovanni, Chacón, Paola Lievano, Orli, Dani , Sebas Luna, Dieguito, y por supuesto a Adri, Lucho y Dani moreno , mis compañeros de comisión .

“La única persona que estas destinado a ser, es la persona que tu decides ser” *Ralph Waldo Emerson*

LUDWING ARENAS

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	20
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
3. MARCO TEORICO	22
4. MARCO GEOLÓGICO Y ANTECEDENTES	34
5. TECTONOESTRATIGRAFIA	38
6. UBICACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE TRABAJO	55
7. METODOLOGIA	57
7.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	57
7.2 FASE DE CAMPO	57
7.3 FASE DE OFICINA	60
8. RESULTADOS	61
8.1 FACIES SEDIMENTARIAS Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS	61
8.2 FACIES SEDIMENTARIAS	63
8.3 GAMMA RAY	85
9. CONCLUSIONES	93
10. RECOMENDACIONES.	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama esquemático de la toma de registros eléctricos.	25
Figura 2. Respuesta del registro Gamma Ray, frente a Diferentes Litologías.	25
Figura 3. a) Clasificación triangular de Galloway (1975); b) clasificación de deltas extendida basada en el tipo de sedimento dominante en el delta y el dominio relativo de los procesos fluviales, de oleaje y mareales.	30
Figura 4. a) Topset, foreset y bottomset de un delta, según Gilbert, b) Planicie deltaica, frente de delta y prodelta, según Arche 2010	31
Figura 5. Sección cruzada y la ilustración de las diferentes modelos de entrapamiento de petróleo estratigráficos y estratigráficos-estructurales. A) Entrampamiento por pinchamiento de los canales B) entrapamiento en los canales distributarios. C) entrapamiento en la barra de desembocadura. D) entrapamiento en los anticlinales de <i>roll-over</i> . E) entrapamiento en los diapiros de arcilla.	32
Figura 6. Esquema facial de las unidades del Cretácico Superior de las regiones Boyacá y Santander.	37
Figura 7. Corte estratigráfico para el jurásico- Temprano Tardío	39
Figura 8. Correlación litoestratigráfica, desde la sabana de Bogotá hasta el piedemonte Llanero,	40
Figura 9. Estratigrafía del Meso-Cenozoica del flanco oriental de la Cordillera Oriental.	40
Figura 10. Corte estratigráfico para el jurásico- Temprano Tardío.	42
Figura 11. Reconstrucción de la tectónica de placas para el tiempo Cretácico: A. hipótesis de un Backarc rifting (por Meschede et al., 1998). B. hipótesis de margen pasivo (por Pindell and Erikson 1993; Pindell y Tabut, 1995).	43
Figura 12. Carta estratigráfica Cretácica-Terciaria del piedemonte llanero.	43
Figura 13. Posición del eje axial de la cuenca de la Cordillera Oriental en el Campaniano.	48

Figura 14. Posición del eje axial de la cuenca de la Cordillera Oriental en el Maastrichtiano.	49
Figura 15. Posición del eje axial de la cuenca de la Cordillera Oriental en el Paleoceno.	50
Figura 16. Amalgamiento de terrenos alóctonos sobre el margen occidental de Colombia.	51
Figura 17. Flexura debido al aumento de la carga listosférica en las Cordilleras Occidental y Central para el Maastrichtiano tardío-Paleoceno temprano 65-70 Ma, en donde se muestra el forebulge hecho solo por flexura.	51
Figura 18. Evidencias de fracturamiento debido al fallamiento local.	54
Figura 19. Ubicación geográfica del municipio de Acacias, Meta.	55
Figura 20. Carta de comparación del tamaño de grano,	58
Figura 21 Diagramas triangulares para la clasificación textural (tamaño del grano) de las rocas terrígenas,	59
Figura 21a. a) Grano fino, b) Grano grueso	59
Figura 22. Tabla internacional de códigos para las litofacies,	60
Figura 23. Detalle de thalassinoides en la base de una de las capas pertenecientes a las facies de Skolithos según Walker, 1984.	64
Figura 24. Modelo de columna estratigráfica para el segmento A	65
Figura 25. Esquema de las estructuras sedimentarias según el régimen de flujo y el tamaño del grano, Selly, 1998.	66
Figura 26. Fotografía representativa de la asociación de facies FA, entre los metros 40 y 45 de sección.	67
Figura 27. Fotografía representativa de la asociación de facies FB1, entre los metros 55 y 59 de la sección.	69
Figura 28. Modelo de columna estratigráfica para el segmento B1	70
Figura 29. Nódulo de pirita que evidencia un ambiente reductor, ubicada en el metro 69 de la sección levantada	71
Figura 30. Tope de la sección donde se evidencia la presencia de canales	73

Figura 31. Base de la sección donde se muestra la disposición de las capas que contienen cemento calcáreo y glauconita	74
Figura 32. Modelo de columna estratigráfica para el segmento B2	75
Figura 33. Sección delgada de las capas de areniscas mostradas en las Figuras 30 y 32, en donde se muestran el cemento calcáreo, la pirita y la glauconita encontrada en estas rocas. A) Nicones Paralelos. B) Nicones cruzados. Muestra tomada en el metro 200 de la sección medida.	76
Figura 34. Impregnación en cebra, fotografía ubicada en el metro 200 de la sección.	79
Figura 35. Detalle estratificación en artesa, fotografía ubicada en el metro 205 de la sección levantada.	80
Figura 36. Vista general de las capas de arena potente. Fotografía ubicada entre los metros 146.5 y 155.5 de la sección medida	80
Figura 37. Modelo de columna estratigráfica para el segmento B2	81
Figura 38. Registro Gamma Ray para el Segmento A.	85
Figura 39. Registro Gamma Ray para el segmento B1	88
Figura 40. Registro Gamma Ray para el segmento B2	89
Figura 41. Registro Gamma Ray para la base del segmento C.	91
Figura 42. Registro Gamma Ray para el tope del segmento D.	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterizaciones litológicas de la secuencia.	62
Tabla 2. Definición de cada una de las facies sedimentarias y los ambientes sedimentarios encontradas a partir de las facies definidas en la columna estratigráfica según autores.	81
Tabla 3. Relación entre los segmentos determinados en la secuencia y el evento transgresivo y regresivo reconocidos en la misma.	84
Tabla 4. Correlación entre los segmentos A, B y C con el trabajo de Guerrero y Sarmiento (1996).	84

LISTA DE ANEXOS
(Ver anexos en el cd)

	Pág.
ANEXO A. COLUMNA GUADALUPE	102
ANEXO B. REGISTRO DE GAMMA RAY	104
ANEXO C. GAMMA RAY	105

RESUMEN

TÍTULO: ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO GUADALUPE Y TOMA DE REGISTRO GAMMA RAY SUPERFICIAL, EN LAS QUEBRADAS LA ARGENTINA Y LAS BLANCAS UBICADAS EN LOS ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE ACACIAS (META).*

AUTORES: JUAN DAVID FIGUEROA PULIDO
DEMIS LUDWING ARENAS SARMIENTO**

PALABRAS CLAVES: Cordillera Oriental, Estratigrafía, Grupo Guadalupe, Facies.

CONTENIDO

Sobre el Piedemonte Llanero de la Cordillera Oriental de Colombia se han llevado a cabo un sinnúmero de estudios estratigráficos que conducen a la prospección de hidrocarburos, basándose en la recolección y análisis de datos tomados sobre afloramiento, ligados a un sistema petrolífero. En el presente trabajo se hace un estudio estratigráfico sobre el Grupo Guadalupe en inmediaciones de la zona rural del municipio de Acacias (Meta) sobre las Quebradas Las Blancas y La Argentina, donde se mide la sección aflorante dando un espesor total de 232 metros, evidenciando así el acortamiento significativo del espesor estratigráfico en este sector respecto a columnas estratigráficas del Grupo Guadalupe levantadas en la Sabana de Bogotá y Villavicencio; así también para este trabajo y con datos recogidos en campo se pudo reconocer las secuencias litológicas tipo de la sección para compararse con estudios previos en lugares aledaños a la zona de estudio, dividiendo la sección levantada en 3 segmentos principales, basándonos en una serie de características litológicas y contemplando las diferentes facies existentes. Se deduce un ambiente deltaico dominado por un alto régimen de flujo al tope de la secuencia, y en la parte basal un evento de transgresión marina seguido por un evento regresivo.

Siguiendo las indicaciones dadas y a lo largo de la secuencia se realiza una proyección espectral superficial (Gamma Ray), con ayuda de un centellómetro, que nos proporciona datos específicos de la litología presente enmarcando sus características en datos numéricos, de esta manera realizando la respectiva gráfica, analizamos las diferentes variaciones de contenidos de Torio (Th), Uranio (U) y Potasio (K) presentes y sus respectivas relaciones.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ciencias Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director, Andrés Martínez Hernández, Geólogo, candidato a Msc. ICP-ECOPETROL S.A. Co-Director: Yasmín Pelayo Serrano, Geóloga, Msc. Docente UIS.

ABSTRACT

TÍTULO:STRATIGRAPHY OF THE GUADALUPE GROUP AND MEASURED TO SURFACE GAMMA RAY LOG, IN THE CREEKS LAS BLANCAS AND LA ARGENTINA, LOCATED AROUND OF THE MUNICIPALITY OF ACACIAS (META).*

AUTHORS: JUAN DAVID FIGUEROA PULIDO
DEMIS LUDWING ARENAS SARMIENTO**

KEY WORDS:Eastern Cordillera, Stratigraphy, Guadalupe Group, Facies.

CONTENT

About the Llanos foothills of the Eastern Cordillera of Colombia have conducted countless stratigraphic studies leading to hydrocarbon prospecting, based on the collection and analysis of data collected on outcrop, linked to an oil system. In this paper a stratigraphic study of the Guadalupe Group was done near the rural area of Acacias (Meta) town, on Creeks Las Blancas and La Argentina, where the exposed section is measured for a total thickness of 232 meters, showing the significant shortening of the stratigraphic thickness in this area regarding stratigraphic columns of the Guadalupe Group raised in the Sabana de Bogota and Villavicencio; well for this work and what the collected data in the field were able to recognize the sequences of the lithologic type section to be compared with previous studies in places near the study area, dividing the raised section in 3 main segments, based on a number of lithological features and contemplating the existing facies variations. A deltaic environment dominated by a high flow rate at the top of the sequence, and in the base a marine transgression event follows by a regression event was recognized in this section.

Following the instructions given and along a surface spectral sequence projection (Gamma Ray) is performed using a centellometro, which provides specific data of lithology present framing his features in numerical data, thus making the graph corresponding we analyze the different variations of Thorium content (Th), uranium (U) and potassium (K) present and their respective relationships.

* Bachelor Degree

** Faculty of Physical-Chemistry, School of Geology, Director, Andrés Martínez Hernández, Geologist, candidate Msc. ICP-ECOPETROL S.A. Co-Director: Yasmín Pelayo Serrano, Geologist, Msc. UIS Teacher.

INTRODUCCION

Sobre la Cordillera Oriental, en el Piedemonte Llanero se han hecho diferentes investigaciones y exploraciones para recolectar información y datos que conlleven a la exhumación histórica, estructural y estratigráfica de los Llanos Orientales con fines económicos enfocados en la prospección de Hidrocarburos.

En el presente proyecto hemos enfatizado el estudio del grupo Guadalupe el cual se ha sido definido de diversas maneras por diferentes autores quienes han acoplado información necesaria desde distintos puntos de vista, pero con varias objetividades que hacen un recopilado extenso del mismo.

Desde la década de 1960 se han ido estableciendo parámetros identificativos del Grupo Guadalupe cuando Renzoni propuso la delimitación de este proponiendo que este se dividiera en tres unidades formacionales, Formación Arenisca dura, Formación Plaeners y formación Labor-Tierna ordenadas de base a techo respectivamente; hasta trabajos más recientes adelantados por Ulloa, donde mantiene la división propuesta por Renzoni pero asigna diferentes nombres a las unidades , de base a techo; Formación Arenisca Dura – Plaeners, Formación Labor -Los Pinos y Formación Tierna.

Para la elaboración de nuestro trabajo, basamos los resultados propuestos mediante un análisis detallado a escala 1:100 de la Formación Guadalupe aflorante en la Quebrada las Blancas y la Argentina en inmediaciones de la vereda Acaciitas, zona rural del municipio de Acacias, Meta, de donde no se tienen trabajos realizados para el mismo propósito y que mediante el convenio UIS-ICP, se pudo llevar a cabo este proyecto.

Este trabajo recopila información obtenida a través de trabajo de campo en donde se determinaron las características sedimentarias como tipos de litologías,

estructuras sedimentarias, y su posterior análisis dio paso a la determinación de ambientes de depositación y facies sedimentarias, las cuales fueron relacionadas en conjunto, buscando de la mejor manera una explicación lógica a los posibles eventos que pudieron acontecer o preceder a la depositación.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Una evolución temprana del cretácico en lo que actualmente se conoce como las regiones del Valle Medio del Magdalena (VMM), la Cordillera Oriental y Los Llanos Orientales, comienza con el desarrollo de un ambiente distensivo (rifting) durante la conformación de una cuenca de retroarco o back-arc desde el Triásico-Jurásico e inclusive parte del Cretácico temprano, con dos depocentros separados por un alto intra-cuenca constituido por un basamento somero denominado Alto Santander, cuya prolongación aflora hoy en el Macizo de Floresta¹. Los depósitos presentes de las formaciones del Cretácico muestran una secuencia marina, y luego durante el Paleógeno se depositaron secuencias continentales como se observa en la zona de estudio, este cambio secuencial muestra una regresión marina que se da como producto del levantamiento de la orogenia y la acreción de la Cordillera Occidental de Colombia a finales del Cretácico² debido a la colisión del platóo oceánico que formó la Sutura de Romeral. En trabajos anteriores realizados en el 2003 por el INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico) se encuentran Columnas estratigráficas de las Formaciones Plaeners, Pinos, Labor y Tierna (nomenclatura del VMM), pero actualmente no se conocen Columnas estratigráficas detalladas del Grupo Guadalupe, en las cercanías del piedemonte llanero, lo que en el marco del proyecto para la exploración de arenas bituminosas adelantado por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) se hace indispensable para conocer al detalle cómo fueron los ambientes de sedimentación de dichas rocas, y esto nos permitirá aportar en futuros trabajos de reconstrucciones paleogeográficas con el fin de reconocer y delimitar las mejores áreas para nuevas exploraciones de Hidrocarburos.

¹ Arenas, Diana Maria, and German Alfonso Torres, 2005. Geología de la Sabana de Bogota. Bogotá, D.C.: INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería.

² Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Taborda A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio estratigráfico del grupo Guadalupe en las quebradas Las Blancas y La Argentina, ubicadas en los alrededores del municipio de Acacias (Meta), para determinar los ambientes de depositación de este grupo formacional hacia el Piedemonte Llanero.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Caracterizar la sección aflorante del Grupo Guadalupe en las quebradas Las Blancas y La Argentina mediante el levantamiento de 1 columna estratigráfica detallada a escala 1:100, para reconocer la litoestratigrafía en el grupo Guadalupe, así mismo realizar la toma y análisis del registro Gamma Ray de la sección levantada.

Determinar las facies existentes en el grupo Guadalupe.

Determinar los ambientes de depositación del Grupo Guadalupe en la zona de estudio.

3. MARCO TEORICO

LITOESTRATIGRAFÍA

La Litoestratigrafía es un tópico de la Estratigrafía (*rama de la geología que se encarga del estudio de las Rocas a partir de los estratos (unidad básica) y pretende conocer la relación entre estos en tiempo y espacio, cuando se encuentran sucesivamente formados*), que se encarga de estudiar la geometría de los cuerpos rocosos y su génesis mediante su identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, ya que esto brinda el apoyo necesario para reconocer los grandes eventos registrados dentro de la roca³.

FACIES

Las facies sedimentarias son definidas como cualquier parte restringida arealmente de una unidad estratigráfica designada la cual exhibe caracteres significativamente diferentes de otras partes de la unidad,⁴⁵ considera las facies sedimentarias como un cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litologías, estructuras físicas y biológicas que le otorgan un aspecto diferente de las cuerpos de roca encima, debajo y lateralmente adyacentes.

En geología, y particularmente en estratigrafía y sedimentología, el significado de esta palabra no se encuentra lo suficientemente claro y por lo tanto se le puede dar más de una interpretación y por ello ha sido motivo de dudas y confusión. La razón es que a través del tiempo, y según sea el campo donde se ejecute, se lo ha empleado con muy distintas acepciones. En el caso del estudio del registro sedimentario pueden reconocerse diversos enfoques en la definición de una

³ Vera J., 1992, Estratigrafía: Principios y métodos, p. 1-15

⁴ Selley, Richard C.. Applied sedimentology. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2000.

⁵Walker, Roger G, 1992. Facies models. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

facies, algunos tienen un carácter interpretativo y otro carácter descriptivo y objetivo.

Hacia la segunda mitad del siglo XVII, Steno utiliza por primera vez el término de facies como una referencia al aspecto externo de las rocas. La facies era, pues, para este autor un atributo de ésta. Sin embargo, El término facies fue tomado por el geólogo suizo Amanz Gressly en 1838 y fue parte de su importante contribución a las bases de la estratigrafía moderna, es a partir del siglo XIX cuando, al iniciarse los estudios científicos de las rocas sedimentarias antiguas, se observó que todas ellas se podían agrupar en un número finito de tipos de acuerdo con aspectos describibles de las propias rocas: composición, geometría y contenido en fósiles como reconoce Arche⁶. “Pero para llegar al entendimiento de las condiciones en que se formaron los diferentes estratos se deben realizar analogías con los procesos geológicos modernos como lo propuso Johannes Walther en 1983”⁷.

REGISTROS ELÉCTRICOS

Los métodos para adquirir datos que nos sirvan para la exploración de hidrocarburos han ido evolucionando, unos de los más representativos son los Registros Eléctricos estos son procesos que consisten en adquirir y registrar información geológica proveniente de la profundidad de la tierra. Mientras se perfora un pozo de agua o petróleo, se introducen unas sondas dentro del pozo para obtener datos que luego serán utilizados para generar una especie de gráfico conocido como registro. La sonda de registro eléctrico es una sonda clásica con electrodos y componentes electrónicos que combinada con el agua del pozo arroja mediciones de resistividad de penetración poco profunda, media o profunda

⁶ Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

⁷Walker, Roger G, 1992. Facies models. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service

con auto-potencial⁸.

Los registros eléctricos son considerados métodos indirectos para determinar parámetros que permitan evaluar la formación petrolífera y que han sido utilizadas desde mediados del siglo pasado. Para evaluar un reservorio se requiere conocer los siguientes parámetros: porosidad, saturación de hidrocarburos, espesor de la capa y su permeabilidad, los cuales pueden ser deducidos de perfiles eléctricos, nucleares y acústicos⁹¹⁰

GAMMA RAY

Es un método para medir naturalmente la radiación gamma de las rocas o sedimentos en un pozo, las rocas emiten diferentes cantidades y espectros de radiación gamma. En particular las lutitas por el contenido de potasio radiactivo de las arcillas y por su capacidad de intercambio catiónico que hace que absorban uranio y torio. Esta diferencia en la radioactividad hace posible distinguir las formaciones arcillosas de las no arcillosas.

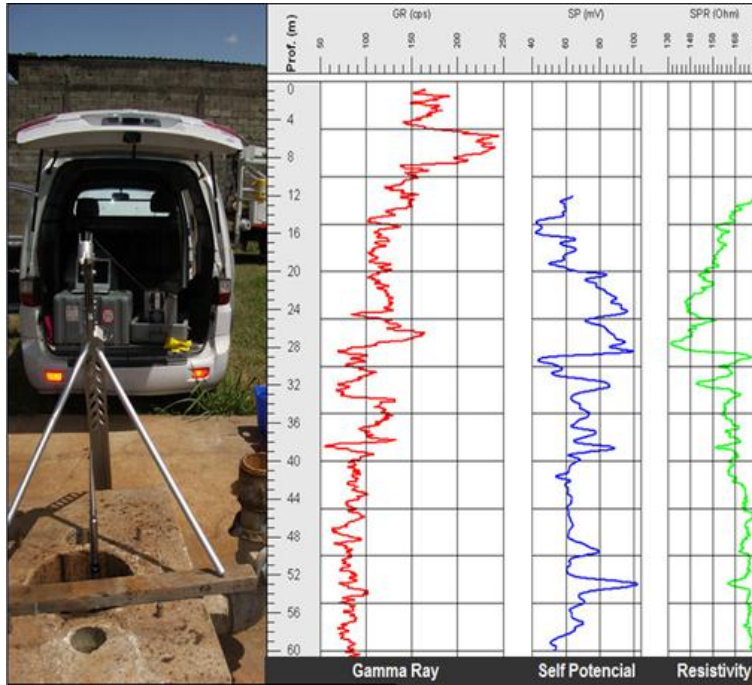
La radiación gamma es registrada en unidades API. Los registros son afectados por el diámetro del pozo así como por el fluido pero de todos modos es más común utilizar este registro de forma cualitativa así que no amerita hacer muchas correcciones a este registro. Un registro común de rayos gamma no distingue los elementos radiactivos mientras que el gamma espectral si puede hacerlo diferenciando las longitudes de onda de sus radiaciones gamma. (FIGURA 2).

⁸ Tomado de <http://perfotecnica5050.jimdo.com>

⁹ Mier Umaña Ricardo. 2013. Presentaciones de la asignatura geología de hidrocarburos. Tema: cálculo de reservas. UIS. Escuela de geología.

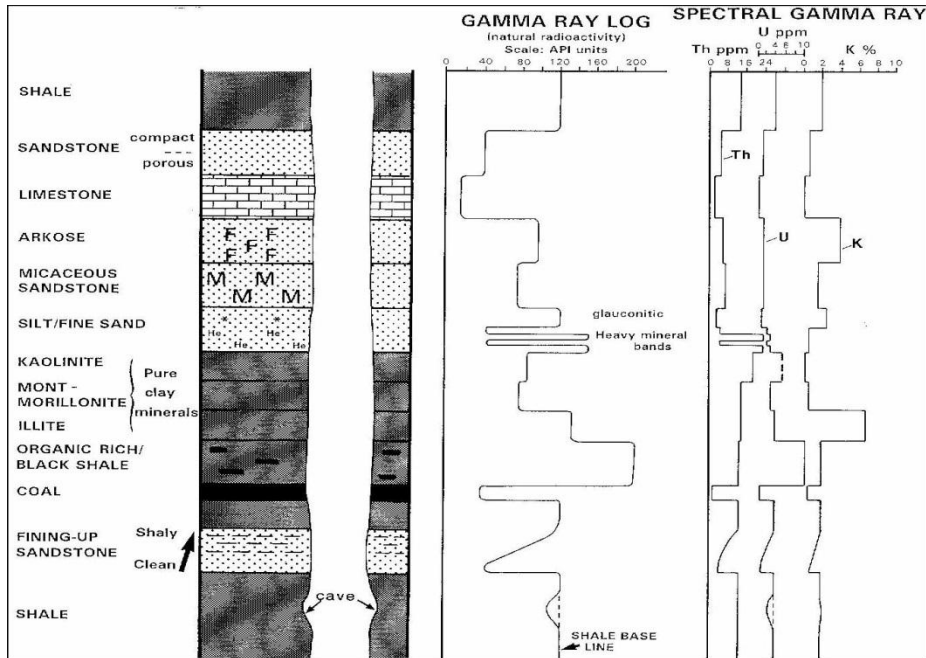
¹⁰ Colmenares, S., Murillo, J., 2003. manual para las prácticas de laboratorio de la asignatura Geología de hidrocarburos, p. 141-165.

Figura 1. Diagrama esquemático de la toma de registros eléctricos.



Fuente: <http://www.trxconsulting.com/geofisica.php>

Figura 2. Respuesta del registro Gamma Ray, frente a Diferentes Litologías.



Fuente: www.lizneg.net

DELTA

Los deltas se pueden definir como como sistemas sedimentarios de geometría generalmente convexa, que destacan en una costa frente a la desembocadura de un río y que se forman cuando el aporte de sedimentos procedentes de este río supera la redistribución de estos sedimentos por parte de procesos marinos tales como olas, corrientes y mareas¹¹, el concepto de Delta ha sido estudiado a lo largo de muchos años y se remonta a el tiempo de Herodoto (ca. 400 B.C) quien reconoció que la planicie aluvial de la boca del río Nilo tenía la forma de la letra griega Delta (Δ), el primer estudio de deltas antiguos fue realizado por Gilbert en 1885, quién describió los deltas de gravas en las aguas frescas del lago Bonneville, de edad Pleistoceno en Utah¹², en la actualidad se ha reconocido su importancia, no sólo como zonas agrícolas, sino como importantes reservorios de carbón, petróleo y gas natural, multiplicándose las publicaciones sobre ellos¹³. Los deltas son alimentados por sedimentos terrígenos que son transportados por procesos fluviales desde el continente, y son depositados en las líneas de costa por ríos que desembocan en estas, de las costas y arrecifes adyacentes, por medio de procesos marinos¹⁴. Estos sedimentos son posteriormente redistribuidos por procesos propios de la cuenca tal como la deriva litoral, costera, corrientes, olas y/o mareas, y su acomodación depende de la interacción de los procesos de corrientes fluviales con los procesos de las cuencas¹⁵.

¹¹ Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

¹²Walker, Roger G, 1992. Facies models. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

¹³ Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

¹⁴ Reading, H. G, 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

¹⁵Ibíd.

Los deltas pueden ser clasificados de muchas maneras (*Nemec, 1990 en*¹⁶). Por ejemplo Fisher *et al.* (1969), *según*¹⁷, utiliza factores como procesos generadores de facies, geometría de los cuerpos arenosos y distribución de facies en la vertical y horizontal. Dividiendo los deltas en dos grupos, (1) altamente constructivos (tipo lobado y tipo alongado) y (2) altamente destructivos (dominados por olas y dominados por mareas). *Coleman y Wright (1975)*, clasifican estadísticamente características como área de drenaje, tipo de valle aluvial, llanura deltaica y cuenca receptora, definiendo seis tipos básicos¹⁸, sin embargo, la clasificación basada en el régimen del delta (*Galloway, 1975 en*¹⁹) resulta ser la más aceptada por la mayoría de geólogos. Los deltas son clasificados como (1) con dominio fluvial, (2) dominados por mareas, o (3) dominados por olas. Cada uno de estos deltas puede ser distinguido además en base al tamaño del grano que domina en sus sedimentos (*Orton, 1988; Orton & Reading, 1993 en*²⁰) (Figura 3) es decir, (1) los **sistemas deltaicos dominados por las gravas** suelen tener áreas fuente de pequeña extensión y están alimentados por canales distribuidores de configuración meandriforme y alta inestabilidad, (2) los **sistemas deltaicos dominados por carga mixta grava-arena** tienen áreas fuente pequeñas o medianas y están alimentadas por canales distribuidores meandriformes de trazado inestable. La fracción más gruesa se deposita en la llanura deltaica proximal y sólo la fracción arena alcanza la desembocadura de los canales, (3) los **sistemas deltaicos dominados por arenas finas** presentan gran variabilidad morfológica, una carga mixta de fondo y en suspensión de arena y limo; los canales distribuidores son meandriformes y se forman marismas y lagunas someras entre los canales. La acción de los canales puede redistribuir toda la carga sólida que llega de las desembocaduras de los canales, formando cordones

¹⁶ Boggs, Sam. 2006. Principles of sedimentology and stratigraphy. 4th ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

¹⁷ Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

¹⁸Ibíd.

¹⁹ Boggs, Sam. 2006. Principles of sedimentology and stratigraphy. 4th ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

²⁰ Ibíd.

playeros paralelos al borde de la llanura deltaica. Y (4) los **sistemas deltaicos dominados por arcillas y limos** son los de mayor tamaño en la actualidad y tienen áreas fuentes muy extensas. Los canales distribuidores son meandriiformes estables, con diques naturales bien desarrollados y vegetados y amplias zonas de marismas y lagunas intercanales; en la llanura deltaica se puede depositar hasta el 50% de la carga sólida aportada por los canales distribuidores²¹.

Todo delta posee dos partes bien diferenciadas: una subaérea o llanura deltaica y otra subacuática, dividida a su vez en una parte proximal o frente deltaico de pendiente acusada (1° a 5°) y otra distal o prodelta, de mucha menor inclinación, basándose en las primeras descripciones de Gilbert, se han utilizado como sinónimos de llanura deltaica, frente deltaico y prodelta los términos *topset*, *foreset* y *bottomset*,²² cada una con características distintivas tanto litológicas como biológicas. (Figura 4).

La **Planicie Deltaica**, *delta plain* o *topset*, es la zona del delta en donde los procesos fluviales son los dominantes, usualmente contiene canales distributarios y una amplia variedad de ambientes que van desde los no marinos a salobres, incluyendo pantanos, ciénagas, planicies mareales, bahías distributarias²³, la planicie deltaica superior, está esencialmente inafectada por los procesos propios de la cuenca, mientras que la parte más distal de esta, se encuentra afectada por procesos fluviales, pero también son afectadas por aguas salinas y por procesos de mareas²⁴

²¹Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

²²Ibíd.

²³Walker, Roger G, 1992. Facies models. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

²⁴ Reading, H. G, 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

El **FrenteDeltaico**, *Deltafront* o *Foreset*, es la zona de depositación más activa dentro del sistema deltaico²⁵ y es definida como el segmento del delta que conecta la planicie deltaica con el prodelta y es el área en la que los sedimentos transportados por las corrientes fluviales entran a la cuenca e interactúan con los procesos propios de esta²⁶.en ese trabajo Reading, determina que la acomodación de los sedimentos dentro del Frente Deltaico depende de la fuerza que ejercen los procesos tanto (i) **fluviales**, que a su vez dependen una mezcla de procesos de inercia, fricción de los sedimentos con el suelo, y flotabilidad, el balance entre ellos depende de la naturaleza del efluente y de la cuenca, (ii)de **olas** cuyo efecto depende del tamaño del grano y ella cantidad de sedimentos depositados por los ríos, el gradiente del frente de delta, la dirección de avance de las olas, y el poder de estas diariamente y durante los periodos de tormentas,(iii) **mareas**, las cuales mejoran la mezcla de las masas de agua, promoviendo la sedimentación y disminuyendo en efecto de flotabilidad, pueden vencer el efecto de la inundación de los ríos y casan transporte por corrientes bidireccionales la mayor parte del año, extienden el rango de posición de la interface tierra-mar y de la zona de interacción océano-río lateral y verticalmente, y mejora la floculación de la arcilla y así la depositación del limo. La interacción de estas y la jerarquía que tengan en el momento de la depositación.

El **Prodelta**, o *bottomset*, es la parte más distal del perfil deltaico, y es definido por²⁷ como el área donde los materiales más finos que se encontraban en suspensión son depositados. Es comúnmente extensamente bioturbada, y migra lateralmente hacia el mar con una gradación de sedimentos de grano fino del piso

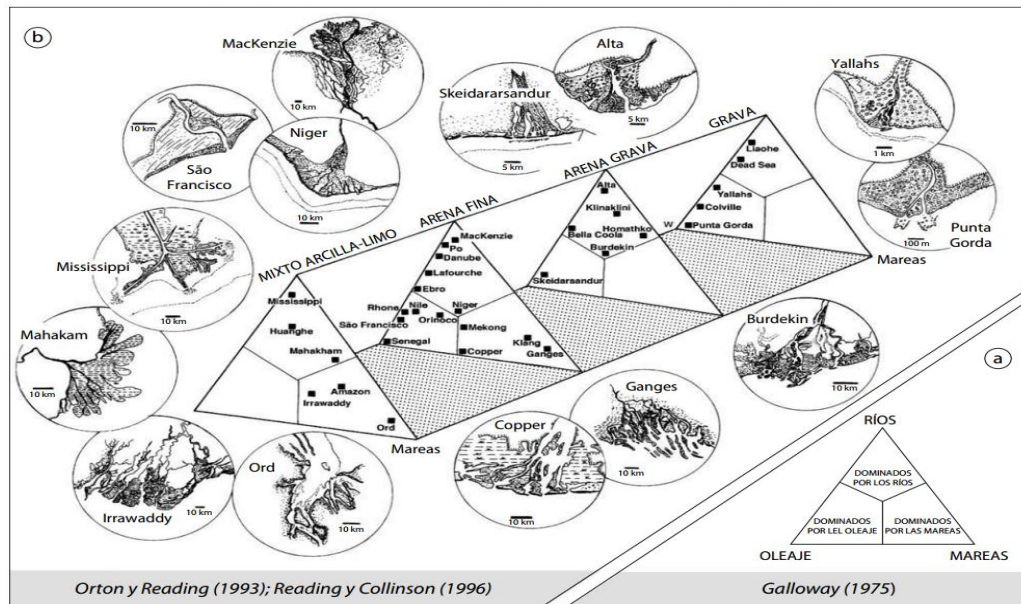
²⁵Walker, Roger G, 1992. *Facies models*. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

²⁶ Reading, H. G, 1996. *Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science

²⁷Walker, Roger G, 1992. *Facies models*. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

de la cuenca. Otra definición es dada por²⁸ y define al prodelta como, “Esa parte del delta inafectada por los procesos de olas o mareas, y que en muchos estudios es incluida dentro del *delta front*, esta área en algunos deltas de aguas someras, puede no existir desde que el delta esté construido en un área dominada por tormentas o mareas. En otros deltas, esta área comprende una zona relativamente estable en donde los arcillas y limos son depositados por suspensión y forman sedimentos bien laminados, reflejando fluctuaciones en la carga de sedimentos que aporta el río a las plumas de flotabilidad (*bouyant plumes*)”.

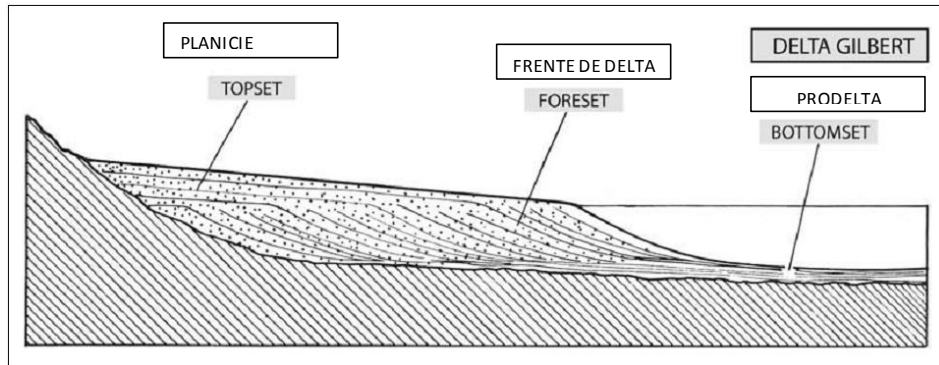
Figura 3. a) Clasificación triangular de Galloway (1975); b) clasificación de deltas extendida basada en el tipo de sedimento dominante en el delta y el dominio relativo de los procesos fluviales, de oleaje y mareales.



Fuente: Modificado de Orton y Reading, 1993; Reading y Collinson, 1996. Tomado de Arche, 2010.

²⁸ Reading, H. G., 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

Figura 4. a) Topset, foreset y bottomset de un delta, según Gilbert, b) Planicie deltaica, frente de delta y prodelta, según Arche 2010



Fuente: Modificado de Arche 2010

IMPORTANCIA ECONÓMICA.

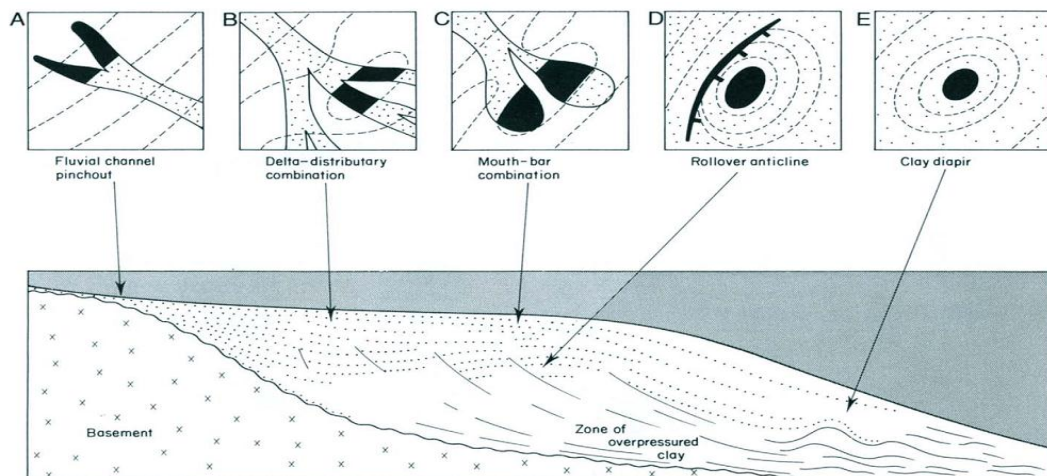
Los sistemas deltaicos antiguos son extremadamente importantes desde el punto de vista económico, ya que contienen la mayoría de los depósitos de carbón del mundo y las más importantes provincias petrolíferas, esto es debido a que poseen todas las características necesarias para formar un sistema petrolífero²⁹, porque poseen rocas con gran contenido de materia orgánica como los shales depositados en el prodelta y en las planicies deltaicas (Segmento B1 y B2 de nuestra sección), rocas reservorio con muy poca matriz y suficientemente porosas que permiten la acumulación de hidrocarburos dentro de estas como barras de desembocadura, barreras de arenas, y canales³⁰; en nuestra sección se observa el segmento C, cuyas rocas poseen una muy buena impregnación (valor de 3), y finalmente shales depositados en las llanuras de inundación en la zona más somera los cuales pueden contener grandes cantidades de carbón y actuarían de sello al mismo tiempo. La combinación de eventos transgresivos y regresivos producidos por los cambios relativos en el nivel del mar, producen en estos sistemas una serie de trampas estratigráficas que formarían las trampas

²⁹ Selley, Richard C.. Applied sedimentology. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2000

³⁰Ibíd.

estratigráficas que pueden ser el resultado de los cambios laterales y verticales de facies, pinchamiento de las capas de rocas, acumulaciones de shales los cuales pueden formar diapiros (Figura 5) y así se tendría un área de verdadero interés. Estas características seguidas de una subsidencia que implicaría un aumento en la temperatura de las rocas; lo que propiciaría que la materia orgánica presente en estas rocas entren en ventana de generación de aceite, al igual compresión de la corteza, plegamientos, fallamientos, proporcionaría un ambiente ideal para considerar los sistemas deltaicos antiguos como áreas de gran interés para la exploración de hidrocarburos.

Figura 5. Sección cruzada y la ilustración de las diferentes modelos de entrapamiento de petróleo estratigráficos y estratigráficos-estructurales. A) Entrampamiento por pinchamiento de los canales B) entrapamiento en los canales distributarios. C) entrapamiento en la barra de desembocadura. D) entrapamiento en los anticlinales de *roll-over*. E) entrapamiento en los diapiros de arcilla.



Fuente: Tomado de Selley, 2000

Es por esto que nuestro trabajo es de suma importancia, ya que estamos contribuyendo con el modelamiento de un sistema deltaico que se desarrolló durante el Cretácico-Paleoceno, haciendo un estudio detallado del Grupo

Guadalupe, en el que se encontró una fuerte impregnación de las rocas más superiores de la secuencia; que a nivel de subsuelo pueden constituir un gran reservorio de hidrocarburos, y que en este trabajo basados en estudios previos realizados por diferentes autores, se le ha dado una interpretación que va acorde un sistema deltaico, y que será discutida de forma más detallada en el capítulo de "resultados".

Este trabajo será utilizado por ECOPETROL S.A, para futuras fases de explotación de los posibles reservorios determinados, con ayuda de correlaciones estratigráficas, geoquímica, bioestratigrafía, geofísica, y perforaciones de núcleos.

4. MARCO GEOLÓGICO Y ANTECEDENTES

Grupo Guadalupe (Ksg)

El término Guadalupe fue empleado por primera vez en 1892 por Hettner , donde se consideraba como “Piso Guadalupe” la parte alta, arenosa, del Cretácico del área de Bogotá y, específicamente, los cerros de Guadalupe y Monserrate. Según Hubach en 1957 quien le da posteriormente, la categoría de grupo a Guadalupe, considera las formaciones Guadalupe Inferior (Conjunto Inferior Arcilloso) y Guadalupe Superior (Conjunto Superior Arenoso), y divide esta última formación, de base a techo, en los miembros: Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Tierna³¹.

Renzoni entre los años 1963 y 1968, precisó los límites del Grupo Guadalupe, considerándolo como una unidad predominantemente arenosa que suprayace e infrayace unidades lodolíticas, que son respectivamente la Formación Chipaque y la Formación Guaduas. El mismo Renzoni en 1963 dividió el Grupo Guadalupe de base a techo en tres unidades de rango formacional así: Formación Arenisca Dura edad Campaniano temprano, Formación Plaeners de edad Campaniano Tardío, y finalmente Formación Labor y Tierna de edad Maastrichtiano Temprano³². Posteriormente, Julivert en 1968, redefine el límite inferior de la unidad, restringiendo el grupo a lo que se venía llamando Guadalupe Superior o Conjunto superior arenoso (Colombian Soc. Petr. Geol. Geoph., 1961, p. 39 en³³., 2010) y también establece para el Grupo Guadalupe una nomenclatura basada en la nomenclatura de antigua de Hubach: Arenisca Tierna, Arenisca de Labor, Nivel de

³¹ Ulloa, C., Rodríguez, E., y Rodríguez, G., 2003. Geología de la plancha 172 Paz de Río. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 73-81.

³² 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, v. 20, p. 3-66

³³ Terraza, R., Moreno, G., Buitrago, J., Pérez, A., Montoya, D., ETAYO, F., 2010. Geología de la plancha 210 Guateque. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 76-83.

Plaeners, Arenisca Dura (Miembro del Raizal); separando las areniscas Tierna y de Labor se sitúa un nivel blando de poco espesor que deja sin denominar.

Esta subdivisión litoestratigráfica del Grupo Guadalupe es de techo a base y constituye la nomenclatura aceptada actualmente³⁴. Finalmente, Pérez y Salazar en 1971, describen detalladamente las formaciones que constituyen el Grupo Guadalupe al oriente de Bogotá (Cerro Guadalupe y Páramo del Rajadero) formalizándose de esta manera las unidades que lo componen, que de base a techo son: 1) Formación Arenisca Dura cuarzo arenitas de color naranja grisáceo, naranja amarillento o marrón amarillento por meteorización, textura muy fina a fina, maduras, algo micáceas y glauconíticas (al techo especialmente), en capas con estratificación delgada hasta muy gruesa, plana paralela (continua o discontinua) y laminación interna delgada-mediana, ligeramente ondulosa paralela, 2) Formación Plaeners, Se compone de arcillolitas de color gris medio y claro, meteorizadas, muy poco carbonosas en las cuales se intercalan cuarzoarenitas (muy finas, maduras), tormentitas de fragmentos de bivalvos, lodolitas y porcelanitas, 3) Formación Arenisca de Labor, que se compone principalmente de limolitas de cuarzo suprayacidas por una secuencia de arenitas cuarzosas, de textura fina o muy fina con estratificación gruesa a muy gruesa, en capas cuneiformes, con bioperturbación alta, micáceas, glauconíticas, generalmente friables y muy meteorizadas y finalmente 4) Formación Arenisca Tierna que está conformada por de cuarzoarenitas de color gris muy claro o amarillento con estratificación delgada ondulosa paralela discontinua, glauconíticas, friables. Estas descripciones son según³⁵.

Guerreo y Sarmiento en 1996³⁶ proponen dividir el Grupo Guadalupe en tres unidades denominadas Guadalupe Inferior, Guadalupe medio y Guadalupe

³⁴ Terraza, R., Moreno, G., Buitrago, J., Pérez, A., Montoya, D., ETAYO, F., 2010. Geología de la plancha 210 Guateque. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 76-83.

³⁵Ibid.

³⁶ Guerrero J., Sarmiento G., 1996, Estratigrafía Física, Palinológica, Sedimentológica y

superior, las cuales con respecto a la localidad tipo del Grupo Guadalupe en el área de Bogotá, la Formación Arenisca Dura corresponde al Guadalupe Inferior, la Formación Plaeners al Guadalupe Medio y la Formación Labor-Tierna al Guadalupe Superior. Para el Piedemonte Llanero estos autores de acuerdo al aumento en el tamaño de la granulometría con respecto a la localidad tipo en la sabana de Bogotá, dividen el grupo Guadalupe en tres nuevas unidades lito-estratigráficas de base a tope denominadas 1) Formación Arenitas de San Antonio de edad Campaniano tardío, que está compuesta en su parte inferior predominantemente por cuarzoarenitas de grano fino (39.2%) y medio (24.8%), estando la limolita prácticamente ausente (0.6%) y en su parte superior por arenitas de grano grueso (8.5%) y muy grueso (0.9%) y esporádicamente conglomerados de gránulos (0.3%), 2) Formación Lodolitas de Aguacaliente la cual tiene un porcentaje importante de arena (24.9%), las limolitas silíceas con fractura prismática ortogonal están prácticamente ausentes (menos del 5%) y la litología predominante es la lodolita oscura (64%). Y 3) Formación Arenitas de San Luis de Gaceno, compuesta de cuarzoarenita de grano muy grueso (44.3%) que por sectores incluye conglomerado de gránulos (3.8%), siguiendo en abundancia la cuarzoarenita de grano grueso (20.9%) y medio (20.0%), dejando claro que estas nuevas unidades tienen la misma posición estratigráfica pero con un cambio notorio en el aumento de su granulometría.

Ulloa en el 2001³⁷ divide el Grupo Guadalupe en cuatro Formaciones que son: Formación Plaeners que está compuesta por lodolitas calcáreas gris oscuras en estratos delgados con intercalaciones de limolitas silíceas gris claras en capas medias a gruesas y ocasionales niveles de chert negro, 2) Formación Labor, de cuarzoarenitas de grano fino ligeramente calcáreas en conjuntos de 2 a 5 m,

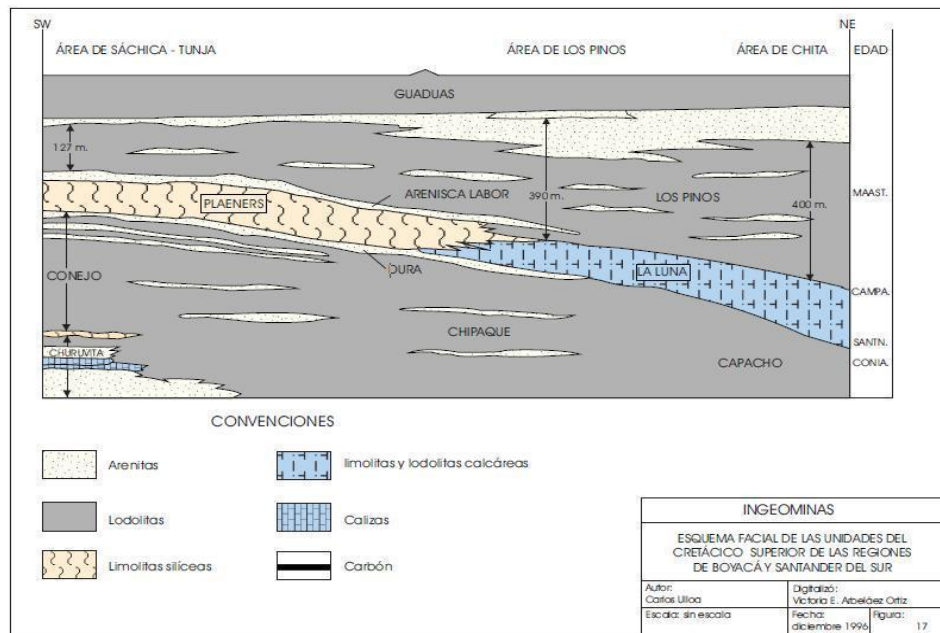
Secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera: Geología Colombiana, v. 20, p. 3-66.

³⁷ Ulloa, C., Rodríguez, E., y Rodríguez, G., 2001. Geología de la plancha 172 Paz de Río. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 73-81.

separados por arcillolitas gris oscuras, 3) Formación Los Pinos compuesta por arcillolitas y lodolitas gris oscuras a gris claras con intercalaciones de arenitas arcillosas de cuarzo de pocos metros de espesor y calizas en estratos de poco espesor con conchas de ostrácodos, aunque ellos unen estas dos últimas, ya que la Formación Los Pinos en sectores descansa de manera concordante sobre la Formación La Luna, en el área de los Santanderes y en el área de Boyacá

sobre la Formación Arenisca de Labor, debido a los cambios faciales de la Formación Arenisca Dura y Plaeners que van de facies silíceas a facies silíceo calcáreas y hasta facies calcáreas de la Formación La Luna, y a que la Formación Arenisca de Labor, al parecer, se interdigita con las lodolitas de la Formación Los Pinos (Figura6). Finalmente la última formación es la Formación Arenisca Tierna, compuesta generalmente por paquetes de areniscas granocrecientes y algunos niveles de cuarzoarenitas calcáreas.

Figura 6. Esquema facial de las unidades del Cretácico Superior de las regiones Boyacá y Santander.



Fuente Tomado de (Ulloa et al. 2001, p. 72)

5. TECTONOESTRATIGRAFIA

Los modelos de evolución de la Cordillera Oriental muestran una etapa de acumulación en ambiente distensivo (*rifting*) durante la conformación de una cuenca de retroarco o *back-arc* desde el Triásico-Jurásico e inclusive parte del Cretácico temprano, con dos depocentros separados por un alto intra-cuenca constituido por un basamento somero denominado Alto Santander, cuya prolongación aflora hoy en el Macizo de Floresta³⁸, (Figura 7), esta cuenca, se encuentra relacionada con la reparación de Norte América y Sur en el proto caribe y la megasecuencia *synrift* depositada comienza con un ambiente de depositación continental que llega a ser marino somero en el Cretácico Temprano³⁹Pindell and Dewey, 1982; Ross and Scotese, 1988; Cediel et al., 2003⁴⁰ esto también es sustentado por⁴¹ en sus reconstrucciones estructurales, y lo muestra en su carta estratigráfica en la que efectivamente el flanco oriental de la Cordillera Oriental fue una zona de depositación de sedimentos *Syn-rift* durante para ese tiempo (Figura 9). Otra hipótesis acerca de estas secuencias del Cretácico Inferior se trata de una extensión de una cuenca Backarc ocurrida detrás de una subducción relacionada con un arco magmático

(Maze, 1984; McCourt et al., 1984; Pindell and Erikson, 1993; Toussaint, 1995a,b; Pindell and Tabbutt, 1995; Meschede and Frisch, 1998,⁴² durante esta etapa

³⁸ Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Tabora A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia

³⁹Ibid.

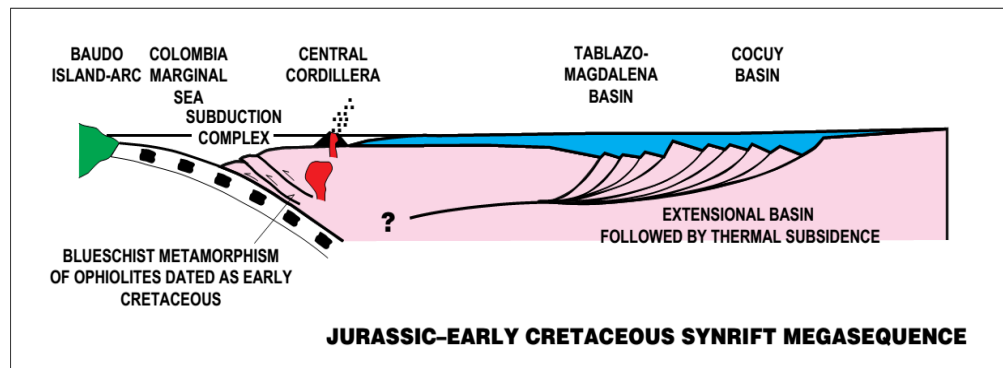
⁴⁰ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

⁴¹ Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." *Basin Research* 21.1: 111-137.

⁴² Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

controlada por la subsidencia de la cuenca se dio la depositación de la Formación Brechas de Buenavista, que son las más antiguas de edad Jurásico Cretácico (figura 8), seguidamente se depositó el Grupo Caqueza, compuesto por la Fm Lutitas del Macanal y Areniscas de Cáqueza, esta última correlacionable con la Fm Las Juntas (Figura 12), y la secuencia Synrift termina con la depositación de las lodolitas pertenecientes a la Fm Fomeque.⁴³ marca el final de la etapa Synrift con la depositación final de la Fm Fómeque y la aparición de la Fm Une.

Figura 7. Corte estratigráfico para el jurásico- Temprano Tardío



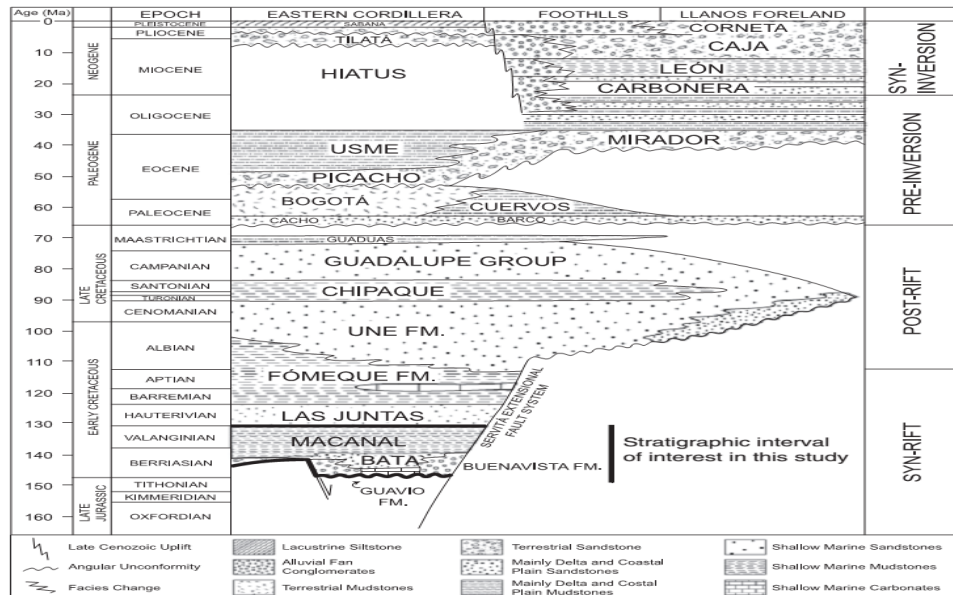
Fuente: Tomada de Cooper et al., 1995.

⁴³ Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." Basin Research 21.1: 111-137.

Figura 8. Correlación litoestratigráfica, desde la sabana de Bogotá hasta el piedemonte Llanero,

Periodo		Cordillera Oriental		Piedemonte Llanero		
		RENZONI, 1968	ULLOA & CARO, 1985	Guerrero y Sarmiento, 1996.	Sarmiento, 2006	Mora et al., 2009
Paleogeno	Eoceno Tardío		Fm. Bogotá		Fm. Mirador	Fm. Mirador
	Eoceno Temprano	Fm. Bogotá		Fm. Socha Superior		Fm. Cuervos
	Paleoceno tardío		Fm. Cacho	Fm. Socha Inferior	Fm. Barco	Fm. Barco
	Paleoceno temprano	Fm. Guaduas	Fm. Guaduas			
Cretácico	Maastrichtiano Tardío		Fm. Tierna	Parte inferior Fm. Guaduas	Fm. Guaduas	Fm. Guaduas
	Maastrichtiano Temprano	Fm. Tierna Labor	Fm. Los Pimos			
	Campaniano Tardío	Fm. Plaeners		Grupo Palmichal		Grupo Guadalupe
	Campaniano Temprano		Fm Labor	Arenitas de San Luis de Gaceno		Fm. Tierna
	Santoniano	Fm. Raizal		Lodolitas de Aguacaliente	Grupo Guadalupe	Fm. Labor
	Coniaciano			Arenitas de San Antonio		
	Turoniano			Fm. Chipaque		Fm. Plaeners
	Cenomaniano		Fm. Pleaners		Fm. Chipaque	
	Albiano	Fm. Chipaque		Fm. Une	Fm. Une	Fm. Une

Figura 9. Estratigrafía del Meso-Cenozoica del flanco oriental de la Cordillera Oriental.



Fuente: Tomado de Mora, 2009.

Seguidamente se dio una etapa Post-rift, que permitió la deposición unidades propias de un ambiente marino somero durante el Cretácico, que posteriormente

incluirían capas de arenas mareales con glauconita durante el Cretácico Superior⁴⁴; durante este tiempo la subsidencia fue dirigida mayoritariamente por enfriamiento litosférico, carga de agua, y estrés compresivo horizontal⁴⁵, esta secuencia del cretácico superior se encuentra supersedida por depósitos de la cuenca *foreland* de los llanos orientales preservados atípicamente de edad Paleoceno a Oligoceno^{46,47}, basado en varios autores hace una recopilación de tres hipótesis alternativas que sugieren diferentes procesos que actuaron con fuerza, (i) una **Extensión Backarc**

(McCourt et al., 1984; Fabre, 1987; Toussaint and Restrepo, 1989; Cooper et al., 1995; Meschede and Frisch, 1998) (figura 10), que se basa en la existencia de un arco magmático relacionado con la subducción, (ii) **Margen pasivo** (Pindell and Erikson, 1993; Pindell and Tabbutt, 1995), basados en la escasez de rocas magmáticas en la cuenca, aunque un arco magmático Cretácico pobremente definido en la Cordillera Central (i.e., Stocks de San Diego, Altavista, y Cambunbia; Restrepo et al., 1991; Toussaint & Restrepo, 1994) hace difícil su explicación, (iii) un **Rifting intracontinental** relacionado con la apertura del Caribe que algunos autores como (e.g., Geotec, 1992; Cediél et al., 2003) sugieren un graben desarrollado con orientación NW-SE en la Cordillera Central durante el Cretácico Temprano, pero al igual que la anterior hipótesis, se hace difícil explicar la existencia de un arco magmático pobremente desarrollado.

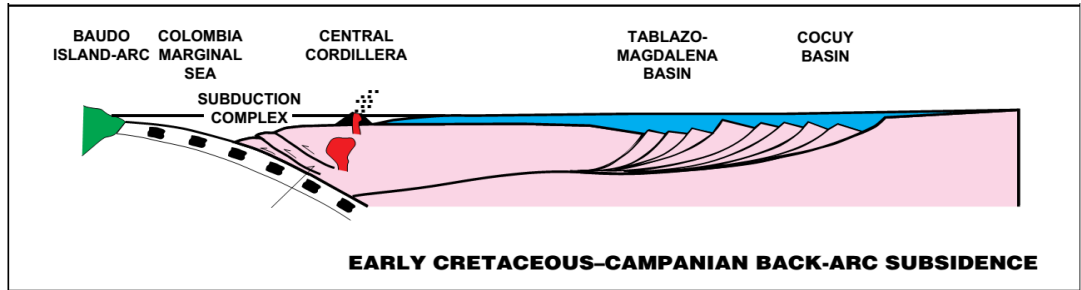
⁴⁴ Ramirez Arias, Juan Carlos, Mora, Andrés, Rubiano; Jorge, Duddy, Ian, Parra, Mauricio; Moreno, Nestor; Stocli, Daniel; Casallas, Wilson, 2012. "The asymmetric evolution of the Colombian Eastern Cordillera. Tectonic inheritance or climatic forcing? New evidence from thermochronology and sedimentology." *Journal of South American Earth Sciences* 39: 112-137.

⁴⁵ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

⁴⁶ Ramirez Arias, Juan Carlos, Mora, Andrés, Rubiano; Jorge, Duddy, Ian, Parra, Mauricio; Moreno, Nestor; Stocli, Daniel; Casallas, Wilson, 2012. "The asymmetric evolution of the Colombian Eastern Cordillera. Tectonic inheritance or climatic forcing? New evidence from thermochronology and sedimentology." *Journal of South American Earth Sciences* 39: 112-137.

⁴⁷ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

Figura 10. Corte estratigráfico para el jurásico- Temprano Tardío.



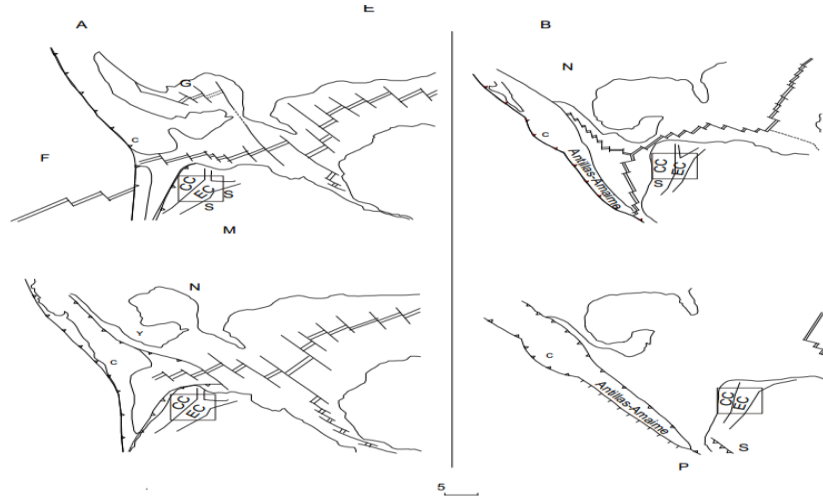
Fuente: Tomada de Cooper et al., 1995.

La etapa Post Rift comienza a partir del Aptiano según la carta estratigráfica en mora *et al*⁴⁸ (figura 9). "Durante el Aptiano- Albiano Temprano, Pindell y Erikson (1993) proponen que el borde oeste de Colombia fue un margen pasivo, la apertura en el oeste de Colombia cesó y la litósfera del proto-Caribe comienza su subducción hacia el oeste debajo del arco de Amaime-Antilas que fue acercado al margen oriental de Sur América, para ese mismo tiempo Meschede and Frisch (1998), asumen una posible extensión del proto-Caribe hacia el norte, y el comienzo de la subducción de la placa Farallón/Pacífico debajo del arco de Costa Rica-Panamá al oeste de Colombia. Estas interacciones de las placas tectónicas pudieron provocar un acortamiento litosférico en la cuenca de la palea-Cordillera Oriental"⁴⁹ (Figura 11). Durante este periodo se da la depositación de la Formación Une en la paleo-Cordillera oriental, y hacia la cuenca de los Llanos oriental, esto según la Figuras (9 y 12).

⁴⁸ Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." *Basin Research* 21.1: 111-137.

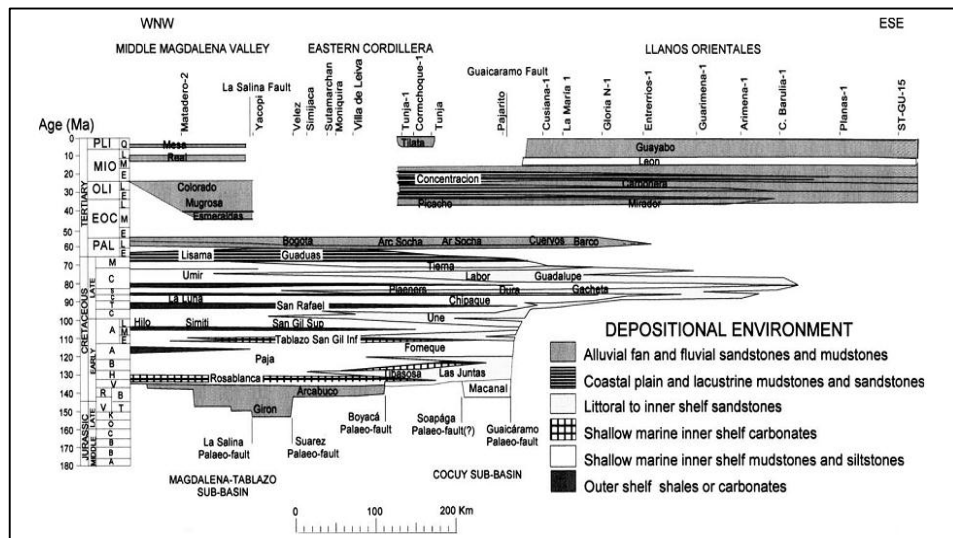
⁴⁹ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPETROL S.A. Bogotá.

Figura 11. Reconstrucción de la tectónica de placas para el tiempo Cretácico: A. hipótesis de un Backarc rifting (por Meschede et al., 1998). B. hipótesis de margen pasivo (por Pindell and Erikson 1993; Pindell y Tabut, 1995).



Fuente: Tomado de Sarmiento 2001.

Figura 12. Carta estratigráfica Cretácica-Terciaria del piedemonte llanero.



Fuente: Tomada de Sarmiento *et al.*, 2006.

Durante el AlbianoTardío-Cenomaniano Temprano, una relativa caída tectonoeustática del mar fué reconocida para la cuenca del Valle medio del

Magdalena en Bogotá, por una progradación en el Une superior que comienza a presentar una somerización en sus facies superiores e.g., transición del San Gil Superior a Churuvita, e Hilo a shales;⁵⁰en⁵¹. y se hace evidente también en sección estratigráfica presentada por⁵², (Figura 12), esto es validado por diferentes autores (Nivia, 1987; Meschede and Frisch, 1998 en⁵³, quienes proponen que la formación del plato basáltico en el mar caribe, oeste y noroeste de Colombia junto con el engrosamiento de la corteza del proto-Caribe, pudo haber impedido la continua subducción localizada debajo de la Cordillera Central, debido a la flotabilidad de dicha corteza gruesa, por lo tanto la subsidencia en el backarc no hubiera sido favorable.

En el Cenomaniano Tardío, Turoniano y Coniaciano, el nivel tectono-eustático es el máximo nivel Durante el Mesozoico⁵⁴, esto se evidencia por la depositación de Shales grises en toda la esquina noroeste de Sur AméricaThery, 1982, in Fabre, 1985, en⁵⁵ y se debe a que para esta época se alcanza un máximo nivel del mar global, por lo que se cree que la subsidencia que afecta solo al flanco oriental de la Cordillera Oriental, estuvo dominada por la carga de agua presente para dicho momento⁵⁶. Pero esta superficie de máxima inundación definida para la paleo cuenca de la cordillera oriental, se define de edad Campaniano para la cuenca de

⁵⁰ Villamil, Tomas, 1999. "Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153.1-4, 239-275.

⁵¹ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

⁵² Ibid.

⁵³ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPEPETROL S.A. Bogota.

⁵⁴ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPEPETROL S.A. Bogota.

los Llanos Orientales, Fajardo et al., 1993;⁵⁷, en⁵⁸, esto se puede explicar, asumiendo que sí la subducción de la corteza oceánica gruesa perteneciente al proto-Caribe, y su flotabilidad debajo de la placa de Sur-América fueron inhibidas, probablemente se ejerció un estrés Horizontal en el margen noroeste de Sur América⁵⁹, ese estrés horizontal puede producir un plegamiento por flexura local, el cual se acentúa donde la litósfera es débil (Cloetingh, 1988; Cloetingh and Kooi, 1992 en⁶⁰). La combinación de estos procesos forman la máxima superficie de inundación en el depocentro de la paleo cuenca de la Cordillera Oriental que está caracterizada por una corteza débil debido al estiramiento que sufrió previamente durante la etapa de *rifting*, y al mismo tiempo el estrés horizontal produjo un *bulge* submarino en aguas someras en la cuenca Llanos, que estaría compensando el máximo nivel esutático⁶¹. Para este tiempo (Villamil, 1993 en⁶²) reconoció que un pequeño aumento en el nivel tectono-eustático relativo durante el Cenomaniano Tardío, que fue indujo pequeña profundización de la cuenca y un notorio decaimiento en el suplemento de sedimentos hacia la cuenca.

A partir del Turoniano medio hasta el Coniaciano Tardío tiempo en el que se depositó la Fm Chipaque que llega también hasta el Santoniano, y que es correlacionable con la Fm La Luna en el VMM (Figura 12), se evidencia una caída del nivel tectono-eustático relativo, lo que produce una somerización de la cuenca (Villamil, 1993 en⁶³). Durante el Santoniano, Campaniano, Maastrichtiano, y

⁵⁷ Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Taborda A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.

⁵⁸ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." Journal of South American Earth Sciences 21.4: 383-411.

⁵⁹ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPETROL S.A. Bogota.

⁶⁰ Ibid.

⁶¹ Ibid.

⁶² Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." Journal of South American Earth Sciences 21.4: 383-411.

⁶³ Ibid.

Paleoceno, que es en el tiempo en el que se ubica nuestra secuencia de rocas pertenecientes al Grupo Guadalupe, se presenta una regresión y progradación regional, marcada por el cambio de facies desde ambientes litorales, pasando por un ambiente de costa transicional⁶⁴, la regresión no ocurre de manera continua, pero si con eventos transgresivos más pequeños marcados por facies silíceas fosfáticas de grano fino⁶⁵, como se observa en los segmentos B1 y B2 de nuestra sección.

Las áreas del Grupo Guadalupe representan dos ciclos de progradación: Agradación y regresión de la línea de costa en dirección oeste, dominada por alta energía y rica en cuarzo que proviene del escudo de Guyana^{66,67}, estos cambios en la posición de la línea de costa son acompañados por el cambio en el eje del depocentro de la cuenca de la Cordillera Oriental el cual migra de Oeste a Este desde el Cretácico tardío hasta el Oligoceno⁶⁸ (Figuras 13, 14, 15) y es producto del amalgamamiento de terrenos alóctonos sobre el margen occidental de Colombia^{69,70} (Figura 16), que produce a su vez la deformación y un pequeño levantamiento de la Cordillera Central, desarrollando fallas normales en el área de

⁶⁴ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

⁶⁵ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPEPETROL S.A. Bogota.

⁶⁶ Sarmiento, Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

⁶⁷ Bayona, G., M. Cortes, C. Jaramillo, G. Ojeda, J. J. Aristizabal, and A. Reyes-Harker. 2008. "An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia." *Geological Society of America Bulletin* 120.9-10; 1171-1197.

⁶⁸ Villamil, Tomas, 1999. "Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153.1-4, 239-275.

⁶⁹ Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Taborda A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.

⁷⁰ Villamil, Tomas, 1999. "Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153.1-4, 239-275.

los (e.g. Kluth et al. 1997 en⁷¹) y que podrían ser el resultado de un estrés tensional del *forebulge*, el que se desarrolló por flexura debido al aumento de la carga listosférica en las Cordilleras Occidental y Central⁷²⁷³(Figura 17) , este *Forebulge* puede ser el Causante de la no depositación de la Fm Guaduas hacia el la cuenca de los Llanos Orientales⁷⁴. Dicha carga en las Cordilleras Occidental y Centra permite el desarrollo de una incipiente cuenca *foreland* por flexura pre-Andina en el área de la Cordillera Oriental⁷⁵⁷⁶.

⁷¹ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basininversian history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPETROL S.A. Bogota.

⁷²Ibid.

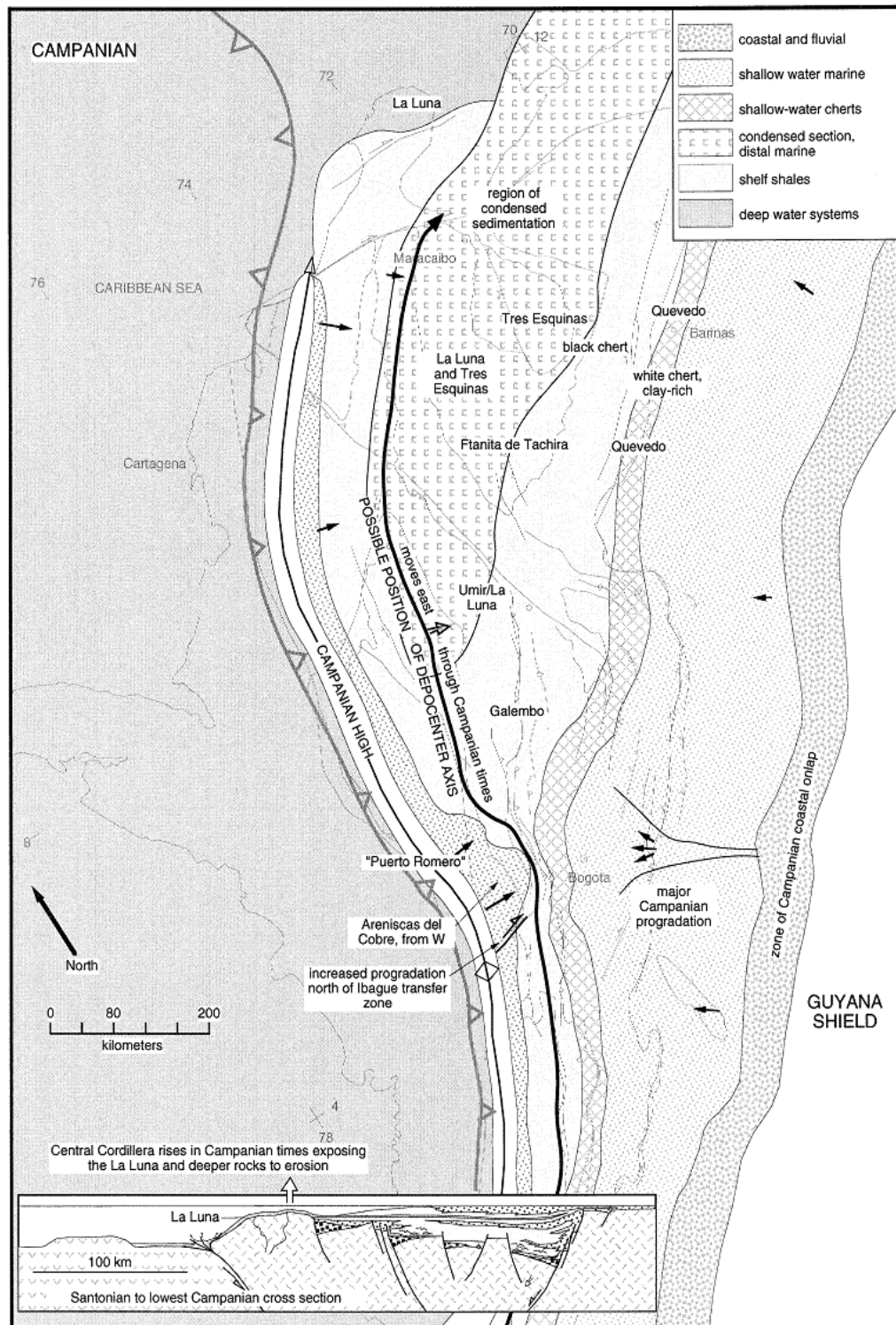
⁷³ Bayona, G., M. Cortes, C. Jaramillo, G. Ojeda, J. J. Aristizabal, and A. Reyes-Harker. 2008. "An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia." Geological Society of America Bulletin 120.9-10; 1171-1197.

⁷⁴ Ibid.

⁷⁵Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Taborda A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.

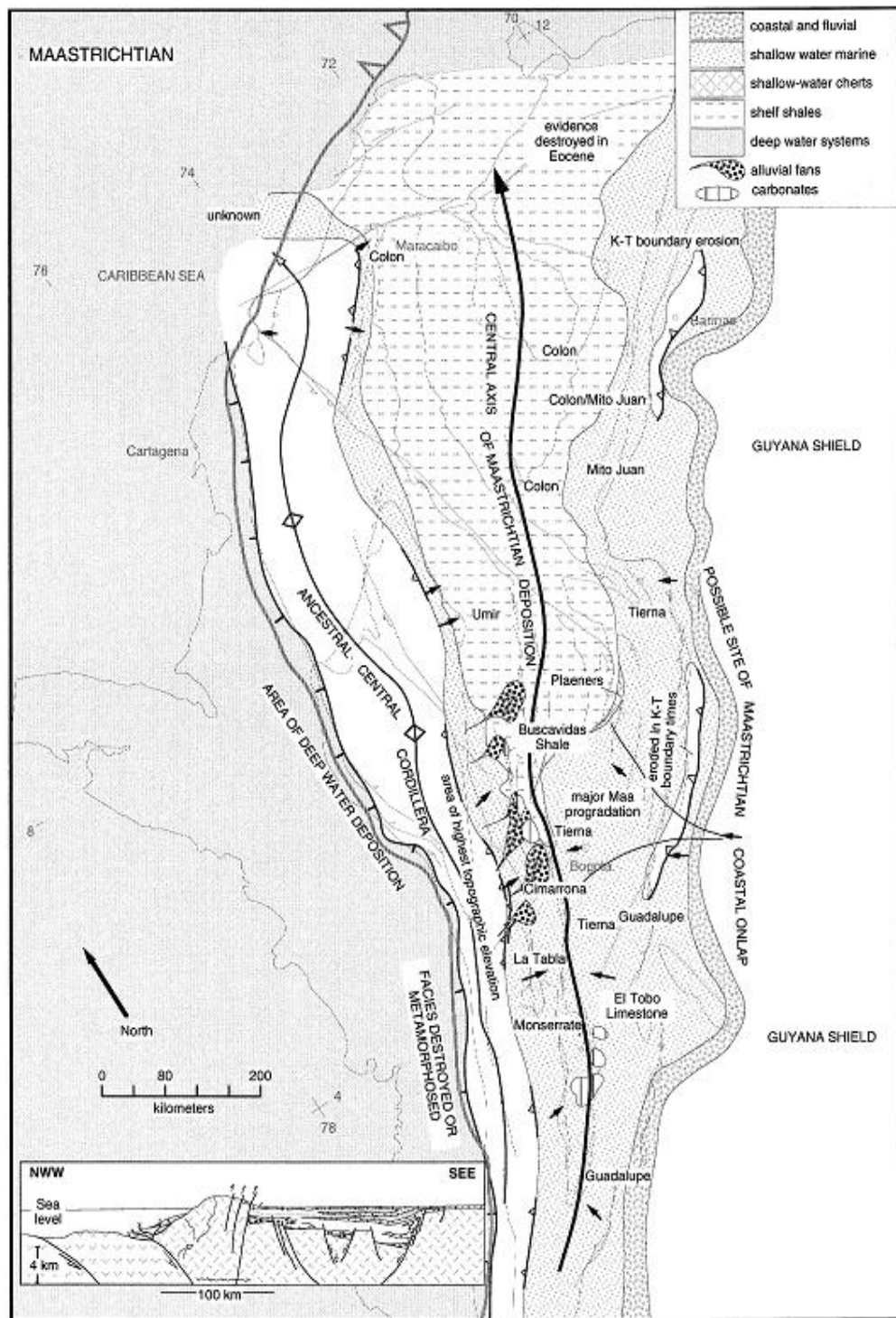
⁷⁶ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basininversian history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPETROL S.A. Bogota.

Figura 13. Posición del eje axial de la cuenca de la Cordillera Oriental en el Campaniano.



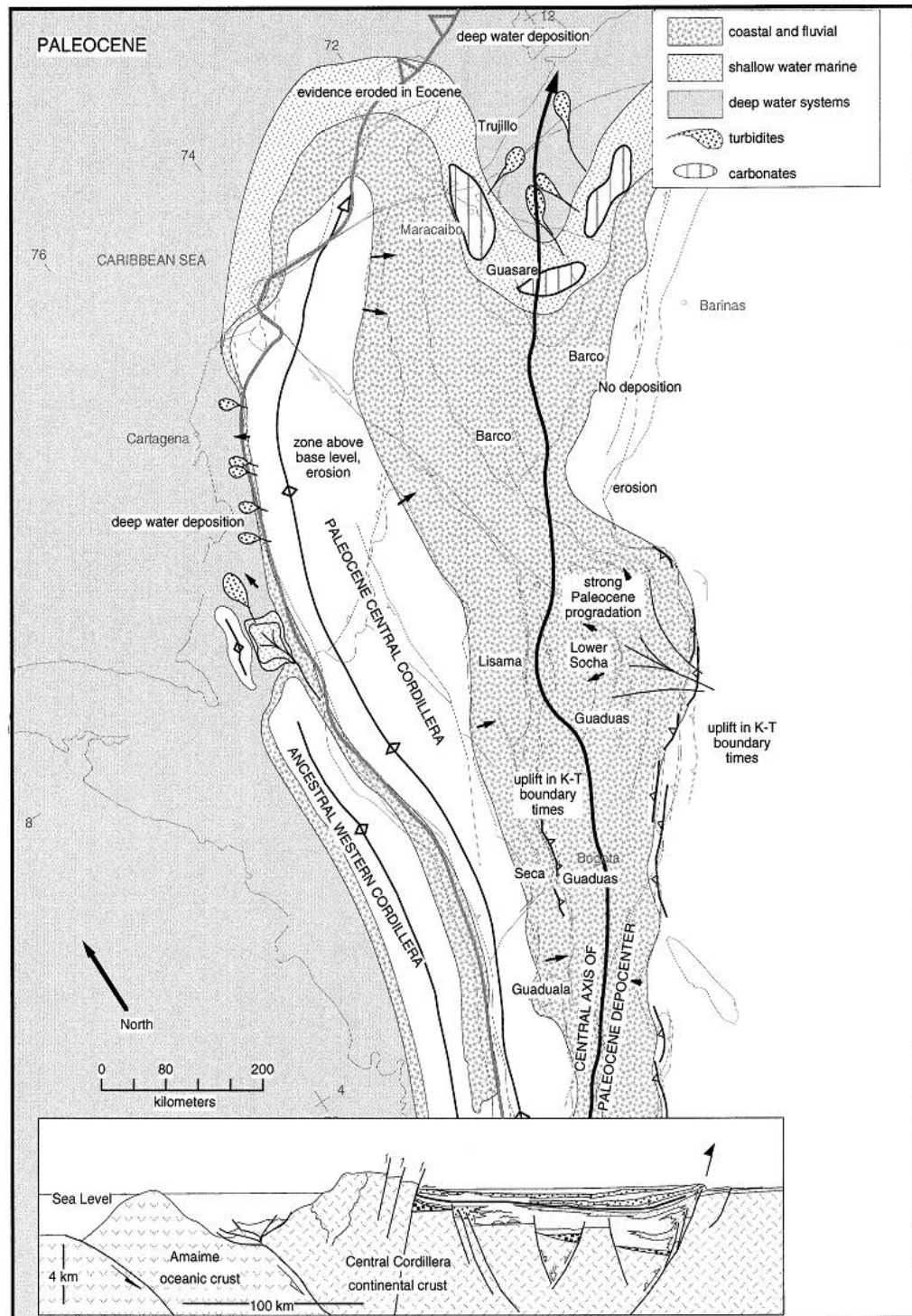
Fuente: Tomado de Villamil et al., 1993

Figura 14. Posición del eje axial de la cuenca de la Cordillera Oriental en el Maastrichtiano.



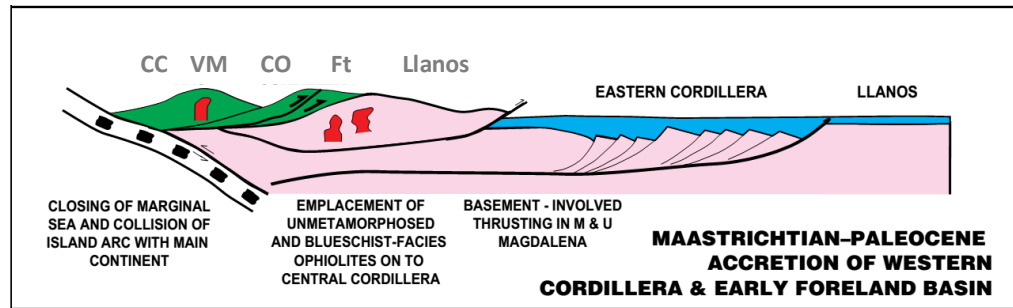
Fuente: Tomado de Villamil et al., 1999

Figura 15. Posición del eje axial de la cuenca de la Cordillera Oriental en el Paleoceno.



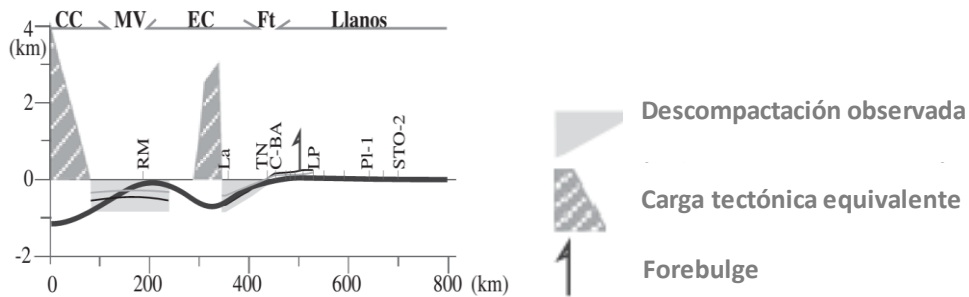
Fuente: Tomado de Villamil et al., 1999.

Figura 16. Amalgamiento de terrenos alóctonos sobre el margen occidental de Colombia.



Fuente: Tomado de Cooper et al., 1995.

Figura 17. Flexura debido al aumento de la carga listosférica en las Cordilleras Occidental y Central para el Maastrichtiano tardío-Paleoceno temprano 65-70 Ma, en donde se muestra el forebulge hecho solo por flexura.



Fuente: Modificado de Bayona, 2008.

El Maastrichtiano marca el final de la regresión regional de Cretácico, y el inicio de un fuerte control tectónico sobre la sedimentación, a partir del acelerado levantamiento de la Cordillera Central ancestral, y el levantamiento de algunas áreas del margen este del *rift* del Cretácico⁷⁷ (Figura 15), este cambio de las condiciones de depositación se ve reflejado por un engrosamiento en el tamaño del grano durante este tiempo que termina con conglomerados de abanicos

⁷⁷ Villamil, Tomas, 1999. "Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153.1-4, 239-275.

aluviales comenzando con shales de origen marino, y que posteriormente fue parcialmente erosionado durante la propagación temprana de la Cordillera Central, marca la más grande inconformidad de la cuenca del VMM y la Cordillera Oriental⁷⁸. El levantamiento flexural relacionado a la fase de deformación durante el Maastrichtiano, puede explicar la presencia de arenas cuarzosas y las capas conglomeráticas que se encuentran presentes en el Piedemonte Llanero (*Foothills*), dichos sedimentos son provenientes del cratón que se encontraba levantado, estas secuencias del Cretácico Superior fueron erosionadas durante el Paleoceno en el Piedemonte Llanero y en la cuenca de los llanos orientales, lo cual permite la depositación de manera *syn-orogénica* de las sucesión Barco-Cuervos las cuales migran hacia el Este,⁷⁹.

Durante el Mioceno tardío y el Plioceno se generó un cinturón de plegamiento y cabalgamiento en la Cordillera Oriental, seguido por el levantamiento regional de toda la cadena en el Plioceno-Pleistoceno atribuido a la acreción del arco de islas Panamá-Baudó⁸⁰, el posterior mecanismo reactivación de las estructuras del rift del Cretácico está relacionado estrictamente con a una falla inversa frontal principal (Falla de Servitá), donde todo el flanco oriental de la Cordillera Oriental fue pasivamente levantado mientras que las estructuras internas no fueron sometidas a ninguna reactivación contráctil⁸¹, esta reactivación de solo algunas fallas es debido a la relación entre las anisotropías existentes y la orientación del

⁷⁸ Gómez, Elías, Teresa E. Jordan, Richard W. Allmendinger, Kerry Hegarty, Shari Kelley, and Matthew Heizler, 2003. "Controls on architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia." *Geological Society of America Bulletin* 115: 131-147.

⁷⁹ Bayona, G., M. Cortes, C. Jaramillo, G. Ojeda, J. J. Aristizabal, and A. Reyes-Harker. 2008. "An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia." *Geological Society of America Bulletin* 120.9-10; 1171-1197.

⁸⁰Dengo, Carlos A., Covey, Michael C. 1993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonics. *AAPG Bulletin*, Vol. 77 No. 8, pp. 1315-1337.

⁸¹ Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." *Basin Research* 21.1: 111-137.

stress sufrido por la zona⁸². Estos autores caracterizan este levantamiento con fallas de cabalgamiento y retro cabalgamiento con despegues en las unidades sedimentarias incompetentes del Cretácico y con fallas de basamento relacionadas con la inversión tectónica positiva a lo largo de antiguas fallas normales del Mesozoico. Esta inversión tectónica en la Cordillera Oriental ha sido documentada por autores como (*Fabre (1983), Colletta et al. (1990)*)^{83, 84, 85}.

La componente de rumbo durante el levantamiento de la Cordillera Oriental desde el Plioceno, ha sido considerada por autores como (*De Freitas et al. (1997), Kammer (1999), Taboada et al. (2000)*),⁸⁶ y (*Acosta (2002)*)⁸⁷, y afectan incluso las estructuras con inversión tectónica en la cordillera.

La zona de estudio se encuentra en el bloque colgante del Sistema de Fallas del Borde Llanero que tienen tendencia SW-NE, y se encuentra sobre la zona de influencia directa de la Falla de Villavicencio hacia el Este, y hacia el Oeste se encuentra afectada por la Falla de Tesalía, esto se evidenció en algunos sectores de la sección en donde se encontró un fuerte fracturamiento de las rocas (Figura 18).

⁸² Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." *Basin Research* 21.1: 111-137.

⁸³ Dengo, Carlos A., Covey, Michael C. 1993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonics. *AAPG Bulletin*, Vol. 77 No. 8, pp. 1315-1337.

⁸⁴ Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Taborda A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.

⁸⁵ Velandia. F. 2005. Interpretación de Transcurrencia de Las Fallas Soapaga Y Boyacá A Partir De Imágenes Landsat Tm. *Boletín de Geología* Vol. 27, No. 44,

⁸⁶ Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin-inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. *ECOPETROL S.A. Bogota*.

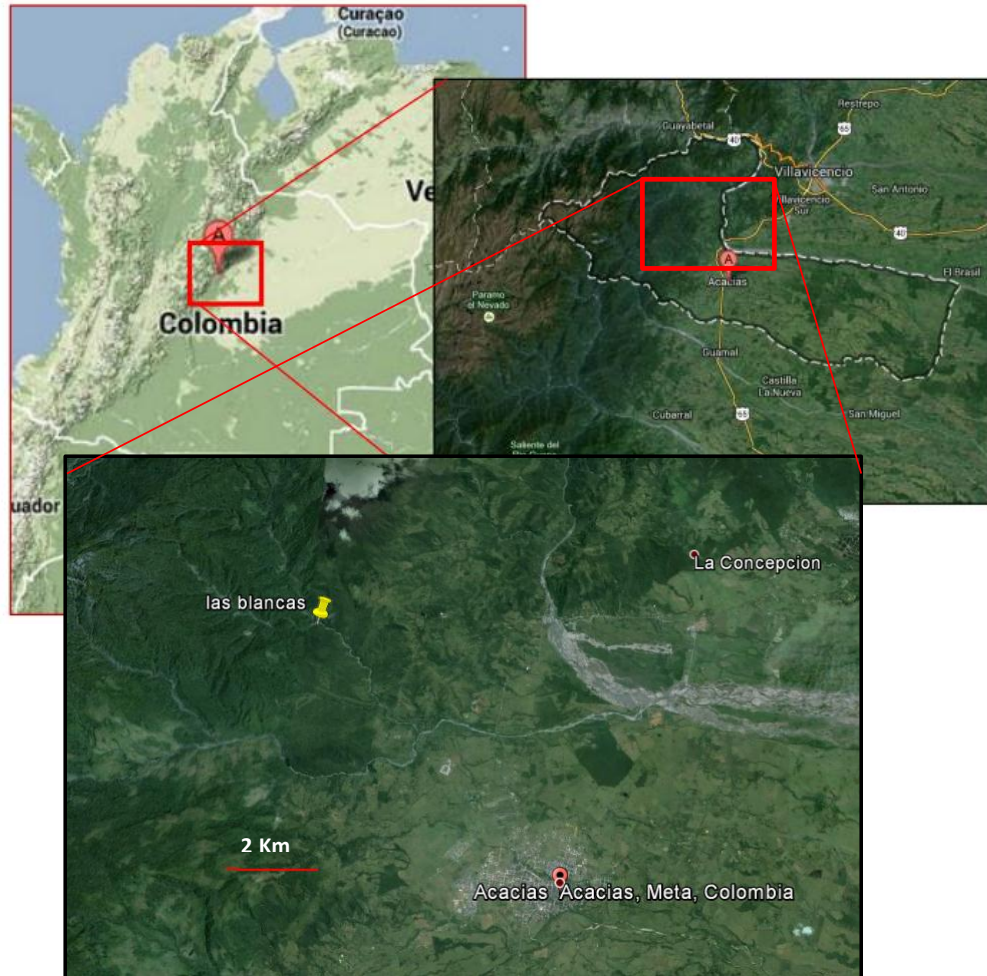
⁸⁷ Velandia. F. 2005. Interpretación de Transcurrencia de Las Fallas Soapaga Y Boyacá A Partir De Imágenes Landsat Tm. *Boletín de Geología* Vol. 27, No. 44,

Figura 18. Evidencias de fracturamiento debido al fallamiento local.



6. UBICACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE TRABAJO

Figura 19. Ubicación geográfica del municipio de Acacias, Meta.



Fuente: Tomado de google Earth, 30 de Julio de 2014

Acacias (Meta)

Nuestra zona de trabajo está ubicada en la parte norte-este del municipio de Acacias dentro de la vereda las blancas; en el sitio conocido como Caño Negro y la Quebrada Las Blancas y la Argentina, que son fuentes hídricas del municipio.

Acacias en su zona Urbana está compuesta por 97 Barrios y Urbanizaciones, de igual manera la zona rural se compone de cuarenta y ocho (48) veredas en las que se incluye Chichimene, Dinamarca y Manzanares, antiguas inspecciones de policía. La ciudad se ubica 28 km al sur de Villavicencio, y a 126 km de distancia de Bogotá, capital de Colombia. Acacias hace parte de los Llanos orientales y está bastante cerca de la Cordillera Oriental, ramal de la Cordillera de los Andes.

Límites:

- Norte: Villavicencio
- Oriente: San Carlos de Guaroa
- Sur: Guamal y Castilla la Nueva
- Occidente: Departamento de Cundinamarca

Con coordenadas 32508,131N/135139,394E origen Bogotá-Bogotá y Altitud 498 msnm.

7. METODOLOGIA

El proyecto en su totalidad fue desarrollado en un plazo de 7 meses y contó con 3 fases, que se explicaran a continuación:

7.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Durante esta fase se recopiló información bibliográfica acerca de la estratigrafía de la Cordillera Oriental de Colombia y el Piedemonte Llanero y su desarrollo durante el Triásico, Jurásico y Cretácico, en especial todo lo relacionado con el Grupo Guadalupe. Se buscaron mapas topográficos y geológicos de la Zona de Estudio, y se realizó la recolección de los formatos dispuestos por el ICP para el levantamiento de las columnas estratigráficas, y se definieron los registros eléctricos de los pozos con los cuales se hizo la correlación de la sección levantada, esta fase fue desarrollada durante todo el procesos de desarrollo de este trabajo.

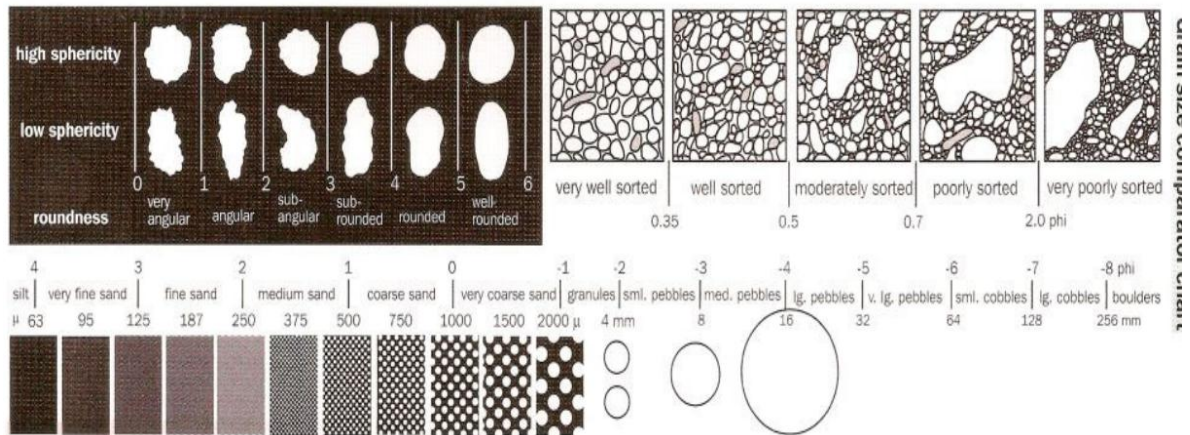
7.2 FASE DE CAMPO

En esta fase se dividió en 3 comisiones de salida al campo que en su total sumaron 45 días, en la primera comisión realizo un previo reconocimiento de la zona en la cual se enfocaría el proyecto donde se lograron encontrar accesos que facilitarían el trabajo y salidas en caso de cualquier eventualidad así como también práctica y repaso de toma de datos en campo.

Para la segunda comisión ya con la zona reconocida y con previo aviso a las autoridades y habitantes del lugar se procedió a tomar los respectivos datos para análisis estratigráfico a lo largo de las quebradas Las Blancas y La Argentina, que hacen parte de la vereda Alto de Acaciñas, ubicada al norte del casco urbano del

municipio de Acacias, donde los cuerpos de roca se encuentran expuesto. Allí utilizando el método del bastón de Jacob, así como el método de Poligonal (según la exposición de la roca), se midió la sección a levantar dando como resultado por el método de Jacob (con una medida de 1.5 m de longitud), un espesor total de 232 m, y el valor el espesor total de la sección por medio de la poligonal fue de 226.5 m, con un error de 6.5 m que es aceptable, posteriormente se realizó la descripción de la sección a escala 1:100 siguiendo las guías para la descripción de rocas sedimentarias en campo de *Tucker, 2003.* y ^{88.}, al igual que el formato otorgado por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) para tal fin. La determinación del tamaño del grano de las rocas medidas, tomamos en cuenta la tabla de comparación del tamaño del grano de⁸⁹ (Figura 20), para la clasificación de las rocas en campo nos basamos en los diagramas triangulares para la clasificación textural de Folk, 1974 (Figura 21).

Figura 20. Carta de comparación del tamaño de grano,

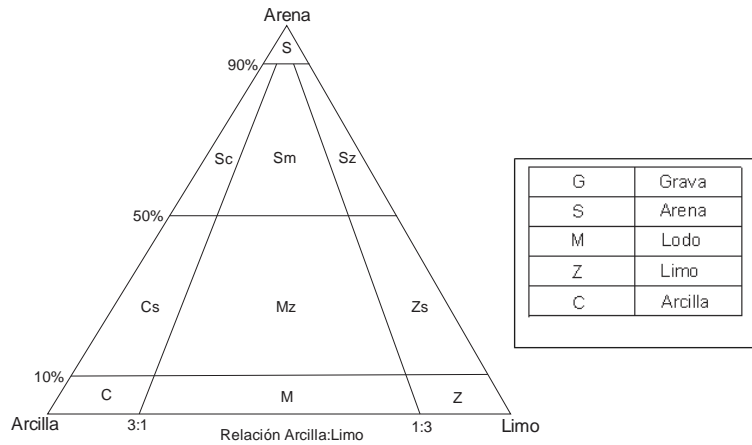


Fuente: Tomada de Stow, 2005.

⁸⁸ Stow, D. A. V, 2005. *Sedimentary rocks in the field: a color guide*. Burlington, MA: Elsevier Academic Press.

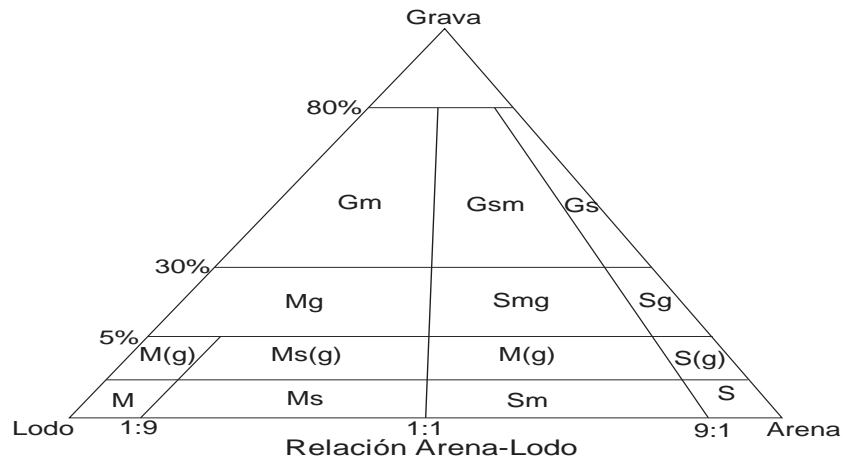
⁸⁹ Ibid.

Figura 21 Diagramas triangulares para la clasificación textural (tamaño del grano) de las rocas terrígenas,



Fuente: Tomada de, Cruz & Caballero (2007).

Figura 21a. a) Grano fino, b) Grano grueso



Fuente: Tomada de, Cruz & Caballero (2007).

Para la tercera comisión se realizó la toma del Registro Gamma Ray superficial Centellometro (*Gamma Ray Surveyour* de G.F Instruments), cada 25 centímetros desde el inicio de la sección a lo largo de toda la zona donde fue posible dicha toma de datos, debido a que por cuestiones de exposición de la roca, deslizamientos de tierra, y clima, se hizo difícil la toma de un registro continuo de

toda la sección, así también se llevó un registro y control fotográfico del afloramiento.

7.3 FASE DE OFICINA

Finalmente se culminó el proyecto con una última fase de oficina, la cual consistió en analizar la columna realizada con los datos de campo para determinar sus asociaciones de facies y ambientes sedimentarios y elaboración del informe.

Para la definición de las sublitofacies de la sección medida, se tomó como referencia a Farrel,⁹⁰ basándonos en la tabla universal de códigos para litofacies. (Figura 22).

Figura 22. Tabla internacional de códigos para las litofacies,

Texture		Attribute		Lithofacies Codes - Examples	
Code	Description	Code	Description	Code	Description
G	gravel	m	massive	sG gr	Graded sandy gravel
sG	sandy gravel	biot	bioturbated	smG df	Sandy muddy gravel with dissolution fabric
mG	muddy gravel	b	burrowed	msG ch	Chaotically bedded, muddy, sandy gravel
smG	sandy, muddy gravel	lam	laminated	(s)G mot	Mottled, slightly sandy gravel
msG	muddy, sandy gravel	b-lam	burrow-laminated		
		l	lenticular bedding	S m	Massive sand
S	sand	w	wavy bedding	S biot	Bioturbated sand
mS	muddy sand	f	flaser bedding	S b	Burrowed sand
gS	gravelly sand	gr	graded	S x	Crossbedded sand
gmS	gravelly muddy sand	gr-lam	graded laminates	S r-lam	Ripple-laminated sand
mgS	muddy gravelly sand	x	cross-bedded		
		ch	chaotic bedding	(m)S f	Flaser-bedded slightly muddy sand
M	mud	con	convoluted	mS b	Burrowed muddy sand
sM	sandy mud	s	swirling	gmS b-gr	Burrowed to graded gravelly, muddy sand
gM	gravelly mud	r	rippled		
gsM	gravelly mud	r-lam	ripple-laminated	M mp	Micropelletal mud
sgM	sandy gravelly mud	s-lam	swirling laminated	M lam	Laminated mud
		ml	mollic	(s)M l	Lenticularly bedded, slightly sandy mud
(g)	slightly gravelly	intr	intraclastic	sM b	Burrowed sandy mud
(s)	slightly sandy	df	dissolution fabric	(g)sM rt	Rooted, slightly gravelly sandy mud
(m)	slightly muddy	rt	root traces	sP b	Burrowed sandy peat
(c)	slightly clayey	mot	mottled		
(z)	slightly silty	org	plant debris		
	Other	dis	disturbed		
C	clay	rt-mot	root-mottled	G/S	Interbedded gravel and sand, gravel dominant
Z	silt	rh	rhythmically layered	S/G	Interbedded sand and gravel, sand dominant
c	clayey	bnd	banded	S/M w	Wavy bedded sand and mud (interbedded)
z	silty	cem	cemented	M/S l	Lenticularly bedded mud with subordinate sand
/	interlayered	p	pelletal	M/G	Interbedded mud and gravel, mud dominant
P	peat	mp	micropelletal	mSb/sM l	Rhythmic interbeds of burrowed muddy sand and lenticularly bedded sandy mud.
		lig	lignitic		
					Heterolithic Strata
				G/S	Interbedded gravel and sand, gravel dominant
				S/G	Interbedded sand and gravel, sand dominant
				S/M w	Wavy bedded sand and mud (interbedded)
				M/S l	Lenticularly bedded mud with subordinate sand
				M/G	Interbedded mud and gravel, mud dominant
				mSb/sM l	Rhythmic interbeds of burrowed muddy sand and lenticularly bedded sandy mud.

Fuente: Tomado de Farrell, *et al.*, 2012

⁹⁰ Farrell, K. M., W. B. Harris, D. J. Mallinson, S. J. Culver, S. R. Riggs, J. Pierson, J. M. Self-Trail, and J. C. Lautier. 2012 "Standardizing Texture and Facies Codes for A Process-Based Classification of Clastic Sediment and Rock." *Journal of Sedimentary Research* 82.6: 364-378.

8. RESULTADOS

8.1 FACIES SEDIMENTARIAS Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Estudios previos sobre la estratigrafía del Grupo Guadalupe en distintas zonas del país han arrojado resultados que ubican la secuencia de rocas entro de un ambiente de depositación de aguas marinas poco profundas y zona de plataforma con biostromas (*Fabre, 1986 en*⁹¹), marino cercano a la playa⁹², y marino somero⁹³⁹⁴, cabe resaltar que por su gran extensión el Grupo Guadalupe presenta cambios laterales de facies como se muestra en la figura 6.

Las facies sedimentarias son definidas como cualquier parte restringida arealmente de una unidad estratigráfica designada la cual exhibe caracteres significativamente diferentes de otras partes de la unidad, (*Moore, 1949, en*⁹⁵).⁹⁶, considera las facies sedimentarias como un cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litologías, estructuras físicas y biológicas que le otorgan un aspecto diferente de las cuerpos de roca encima, debajo y lateralmente adyacentes.

⁹¹ Ulloa, C., Rodríguez, E., y Rodríguez, G., 2001. Geología de la plancha 172 Paz de Río. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 73-81.

⁹² González Pulido, Orlando. Gomez Villalba, Luz Stella, 2001. "Geologia de la Plancha 266 Villavicencio": Memoria explicativa. Bogota D.C.: INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería.

⁹³ Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." Basin Research 21.1: 111-137.

⁹⁴ Ramirez Arias, Juan Carlos, Mora, Andrés, Rubiano; Jorge, Duddy, Ian, Parra, Mauricio; Moreno, Nestor; Stocli, Daniel; Casallas, Wilson, 2012. "The asymmetric evolution of the Colombian Eastern Cordillera. Tectonic inheritance or climatic forcing? New evidence from thermochronology and sedimentology." Journal of South American Earth Sciences 39: 112-137.

⁹⁵ Selley, Richard C.. Applied sedimentology. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2000.

⁹⁶ Walker, Roger G, 1992. *Facies models*. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

Las asociaciones de facies son elementos estructurales básicos de un ambiente particular de depósito, teniendo en cuenta los controles externos del sistema, como cambios eustáticos del nivel del mar, cambios en la velocidad de aporte de sedimentos y subsidencia local⁹⁷. De acuerdo con nuestra interpretación se reconocieron 12 caracterizaciones litológicas (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterizaciones litológicas de la secuencia.

	Código Litológico	Descripción	Interpretación
1	Sw	Areniscas con estratificación ondulosa no paralela.	Alternancia entre un régimen de flujo bajo y depositación de los sedimentos en suspensión.
2	Slw	Areniscas con estratificación ondulosa no paralela y lenticular (Tipo Flaser?).	Alternancia entre un régimen de flujo bajo y depositación de los sedimentos en suspensión.
3	Mlw	Lodolitas con laminación ondulosa no paralela y lenticular, con lentes de arenas.	Depositación de sedimentos en suspensión y alternancia con regímenes de flujo bajo.
4	(g)S	Areniscas ligeramente gravosas, con laminación ondulosa no paralela y tipo Flaser, con bajo porcentaje de líticos.	Depósitos de sedimentos por carga de fondo, régimen de flujo bajo.
5	cZ lw	Limolitas Arcillosas con laminación ondulosa no paralela y lenticular.	Depositación de sedimentos en suspensión de un régimen de flujo bajo.
6	S x	Areniscas con estratificación cruzada paralela, con presencia de líticos	Depósitos en régimen de flujo alto de sedimentos por carga de fondo.
7	S lam	Areniscas con laminación plana paralela.	Depositación de sedimentos por carga de fondo en régimen de flujo alto.
8	Mw/Slw	Heterolíticos de shale gris oscuro, poseen laminación ondulosa y Flaser, areniscas de grano fino a medio, color gris claros.	Caída en el nivel del mar pasando de depósitos de material en suspensión a depósitos de material por carga de fondo.
9	Slw/ Mw	Heterolíticos de areniscas de grano fino a medio, color gris claros, y shale	Incremento en el nivel del mar pasando de depósitos de material por carga de

⁹⁷ 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, v. 20, p. 3-66.

	Código Litológico	Descripción	Interpretación
		gris oscuro, poseen laminación ondulosa y Flaser.	fondo a depósitos de material en suspensión.
10	M lam	Shale con intercalaciones de capas muy finas y finas de areniscas.	Depósitos de sedimentos en suspensión, en aguas tranquilas.
11	S xt	Areniscas con estratificación cruzada en artesa.	Depósitos de dunas en bancos de arenas.
12	(g)S x	Areniscas con estratificación cruzada grano creciente de medio a gránulos.	Bancos de arenas de régimen de flujo bajo.

8.2 FACIES SEDIMENTARIAS

SEGMENTO A

Comprendido entre los metros 0 y 45.50 de nuestra columna estratigráfica (Figura 25), se determinó la asociación de facies **FA**, y su ambiente de sedimentación fue interpretado **Parte distal de la barra de desembocadura**, en donde según⁹⁸, las facies heterolíticas son dominantes y poseen superficies de reactivación. Estos sedimentos fueron depositados en la llanura deltaica externa, por debajo de la acción del oleaje, donde se da la interacción de procesos fluviales y marinos y que alcanza hasta el límite superior de la marea

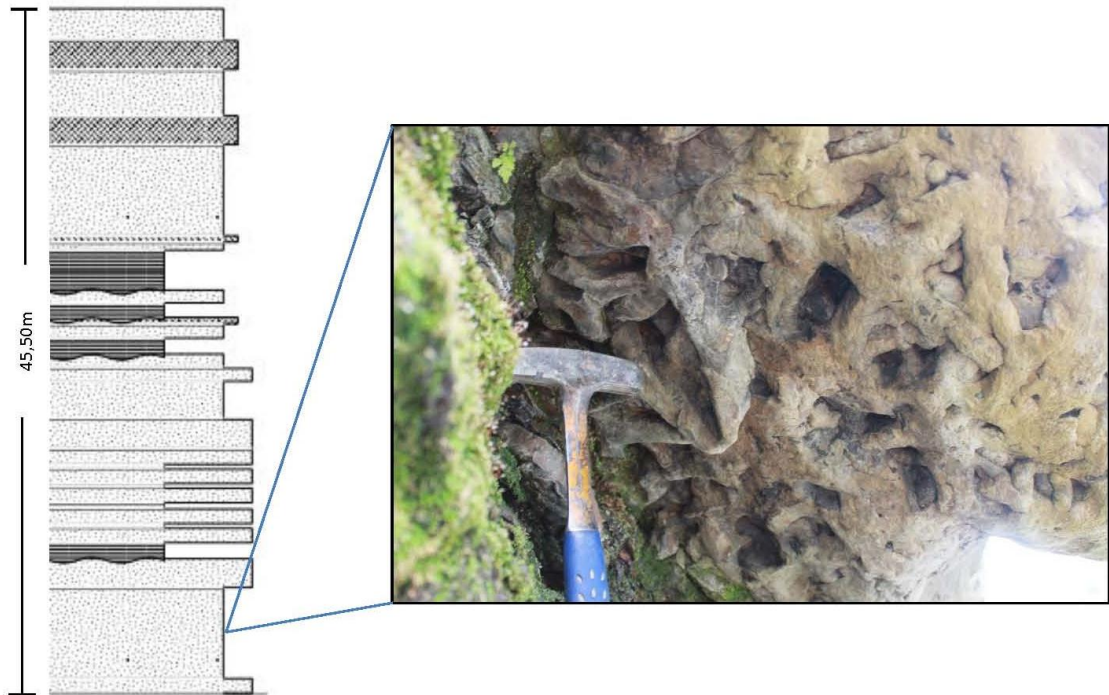
(*Coleman y Prior, 1982; Coleman, 1976 en*⁹⁹), y alcanza a la zona de transición de plataforma a offshore, la cual se extiende desde la base de la zona principal de mareas en donde es caracterizada por alternaciones de condiciones de alta y baja energía, en las cuales durante las etapas de tranquilidad del clima (sin acción de tormentas), los sedimentos de grano fino por suspensión con presencia de materia

⁹⁸ Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

⁹⁹ *Ibíd.*

orgánica se depositan¹⁰⁰, con presencia de icnofósiles de *Thalassinoides* (Figura 23) y tubos en forma de U horizontales y verticales que pueden ser ofiomorfas, que hacen parte de la icnofacies *Skolithos*, propios de la zona sublitoral del delta¹⁰¹.

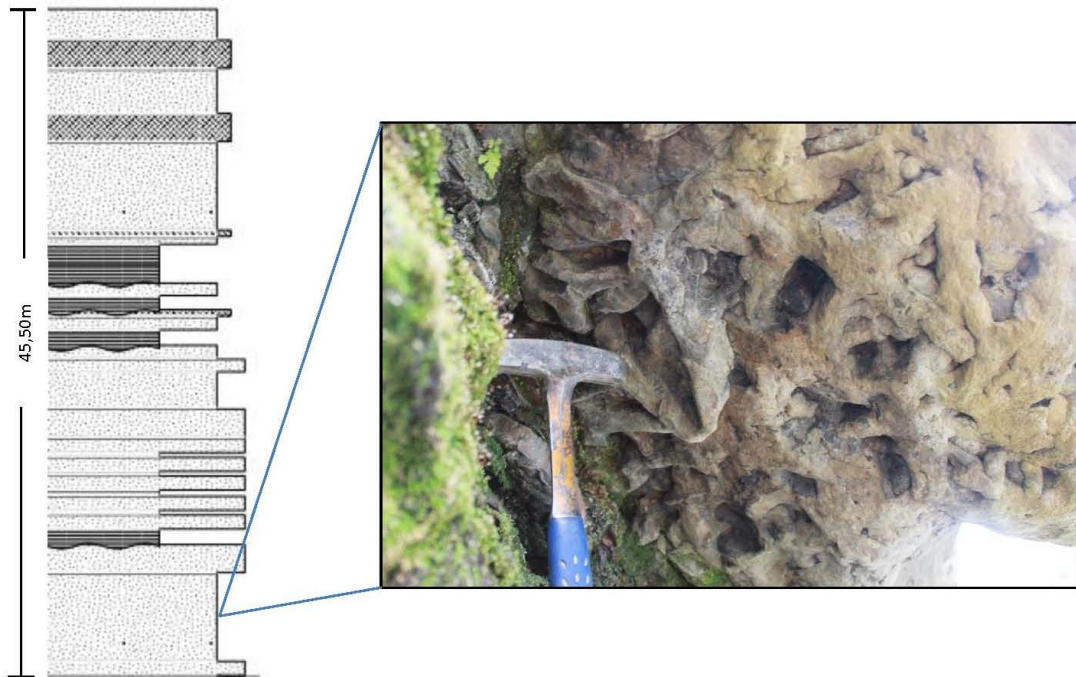
Figura 23. Detalle de thalassinoides en la base de una de las capas pertenecientes a las facies de *Skolithos* según Walker, 1992.



¹⁰⁰ Reading, H. G, 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

¹⁰¹Walker, Roger G, 1992. *Facies models*. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

Figura 24. Modelo de columna estratigráfica para el segmento A

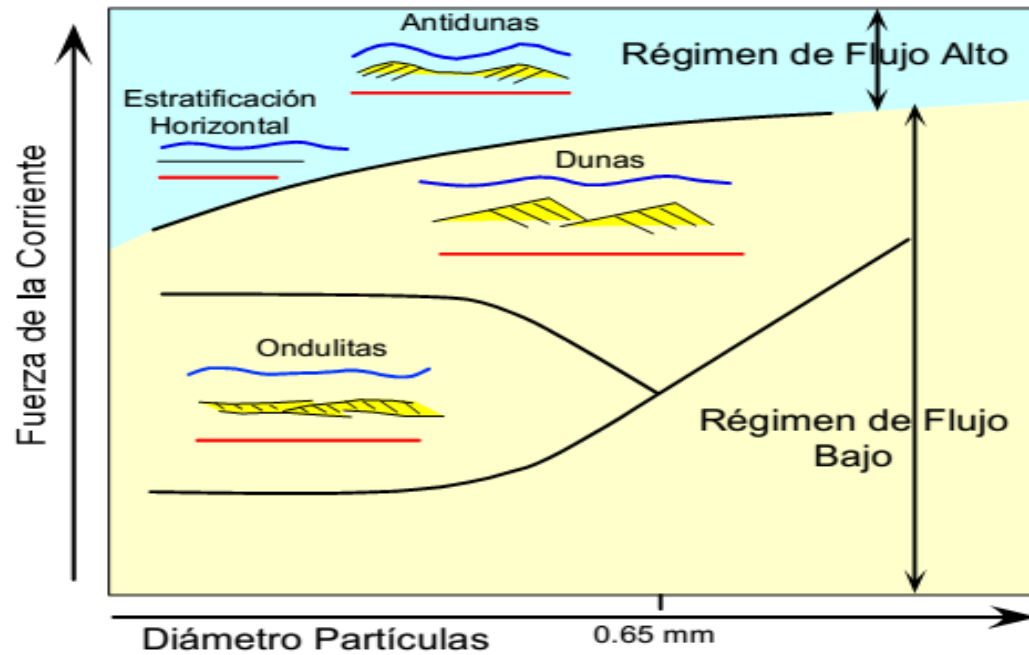


La secuencia la depositación de las facies **Sw** y **Slw** de este segmento fueron dominadas por mareas, que según¹⁰²“resultan de la atracción gravitacional ejercida sobre el océano o las aguas de los lagos por la luna y el sol, con la luna teniendo más de dos veces el efecto del sol”, las cuales durante su retirada depositaban arenas de grano fino y medio, y en la subienda de estas los materiales en suspensión con aporte de materia orgánica, por acción de la gravedad eran depositados, dando una alternancia de colores negro y beige en las rocas (Figura 26), que posteriormente fueron intensamente bioturbados, homogenizando la rocas y dándoles ese aspecto y combinación de colores. También se observan dos capas con estratificación cruzada, de 1 m de espesor (**Sx**), lo que nos sugiere un aumento en la energía de la corriente y que provocó que el régimen de flujo aumentara un poco (Figura 25). El hecho de que en algunos sectores que no están intensamente bioturbados y se encuentre

¹⁰² Reading, H. G, 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

estratificación plana paralela (**Slam**) a ondulosa, con algunas ondulitas preservadas, sugiere que los sedimentos estuvieron eventualmente sometidos a la acción de oleaje diario normal¹⁰³.

Figura 25. Esquema de las estructuras sedimentarias según el régimen de flujo y el tamaño del grano, Selly, 1998.



¹⁰³ 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, v. 20, p. 3-66.

Figura 26. Fotografía representativa de la asociación de facies FA, entre los metros 40 y 45 de sección.



Las facies **cZw** y **Mlw** fueron interpretadas como tiempos de inundación de la cuenca, en los la deposición de lodos gobernados por un régimen de flujo bajo, y las facies **Slw/ Mw**, que son facies heterolíticas marcan la transición paulatina hacia una cuenca más profunda posterior.

Este segmento es considerado como el miembro inferior del Grupo Guadalupe denominado como Arenitas de San Antonio¹⁰⁴, y se observa una reducción de su espesor pasando desde 214.8 m en su localidad tipo sobre la quebrada San Antonio ubicada a 5 Km al W/NW del municipio de San Luis de Gaceno, departamento de Cundinamarca¹⁰⁵, y en nuestra sección se midió un sección de tan solo 50 m, este cambio de espesor es producto de la interacción tectónica que actuaron durante el Campaniano-Paleoceno.

¹⁰⁴ 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, v. 20, p. 3-66.

¹⁰⁵Ibíd.

Este segmento es de edad Campaniano temprano¹⁰⁶ para el área de San Luis de Gaceno.

SEGMENTO B

Se decidió dividir el segmento **B** en dos segmentos diferentes **B1** y **B2**, debido a que la relación lodos/arenas es diferente para cada uno. El **Segmento B1**, comprendido entre los metros 45.50 y 70.5 de la secuencia medida, se encuentra caracterizado principalmente por facies finas (**M lam**) depositadas en aguas tranquilas intercaladas y **Mw** depositadas en un tiempo de más energía, tal vez afectado por tormentas sobre ellas, con algunas facies **Slw** (Figuras 27 y 28), fue interpretado como el **pro delta** o **Bottom set** del delta, cuya litologías típicas son lodolitas laminadas o bioturbadas de aguas quietas, depósitos de flujo de masas, incluyendo turbiditas y muchos tipos de facies deformacionales¹⁰⁷, aunque hacia la parte superior del segmento reflejan periodos de agitación con algunas capas depositadas con estratificación ondulosa, y presentan bioturbación en algunas capas. También se evidenció esporádicamente que en algunas capas hay presencia de pirita (Figura 29) lo que indicaría gran contenido de materia orgánica y estaría de acuerdo con las condiciones anóxicas del pro delta^{108,109}, o por bioturbación que posteriormente fue reemplazada por pirita. Las arenas se encuentran dispuestas en capas de 5 a 15 cm de espesor alguna de ellas con cemento calcáreo, evidenciando una caída relativa del nivel del mar o un incremento en el suministro de sedimentos producida por una energía intensa en la costa que asegura que los sedimentos más finos sean transferidos hacia el

¹⁰⁶ 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, v. 20, p. 3-66.

¹⁰⁷ Reading, H. G, 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

¹⁰⁸ Ibid.

¹⁰⁹ Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

frente de delta (*delta slope*) y el prodelta¹¹⁰. En este segmento se encontró bioturbación esporádica como tubos en forma horizontal.

Figura 27. Fotografía representativa de la asociación de facies FB1, entre los metros 55 y 59 de la sección.



¹¹⁰ Reading, H. G, 1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science

Figura 28. Modelo de columna estratigráfica para el segmento B1

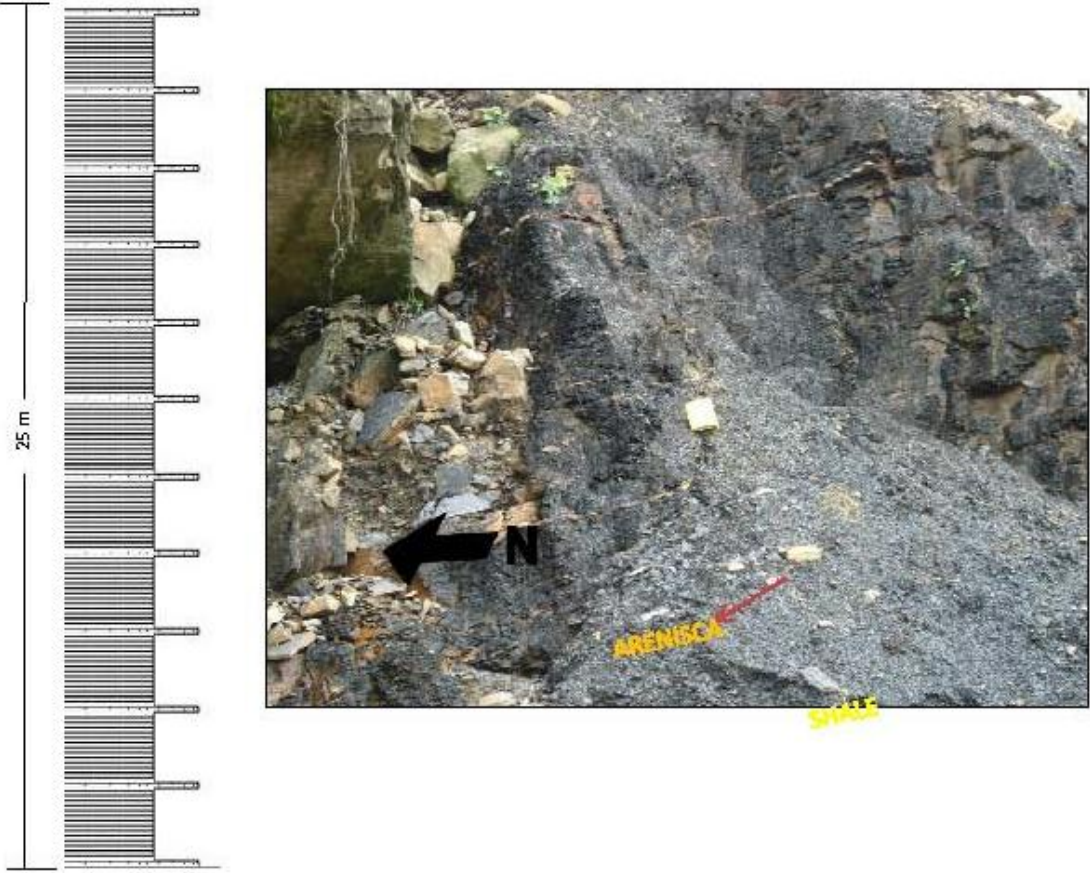
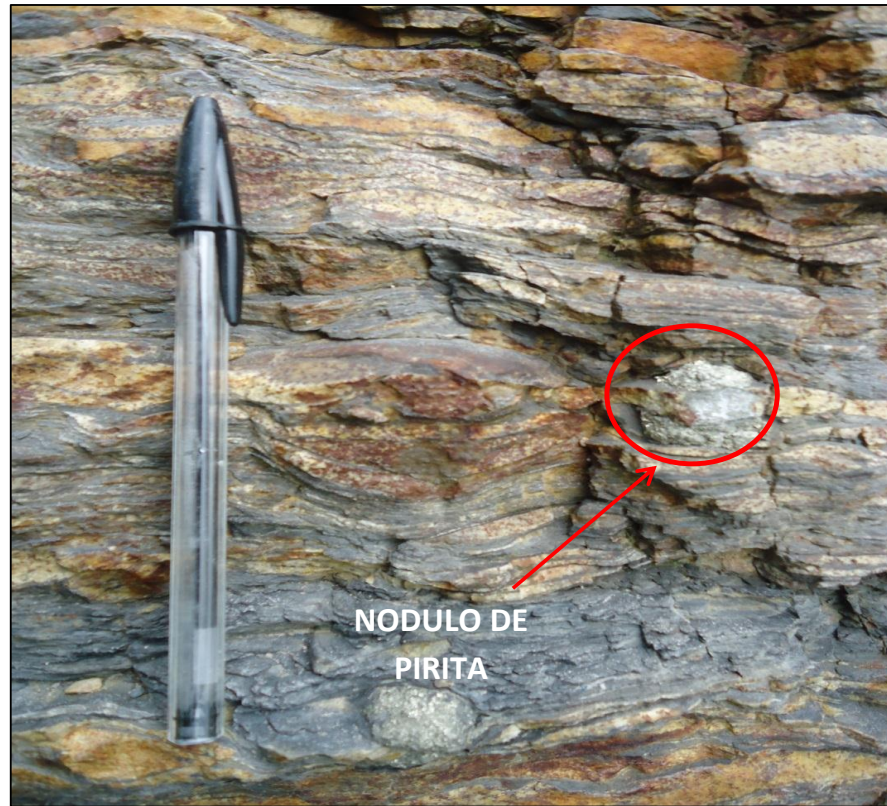


Figura 29. Nódulo de pirita que evidencia un ambiente reductor, ubicada en el metro 69 de la sección levantada



El **segmento B2** el cual se encuentra entre los metros 70.50 a 102.50 de la secuencia estudiada, está caracterizado en su parte más profunda por la facie **FB2** (Figura 31), muestra una secuencia regresiva representada por lodolitas con estratificación ondulosa, seguida por heterolíticos con predominancia de láminas de lodos, más arriba en la secuencia se encuentran intercalaciones de Arenas de grano fino a medio intercaladas con lodos; la relación arena/lodos varía dependiendo de la energía que dominaba en el momento de la depositación, y en termina con capas de arenas grano crecientes de fino a medio con intensa bioturbación y precipitación de cemento calcáreo, que representan una caída en el nivel del mar (Figuras 30 y 32). Las capas de finos (lodos) presentan bioturbación en las que se encontraron icnofósiles de *Thalassinoides* y tubos horizontales en forma de U, que indican una somerización con respecto a las rocas infrayacentes.

Hacia la parte superior de este segmento se encuentran una secuencia que comienza a presentarse una secuencia de 3m de espesor que comienza con una capa de shale que fueron depositados por debajo de la línea de acción del oleaje y termina en una capa de arenisca de grano medio dispuestas en forma de canales, que presentan estratificación cruzada, líticos (5%), y glauconita (5%), pirita (3%) y cemento calcáreo el cual fue corroborado mediante una sección delgada hecha a partir de una muestra extraída de estas arenas (Figura 33); lo que nos indica un ambiente marino más somero, pasando por una capa de heterolíticos con predominancia de lodos hacia la base y hacia el tope de la capa las láminas de arenas son más representativas. Este segmento es interpretado como el inicio de la regresión que presenta el sistema deltaico, comenzando desde el prodelta caracterizado por material que en suspensión depositado en aguas tranquilas comúnmente muy bioturbados y que progresa hacia aguas más profundas en materiales más finos¹¹¹ y llegando a la parte distal de la barra ubicada en la planicie deltaica externa en donde observamos características similares a las del segmento **A** previamente descrito, pasando por el frente de delta principalmente más arenoso que el prodelta y en donde los sedimentos los sedimentos depositados son producto de una mezcla entre los procesos de inercia, fricción y flotabilidad que se presentan dependiendo de la naturaleza del efluente que los transporta y la cuenca en la que se depositan, así cuando la carga de sedimentos es baja, el proceso dominante es la flotabilidad, mientras que la fricción y la inercia son procesos que rigen cuando la descarga de sedimentos es grande, (*Wright & Coleman, 1974 en*¹¹²). Esta interpretación se hizo teniendo en cuenta la desaparición paulatina de las capas de lodos y el aumento en ocurrencia y espesor de las arenas y sus estructuras, aunque por la sucesión observada se interpretó que el alza en el nivel relativo del mar tuvo que ser muy rápida.

¹¹¹Walker, Roger G, 1992. *Facies models*. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

¹¹² Reading, H. G, 1996. *Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

Figura 30. Tope de la sección donde se evidencia la presencia de canales

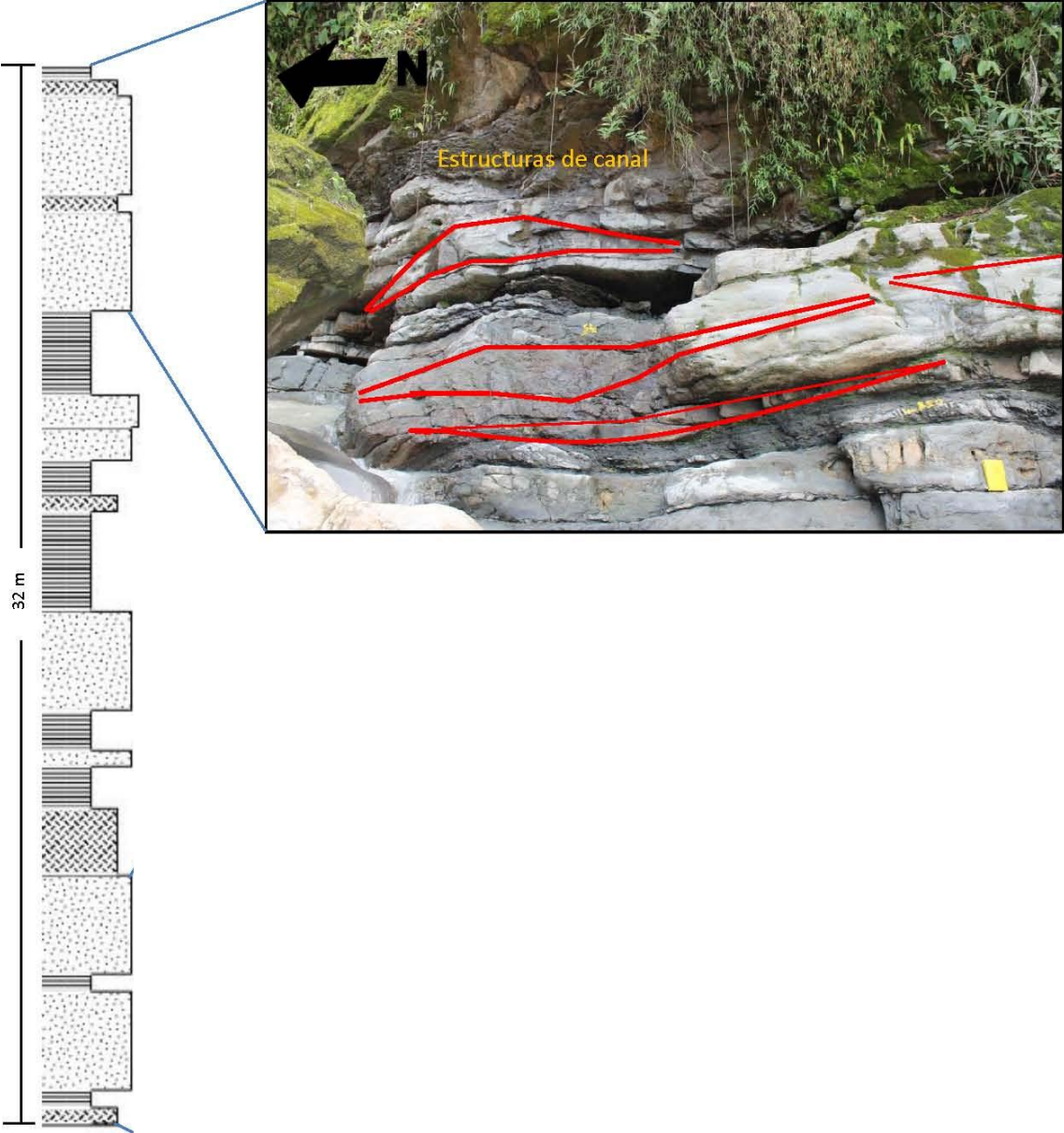


Figura 31. Base de la sección donde se muestra la disposición de las capas que contienen cemento calcáreo y glauconita

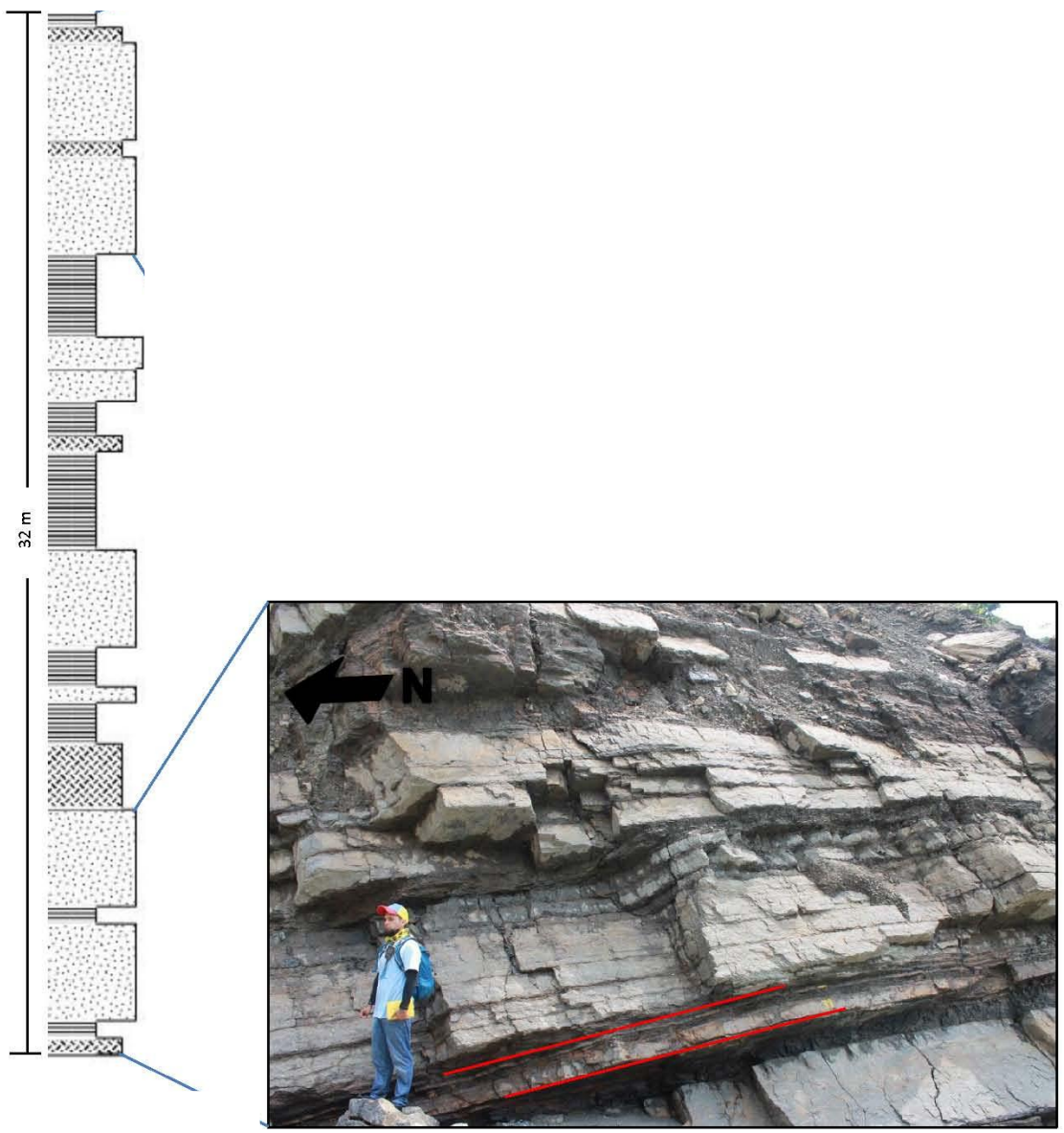
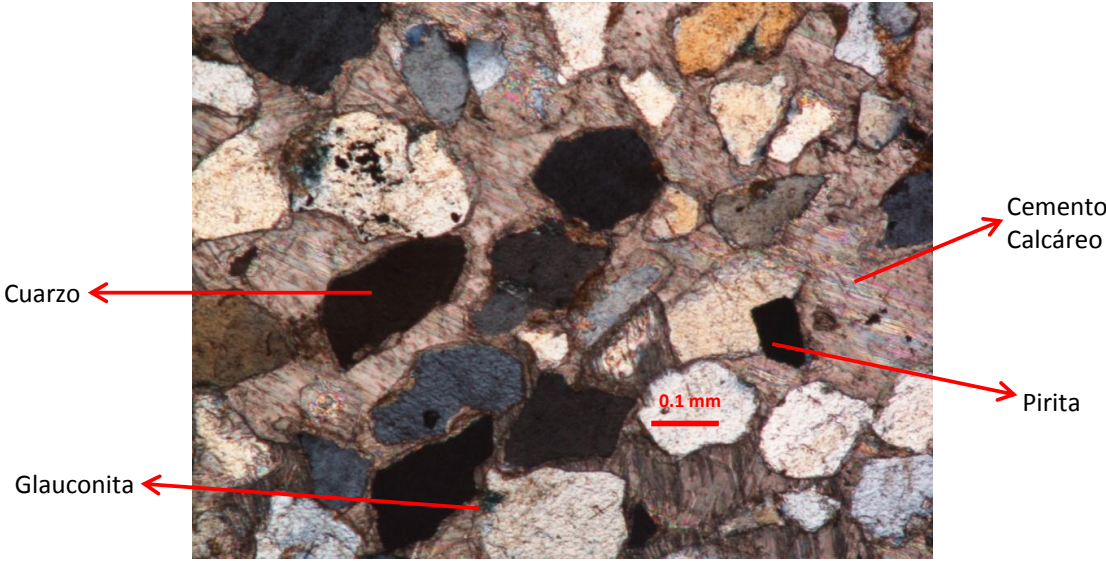
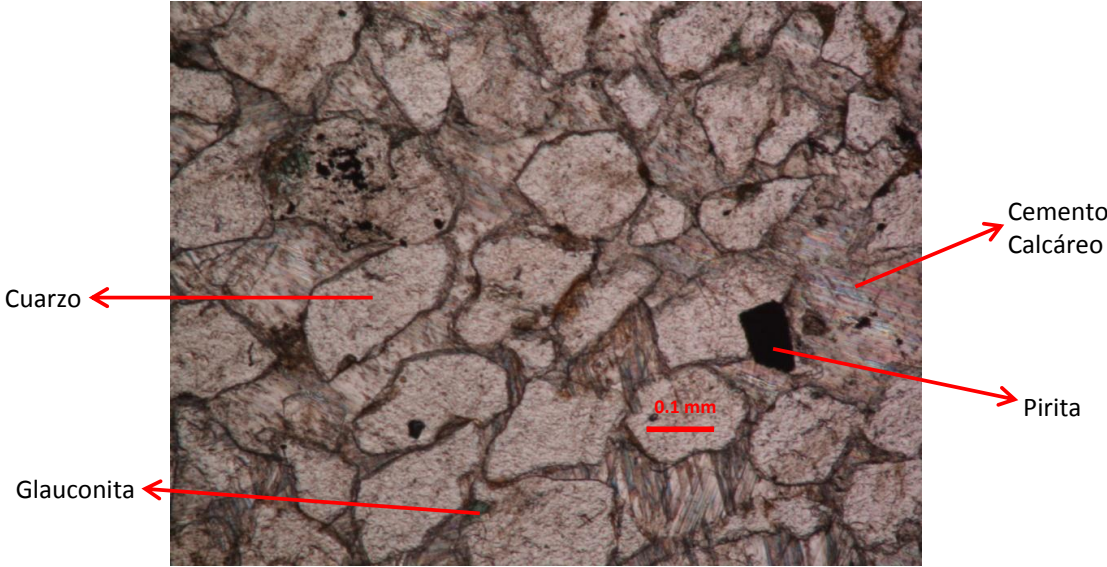


Figura 33. Sección delgada de las capas de areniscas mostradas en las Figuras 30 y 32, en donde se muestran el cemento calcáreo, la pirita y la glauconita encontrada en estas rocas. A) Nicones Paralelos. B) Nicones cruzados. Muestra tomada en el metro 200 de la sección medida.



Estos segmentos son considerados como el miembro medio del Grupo Guadalupe denominado como Lodolitas de Aguacaliente¹¹³, y se observa una reducción de su espesor pasando desde 157.5 m en su localidad tipo sobre la quebrada San Antonio¹¹⁴, y en nuestra sección se midió un espesor total de 57 m.

Según datos de palinología estos segmentos son de edad Campaniano Tardío,¹¹⁵.

SEGMENTO C

Está ubicado a partir del metro 102.50 de la secuencia medida y va hasta el metro 232 el cual marca el final de la sección, este segmento se encuentra representado por una secuencia que Comienza con capas de medias y gruesas de alternancia de areniscas de grano fino (oscura) y muy fino (clara) (Figura 37) esta última es la más predominante en algunas ocasiones, presentan estratificación ondulosa (**Sw**), y esporádicamente lenticular (**Slw**), en las que se reconocen algunas ondulitas. Estas capas son seguidas por areniscas de grano medio principalmente, con estratificación cruzada (**Sx**) muy potentes (hasta 9 m) (Figura 36), que representan los bancos de arenas que se forman en la desembocadura de los canales distributarios, o por la migración de las dunas subacuáticas, las cuales hacia la parte superior de la sección agrandan hasta llegar a granos de tamaño gránulos (**(g)Sx**), algunas de estas capas presentan forma de canales y poseen impregnación en Cebra (Figura 34). Siguiendo la secuencia encontramos capas gruesas y muy gruesas de Areniscas con estratificación cruzada en artesa (**Sxt**) (Figura 35) que representan un aumento en el régimen de flujo, posiblemente debido a una somerización de la cuenca, estas capas poseen algunas ondulitas en sus bases. La secuencia finaliza con capas medianas de Areniscas con

¹¹³ 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, v. 20, p. 3-66.

¹¹⁴Ibíd.

¹¹⁵Ibíd.

estratificación plana paralela (**Slam**), que representa un ambiente de mayor energía. Estas capas pueden estar separadas por capas delgadas de lodolitas con estratificación ondulosa (**Mw**), que marcan periodos de inundación, que posibilitaron la depositación de estos sedimentos. Los niveles oxidados son esporádicos al igual que la bioturbación, que está representada por tubos en forma de U horizontales y verticales, y se encuentran presentes en las capas de **Mw**, **Sw** y **Slw**. La secuencia muestra un aumento en el tamaño del grano, lo que representa un aumento en la fuerza de arrastre de la corriente, que se da en las partes someras de los sistemas deltaicos. Este segmento fue interpretado como dunas subacuáticas y canales distributarios que hacen parte de un ambiente de plataforma deltaica o *delta plain*, cercano a la costa. En este punto de la evolución del sistema deltaico las condiciones fluviales son las que gobiernan. Este segmento en particular es a nuestro criterio el de mayor interés, ya que su bajo porcentaje de matriz en las rocas que poseen un tamaño de grano de predominancia medio a grueso, y buena porosidad, reúne las condiciones importantes para poder ser considerada como un Reservorio de Hidrocarburos, ya que las rocas observadas en superficie se encontraban bastante impregnadas de ellos (Anexo 1).

Este segmento es considerado como el miembro Superior del Grupo Guadalupe denominado como Arenitas de San Luis de Gaceno perteneciente al Grupo Palmichal¹¹⁶, y se observa una reducción de su espesor pasando desde 149 m en su localidad tipo sobre la quebrada San Antonio¹¹⁷, y en nuestra sección se midió un espesor total de 129.5 m, esta es el miembro que sufrió menos reducción en su espesor total.

¹¹⁶ 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, v. 20, p. 3-66.

¹¹⁷ *Ibíd.*

Según estudios de Palinología en¹¹⁸, se le otorga a este segmento predominantemente arenoso la edad Maastrichtiano Temprano,

Figura 34. Impregnación en cebra, fotografía ubicada en el metro 200 de la sección.



¹¹⁸ 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, v. 20, p. 3-66.

Figura 35. Detalle estratificación en artesa, fotografía ubicada en el metro 205 de la sección levantada.



Figura 36. Vista general de las capas de arena potente. Fotografía ubicada entre los metros 146.5 y 155.5 de la sección medida



Figura 37. Modelo de columna estratigráfica para el segmento B2

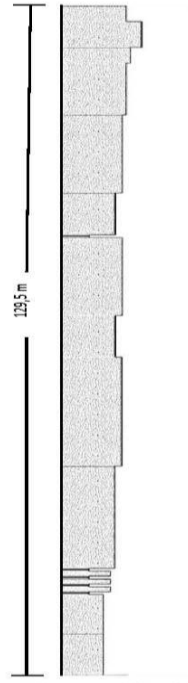


Tabla 2. Definición de cada una de las facies sedimentarias y los ambientes sedimentarios encontradas a partir de las facies definidas en la columna estratigráfica según autores.

	Segmento	Facies	Interpretación
FA	Desde 0 a 45.50 m	Capas de areniscas con laminación ondulosa y Flaser, de 1 a 3 metros de espesor, de forma tabular, e intensamente bioturbadas (Sw y Slw), alguna de ellas poseen Slam y Sx. Estas Areniscas se encuentran intercaladas con capas de lodolitas con laminación ondulosa y lenticular de hasta 1 m de espesor (cZw y Mlw), las cuales progradan desde arcillo-limosas hasta areniscas, formando capas intermedias de Heterolíticos (Slw/Mw) que se caracterizan por comenzar con láminas de lodolitas con algunas	Este segmento se interpretó como una barra de desembocadura de canal en su parte más distal, depositada en la planicie deltaica, con pequeñas fluctuaciones en el nivel relativo del mar, las cuales se hacen más comunes hacia el tope del segmento.

	Segmento	Facies	Interpretación
		láminas de areniscas de grano fino, las cuales hacia el techo de las capas aumentan en ocurrencia y tamaño.	
FB1	Desde 45.50 a 70.5 m.	Capas gruesas de shale de hasta 2.5 m de espesor con bioturbación esporádica (Mlam), intercaladas con capas delgadas de areniscas de hasta 15 cm de espesor con bajo porcentaje de líticos (Sw). Las capas de shale van cambiando de Mlam hacia Mw debido a que comienzan a presentar laminaciones onduladas y abundante materia orgánica evidenciada por la aparición de nódulos pequeños de pirita.	Prodelta que marca una profundización muy rápida de la cuenca, que permite la depositación de sedimentos en suspensión.
FB2	Desde 70.5 a 102.5 m.	Intercalaciones arrítmicas de lodolitas (Mw) de hasta 2.5 m con gran cantidad de bioturbación, estas capas están alternadas con capas gruesas (hasta 2 m) de Areniscas de grano fino a medio, con estratificación ondulada (Sw y Slw) y más hacia el final de la sección cruzada paralela (Sx) depositadas en forma de canales y con presencia de líticos 5% y glauconita 3% con cemento calcáreo, inclusive llegando a una laminación plana paralela (Slam), también se encuentran capas de medias a gruesas de Heterolíticos (Mw/Slw), y de arenas de grano fino con intercalaciones de hasta 5 cm de lodos (Sw).	Este segmento es interpretado como el inicio de la regresión que presenta el sistema deltaico, comenzando desde el Prodelta y llegando a la parte distal de la barra ubicada en la planicie deltaica externa en donde observamos características similares a las del segmento A. Por las características observadas en este segmento se evidencia una rápida somerización de la cuenca.
FC	Desde 102.5 a 232 m.	Hacia la base de este segmento se encuentran capas de medias y gruesas de areniscas de grano fino a medio con estratificación ondulada (Sw), y esporádicamente lenticular (Slw), en las que se reconocen algunas	Dunas subacuáticas, Canales y barras de desembocadura de estos en su zona proximal, depositadas en la planicie deltaica. Las capas de areniscas muy potentes

	Segmento	Facies	Interpretación
		<p>ondulitas. Estas capas son seguidas por areniscas de grano medio principalmente, con estratificación cruzada (Sx) muy potentes (hasta 9 m), que hacia la parte superior de la sección aumentan en su tamaño de grano hasta llegar a granos tamaño gránulos ((g)Sx), intercalados con capas gruesas y muy gruesas de Areniscas con estratificación cruzada en artesa (Sxt). La secuencia finaliza con capas medianas de Areniscas con estratificación plana paralela (Slam), estas capas pueden estar separadas por capas delgadas de lodolitas con estratificación ondulosa (Mw). Secuencia con presencia de glauconita casi constante en todas las capas y muy poca bioturbación.</p>	<p>representan los bancos de arenas que se forman en la desembocadura de los canales distributarios</p> <p>Las capas que poseen estratificación cruzada en artesa representan un aumento en el régimen de flujo, posiblemente debido a una somerización de la cuenca.</p> <p>Las capas con estratificación plana paralela representa un ambiente de mayor energía.</p> <p>Las Capas de Lodolitas con estratificación ondulosa marcan periodos de inundación, que posibilitaron la depositación de estos sedimentos</p>

En Resumen, la secuencia total del Grupo Guadalupe medida en las quebradas La Argentina y Las Blancas, muestra en su parte más profunda (Segmento **A**) una barra de desembocadura de canal en su parte más distal, depositada en la planicie deltaica, con pequeñas fluctuaciones en el nivel relativo del mar, las cuales se hacen más comunes hacia el tope de este segmento, con una posterior profundización de la cuenca que permite depositar el segmento **B1** marcando una retrogradación de la secuencia hacia un ambiente de Prodelta, en donde se permite la depositación de los sedimentos que se encontraban siendo transportados por suspensión. A partir del segmento **B2** interpretado como el comienzo regresión que presenta el sistema deltaico, comenzando desde el prodelta y llegando a la parte distal de la barra ubicada en la planicie deltaica externa en donde observamos características similares a las del segmento **A**. La

secuencia muestra una progradación del delta hacia el mar, marcada por la aparición de capas muy potentes de areniscas con estratificación cruzada paralela y en artesa, al igual que el aumento en el tamaño del grano hasta llegar a gravas de tipo gránulos, estas capas depositadas de forma tabular y en algunos casos muestran una geometría de canal, que son las características principales del último segmento (**C**), al que se le dio una interpretación de dunas subacuáticas, canales y barras de desembocadura de estos en su zona proximal, depositados en la llanura deltaica o *delta plain*.

Tabla 3. Relación entre los segmentos determinados en la secuencia y el evento transgresivo y regresivo reconocidos en la misma.

SEGMENTO		EVENTO
C		REGRESION
B	B2	
	B1	TRANSGRESION
A		

Tabla 4. Correlación entre los segmentos A, B y C con el trabajo de Guerrero y Sarmiento (1996).

Edad	Guerrero y Sarmiento, 1996		Figuroa y Arenas, 2014
Eoceno Tardío	Mirador		Mirador
Paleoceno - Tardío	Barco		Barco
Paleoceno Temprano – Tardío	Cuervos		Cuervos
Maastrichtiano Temprano	Grupo Palmichal	Arenitas de San Antonio	Segmento C
Campaniano Tardío		Lodolitas de Aguacaliente	Segmento B
Campaniano Temprano		Arenitas de San Antonio	Segmento A
Turoniano – Santoniano	Fm – Chipaque		Fm. Chipaque

8.3 GAMMA RAY

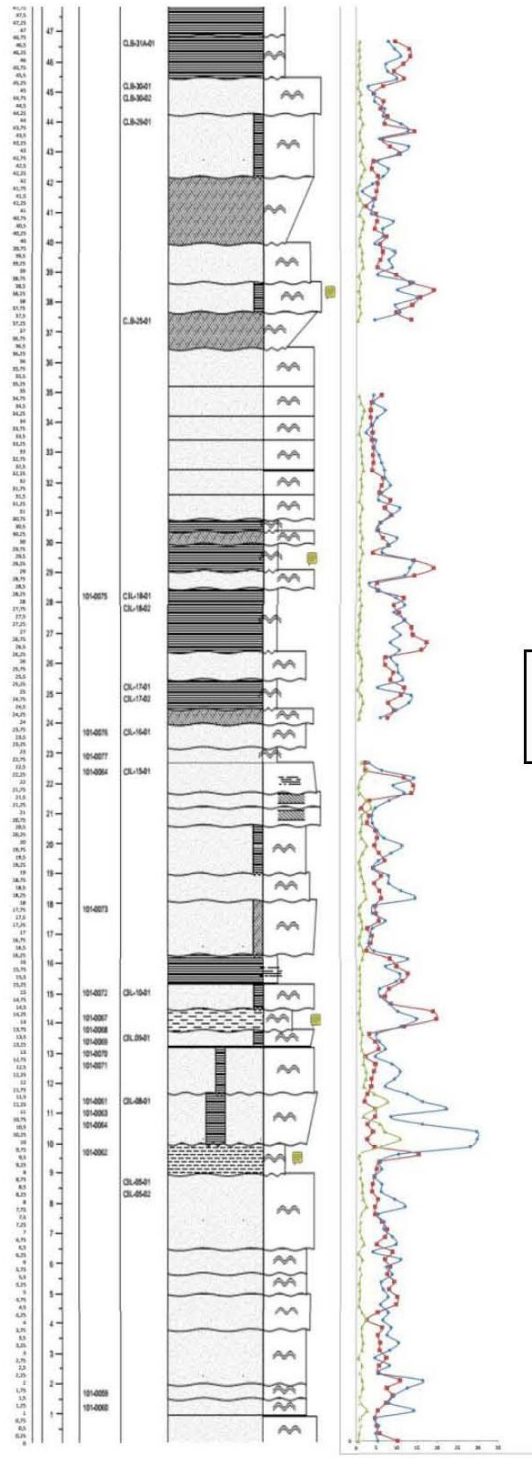
El registro tomado en la sección, muestra que para el segmento A, los valores de la curva de Torio llegando hasta 30 ppm y son mayores que los valores de la curva de Uranio los cuales durante casi todo el segmento se encuentran entre 0 y 10 ppm, los picos de Torio (30 ppm aproximadamente) junto con un bajo porcentaje de los valores de Uranio, el cual puede ser oxidado a una forma muy soluble y posteriormente lixiviado¹¹⁹ y con la relación Th/U alta (10 aproximadamente) indican un ambiente predominantemente oxidante¹²⁰. Este segmento está caracterizado por que los valores tanto de U como de Th se asemejan entre sí, pero existen varios picos de Th lo que ayuda a la interpretación dada a este tramo de la secuencia, que se cree que fue depositada en la llanura deltaica externa, por debajo de la acción del oleaje, donde se da la interacción de procesos fluviales y marinos y que alcanza hasta el límite superior de la marea ya que la concentración de la relación Th/U disminuye a medida que la zona de deposición de los sedimentos se va alejando de la costa Koczy, (1949)¹²¹, y en este segmento se observa dicho comportamiento como se observa en la (Figura 38). Los picos de Uranio que sobrepasan los 10 ppm llegando incluso hasta 20 ppm pueden representar estratos fosfáticos o pueden ser debidos a minerales radiactivos como zircones que posean en su estructura molecular Uranio.

Figura 38. Registro Gamma Ray para el Segmento A.

¹¹⁹ Adams.J., Weave. C. 1958.Thorium-to-Uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Example of concept of geochemical, Facies.AAPG Bulletin, Vol 42 No.2, pp 387-430.

¹²⁰Ibid.

¹²¹ Adams.J., Weave. C. 1958.Thorium-to-Uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Example of concept of geochemical, Facies.AAPG Bulletin, Vol 42 No.2, pp 387-430.



ROJO	URANIO
AZÚL	THORIO
VERDE	Th/U

El segmento B, muestra en su medición de Gamma Ray que la relación entre el Torio (Th) y el Uranio (U) cambia, allí observamos que los valores que se obtuvieron para el U son superiores a los de Th, con la relación Th/U por debajo de 2, estas características según¹²², en su trabajo de 1958, son característicos de un ambiente reductor, lo que favorece y sustenta la idea del ambiente de depositación propio del Prodelta para este tramo de la secuencia, acompañado de esto se encuentran los nódulos de pirita que se pueden representar esporádica bioturbación que fue reemplazada por pirita debido a la educción que gobernaba, interpretación dada para el segmento B1 (Figura 39).

Nuevamente el aumento de los valores de ppm para el Th y la disminución para el U, representan un cambio en el ambiente de depositación de estos sedimentos, hacia una zona más cercana a la costa, es decir marcan una regresión de la cuenca, y observamos que las curvas se van acercando a valores relativamente parecidos a los observados en el segmento A (Figura 40), esto nos ayuda a ratificar que la secuencia efectivamente refleja una regresión del mar y pasamos de un ambiente netamente reductor a un ambiente más oxidante, que es el mismo cambio que se observa del segmento B1 al B2

¹²² Adams.J., Weave. C. 1958.Thorium-to-Uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Example of concept of geochemical, Facies.AAPG Bulletin, Vol 42 No.2, pp 387-430.

Figura 39. Registro Gamma Ray para el segmento B1

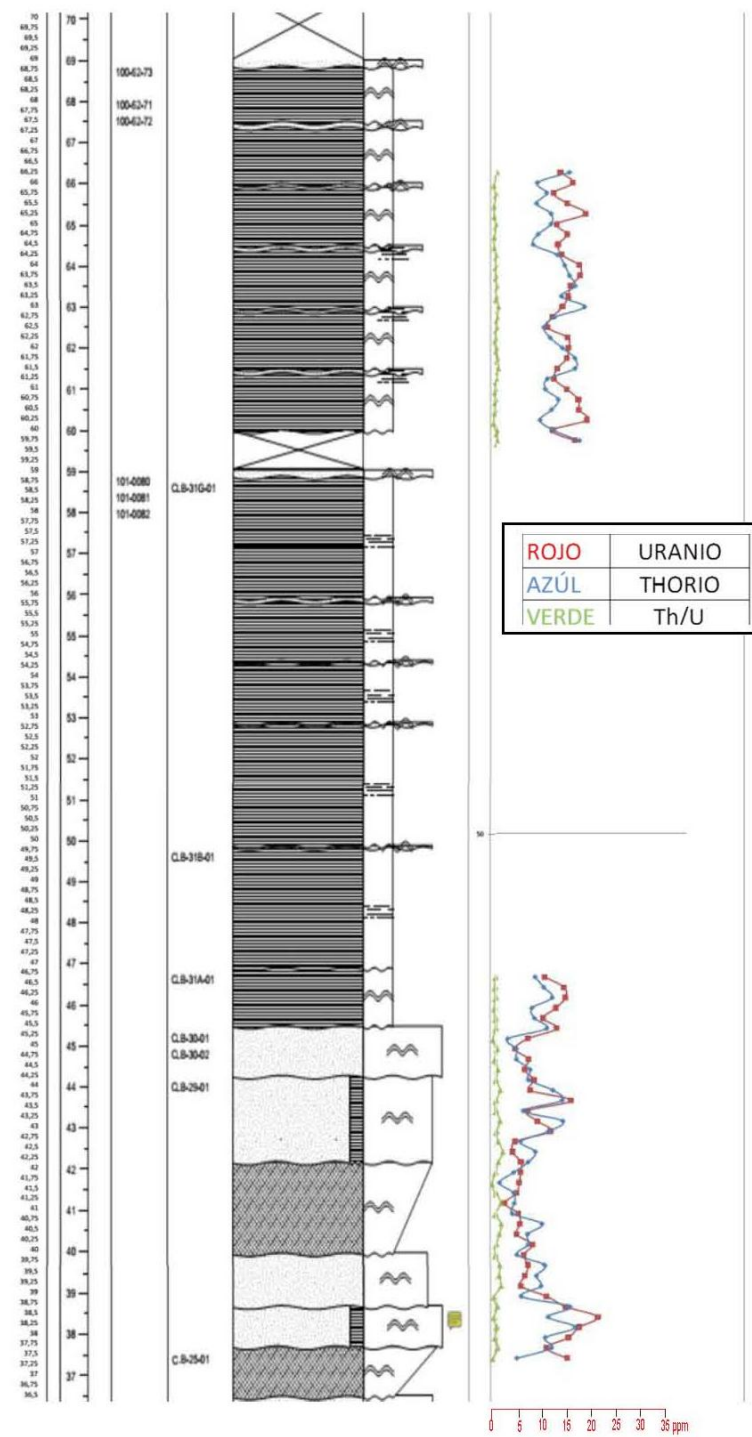
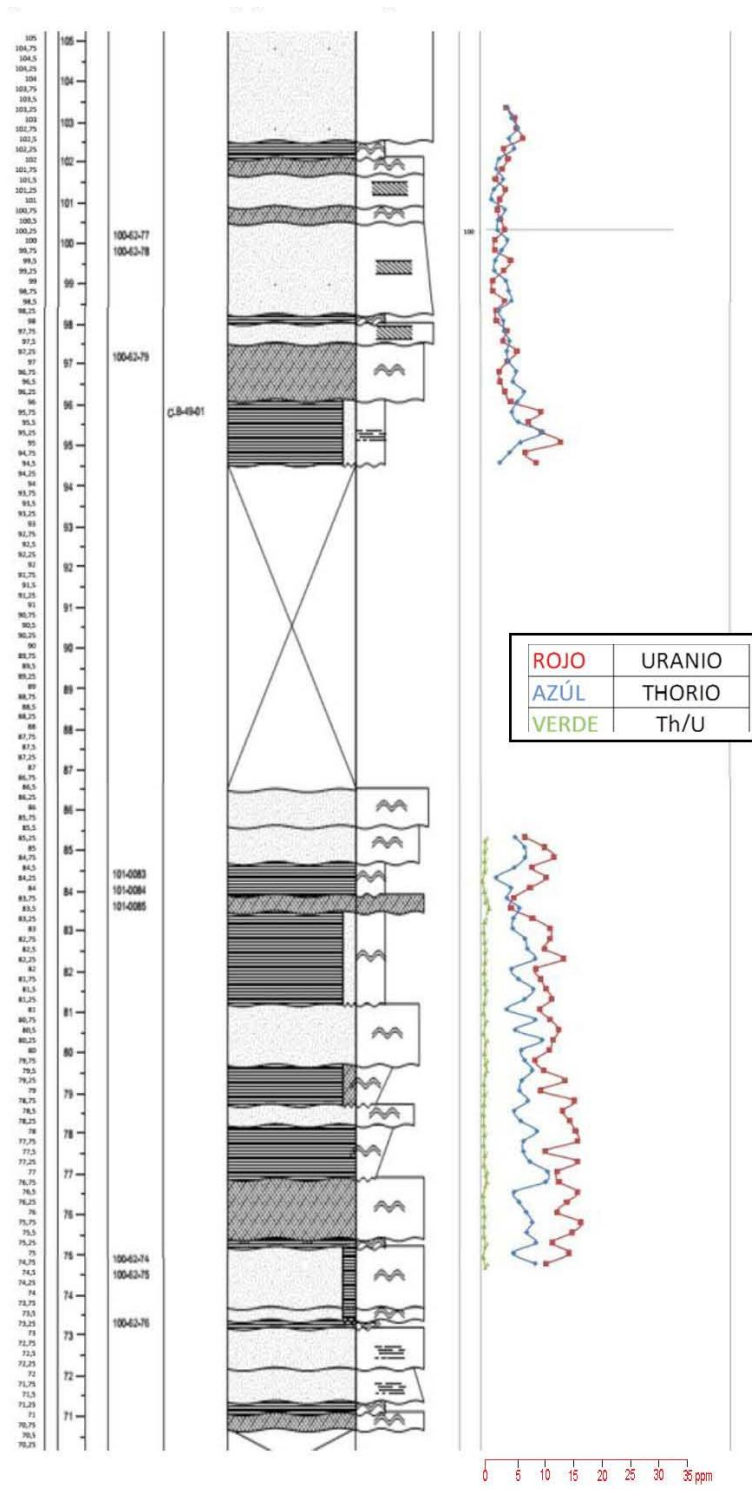


Figura 40. Registro Gamma Ray para el segmento B2

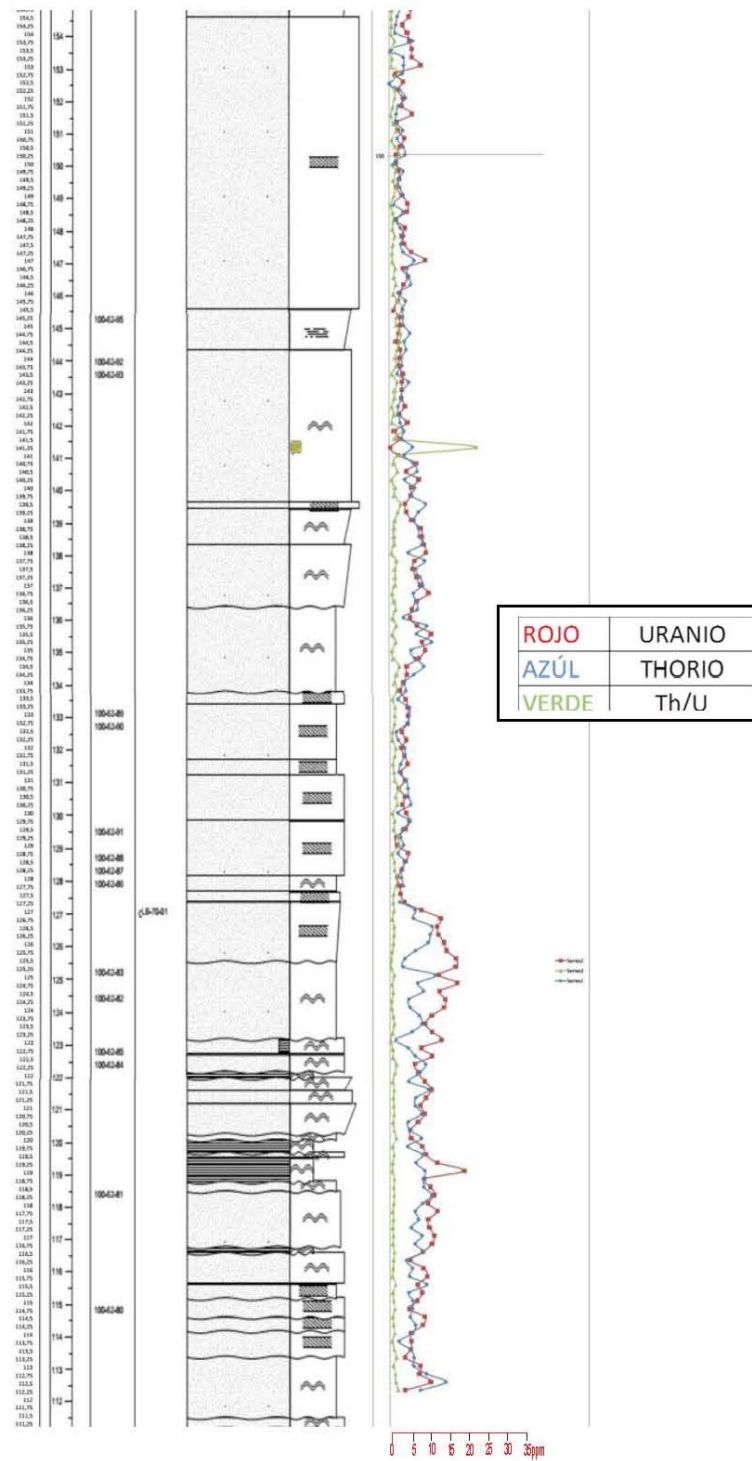


Según la gráfica del registro de Gamma Ray, se observa que para el Segmento C (Figuras 41 y 42), en su parte más profunda, los valores de U son un poco mayores que los de Th, lo que explicaría la falta de bioturbación debido a su ambiente reductor, yendo hacia arriba en la secuencia se encuentra que los valores para de Th y U, son muy parecidos. Algunos picos pequeños de U se dan posiblemente por la proveniencia continental de los sedimentos que se depositaron, esta curva ratifica que el ambiente es cercano a la costa ya que en algunos sectores el valor de la relación Th/U aumenta y el valor de U decreció en comparación con el segmento infrayacente (segmento B). Estos valores marcarían la continuidad de la regresión de la somerización de la cuenca.

Este Registro fue tomado para tener en cuenta en futuros trabajos estratigráficos acerca del Grupo Guadalupe en el Piedemonte Llanero en donde se lleve a cabo la medición del Gamma Ray superficial para poder realizar correlaciones, en donde según nuestra medida el segmento A se encuentra caracterizado por valores de Th mayores a los de U, con picos esporádicos de este último. El segmento B se encuentra caracterizado por un aumento en los valores del Uranio y una reducción en los de Thorio, que nos indican un ambiente reductor (Segmento B1) y hacia el tope de este segmento (B2) se presenta la reducción del U llegando a comportarse como el Th. Finalmente el Segmento C se encuentra caracterizado por la similitud en el comportamiento de las curvas del Th y el U cuyos valores son muy parecidos entre sí, pero se reducen en comparación con el segmento inferior.

Estos registros también se encuentran habilitados para realizar correlaciones con registros tomados directamente de pozos, pero se tendría que tener en cuenta los parámetros de medida, y todas las variantes de la construcción del pozo (lodo que se utilizó, diámetro del pozo, equipo de medida).

Figura 41. Registro Gamma Ray para la base del segmento C.



9. CONCLUSIONES

La Secuencia del Grupo Guadalupe sobre las quebradas Las Blancas y La Argentina, ubicadas la zona rural del municipio de Acacias, Meta, tiene un espesor total de 232 metros, medidos por medio del método de poligonal y con bastoneo, utilizando el báculo de Jacob de 1.5 metros de longitud.

El Grupo Guadalupe, se encuentra dividido en tres segmentos, de acuerdo a sus características de tamaño de grano predominante, estructuras sedimentarias, icnofósiles y la combinación de estos.

El segmento **A**, comprende principalmente arenas de grano fino el cual se interpretó como barras de desembocadura de canal en su parte más distal, depositadas en la planicie deltaica, con pequeñas fluctuaciones en el nivel relativo del mar, las cuales se hacen más comunes hacia el tope del segmento. Este segmento fue interpretado como el miembro inferior del Grupo Guadalupe.

El segmento **B**, dividido a su vez en **B1** y **B2**, se encuentra caracterizado principalmente por la presencia de Shale (segmento **B1**) e intercalaciones de capas de arenas y lodolitas (segmento **B2**), y fueron interpretados como el Prodelta que marca una profunización muy rápida de la cuenca, que permite la depositación de sedimentos en suspensión. Y el inicio de la regresión que presenta el sistema deltaico, comenzando desde el prodelta, llegando a la parte distal de la barra ubicada en la planicie deltaica externa en donde observamos características similares a las del segmento **A**, respectivamente. Este segmento fue interpretado como el miembro medio del Grupo Guadalupe.

El segmento **C**, está caracterizado por una secuencia de capas muy potentes de areniscas de grano medio con estratificación cruzada, y van aumentando su tamaño del grano hasta llegar a muy grueso en la parte más superior, a esta

secuencia se le dio la interpretación de Dunas subacuáticas, Canales y barras de desembocadura de estos en su zona proximal. Este segmento fue interpretado como el miembro superior del Grupo Guadalupe.

El paso desde el segmento A hacia el segmento B1, se interpretó como una transgresión del mar.

A partir del Segmento B1, la secuencia muestra una regresión del mar marcada por el cambio de facies desde facies marinas del prodelta, hacia facies muy someras como las encontradas en el segmento C.

El segmento A se encuentra caracterizado por valores de Th mayores a los de U, con picos esporádicos de este último.

El segmento B se encuentra caracterizado por un aumento en los valores del Uranio y una reducción en los de Thorio, que nos indican un ambiente reductor (Segmento B1) y hacia el tope de este segmento (B2) se presenta la reducción del U llegando a comportarse como el Th.

El Segmento C se encuentra caracterizado por la similitud en el comportamiento de las curvas del Th y el U cuyos valores son muy parecidos entre sí, pero se reducen en comparación con el segmento inferior.

10. RECOMENDACIONES.

Realizar un estudio de Geoquímica, Bioestratigrafía y análisis de procedencia de sedimentos sobre la sección medida en las quebradas La Argentina y Las Blancas, al noroeste del municipio de Acacias, con el fin de complementar este trabajo y aumentar la información acerca del grupo Guadalupe en esta zona.

Se recomienda hacer una caracterización Estratigráfica del grupo Guadalupe en diferentes secciones que se encuentran en el área del Piedemonte Llanero, para hacer un análisis de asociaciones de facies, que permite tener un mayor entendimiento de la disposición areal del grupo Guadalupe, y con ello poder obtener un cálculo de volumen real del Grupo Guadalupe, en especial del segmento superior de este, en donde según nuestro estudio se observa la presencia de hidrocarburos, y poder modelar y calcular las posibles reservas de estos en las rocas previamente mencionadas y estudiadas.

Realizar un análisis con registros de pozos de los Llanos Orientales, y del flanco oriental de la Cordillera Oriental, con el fin de correlacionar las unidades vistas en superficie con el subsuelo, para tener sitios específicos de prospección para la explotación de hidrocarburos.

Realizar un levantamiento sísmico, que permita definir la geología estructural del Grupo Guadalupe en el subsuelo, y por ende analizar las posibles trampas estructurales en las que se desarrollaron durante la inversión tectónica y el posterior levantamiento de la Cordillera Oriental.

BIBLIOGRAFÍA

Adams.J., Weave. C. 1958.Thorium-to-Uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Example of concept of geochemical, Facies.AAPG Bulletin, Vol 42 No.2, pp 387-430.

Arche, Alfredo, 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Arenas, Diana Maria, and German Alfonso Torres, 2005. Geología de la Sabana de Bogota. Bogotá, D.C.: INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Bayona, G., M. Cortes, C. Jaramillo, G. Ojeda, J. J. Aristizabal, and A. Reyes-Harker. 2008. "An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia." Geological Society of America Bulletin 120.9-10; 1171-1197.

Boggs, Sam. 2006. Principles of sedimentology and stratigraphy. 4th ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

Colmenares, S., Murillo, J., 2003. manual para las prácticas de laboratorio de la asignatura Geología de hidrocarburos, p. 141-165.

Cooper M. A., Addison F. T., Alvarez R., Coral M., Graham R. H., Hayward A. B., Howe S., Martínez J., Naar J., Peñas R., Pulham A. J., and Taborda A., 1995, Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia.

Cruz G, Luis Enrique; Caballero,Victor. 2003. Manual de laboratorio de Sedimentología para geólogos.Universidad Industrial de Santander.

Dengo, Carlos A., Covey, Michael C. 1993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonics. AAPG Bulletin, Vol. 77 No. 8, pp. 1315-1337.

Farrell, K. M., W. B. Harris, D. J. Mallinson, S. J. Culver, S. R. Riggs, J. Pierson, J. M. Self-Trail, and J. C. Lautier. 2012 "Standardizing Texture and Facies Codes for A Process-Based Classification of Clastic Sediment and Rock." Journal of Sedimentary Research 82.6: 364-378.

Gómez, Elías, Teresa E. Jordan, Richard W. Allmendinger, Kerry Hegarty, Shari Kelley, and Matthew Heizler, 2003. "Controls on architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia." Geological Society of America Bulletin 115: 131-147.

González Pulido, Orlando. Gomez Villalba, Luz Stella, 2001. "Geología de la Plancha 266 Villavicencio": Memoria explicativa. Bogota D.C.: INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería.

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, v. 20, p. 3-66.

Mier Umaña Ricardo. 2013. Presentaciones de la asignatura geología de hidrocarburos. Tema: cálculo de reservas. UIS. Escuela de geología.

Mora, Andrés, Tatiana Gaona, Jonas Kley, Diana Montoya, Mauricio Parra, Luis Ignacio Quiroz, German Reyes, and Manfred R. Strecker, 2009. "The role of inherited extensional fault segmentation and linkage in contractional orogenesis: a reconstruction of Lower Cretaceous inverted rift basins in the Eastern Cordillera of Colombia." *Basin Research* 21.1: 111-137.

Ramirez Arias, Juan Carlos, Mora , Andrés, Rubiano; Jorge, Duddy, Ian, Parra,Mauricio; Moreno,Nestor; Stocli, Daniel; Casallas, Wilson, 2012. "The asymmetric evolution of the Colombian Eastern Cordillera. Tectonic inheritance or climatic forcing? New evidence from thermochronology and sedimentology." *Journal of South American Earth Sciences* 39: 112-137.

Ramirez, Juan Carlos. 2011. Presentaciones de la asignatura Sedimentología para Geólogos. Tema: Regimen de Flujo. UIS. Escuela de geología.

Reading, H. G, 1996. *Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.

Rojas, Luis Fernando, 2002. Mesozoic rifting and cenozoic basin inversion history of the eastern Cordillera, Colombian Andes: inferences from tectonic models. S.l.: s.n.].

Sarmiento, L. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basininversian history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. PhD Tesis. ECOPETROL S.A. Bogota.

Sarmiento,Rojas, L.f., J.d. Van Wess, and S. Cloetingh, 2006. "Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models." *Journal of South American Earth Sciences* 21.4: 383-411.

Schlumberger 1989, Log interpretation Principles/Applications, p. 1-1 – 3-9.

Selley, Richard C.. Applied sedimentology. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2000.

Stow, D. A. V, 2005. Sedimentary rocks in the field: a color guide. Burlington, MA: Elsevier Academic Press.

Terraza, R., Moreno, G., Buitrago, J., Pérez, A., Montoya, D., ETAYO, F., 2010. Geología de la plancha 210 Guateque. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 76-83.

Ulloa, C., Rodríguez, E., y Rodríguez, G., 2001. Geología de la plancha 172 Paz de Río. Memoria Explicativa, INGEOMINAS, p. 73-81.

Velandia. F. 2005. Interpretación de Transcurrencia de Las Fallas Soapaga Y Boyacá A Partir De Imágenes Landsat Tm. Boletín de Geología Vol. 27, No. 44,

Vera J., 1994, Estratigrafía: Principios y métodos, p. 1-15.

Villamil, Tomas, 1999. "Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela." Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 153.1-4, 239-275.

Walker, Roger G, 1992. *Facies models*. 4th ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service.

Recursos electrónicos

"Ingeniería de Petróleo." REGISTROS ELECTRICOS. N.p., n.d. Web. 6 Aug. 2014.
<[http://www.ingenieriadepetroleo.com/2013/02/registros-electricos-sp-gr-
ngs.html](http://www.ingenieriadepetroleo.com/2013/02/registros-electricos-sp-gr-
ngs.html)>.

"LIZNEG.": Registro de Gamma ray. N.p., n.d. Web. 6 Aug. 2014.
<<http://www.lizneg.net/2012/01/registro-de-gamma-ray.html>>.

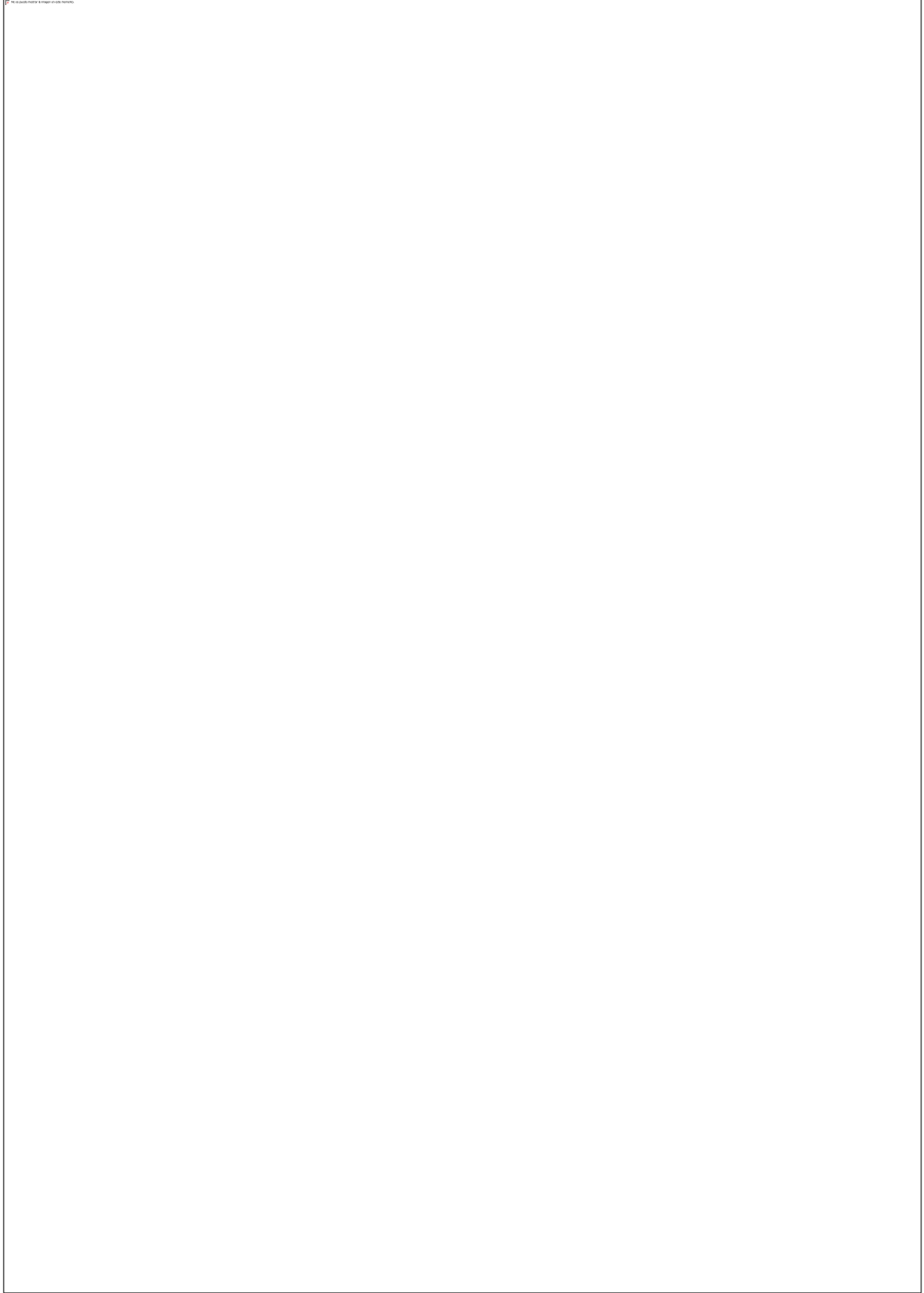
"Registros geofísicos aplicados a la estratigrafía de secuencias." -
Monografías.com. N.p., n.d. Web. 6 Aug. 2014.
<[http://www.monografias.com/trabajos92/registros-geofisicos-aplicados-
estratigrafia-secuencias/registros-geofisicos-aplicados-estratigrafia-
secuencias.shtml](http://www.monografias.com/trabajos92/registros-geofisicos-aplicados-
estratigrafia-secuencias/registros-geofisicos-aplicados-estratigrafia-
secuencias.shtml)>.
























<http://perfotecnica5050.jimdo.com/la-empresa/registro-el%C3%A9ctrico>

ANEXOS

(Ver anexos en cd)

ANEXO A. COLUMNA GUADALUPE



Lithologies		Symbols		Base Boundaries
	Sandstone		Wave ripple cross-lamination	 Sharp
	Claystone		Nodules and concretions	 Erosion
	Shale		Laminacion Lenticular	
	Siltstone		Thalassinoides	
	Heterolíticos		Moderate bioturbation	
			Vertical burrows	
			Horizontal burrows	
			Intense bioturbation	
			Minor bioturbation	
			Horizontal planar lamination	
			Planar cross bedding	
			Intraclasts	
			Nodulos y concreciones	
			Current ripple cross-lamination	
			Canales	
			Trough cross bedding	

ANEXO B. REGISTRO DE GAMMA RAY

ANEXO C. GAMMA RAY