

**ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO GUADALUPE Y ANÁLISIS DE GAMMA RAY DE
AFLORAMIENTO EN LA QUEBRADA CAÑO BLANCO EN LOS
ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE ACACIAS (META).**

**DANIELA ALEJANDRA MORENO PLATA
LUIS FERNANDO ARÉVALO GÓMEZ**

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

2015

**ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO GUADALUPE Y ANÁLISIS DE GAMMA RAY DE
AFLORAMIENTO EN LA QUEBRADA CAÑO BLANCO EN LOS
ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE ACACIAS (META).**

**DANIELA ALEJANDRA MORENO PLATA
LUIS FERNANDO ARÉVALO GÓMEZ**

Proyecto de grado para optar al título de Geólogo

Director

Geólogo. ANDRÉS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Codirector

M.Sc Biólogo. JAVIER JEREZ

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

2015

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este proyecto en primer lugar a Dios, ese ser supremo que me guio por el camino correcto y me concedió fortaleza en los momentos que sentí decaer con cada obstáculo que se me presentaba, enseñándome que vine a la vida a triunfar y que este, es uno de los objetivos para lograrlo.

A mis Padres por su apoyo incondicional, su comprensión y su amor, a mi Papá Mundo por enseñarme a tener ese empuje y fortaleza. Sobre todo a María Clara, mi mamá por su sacrificio y perseverancia para poder lograr este triunfo, por darme los mejores de los consejos, por mostrarme todos los días de su vida que las mujeres valientes si existen. A mis Hermanos Marcela y Ricardo por estar siempre presentes en todos los momentos de mi vida dándome su mano cuando la necesité, la fuerza y el amor necesario para ser el orgullo de ellos, a mis sobrinas Paloma y Monse por venir a este mundo a llenarme de felicidad y no podría faltar mi segundo padre, mi Tiojo, ese ser humano maravilloso, alcahueta, que me enseñó a ser una persona observadora y racional en mi formación. A ustedes gracias por fomentar en mí el deseo de superación.

Hay una gran cantidad de personas, que sin quererlo y tal vez sin imaginarlo , marcaron una diferencia en mi carrera y en mí como persona: A lise “el pollo” que aunque no tengamos la misma sangre me conoce como una hermana y con quien compartí momentos alegres y difíciles en todo este tiempo, Emilio, Josué, Manuel, Tatú, y todas esas personas que fueron un gran apoyo para mí, igualmente no podría faltar Jacque Dangond , quien me dio motivación a culminar este proyecto para imaginarme un futuro con más esperanza.

"Es hermoso creer en la luz cuando es de noche." – Platón

Daniela Alejandra Moreno Plata

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico principalmente a Dios, a Fernando mi papá, mi mamá Lucy, mi hermanita Diana que son el motor de mi vida y por quienes he llegado hasta donde estoy, a mi nono Luis quien estuvo cada momento pendiente de mi acontecer en la universidad junto con mi abuelita Clara que con sus oraciones ilumino mi camino. A mis tíos Álvaro, Raúl y Rubén que con sus palabras y consejos me mostraron la importancia de ser profesional. A mi primita María Angélica y demás familiares que siempre tuvieron una palabra de apoyo.

A mis amigos Pipe, Emilio, Luisca, Cami que compartieron momentos inolvidables durante todo mi estar en la universidad.

A todos ellos solo me queda decirles Gracias.

“Se triunfa con lo que se aprende”. - Gabrielle Coco Chanel

Luis Fernando Arévalo Gómez

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos para Andrés Martínez, Director del proyecto, por su confianza, apoyo y sugerencias durante este trabajo, convirtiéndose en buen amigo, A mi compañero y amigo Luis Arévalo por su colaboración y dedicación para culminarlo, Adriana, pequeño Juan, a Mafe, por compartir todos esos buenos momentos en campo, a Luki porque aparte de compartir en campo se convirtió en mi amigo.

A mis maestros de la universidad Industrial de Santander que me impartieron sus conocimientos y experiencias en el transcurso de mi vida como estudiante.

A la Escuela de Geología y al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) por facilitarnos la realización de esta práctica e investigaciones en todo el tiempo que duro este plan, permitiendo su construcción

A nuestro evaluador Adrián Pérez del Servicio Geológico por aportarnos su conocimiento y brindarnos las mejores sugerencias. Agradezco infinitamente a cada una de las personas que estuvieron ahí con una palabra de ánimo para cumplir este sueño.

Daniela Alejandra Moreno Plata

Quiero agradecer de manera especial a la Escuela de Geología que se convirtió en mi casa durante estos cinco años, a mis compañeros “La tropa” a Andrés Martínez director de mi proyecto a mi amiga Daniela que fue mi Compañera con la que compartí buenos momentos, a Adri, Mafe, Luki y Juan que formaron parte de mi familia en Acacias, además al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) a Andrés Mora , Geovanny Romero quienes ayudaron con nuestro trabajo y Adrián Pérez del servicio Geológico Javier Jerez nuestro codirector.

Luis Fernando Arévalo Gómez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. TEMA DE INVESTIGACIÓN	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.3 ANTECEDENTES	21
2. OBJETIVOS	26
2.1 OBJETIVO GENERAL	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. MARCO DE REFERENCIA	28
4.1 MARCO TEÓRICO	28
5. MARCO GEOLÓGICO	37
5.1 GRUPO GUADALUPE (KSG)	37
5.1.1 Formación Arenisca Dura	39
5.1.2 Formación Plaeners	40
5.1.3 Formación Arenisca de Labor y Arenisca Tierna	40
5.2 GRUPO PALMICHAL	41
6. TECTONOESTRATIGRAFIA	43

7. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE TRABAJO	48
8. METODOLOGÍA	50
8.1 FASE PREVIA	50
8.2 FASE CAMPO.	50
8.2.1 Metodología de levantamiento de columna estratigráfica	51
8.2.1.1 Bastón de Jacob	51
8.2.1.2 Poligonal Abierta	52
8.2.1.3 Metodología para la clasificación de rocas sedimentarias	54
8.2.1.4 Metodologia de los registros	59
8.3 FASE DE OFICINA.	60
8.4. PRODUCTOS	62
9. RESULTADOS	63
10. REGISTROS <i>GAMMA RAY</i>	70
11. CONCLUSIONES	78
12. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Correlación de las Unidades del Piedemonte del Sector Sur de la Cuenca de los Llanos Orientales.	24
Figura 2. Modelo secuencial de la evolución de la Cordillera Oriental, el VMM y la Cuenca de los Llanos Orientales.	25
Figura 3. Ejemplos gráficos de límites litoestratigráficos y su clasificación.	29
Figura 4. Códigos universales de litofacies que se basan en el diagrama ternario para la clasificación textural de sedimento clástico.	31
Figura 5. Partes de un delta.	32
Figura 6. Vista de planta de un delta generalizado donde se observa las partes proximales y distales.	33
Figura 7. Respuestas generales de diferentes litologías según la matriz.	34
Figura 8. La determinación de la litología utilizando la información proporcionada por una herramienta de registro de rayos gamma	36
Figura 9. Columna estratigráfica sección de caño blanco.	42
Figura 10. Meso-Cenozoico, estratigrafía del flanco oriental de la Cordillera Oriental.	45
Figura 11. Amalgamiento de terrenos aloctonos sobre el margen occidental de Colombia.	46
Figura 12. Ubicación geográfica del municipio de Acacias, Meta.	48
Figura 13. Ubicación del área de estudio, quebrada Caño Blanco. Alrededores de Acacias (Meta).	51
Figura 14. Metodología para el uso de Bastón de Jacob	52
Figura 15. Uso de la brújula tipo Brunton como clinómetro, para leer el ángulo de inclinación (A) y para lanzar visuales para leer el azimut (centro e izquierda).	52

Figura 16. Datos para la elaboración de una Poligonal abierta (superior) y visualización de las distancias real, horizontal y vertical (inferior).	53
Figura 17. Mapa de estaciones realizadas en la Poligonal abierta Quebrada Caño Blanco	54
Figura 18. Clasificación composicional de Folk,1974.	55
Figura 19. Carta de comparación del tamaño de grano	55
Figura 20. Análisis de angularidad (Powers, 1953).	56
Figura 21. Clasificación textural según Folk,1974	57
Figura 22. Términos descriptivos para la forma de la estratificación.	58
Figura 23. Esquema de la estructuración de una roca detrítica	59
Figura 24. Gamma ray espectral (propiedad del ICP), determinando concentraciones de elementos radiactivos naturales (K, U, Th), utilizado en campo	60
Figura 25. Tabla internacional de códigos para las litofacies	61
Figura 26. Estratos Heteroliticos mostrando una alta bioturbacion	65
Figura 27. Parte segmento A de la Columna Caño Blanco	66
Figura 28. Secuencia Heterolitica	66
Figura 29. Sección delgada NP (izquierda), NX (derecha) de Calcoarenita con fragmentos óseos, glauconita y mineral opaco en una matriz calcárea, debido a su alto contenido de fragmentos oseos probablemente a se asocia una fosforita.	68
Figura 30. Columna segmento B,quebrada Caño Blanco	2
Figura 31. Lodolitas en el tope de la sección	2
Figura 32. Lodolitas en el tope de la sección.	2
Figura 33. Inicio del segmento C, superficie de erosión.	68
Figura 34. Columna estratigráfica parte C	69
Figura 35. Laminación cruzada tangencial la base.	69
Figura 36. Analisis de registros GAMMA ESPECTRAL PARTE UNO.	71
Figura 37. Intercalacion de areniscas, lodolitas y shale .	71
Figura 38. Análisis gamma ray espectral.	74

Figura 40. Análisis <i>gamma ray</i> parte c	76
Figura 39. Canales distributarios	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relaciones de los valores de Th/U, basados en Adam & Weaver (1958).	62
Tabla 2. Códigos e interpretaciones de Facies	63

LISTA ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Caño Blanco Unida	86
Anexo B. Registros Caño Blanco Unida	87

RESUMEN

TÍTULO: ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO GUADALUPE Y ANÁLISIS DE GAMMA RAY DE AFLORAMIENTO EN LA QUEBRADA CAÑO BLANCO EN LOS ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE ACACIAS (META).

AUTORES: DANIELA ALEJANDRA MORENO PLATA
LUIS FERNANDO AREVALO GOMEZ**

PALABRAS CLAVES: Cretácico, Grupo Guadalupe, Piedemonte Llanero, Estratigrafía, Facies, *Gamma Ray*.

DESCRIPCIÓN:

La unidad denominada como Grupo Guadalupe se reconoce en una gran extensión de la Cordillera Oriental, siendo Bogotá su localidad tipo, además se encuentra aflorando en una área referida como Piedemonte Llanero, denominada, Grupo Palmichal por (Ulloa & Rodríguez, 1979). La columna estratigráfica a escala 1:100 descrita en la Quebrada Caño Blanco en Acacias (Meta), la columna fue realizada mediante el método del bastón de Jacob y poligonal abierta, que contribuye de manera directa al conocimiento geológico del área debido a que el periodo Cretácico en Colombia comienza con el desarrollo de un ambiente distensivo (rifting) durante la conformación de una cuenca de retro arco o *back-arc* en la cual se depositaron las principales rocas generadoras y acumuladoras en ambientes principalmente marinos. A partir de esto, se realiza el correspondiente análisis de las asociaciones de facies y la interpretación de los registros *Gamma Ray* de afloramiento donde se identifican los tipos de litologías presentes. Esta sección de 307,5 metros fue dividida en tres segmentos denominados como segmentos A, B, C, en las que se interpreta como un ambiente deltaico según (Arche, 2010) apoyados en los registros *Gamma Ray* total y las relaciones Th/u se corroboran los datos obtenidos en el levantamiento de la columna estratigráfica, reconociendo además su importancia como reservorio de carbón, petróleo y gas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología Director: Andrés Martínez Hernández. Codirector M.Sc Javier Jerez

ABSTRACT

TITLE: STRATIGRAPHY OF GUADALUPE GROUP AND ANALYSIS OF GAMMA RAY OF BASSET IN THE RAVINE CAÑO BLANCO AROUND THE MUNICIPALITY OF ACACIAS (META)*.

AUTHORS: DANIELA ALEJANDRA MORENO PLATA
LUIS FERNANDO AREVALO GOMEZ**

KEYWORDS: Cretaceous, Guadalupe Group, Llanos Foothills, Stratigraphy, Facies, Gamma Ray.

DESCRIPTION

The unit known as Guadalupe Group is recognized in a large area of the Eastern Cordillera, with Bogotá as its type of locality, also it is surfacing in an area referred to as the Llanos foothills, known as Palmichal Group (Ulloa & Rodriguez, 1979). The stratigraphic column at 1: 100 as described in the Quebrada Caño Blanco in Acacias (Meta), the column was performed by the method of baton Jacob and open traverse, contributes directly to the geological knowledge of the area, since the Cretaceous period in Colombia begins with the development of an extensional environment (rifting) during formation of a back-arc basin or back-arc, in which there were deposited the main source rocks generating and accumulating in marine environments. From this, the corresponding analysis of facies associations and interpretation of the Gamma Ray records of outcrop where these types of lithologies identified takes place. This section of 307,5 meters was divided into three segments called segment A, B, C, which is interpreted as a deltaic environment (Arche, 2010) supported by Total Gamma Ray records and relationships Th/U are corroborated data from the lifting of the stratigraphic column, further recognizing its importance as a reservoir of coal, oil and gas.

* Project of grade

** Faculty Engineering Physical Chemical. School Geology. Director: Andrés Martínez Hernández. Codirector M.Sc Javier Jerez

INTRODUCCIÓN

La importancia del Cretácico superior en cuando a la acumulación de hidrocarburos en el Piedemonte Llanero ha venido en crecimiento debido a los pocos resultados mostrados en los últimos años por las compañías existentes.

En el marco del proyecto de arenas bituminosas llevado a cabo en convenio ICP-UIS se eligió caracterizar de manera detallada el Grupo Guadalupe, el cual ha sido estudiado por diversos autores que difieren entre ellos en algunos aspectos geológicos.

Uno de los primeros en describir el Grupo Guadalupe fue Renzoni (1963) quien propuso dividir este grupo en tres formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor-tierna para la Cordillera Oriental; posterior a esto Ulloa & Rodríguez (1979) denominan como Grupo Palmichal a las rocas que suprayacen a la Formación Chipaque en el Piedemonte Llanero, en este trabajo se utiliza el nombre de Grupo Guadalupe para evitar debates.

El trabajo está basado en un análisis detallado de una columna estratigráfica a escala 1:100 del Grupo Guadalupe aflorante levantada en la quebrada Caño blanco y Caño la Unión ubicados en la vereda La Unión en cercanías al municipio de Acacias, Meta; se obtiene información proveniente de campo con la cual se establecen estructuras sedimentarias y litologías con el fin de determinar facies sedimentarias y concluir los ambientes de depositacion, sirviendo de base para posteriores estudios.

Apoyados en la toma de *Gamma Ray* de afloramiento, se relaciona la columna estratigráfica con el comportamiento de la gráfica con el fin de establecer las

tendencias Th/U y K, además identificar las litologías presentes en la sección levantada mediante la columna.

1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo del Piedemonte Llanero en los diferentes sectores en donde aflora el Grupo Guadalupe se presentan una serie de estructuras sedimentarias las cuales no se encuentran descritas en detalle. Por ende la exploración de recursos se dificulta seriamente, al punto que en ocasiones se extrae petróleo de Unidades que no han sido correlacionadas claramente con unidades aflorantes, el desarrollo del campo y la exploración en áreas próximas se ven afectados al definir una estrategia que se basa en características sedimentológicas y estratigráficas que en realidad no coinciden con las de la unidad de reservorio.

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo están distribuidas las diferentes facies y estructuras del Grupo Guadalupe en el sector del piedemonte llanero?

¿Qué relación presenta los registros *Gamma Ray* de superficie con la descripción de los datos tomados en campo?

1.3 ANTECEDENTES

La Cordillera Oriental ha sido afectada por varios eventos tectónicos durante el mesozoico y Cenozoico que jugaron un rol importante en la actual configuración de la misma, algunos autores difieren en nomenclatura y edad de las diferentes

formaciones (ver figura 1). Durante el Triásico, Jurásico y Cretácico temprano la actual Cordillera Oriental fue afectada por un periodo de *rifting* relacionado a la separación de Norte América y Sur América (Sarmiento et al, 2006). Los productos de este escenario son un arco volcánico actual en la Cordillera Central y una Cuenca de retro arco que es rellenada con depósitos marinos (Formación Payandé) y sedimentos Vulcano clásticos y continentales (Formación Saldaña y Formación Girón) en el Triásico y Jurásico (Cooper,1995). Durante el cretácico temprano dos cuencas de *rifting* se desarrollaron en la Cordillera Oriental, la cuenca del Cocuy en el Este y la Tablazo-Magdalena en el Oeste (Cooper, 1995). Estas dos Cuencas están separadas por el Macizo de Santander. El periodo del *rifting* originó una secuencia *synrift* desde el Berriasiano hasta el Aptiano donde comenzó una sucesión principalmente marina con varias transgresiones y regresiones a lo largo de todo el Cretácico (Bayona ,2012).

Posteriormente durante el Oligoceno tardío-Mioceno Temprano la deformación migró desde el eje del Orógeno a los márgenes Orientales y Occidental de la cordillera, invirtiendo parte de las fallas normales que limitaba el *rift* Cretácico (Bayona, 2012)

Cooper et al. (1995), menciona que la fase de deformación del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano no afectó la Cordillera Oriental, (ver figura 2) pero si el Occidente Colombiano como el Valle del Magdalena y el Valle del Cauca.

La mayor deformación de la Cordillera Oriental y del Piedemonte Llanero se inició aproximadamente hace 10.5 Ma y se dio como resultado de la colisión de Panamá con Sur América, durante esa fase de deformación fue elevada y erodada, se desarrollaron estructuras compresionales y se invirtieron antiguas fallas extensionales, los depósitos erosiónales de este levantamiento se preservan en la Formación Guayabo en la Cuenca de los Llanos.

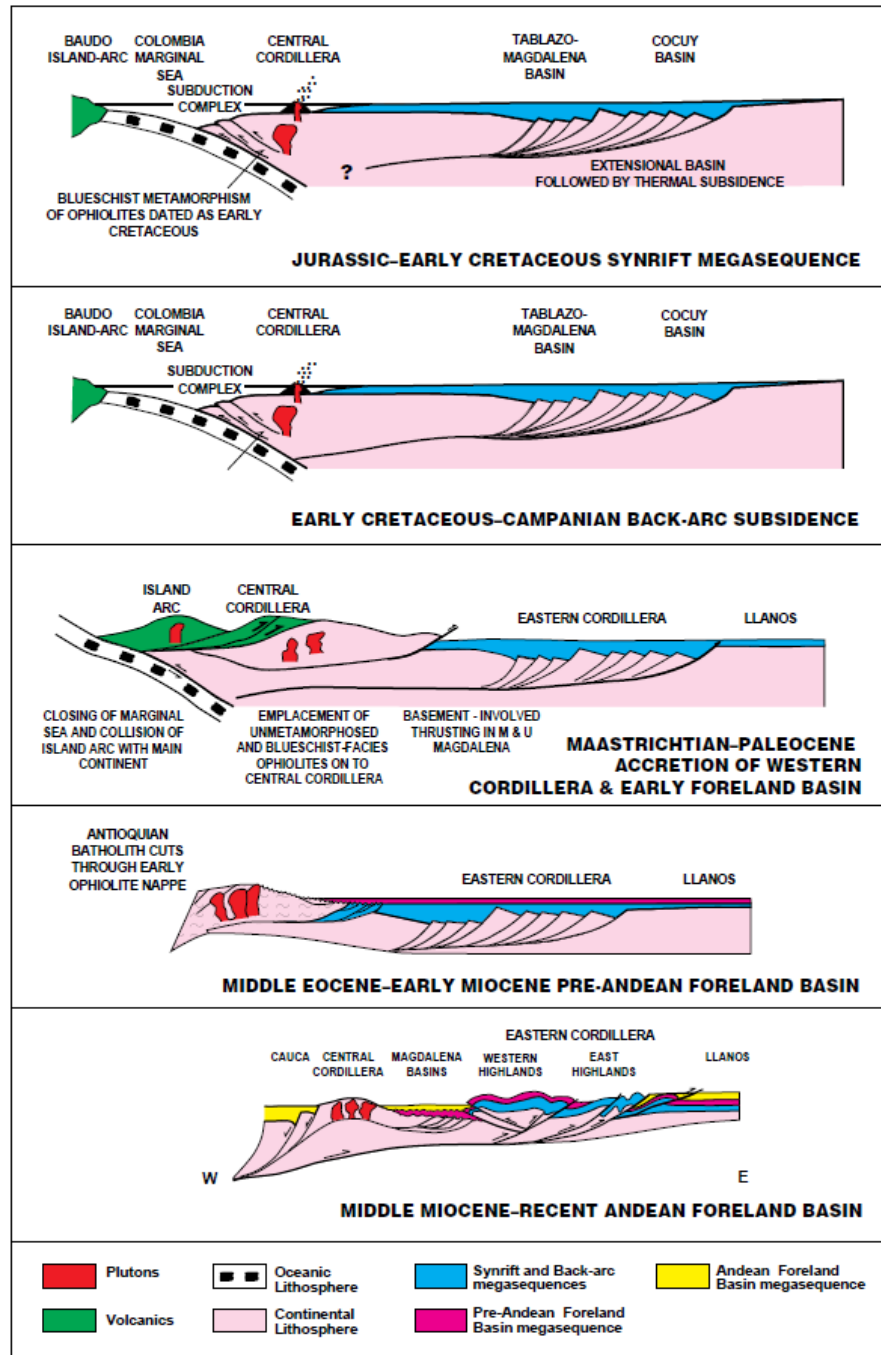
Según VERGARA & RODRÍGUEZ (1996) los principales procesos diagenéticos que afectaron las arenitas del Grupo Palmichal son físicos, químicos, fisicoquímicos. Los procesos físicos más comunes fueron la compactación, manifiesta en la deformación plástica y en el fracturamiento de los granos, tal como se observa en micas (moscovita) dobladas y en el fracturamiento de fosfatos y de granos de cuarzo, respectivamente. Los procesos químicos más comunes fueron los sobre crecimientos sintaxiales de sílice y la formación de minerales tales como fosfatos, glauconita y otros filosilicatos autigénicos. Además, se evidencia otra fase de diagénesis química en la destrucción de fosfatos y glauconita. Por otra parte, los procesos fisicoquímicos se ejemplifican mediante la estilolitización, como producto de fenómenos de solución presión, a lo largo de la cual suelen quedar concentrados los minerales ultra estables y la materia orgánica que han resistido la disolución, VERGARA & RODRÍGUEZ (1996). En cuanto a la procedencia de las arenitas del Cretácico superior y Terciario inferior en la zona del Piedemonte Llanero, no parece haber discusión acerca del origen oriental de los mismos a partir de rocas Precámbricas y Paleozoicas del Escudo de Guayana. La presencia casi constante de feldespato en las Formaciones Chipaque, Arenisca Dura y arenita inferior del Grupo Palmichal revela procedencia de rocas plutónicas. Por el contrario, en las Formaciones arenita superior del Grupo Palmichal y Arenisca de El Morro (F. Barco) disminuye notoriamente el contenido de feldespato y aumenta el de cuarzo poli cristalino. Este tipo de cuarzo, por cierto, tiene un origen eminentemente metamórfico, muy poco plutónico VERGARA & RODRÍGUEZ (1996).

Figura 1. Correlación de las Unidades del Piedemonte del Sector Sur de la Cuenca de los Llanos Orientales.

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	Nomenclaturas Estratigráficas			ESPEORES (pies)	
				PIED. LLAN. INGEOMINAS	META ECOPETROL	META ICP - 1998		
CENOZOICO	Q	Pleistoceno					300 a 1000	
		Plioceno	Tardío	CORNETA	Fm. NECESIDAD	Fm. GUAYABO		
	Temprano			Fm. GUAYABO				
	Mioceno	Tardío	CAJA		Fm. LEON	500		
		Medio	DIABLO	SHALE LEON				
	Oligoceno	Tardío	SAN FERNANDO	CARBONERA	Fm. CARBONERA	500-300		
	Temprano				C-7			
Eoceno Tardío	Priaboniano	Fm. MIRADOR	T 2	Fm. MIRADOR	80			
Paleoceno			SOCHA / LOS CUERVOS <i>Andolitas</i>		Fm. BARCO - LOS CUERVOS	1200		
			SOCHA / BARCO <i>Areniscas</i>					
MESOZOICO	CRETACEO	Tardío	Maastrichtiano	Fm. GUADUAS			1200	
			Campaniano	Fm. GUADALUPE				
			Santoniano		Fm. GUADALUPE	K1		Fm. Gacheta
			Coniacino	Fm. CHIPAQUE		K2		Fm. Une
			Turoniano					
Cenomaniano								
Temprano	Albiano	Fm. UNE						
	Aptiano							
TRIASICO-JURASICO			Fm. BATA					
PALEOZOICO	CAMBRICO-DEVONICO		Fm. FARALLONES			PALEOZOICO NO DIFERENCIADO		
			Fm. QUETAME					
PRECAMBRICO			BASAMENTO CRISTALINO		(Escudo Guayanes)			

Fuente: Tomada y Modificada de ICP, 1998 Y 2000.

Figura 2. Modelo secuencial de la evolución de la Cordillera Oriental, el VMM y la Cuenca de los Llanos Orientales.



Fuente: Tomado de Cooper, 1995.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio estratigráfico del Grupo Guadalupe en el sector de la Quebrada Caño Blanco en los alrededores del municipio de Acacias (Meta), con el fin de determinar litofacies, ambientes de depositación y analizar las respuestas del *Registro Gamma* de afloramiento

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar 1 columna estratigráfica detallada a escala 1:100, para reconocer la litoestratigrafía en el Grupo Guadalupe utilizando el método del bastón de Jacob y poligonal.
- Realizar el análisis estratigráfico del Grupo Guadalupe mediante el análisis de la columna estratigráfica a escala 1:100, en el área de estudio.
- Analizar las litofacies existentes en el Grupo Guadalupe, para determinar los ambientes de depositación de las rocas.
- Interpretar las relaciones de Th/U con el fin de establecer ambientes anoxicos de depositacion y relacionarlos con la descripción de campo.

3. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de grado se realiza en el marco de un proyecto madre para la exploración de arenas bituminosas adelantado por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), en el cual es necesaria la elaboración de columnas estratigráficas y correlaciones litoestratigráficas en subsuelo, como insumo básico y principal para la elaboración de una reconstrucción paleogeografía propuesta para esta zona dentro de este proyecto de exploración.

Teniendo en cuenta que la mayoría de estudios estratigráficos realizados anteriormente han trabajado con poco detalle y han sido generalizados; se tiene una información limitada a cerca de los ambientes deposicionales bajo los cuales estuvieron expuestos los sedimentos que actualmente hacen parte del Grupo Guadalupe al igual que las características de sus litofacies; se considera necesario el levantamiento una columna estratigráfica detallada con el fin de obtener información en el sector a trabajar.

Al realizar el levantamiento de la columna estratigráfica se obtendrá información necesaria que permitirá establecer las Litofacies existentes en el sector de Caño Blanco donde se encuentra expuesto el Grupo Guadalupe desde la base en contacto neto con la Formación Chipaque hasta el tope, así se determinará los ambientes de depositacion y con el análisis de las tendencias de Th/U de los registro *Registros Gamma* confirmar dichos ambientes.

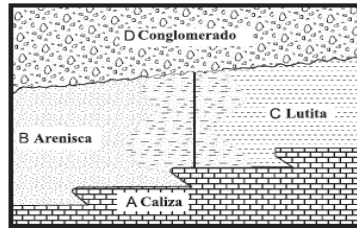
4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

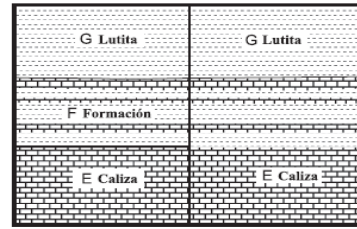
Unidad Litoestratigráfica

Una *Unidad Litoestratigráfica* es un cuerpo definido de estratos sedimentarios, Ígneos extrusivos, Metasedimentarios o Metavolcánicos, que se distingue y delimita por sus características líticas y su posición estratigráfica. *CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO NORTEAMERICANO, (2010)* Por lo general, una unidad Litoestratigráfica se rige a la Ley de la Superposición, es estratificada y de forma tabular. Las Unidades Litoestratigráficas son las unidades básicas del trabajo geológico general y sirven como base para delinear los estratos, la estructura local y regional, los recursos económicos, así como la historia geológica en regiones de rocas estratificadas (ver figura 3). Se reconocen y definen por las características observables de las rocas; los límites pueden ubicarse en contactos claramente distinguibles o pueden señalarse arbitrariamente en una zona de gradación. La litificación o cementación no es una propiedad necesaria; las arcillas, las gravas, las tillitas y otros depósitos no consolidados, pueden constituir unidades Litoestratigráficas válidas. *CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO NORTEAMERICANO, (2010)*

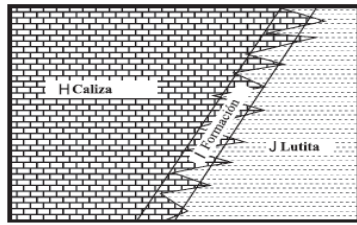
Figura 3. Ejemplos gráficos de límites litoestratigráficos y su clasificación.



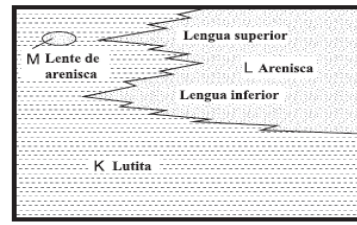
A.- Límites en contactos litológicos bruscos y en secuencia lateralmente gradada



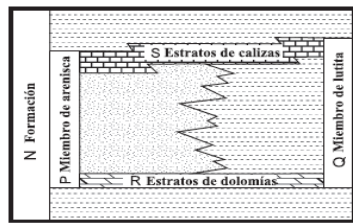
B.- Límites alternos en una secuencia verticalmente gradada o interstratificada



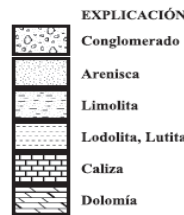
C.- Límites posibles para una secuencia lateralmente interdigitada



D.- Posible clasificación de las partes de una secuencia interdigitada



E.- Los estratos guía, que aquí se designan como Estratos de dolomías R y Estratos de calizas S, se usan como límites para distinguir al Miembro de lutita Q de las otras partes de la Formación N. Un cambio lateral en la composición entre los estratos guía requiere que otro nombre, Miembro de Arenisca P, sea aplicado. Los estratos guía son parte de cada miembro.



Fuente: Tomado de código estratigráfico norteamericano, 2010

Correlación Estratigráfica

La *Correlación Estratigráfica* es una de las técnicas de mayor interés en estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas. La Litocorrelación o correlación litológica pretende demostrar la correspondencia en cuanto al carácter litológico y la posición Litoestratigráfica. Para hacer este tipo de correlación se comparan las Unidades Litoestratigráficas presentes en cada una

de las secciones estratigráficas y los niveles de litologías especiales dentro de las mismas. (Vera, 1994)

El objetivo fundamental de la correlación estratigráfica es ampliar la validez de los datos estratigráficos locales. Al comparar varias secciones estratigráficas se puede ver la relación lateral entre las diferentes unidades estratigráficas representadas en ellas, los cambios de facies y de potencia, etc. (Vera, 1994)

Facies Sedimentarias

Es la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica. El termino litofacies se usa para aludir exclusivamente a los aspectos litológicos de un conjunto de estratos y correlativamente para las condiciones físico-químicas que reinaron durante el depósito. (Vera, 1994)

Las facies se utilizan para denominar a un volumen de materiales caracterizados por unas propiedades y por lo tanto, que si tiene dimensiones. Sea cual sea la acepción utilizada, la definición de facies debe ser totalmente objetiva y debe basarse a los datos obtenidos en el campo al observar las rocas, en dicha observación es necesario combinar los datos geométricos (espesor y forma de los estratos-) y los relativos a las propias rocas (litología, textura, estructuras sedimentarias, fósiles, color, etc.) destacando aquello que sea más representativo de su génesis (Vera, 1994)

FARRELL ET AL 2012. Propone una clasificación universalmente aplicable, basada texturalmente de sedimentos clásticos que es independiente de la composición, la cementación y el entorno geológico, está estrechamente asociado a los procesos de sedimentología. (Ver figura 4)

Figura 4. Códigos universales de litofacies que se basan en el diagrama ternario para la clasificación textural de sedimento clástico.

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		
S	sand	l	lenticular bedding	S m	Massive sand
mS	muddy sand	w	wavy bedding	S biot	Bioturbated sand
gS	gravelly sand	f	flaser bedding	S b	Burrowed sand
gmS	gravelly muddy sand	gr	graded	S x	Crossbedded sand
mgS	muddy gravelly sand	gr-lam	graded laminates	S r-lam	Ripple-laminated sand
		x	cross-bedded		
		ch	chaotic bedding	(m)S r	Flaser-bedded slightly muddy sand
		con	convoluted	mS b	Burrowed muddy sand
M	mud	s	swirling	gmS b-gr	Burrowed to graded gravelly, muddy sand
sM	sandy mud	r	rippled		
gM	gravelly mud	r-lam	ripple-laminated	M mp	Micropelletal mud
gsM	gravelly mud	s-lam	swirling laminated	M lam	Laminated mud
sgM	sandy gravelly mud	mid	moldic	(s)M I	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		
		rt-mot	root-mottled		
C	clay	rh	rhythmically layered	G/S	Interbedded gravel and sand, gravel dominant
Z	silt	bnd	banded	S/G	Interbedded sand and gravel, sand dominant
c	clayey	cem	cemented	S/M w	Wavy bedded sand and mud (interbedded)
z	silty	p	pelletal	M/S I	Lenticularly bedded mud with subordinate sand
/	interlayered	mp	micropelletal	M/G	Interbedded mud and gravel, mud dominant
P	peat	lig	lignitic	mSb/sM I	Rhythmic interbeds of burrowed muddy sand and lenticularly bedded sandy mud.
					Heterolithic Strata

Fuente: Tomado de Journal of Sedimentary Research, 2012. Pag 372 (Farrell et al 2012.)

Deltas.

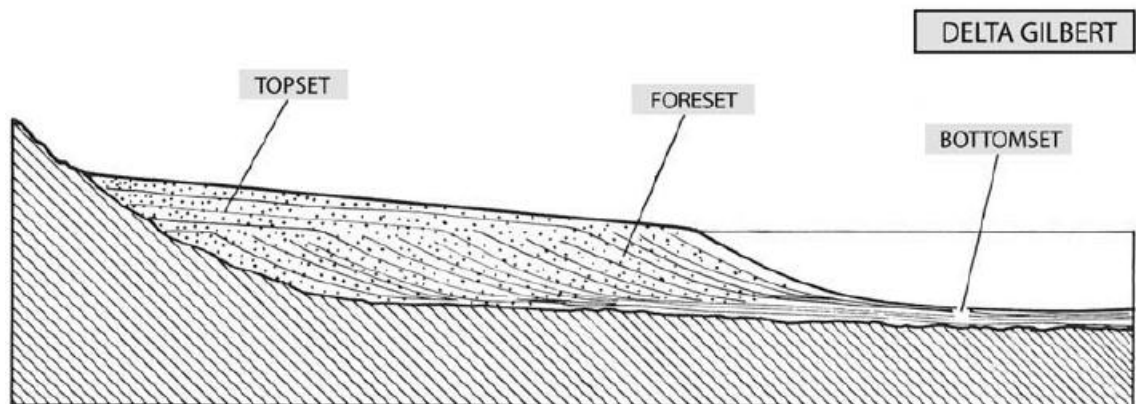
Podemos definir los deltas como sistemas sedimentarios de geometría generalmente convexa, que destacan en una costa frente a la desembocadura de un río y que se forman cuando el aporte de sedimentos procedentes de este río supera la redistribución de estos sedimentos por parte de procesos marinos tales como olas, corrientes y mareas(Arche,2010).

Todo delta se forma en la desembocadura de un sistema fluvial bien estructurado, que recibe una precipitación de moderada a abundante y tiene un área de drenaje extensa (Arche,2010).

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 y otra distal o prodelta, de mucha menor inclinación (Arche,2010),.

Basándose en las descripciones, se han utilizado como sinónimos de Llanura deltaica, Frente deltaico y Prodelta los términos *topset*, *foreset* y *bottomset*. (Arche,2010), (ver figura 5).

Figura 5. Partes de un delta.



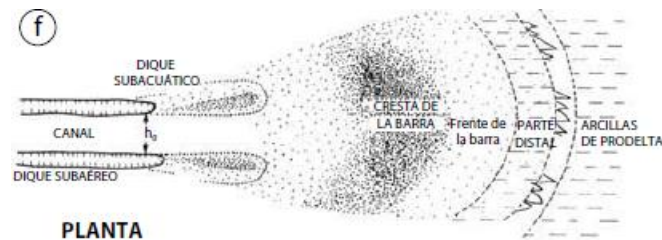
Fuente: Tomado de Arche, (2010).

La parte superior del Frente deltaico puede tener características sedimentológicas muy variadas, debido a que los sedimentos aportados por los canales distribuidores en la desembocadura están sometidos a la interacción de procesos marinos someros (oleaje, mareas y otras corrientes).

El Prodelta es la zona del sistema deltaico donde se acumulan limos y arcillas por decantación y procesos gravitacionales, por debajo de la acción del oleaje. En su fondo más distal, el Prodelta pasa gradualmente al fondo abisal de la cuenca marina. La tasa de sedimentación en el Prodelta es muy elevada y los sedimentos de grano fino están intensamente bioturbados.

Vista de un delta en planta, ver (figura 6).

Figura 6. Vista de planta de un delta generalizado donde se observa las partes proximales y distales.



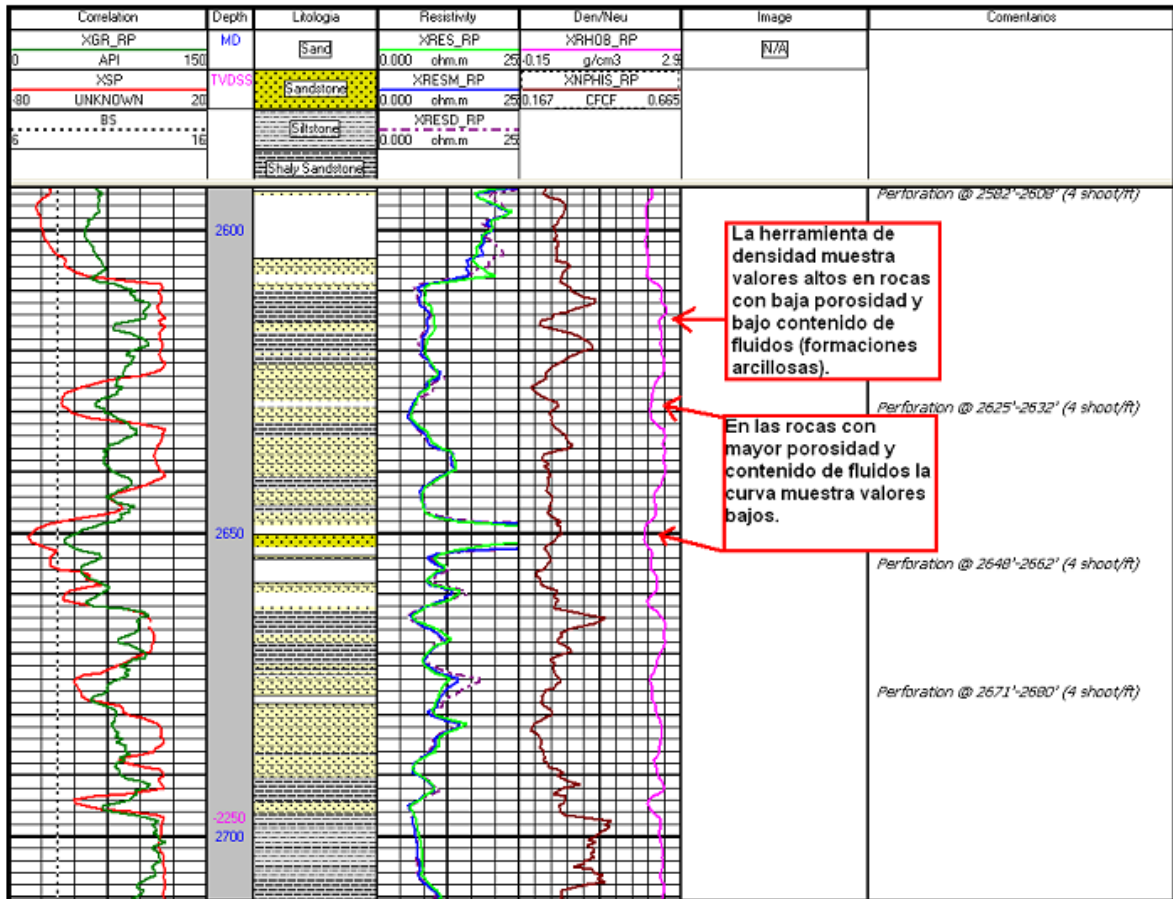
Fuente. Tomada de Arche 2010.

Registros eléctricos

Es una técnica geofísica que mide la resistividad de cada uno de los estratos, es decir, la resistencia que realiza un material al paso de la corriente eléctrica a lo largo de toda la formación. Los registros eléctricos son de mucha utilidad porque permiten identificar el tipo de material en función de su resistividad característica. Para poder diferenciar entre petróleo y agua, el intérprete de las lecturas debe tener en cuenta que el agua tiene una muy baja resistividad mientras que el petróleo es altamente resistivo. (FALLA, 2005)

Las propiedades físicas de las rocas y minerales medidas en un *logging* eléctrico, en una superficie de trabajo, son la conductividad eléctrica y el potencial espontáneo. En la exploración petrolera muchos registros son realizados simultáneamente (Ver figura 7). Debido a que el objetivo primario del *logging* es evaluar el potencial productivo de la arenisca reservorio, las herramientas que realizan los registros pueden cambiar sus características debido al fluido de perforación que penetra en la formación como lodo filtrado. (FALLA, 2005)

Figura 7. Respuestas generales de diferentes litologías según la matriz.



Fuente: Tomado de Mier U. Ricardo (2012). Presentaciones de la asignatura geología de hidrocarburos. Tema: registros de pozo. Escuela de geología. UIS.

Registro de rayos Gamma

La adquisición de los datos registra la radioactividad gamma de las rocas que proviene de la descomposición de isotopos de Potasio (K), el Uranio (U) y el torio (T). El uso principal de esta herramienta es distinguir entre rocas lodosas que generalmente tienen alto contenido de Potasio y por lo tanto alta radioactividad natural y las areniscas, las cuales normalmente tienen una radioactividad más baja.

El registro de rayos gamma se utilizan a menudo para determinar “arenas: relación de shale” en una sucesión clástica. Sin embargo, hay que señalar que las micas, feldespatos, glauconita y algunos minerales pesados también son radioactivos, y en areniscas ricas en cualquiera de estos no siempre se pueden distinguir de lodolitas usando esta herramienta. Las rocas ricas en materia orgánica también pueden ser detectadas con esta herramienta porque el uranio es a menudo asociado de forma natural con la materia orgánica. El registro de rayos gamma espectral registra la radioactividad debido a Potasio, Torio y Uranio por separado, permitiendo que la señal separe la radioactividad asociada con la materia de los minerales de arcilla.

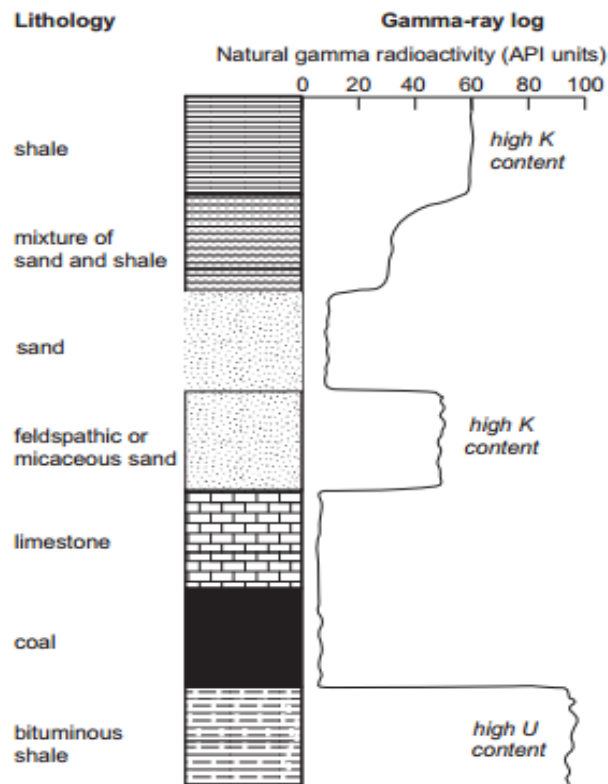
➤ Principio de medición

En rocas sedimentarias que se caracterizan porque sus estratos se han formado por el traslado de material a la superficie formando una capa encima de la otra, refleja el contenido de lutita, esto se debe a que los elementos radioactivos tienden a concentrarse en arcillas y lutitas. El perfil de Rayos Gamma puede ser registrado en pozos entubados, lo cual es muy útil en operaciones de terminación y reacondicionamiento. Es frecuentemente usado como sustituto del Registro de Potencial Espontáneo (SP) en los pozos entubados, donde es imposible obtener un SP, o en pozos abiertos cuando el SP no es satisfactorio. En ambos casos es útil en la ubicación de capas no arcillosas y para correlaciones. (Falla, 2005)

La respuesta del perfil, tiene que ser corregida por diversos efectos, correcciones que se realizan usando software y/o gráficos especiales. Esta respuesta corregida es proporcional a la concentración en peso del material radioactivo en la formación, y si consideramos una formación que contiene principalmente un material radioactivo específico. En arenas limpias, la lectura de los Rayos Gamma debería estar alrededor de 40 ° API. Si el valor de *Gamma Ray* se encuentra entre 40-75 API, puede también clasificarse como arena pero sucia. En

formaciones arcillosas, la lectura de GR se encuentra entre 120-180 API. Esto difiere bastante de la lectura mostrada cuando la formación es arenosa. En presencia de Carbón, la lectura es demasiado alta, por sobre los 200 ° API, dependiendo de la formación (ver figura 8). (FALLA, 2005)

Figura 8. La determinación de la litología utilizando la información proporcionada por una herramienta de registro de rayos gamma



Fuente: Tomado de Sedimentología y estratigrafía / Gary Nichols . - Segundo ed.pag 334

5. MARCO GEOLÓGICO

Estratigrafía

5.1 GRUPO GUADALUPE (KSG)

La unidad conocida como Grupo Guadalupe se puede reconocer no sólo en una gran extensión de la Cordillera Oriental, donde está su localidad tipo en el área de Bogotá, sino que también se encuentra aflorando en una gran extensión de su flanco oriental y en el área referida como Piedemonte Llanero. En este trabajo se sigue la nomenclatura propuesta por Renzoni (1963) quien precisó los límites del Grupo Guadalupe, considerándolo como una unidad predominantemente arenosa que subrayase e infrayace unidades lodolíticas, que son respectivamente la Formación Chipaque y la Formación Guaduas. Renzoni (1963) dividió el Grupo Guadalupe de base a techo en tres unidades de rango formacional así: Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y Formación Labor y Tierna (referida de aquí en adelante como Formación Labor-Tierna para evitar confusiones gramaticales y estratigráficas). La nomenclatura propuesta por Renzoni (1963) es diferente a la de Pérez & Salazar (1973), en que estos últimos dividen la Formación Labor-Tierna en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna. No obstante que el trabajo de Pérez & Salazar (1973) contiene muy buenas descripciones litológicas y sedimentológicas, que permitieron un significativo avance en el conocimiento del Grupo Guadalupe, dividir el segmento superior arenítico en dos formaciones no es práctico para adelantar el proceso de cartografía geológica y se presta a potenciales errores de correlación. Guerrero & Sarmiento, (1996) para el área del piedemonte.

En el área de Bogotá el Grupo Guadalupe (Campaniano? -Maestrichtiano inferior), con un espesor de 750 m., está integrado por cuatro formaciones, de base a techo, Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna, Pérez & Salazar (1973). Consta de areniscas intercaladas rítmicamente con limolitas, arcillolitas, lodolitas y a veces liditas, íntimamente interestratificadas o interlaminadas, con bancos individuales de cada una de estas litologías. Su depósito tuvo lugar, en forma alternante, en un ambiente litoral y sublitoral más interior, enmarcado fisiográficamente en una llanura de marea con características litológicas, inorgánicas y biológicas bien definidas. Dentro de este ambiente la Arenisca Dura constituye un depósito de llanuras de arena y llanuras de sedimentos mezclados con intervalos esporádicos de sedimentación lodosa, Pérez & Salazar (1973). El depósito de 108 metros de la Formación Plaeners representa un intervalo de sedimentación lodosa, mucho mayor y más uniforme que aquellos de la Arenisca Dura. En el depósito de la Arenisca Labor, Pérez & Salazar (1973). La sedimentación en llanuras mezcladas y canales fue muy importante; esta última es predominante en la mayor parte de la Arenisca Tierna con suministro de material más grueso y consiguiente aumento en las condiciones energéticas del medio. La secuencia se depositó en una cuenca sometida a subsidencia moderada y el levantamiento relativo del continente determinó la regresión marina a comienzos de la sedimentación arcillosa predominante de la Formación Guaduas, Pérez & Salazar (1973). Los sedimentos del Grupo Guadalupe se depositaron, en forma alternante, en un ambiente litoral y sublitoral interior como se deduce de la estrecha asociación de las ichnofacies Skolitos y Cruziana, las estructuras inorgánicas y biogénicas señalan ciclos de depósito que inician con el predominio de la tracción que acumula areniscas, seguida por corrientes menguantes que determinan sedimentos mezclados ricos en materia orgánica; finalmente las finas capas de arcilla son depositadas por transporte en suspensión.

El ambiente se enmarca fisiográficamente en una llanura de marea con características litológicas, inorgánicas y biológicas bien definidas. Se destacan sedimentos finos y arenas bioturbadas o con estructuras internas, Pérez & Salazar (1973). Los primeros están constituidos por limos, arcillas y lodos interestratificados o interlaminados en diferentes formas, gradacionales entre sí y con estructuras típicas como flaser, ondulada, ondulada lenticular y microondulas. Las arenas bioturbadas señalan una sedimentación en las llanuras de arena, mientras que las arenas con estructuras internas, tales como estratificaciones ondulada, lenticular, cruzada, gradada, capas con lentes de conchas, guijas arcillosas, capas en lentes y cuñas, indican una sedimentación en canales; ondulitas de corriente, oscilación e interferencia y mega ondulas muestran un medio fluido por corrientes y olas. Es prominente la intensa bioturbación en los planos de estratificación o estructuras biogénicas, Pérez & Salazar (1973).

Composicionalmente los sedimentos se caracterizan por abundante contenido de materia orgánica asociada a los materiales finos y en menor cantidad sulfuros (pirita), y nódulos o restos fosfáticos en sedimentos finos y arenas. Pérez & Salazar (1973).

5.1.1 Formación Arenisca Dura Es el conjunto de rocas que HUBACH (1932) señala como nivel más bajo del Grupo Guadalupe superior. Esta formación ha sido examinada a lo largo de la vía Choachí – Bogotá y en el descenso de la quebrada el Raizal.

En la parte más baja Hubach (1932) observó lo siguiente:

Liditas, en sucesión casi continua de estratos entre los cinco y los diez centímetros de espesor. La roca es gris clara con raras bandas negras, sílicea, con fractura a veces concoide; en el estrato se intercalan:

- a) Arenisca cuarzosa, fina, blanquecina, en estratos de un metro.
- b) Arenisca cuarzosa, finísima, en estratos de veinte centímetros con apretadas bandas negras e irregulares.

Subiendo por la quebrada el Raizal se puede observar arenisca cuarzosa, de color gris claro, de grano desde fino hasta medio. Renzoni, G. (1963)

Las rocas son de grana fino a muy fino, sub angulares, inmaduras en su mayoría, con porcentajes variables de matriz, algunas con laminación de materia orgánica. Las arenitas de esta formación presentan alta cementación por sílice o por matriz-cemento, donde se dificulta distinguir entre sílice, óxidos de hierro, arcillas y material fosfático, la porosidad primaria esta pobremente interconectada, Se detectaron peloides fosfáticos en avanzado estado de disolución, lo cual aumenta la porosidad secundaria. Los minerales accesorios más comunes son Circón, Glauconita, Turmalina y trazas de fragmentos de Chert, Vergara & Rodriguez, (1996).

5.1.2 Formación Plaeners Según Pérez & Salazar (1973); se define la sección tipo de la Formación Plaeners en el cerro del alto del cable al norte de Usaquén, la cual hacia la base presenta un conjunto de roca con estratificación fina y media de limolitas síliceas, liditas y arcillolitas síliceas interestratificadas que gradan lateral y verticalmente entre sí, de colores claros (blanco, gris o pardo rojizo claro), muy compactadas y con fracturamiento en prismas, continúan bancos de arenisca de grano muy fino separado por finas capas de arcillas, liditas y una sucesión de arcilloitas grises, limolitas arcillosas, la Formación termina con una sucesión de limolitas, areniscas de grano muy fino con gradación de una litología a otra

5.1.3 Formación Arenisca de Labor y Arenisca Tierna Según Julivert (1962), en la sección del Páramo del Rajadero el tamaño de grano predominante es muy fino a fino. La mayor parte de las arenitas son inmaduras a sub maduras; en ellas los granos son sub angulares y el cemento más común es la calcita y la sílice. De

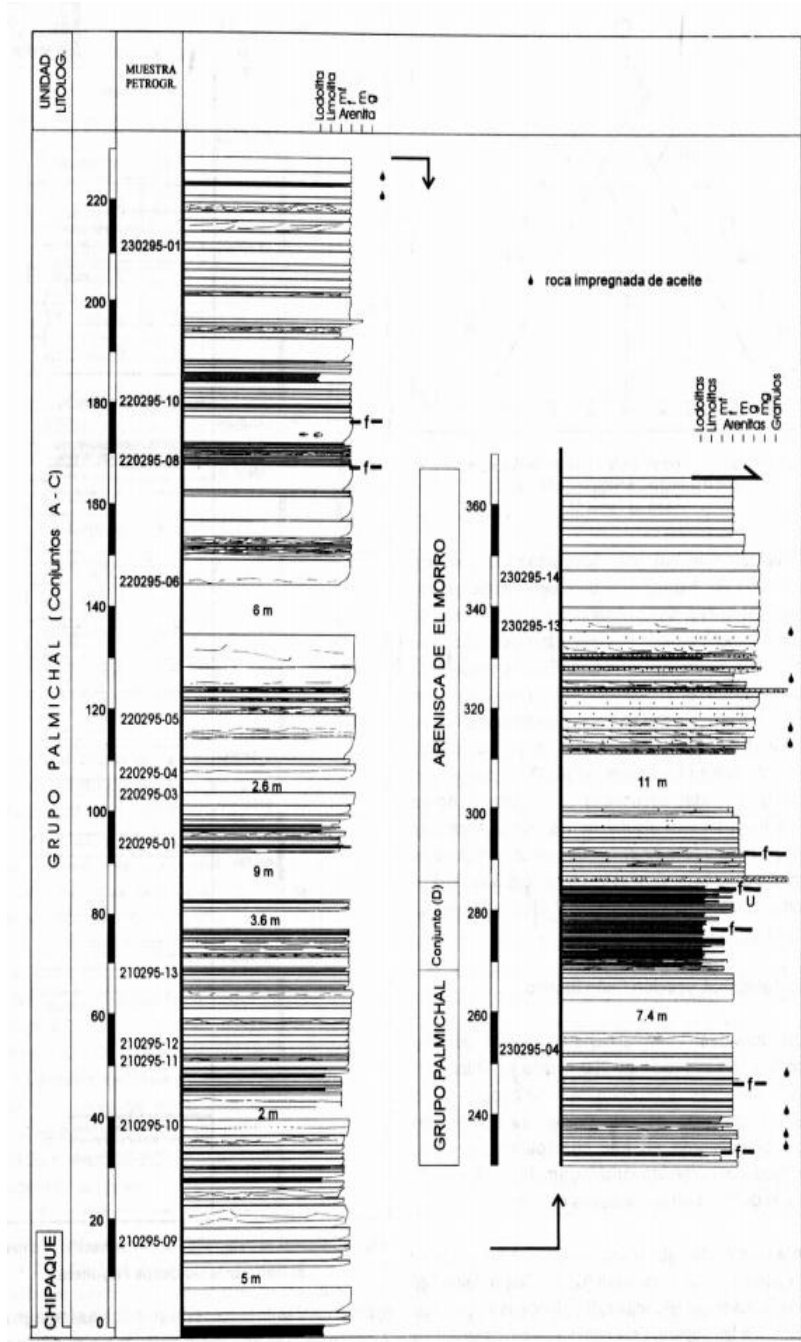
acuerdo a su composición, las rocas de la Formación Arenisca de Labor en el Páramo del Rajadero son principalmente "Ortocuarcitas" (Cuarzo arenitas) con contenidos variables de Plagioclasas, Microclinas y Glauconita, Renzoni, G. (1963).

En cuanto a la Formación Arenisca Tierna, la composición de sus rocas es generalmente de cuarzo arenitas, de variada granulometría con predominancia del grano grueso, con bajos contenidos de matriz, cemento silíceo y caolinítico, con frecuencia friables. En cuanto a las estructuras sedimentarias, la estratificación cruzada de alto ángulo parece ser una característica constante regionalmente. (Vergara & Rodriguez 1996).

5.2 GRUPO PALMICHAL

Según VERGARA & RODRIGUEZ, (1996), El Grupo Palmichal se estudió principalmente en las Quebradas Playonera, Palmichal y el Caño Blanco (Ver figura 9). El grupo palmichal en la sección Caño Blanco hay una sucesión de 200 metros de lodolitas y arenitas atribuidas a la Formación Chipaque. En la sección de Caño Blanco se dificulta diferenciar la arenita inferior (A) de la superior (C) del Grupo Palmichal debido a la ausencia del conjunto (B) de lodolitas y chert, que normalmente las separa.

Figura 9. Columna estratigráfica sección de caño blanco.



Fuente: Tomado de VERGARA, L. & RODRIGUEZ, G. (1996)

6. TECTONOESTRATIGRAFIA

Tres grandes cadenas montañosas son el resultado de la compleja interacción de las placas de Nazca, Caribe y América del Sur desde el Cretácico Tardío: Cordillera Occidental, Cordillera Central y la divergencia de Cordillera Oriental. La Cordillera Oriental se interpreta como una cuenca extensional amplia del Cretácico formado durante al menos dos eventos de estiramiento y tectónicamente invertida durante el Cenozoico. El dominio oriental incluye fallas con tendencia este colocando estratos del Cretácico y Cenozoico sobre estratos del Cenozoico de la cuenca de los Llanos de antepaís, Bayona (2013). Rocas del basamento del Macizo Quetame están expuestas en el segmento sur del dominio oriental. La tendencia NE del sinclinal de Medina hace parte del ensanchamiento frontal del sistema de fallas de este al borde. Estructuras inversas en estos tres dominios de la Cordillera Oriental han sido interpretadas como una inversión de antiguas fallas normales, Bayona (2013).

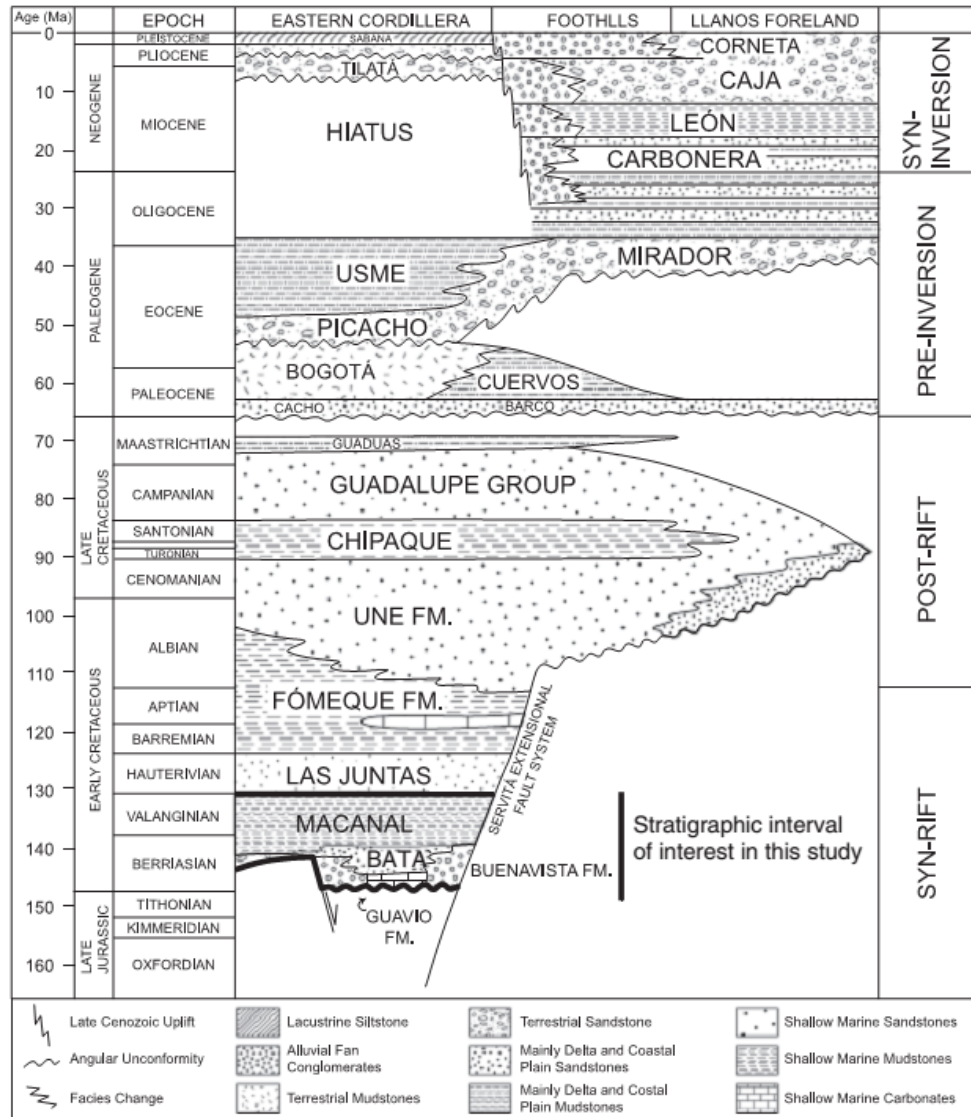
A partir del Campaniano una rápida regresión general del mar epicontinental se produjo con la depositación de importantes niveles de areniscas (por ejemplo. Grupo Guadalupe). Esta regresión no fue el resultado de un fenómeno tectónico regional sino del descenso global del nivel del mar. A mediados del Maestrichiano, la casi totalidad del Oriente Colombiano estuvo emergida, Toussaint et al (1996).

A lo largo del Cretácico la distensión tectónica y la subsidencia térmica que afectaron el Oriente Colombiano no habían sido interrumpidas por ninguna fase tectónica compresional lo cual fue sumamente anómalo, para no decir casi incomprensible, considerando la posición del Oriente Colombiano al límite NW de la placa Suramericana y bordeado por el dominio Caribe, Toussaint et al (1996).

En algunos surcos los espesores de sedimentos cretácicos alcanzaron entre 6.000 mts y 10.000 mts, lo cual es considerable teniendo en cuenta que esta sedimentación se produjo encima de un basamento Precámbrico y Paleozoico temprano recubierto por series sedimentarias del Paleozoico Tardío y del Mesozoico Temprano, Toussaint et al (1996).

Las fallas normales que actuaron durante el Cretácico Temprano se paralizaron desde finales del Albiano pero una subsidencia térmica regional prosiguió durante todo el Cretácico Tardío. La rápida transgresión marina a partir del Albiano parece estar relacionada con una elevación general del nivel del mar en el mundo, fenómeno posiblemente relacionado con la formación de una superpluma y de varios puntos calientes en el Océano Pacífico, Toussaint et al (1996). La regresión marina durante el Campaniano y el Maestrichiano fue muy rápida y a principios del Cenozoico prácticamente todo el Oriente Colombiano estaba emergido (ver figura 11). También esta gran velocidad de la regresión puede estar relacionada con el lento enfriamiento de la litosfera del Océano Pacífico después de la actividad de la superpluma, enfriamiento que debió haber producido un descenso del fondo oceánico y un descenso del nivel del mar, Toussaint et al (1996).

Figura 10. Meso-Cenozoico, estratigrafía del flanco oriental de la Cordillera Oriental.

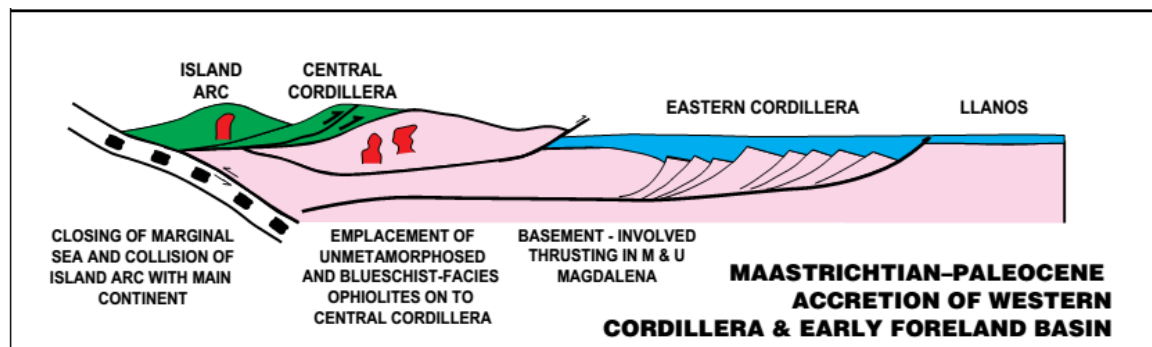


Fuente Tomada de Mora et al, 2009

En el área de San Luis de Gaceno y en general en el Piedemonte Llanero, la litología del Grupo Guadalupe es notoriamente más gruesa que la de la localidad tipo, Guerrero & Sarmiento (1996).

Una deformación importante de la Cordillera Oriental y del Piedemonte Llanero comenzó aproximadamente a 10-5 m.a fue el resultado de la colisión del arco de Panamá con América del Sur. Durante esta fase de deformación, la Cordillera Oriental fue elevada y erosionada. Fallas extensionales antiguas se invirtieron y se desarrollaron nuevas estructuras compresionales. Sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental y el Valle del Magdalena, los pliegues del Eoceno Medio se reactivaron, Cooper et al (1995).

Figura 11. Amalgamamiento de terrenos aloctonos sobre el margen occidental de Colombia.



Fuente: Tomada de Cooper et al., 1995

Según Parra et al., (2000); La zona de estudio se encuentra limitada al Norte por la terminación del Anticlinal de Buenavista, por la Falla de Servitá al occidente y la Falla de Borde al oriente. Está caracterizada por la presencia de una serie de pliegues dispuestos en échelon y con trazo axial sigmoidal de sus ejes que permite evidenciar allí una zona de cizalla dextral. El plegamiento se caracteriza por presentarse solamente en el bloque colgante de la Falla de Borde; por presentar una orientación oblicua a la falla de Servitá, un fuerte cabeceo hacia el S y vergencia hacia el NE. La presencia de estos pliegues está estrechamente relacionada con un cambio de rumbo en la Falla de Servitá. De esta forma el trazo de la falla al ser oblicuo la dirección de máxima compresión, genera una zona de cizalla con componente inversa, documentada por la ausencia de la cobertera

Meso-cenozoica en gran parte del Antiforme de Guayabetal y una componente dextral con expresión no solo en afloramiento, sino que también tiene una marcada expresión regional. Parra et al., (2000).

7. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE TRABAJO

Figura 12. Ubicación geográfica del municipio de Acacias, Meta.



Fuente: Tomado de Google Earth, 25 de julio 2013.

La zona de estudio se localiza al NE del municipio de Acacias, Meta, vereda la Unión; en el sitio conocido como Caño Blanco.

El municipio de Acacias se encuentra ubicado en la parte central de la República de Colombia, sobre el llamado Piedemonte Llanero, en la zona noroccidental del departamento del Meta. Está ubicado a 28 km de Villavicencio, con una extensión territorial aproximada de 1,29 kilómetros cuadrados.

Sus coordenadas geográficas aproximadas de los puntos extremos son 73° 24'18" y 74°02'23" de longitud Oeste de Greenwich; 03°53'35" y 04°12'42" de latitud Norte.

Limites

Norte: Villavicencio, alinderando con el rio Negro o parte alta del rio Guayuriba

Oriente: San Carlos de Guaroa.

Sur: Guamal y Castilla la Nueva.

Occidente: Departamento de Cundinamarca.

8. METODOLOGÍA

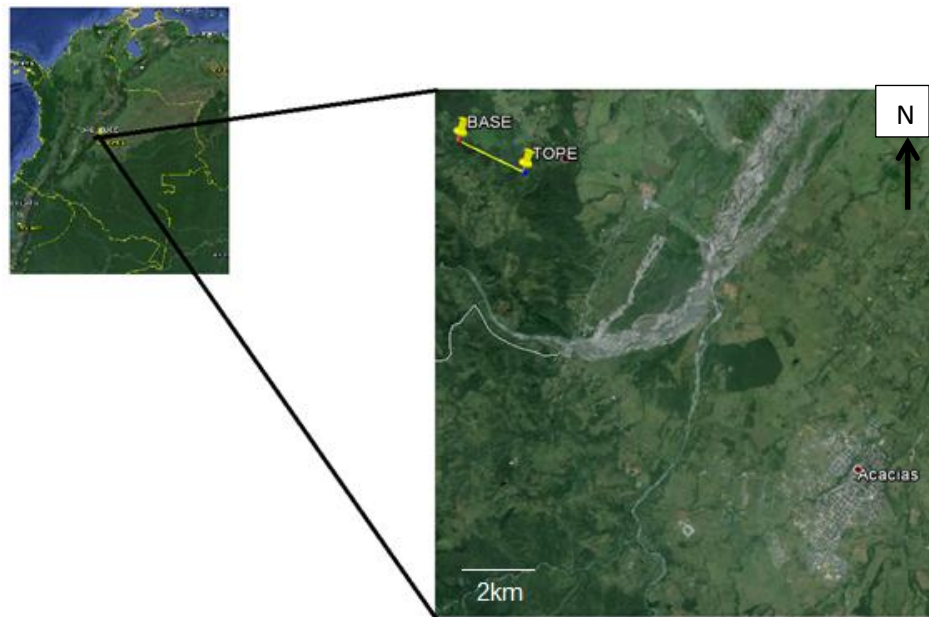
8.1 FASE PREVIA

Esta fase consistió en la recopilación bibliográfica del tema, en el cual se recolectó todos los trabajos relacionados con este estudio acerca de la estratigrafía de la Cordillera Oriental de Colombia y el Piedemonte Llanero en especial todo lo relacionado con el Grupo Guadalupe. Se apoyó en información acerca de la geología regional, las unidades litoestratigráficas y la estratigrafía de la zona de interés. Se basó en los formatos establecidos por el servicio geológico colombiano, otorgados por el Instituto Colombiano Del Petróleo ICP, al igual se realizó una salida entrenamiento de campo a Acacias (Meta) que tuvo una duración de 10 días.

8.2 FASE CAMPO.

En esta fase se recopiló información y posteriormente se desarrolló una fase de campo con duración de 35 días, elaborando una columna Estratigráfica del Grupo Guadalupe, en la quebrada Caño Blanco en cercanías al municipio de Acacias (META) (Ver figura 13). Dicha columna se levantó a escala 1:100, bajo un formato unificado establecido por el Instituto Colombiano Del Petróleo (ICP). En esta fase se reunió una importante información Litoestratigráfica, utilizando medición de Gamma Ray, y el levantamiento de la Columna Estratigráfica realizando una poligonal y el método del bastón de Jacob, según las condiciones de acceso al sitio de trabajo y la forma de disposición de las rocas.

Figura 13. Ubicación del área de estudio, quebrada Caño Blanco. Alrededores de Acacias (Meta).



Fuente: Tomado de Google Earth, 25 de julio 2013.

8.2.1 Metodología de levantamiento de columna estratigráfica

8.2.1.1 Bastón de Jacob. Es una herramienta que se utiliza en Geología con el objetivo de medir grandes espesores de estratos sedimentarios. Consta de una vara de material Dieléctrico de 1'50 metros con marcas cada 10 cm a lo largo de toda su longitud y, en su parte superior, un disco también metálico y un nivel. El nivel permite la inclinación del bastón a los mismos grados de inclinación que el estrato a medir y el disco permite proyectar una visual, un plano que corresponderá a la altura de la vara (1'50m), y así calcular el espesor de la capa (que será la suma total de las proyecciones visuales, ver (figura 14). Gracias a su versatilidad y fácil manejo en el campo, ofrece la ventaja de poder obtener, con buena precisión, las dimensiones de capas inclinadas o muy inclinadas sobre un perfil topográfico irregular.

Figura 14. Metodología para el uso de Bastón de Jacob



8.2.1.2 Poligonal Abierta. El método consiste en que los dos estudiantes deben ubicarse cada uno en un estrato diferente y realizar las mediciones de distancia real, tomando datos de azimut de buzamiento y visuales con la brújula de uso geológico. (Ver figura 15,16).

Figura 15. Uso de la brújula tipo Brunton como clinómetro, para leer el ángulo de inclinación (A) y para lanzar visuales para leer el azimut (centro e izquierda).

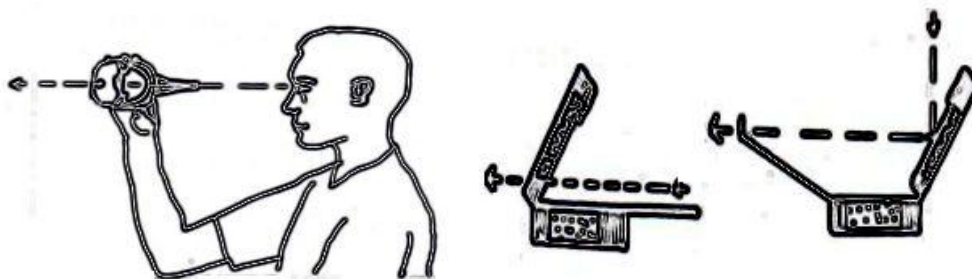
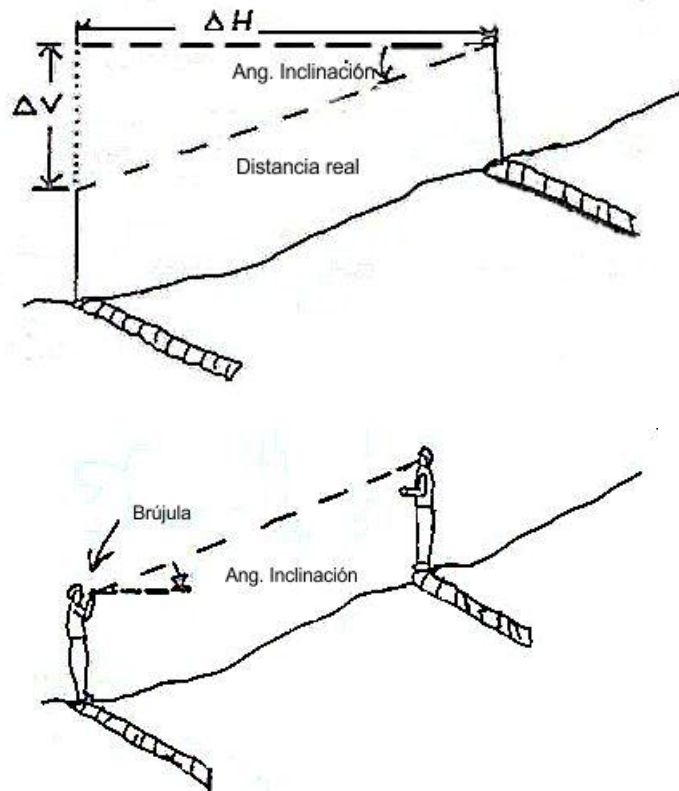


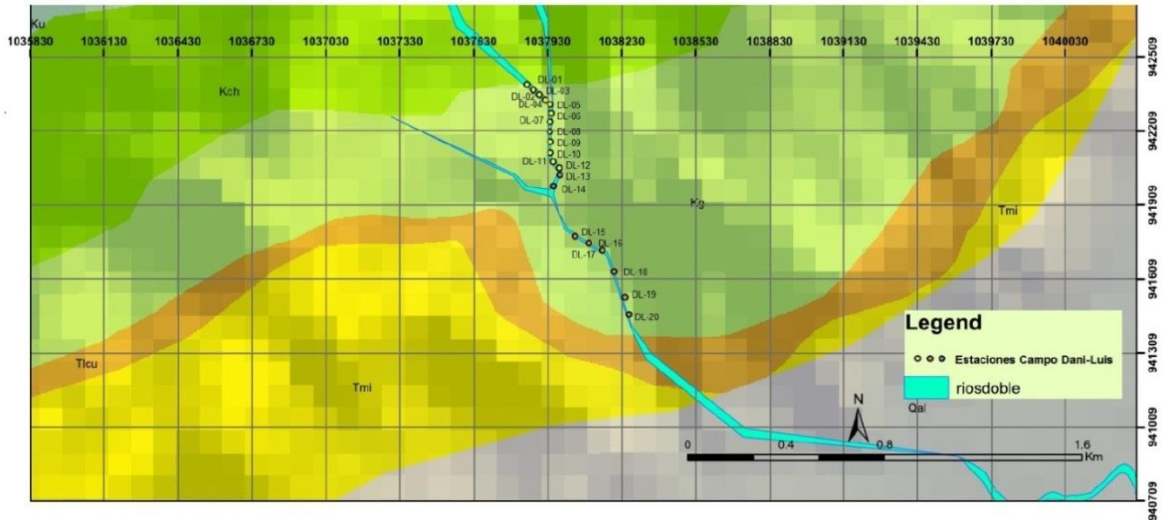
Figura 16. Datos para la elaboración de una Poligonal abierta (superior) y visualización de las distancias real, horizontal y vertical (inferior).



Tomado de CRUZ, L. E., (1991).

La Poligonal realizada se muestra en la figura 17, la cual consta de 23 estaciones en las que se tomaron datos estructurales fotografías y algunas muestras representativas.

Figura 17. Mapa de estaciones realizadas en la Poligonal abierta Quebrada Caño Blanco



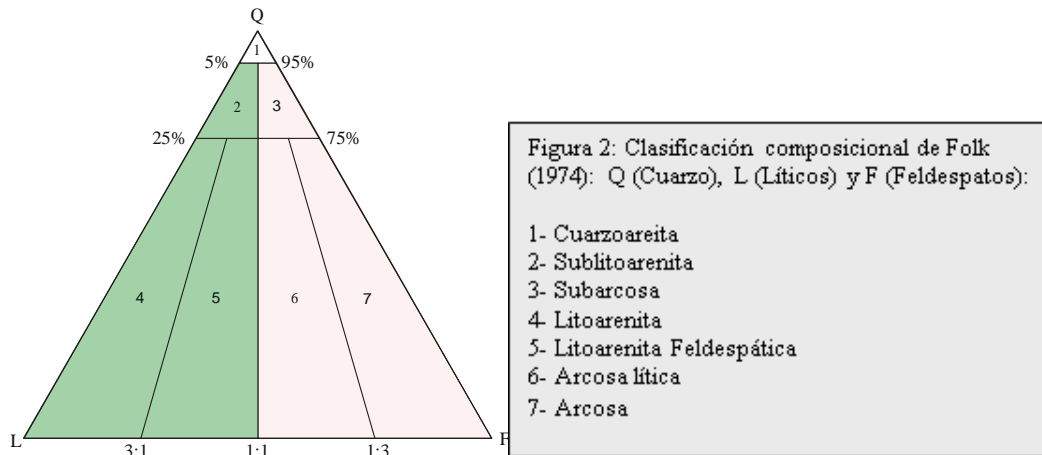
8.2.1.3 Metodología para la clasificación de rocas sedimentarias Se utilizaron las tablas de clasificación, cartas de comparación, y tabla de tamaño de grano utilizadas por la comunidad geológica, con el propósito de generar una información eficiente de las observaciones

➤ Composición :

Es representado generalmente en un diagrama triangular con el que clasificamos la roca, lo cual debemos tener cuenta **Armazón, Cemento, Tipo de Matriz**

- **Armazón de granos:** la composición de los granos que componen la roca, los diagramas, generalmente solo tiene en cuenta la composición del armazón de la roca para su clasificación, se utiliza la clasificación propuesta por Folk (1974), (figura18.)

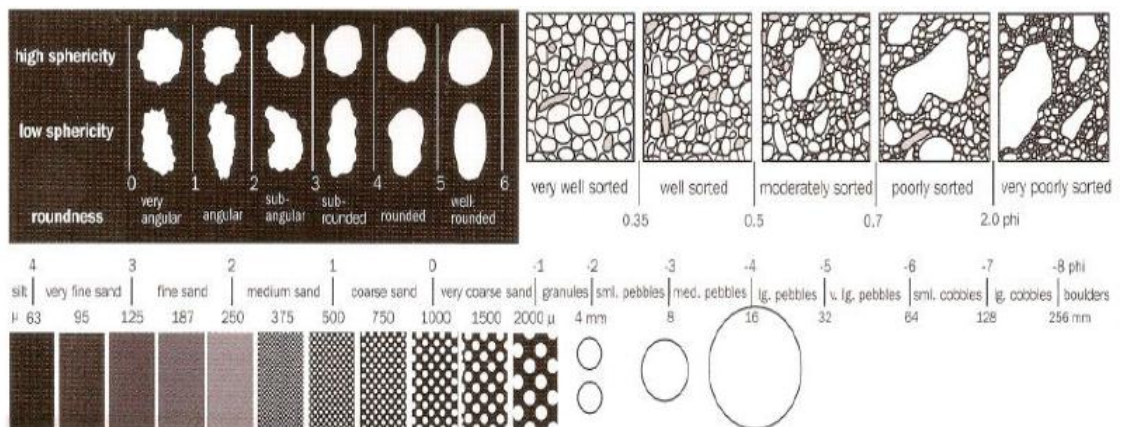
Figura 18. Clasificación composicional de Folk,1974.



Fuente: tomada de Arche, 2010.

- **Tipo de Matriz:** composición de las partículas finas intra granos
- **Cemento:** El material que tiene unida las particula, podría ser siliceo o calcáreo
- **Tamaño de Grano:** Tamaño de los fragmentos que componen las rocas, describiendo la selección, ver figura 19.

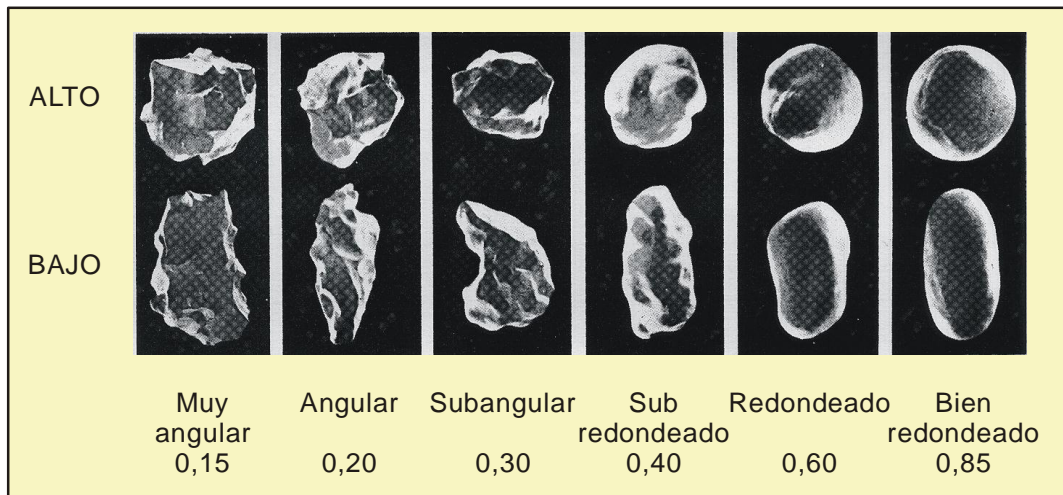
Figura 19. Carta de comparación del tamaño de grano



Fuente: Tomada de Stow, 2005.

- Forma del grano: comprende atributos que se refiere a la morfología de las partículas, dentro de estas características la redondez y la esfericidad
 - **Redondez:** definido como el promedio de los radios de las curvaturas que generan sus aristas, suele ser estimado mediante cartas de estimación visual de Powers (1953) (figura20)

Figura 20. Análisis de angularidad (Powers, 1953).



Fuente: Tomada de Powers, 1953.

- **Esfericidad:** determina la forma del grano con respecto a la proximidad hacia la esfera. Se calcula mediante cartas de estimación visual cualitativas de Powers (1953) (figura 18) o cuantitativa de Krumbein & Sloss, (1958) en el cual se relaciona también la redondez
- **Clasificación textural:**
Las rocas Siliciclasticas se utiliza la clasificación textural de Folk (1974)

Figura 21. Clasificación textural según Folk,1974

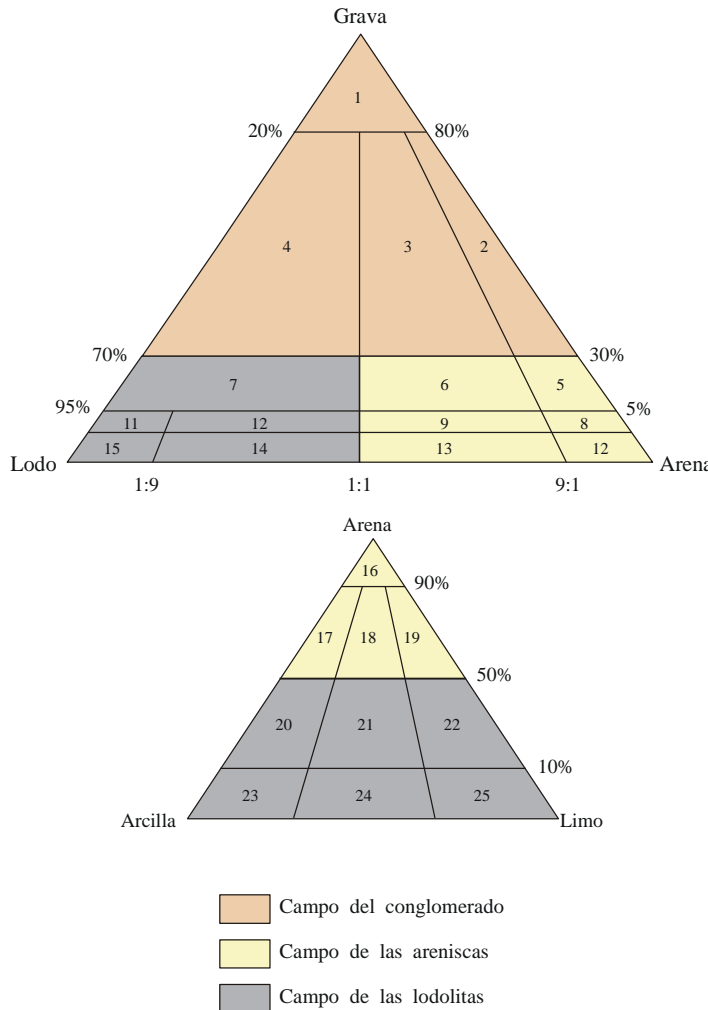


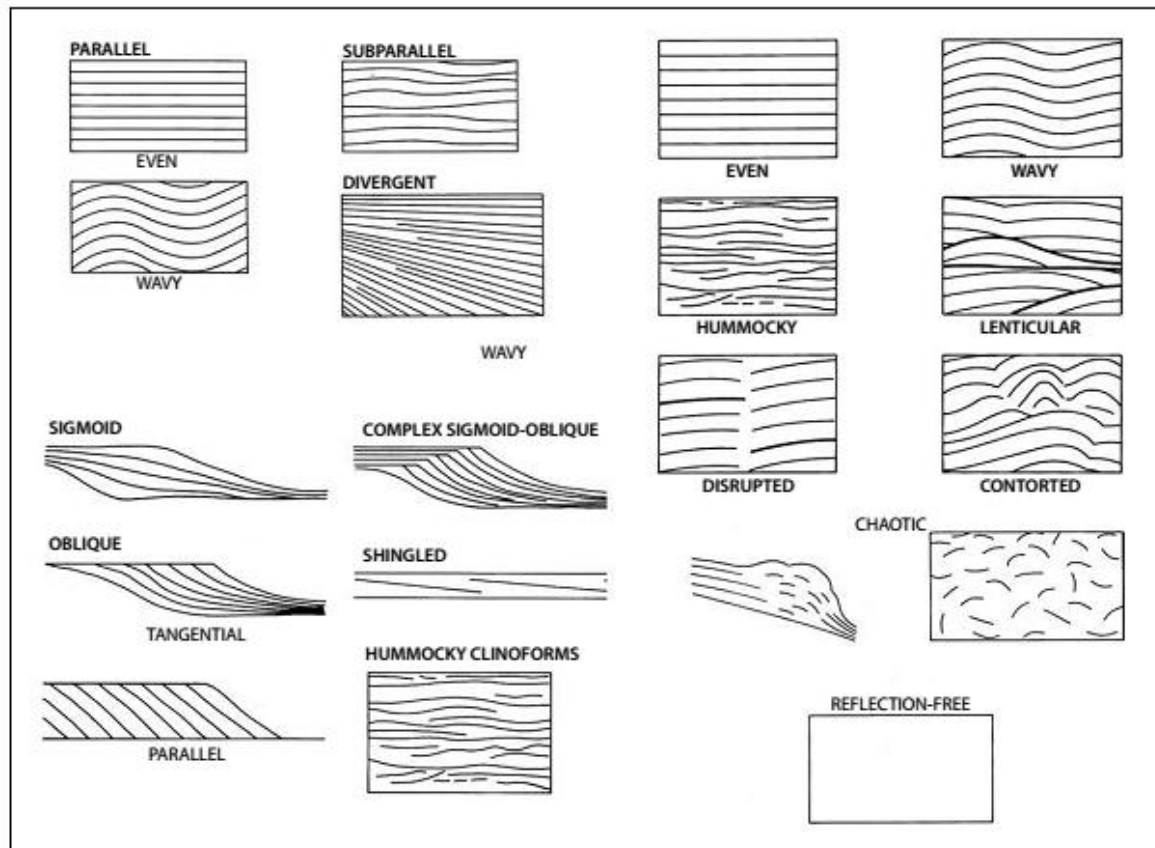
Figura 8: Clasificación textural, modificada de Folk (1974).

1. Conglomerado
2. Conglomerado arenoso
3. Conglomerado areno - lodoso
4. Conglomerado lodoso
5. Arenisca conglomerática
6. Arenisca lodosa - conglomerática
7. Lodolita conglomerática
8. Arenisca levemente conglomerática
9. Arenisca lodosa levemente conglomerática
10. Lodolita arenosa levemente conglomerática
11. Lodolita levemente conglomerática
12. Arenisca
13. Arenisca lodosa
14. Lodolita arenosa
15. Lodolita
16. Arenisca
17. Arenisca arcillosa
18. Arenisca lodosa
19. Arenisca limosa
20. Arcillolita arenosa
21. Lodolita arenosa
22. Limolita arenosa
23. Arcillolita
24. Lodolita
25. Limolita

Fuente. Tomada de Arche, 2010.

- **Estructuras de corriente de Flujo:** reflejan las corrientes que actuaron durante el proceso de sedimentación , como son la Laminación Pararelas, Ondulitas, Estratificación Cruzada, Estratificación Gradada ,de acuerdo con Arche, 2010. (ver figura22).

Figura 22. Términos descriptivos para la forma de la estratificación.

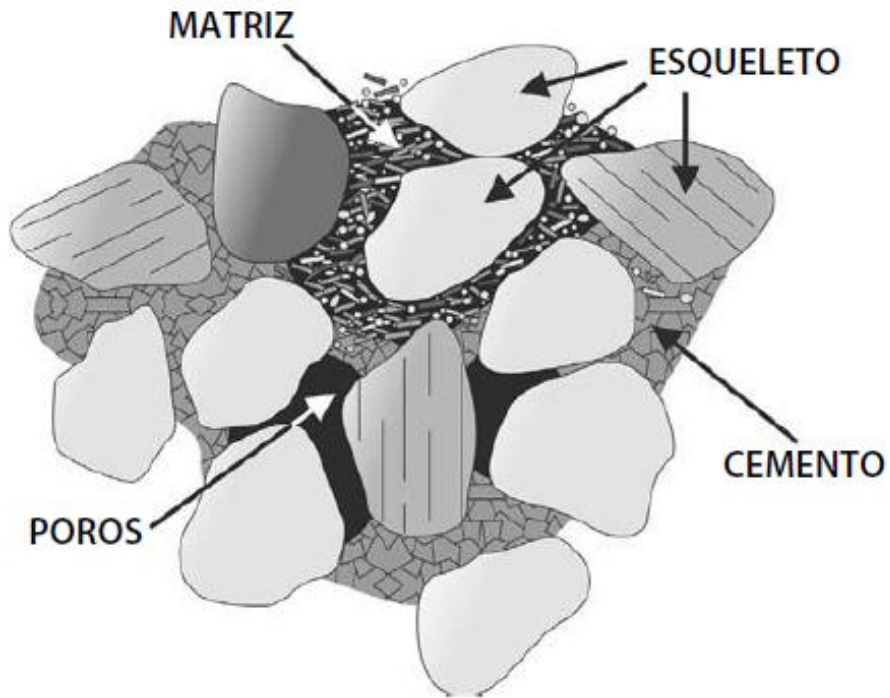


Fuente: Tomada de Arche, 2010.

- **Clasificación de la sección delgada.**

Para la clasificación de la sección delgada se utilizó el manual de sedimentología de Cruz & Caballero, (2007).

Figura 23. Esquema de la estructuración de una roca detrítica



Fuente. Tomado de Arche, 2010.

8.2.1.4 Metodología de los registros: La toma de registros de gamma ray se realiza cada 25 cm avanzando de base a tope de la formación, (ver figura 24) utilizando un Gamma espectral (Gamma Surveyor II) descargandose los datos en computador para luego ser graficadas la relacion Th/U.

Figura 24. Gamma ray espectral (propiedad del ICP), determinando concentraciones de elementos radiactivos naturales (K, U, Th), utilizado en campo



8.3 FASE DE OFICINA.

Esta tercera fase consolidó la ejecución y recopilación de los datos obtenidos, con una duración de tres (3) meses, en esta etapa se digitalizaron los datos adquiridos en campo, y se elaboraron las columnas estratigráficas a escala 1:100. Por consiguiente hubo interpretación y evaluación de todos los resultados para la elaboración de la Columna Estratigráfica, ya elaborada se procedió a determinar las facies existentes basados en la tabla de Farrel, (2012) y posterior a esto se asociaron las diferentes facies para ser correlacionándolas con los distintos modelos descritos para cada sistema deposicional y determinando los ambientes de depositación de los sedimentos.

Se elaboró un análisis de las variables más importantes a la hora de aplicar la metodología para finalizar con un resultado confiable.

Figura 25. 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		
S	sand	l	lenticular bedding	S m	Massive sand
mS	muddy sand	w	wavy bedding	S biot	Bioturbated sand
gS	gravelly sand	f	flaser bedding	S b	Burrowed sand
gmS	gravelly muddy sand	gr	graded	S x	Crossbedded sand
mgS	muddy gravelly sand	gr-lam	graded laminates	S r-lam	Ripple-laminated sand
		x	cross-bedded		
		ch	chaotic bedding	(m)S f	Flaser-bedded slightly muddy sand
		con	convoluted	mS b	Burrowed muddy sand
M	mud	s	swirling	gmS b-gr	Burrowed to graded gravelly, muddy sand
sM	sandy mud	r	rippled		
gM	gravelly mud	r-lam	ripple-laminated	M mp	Micropelletal mud
gsM	gravelly mud	s-lam	swirling laminated	M lam	Laminated mud
sgM	sandy gravelly mud	ml	moldic	(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

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

Para la interpretación de los registros Gamma Ray se basó en el artículo de Adam & Weaver, (1958) el cual nos muestra las relaciones de Th/U como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1. Relaciones de los valores de Th/U, basados en Adam & Weaver (1958).

Relación Th/U	Interpretación según Adam & Weaver (1958)
valores de $U > Th$	Se asocia a la presencia de un ambiente reductor, favorable para la formación de pirita y se asocia al incremento de materia orgánica
Valores de $Th = U$	Se interpreta como una regresión en la depositación de sedimentos en la parte distal del delta indicándome un ambiente reductor
Valores de $Th=U$ similares a 2 ppm	Son propios de un ambiente oxidante , lo que sustenta que nos encontramos en un ambiente de depositacion característico de una llanura deltaica

8.4. PRODUCTOS

- Una (1) columna Estratigráfica de la Formación Guadalupe en Caño Blanco a escala 1:100
- Informe final del proyecto

9. RESULTADOS

Basados en el término *facies* como el conjunto de características litológicas, de estructuras físicas y biológicas similares, diferenciables a escala de muestra de mano, y definidas así con el objetivo final de deducir una interpretación ambiental Walker & Plint, (1992), se han definido litofacies de acuerdo a las descripciones en campo hechas. Para el nombre de litofacies se utilizaron letras descriptivas de las principales características de la roca, basados en Farrel et al., (2012) (ver tabla 2) siendo el primer componente el tipo de litología y el segundo la estructura predominante.

Tabla 2. Códigos e interpretaciones de Facies

	CODIGO LITOLOGICO	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN
1	Sw	Arenisca con estratificación Ondulosa no paralela	Régimen de flujo bajo y sedimentación por suspensión.
2	Zw	Limolita con laminación Ondulosa no Paralela	Sedimentos en suspensión y régimen de flujo bajo.
3	Mlam	Shale con intercalaciones de capas muy finas y finas de areniscas	Depósitos de sedimentos en suspensión en aguas tranquilas.
4	Sm	Arenisca sin estructuras (Masiva)	Flujo hiperconcentrado / régimen de flujo alto.
5	(C)lam	Arcilla con laminación plano paralela	Depositos de sedimentos en suspensión en aguas tranquilas.
6	MI	Shale lenticular	Sedimentación por suspensión.
7	S/Mw	Capas ondulosas de arenas y intercalación de lodo (heteroliticos)	Incremento del nivel del mar pasando de depósitos de material por carga de fondo.

	CODIGO LITOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN
8	Sbiot	Arenas bioturbadas	Sedimentación por suspensión.
9	Sr	Areniscas con presencia de ripples	Régimen de flujo bajo.
10	SL	Areniscas Lenticular	Variación entre régimen de flujo bajo y depositación de los sedimentos en suspensión.
11	Sx	Areniscas con estratificación cruzada planar	Depósitos en régimen de flujo alto de sedimentos por carga de fondo.
12	Zlam	Limolita con laminación plano paralela	Depositación de sedimentos en suspensión en un régimen de flujo alto.
13	(z)S	Arenisca ligeramente limosa	Sedimentos por suspensión, régimen de flujo alto.
14	sG	Conglomerado arenoso	Depósitos de sedimentos de carga de fondo en un régimen de flujo bajo.
15	Zx	Limolita con laminación cruzada planar	Disminución de los depósitos de inundación.

Este trabajo es dividido en tres segmentos de acuerdo con sus características y serán descritas de la siguiente manera:

SEGMENTO A.

ESPESOR 183 METROS

Inicia en el metro cero hasta el metro 183 de la columna estratigráfica (ver figura 27) interpretando su ambiente de sedimentación como parte distal de la barra de desembocadura, la cual presenta una interestratificación de arenas de grano muy

fino, fino con laminación ondulosa (**Sw**), limolitas con laminación paralela y ondulosa (**Zlam, Zw**) y arenas limosas con laminación ondulosa (**S/Mw**) según Arche, (2010). Tienen los sedimentos más gruesos en la cresta, situada a poca distancia de la desembocadura y desde allí se da una progresiva disminución del tamaño de grano hacia las facies distales más profundas, suelen estar formadas por arenas finas, limpias y bien clasificadas. La secuencia es asociada a una litofacie heterolítica (ver figura 26-28) en la que se registran variaciones periódicas de las condiciones hidrodinámicas y del aporte sedimentario, en la cual se evidencia alta bioturbación con presencia de Thalassinoides, Arenicolites, Ofiomorfas, fragmentos de vertebras de peces y valvas destruidas. Según Buatois et a., (2002) pertenecientes a la icnofacie SKOLITHOS.

Figura 26. Estratos Heteroliticos mostrando una alta bioturbacion



Figura 27. Parte segmento A de la Columna Caño Blanco

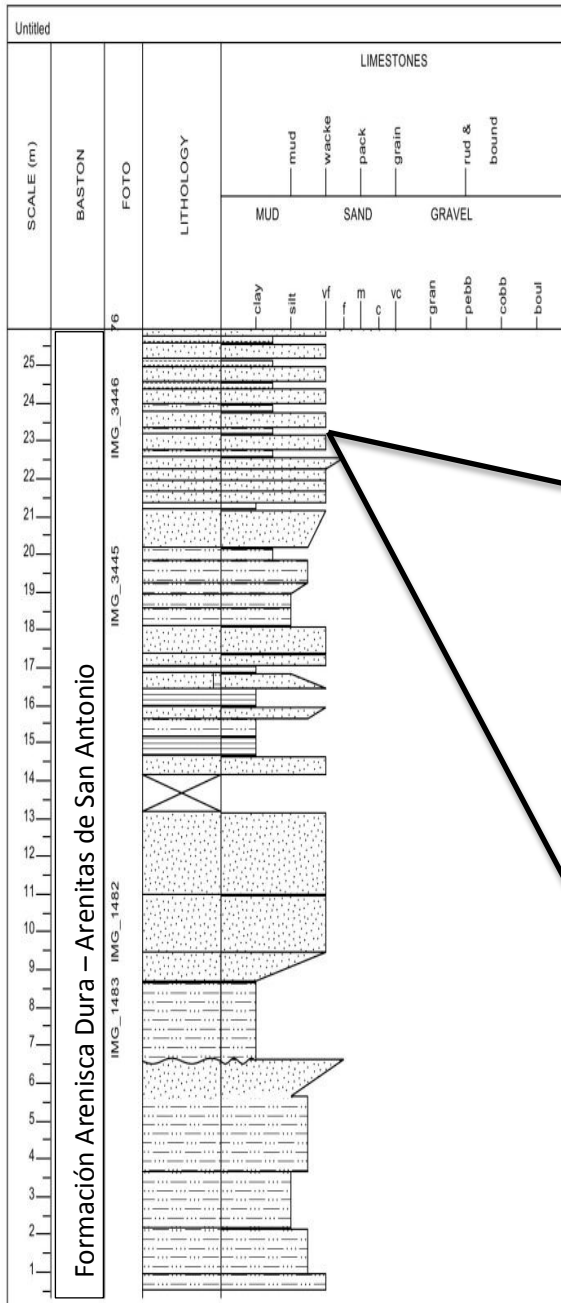


Figura 28. Secuencia Heterolitica



Según las descripciones hechas por Guerrero & Sarmiento, (1996) la sección 1 estudiada en este trabajo corresponde evidentemente a la Formación Arenitas de San Antonio siendo su sección tipo la quebrada San Antonio. La cual fue depositada durante un episodio de caída del nivel del mar, cerca del nivel inferior

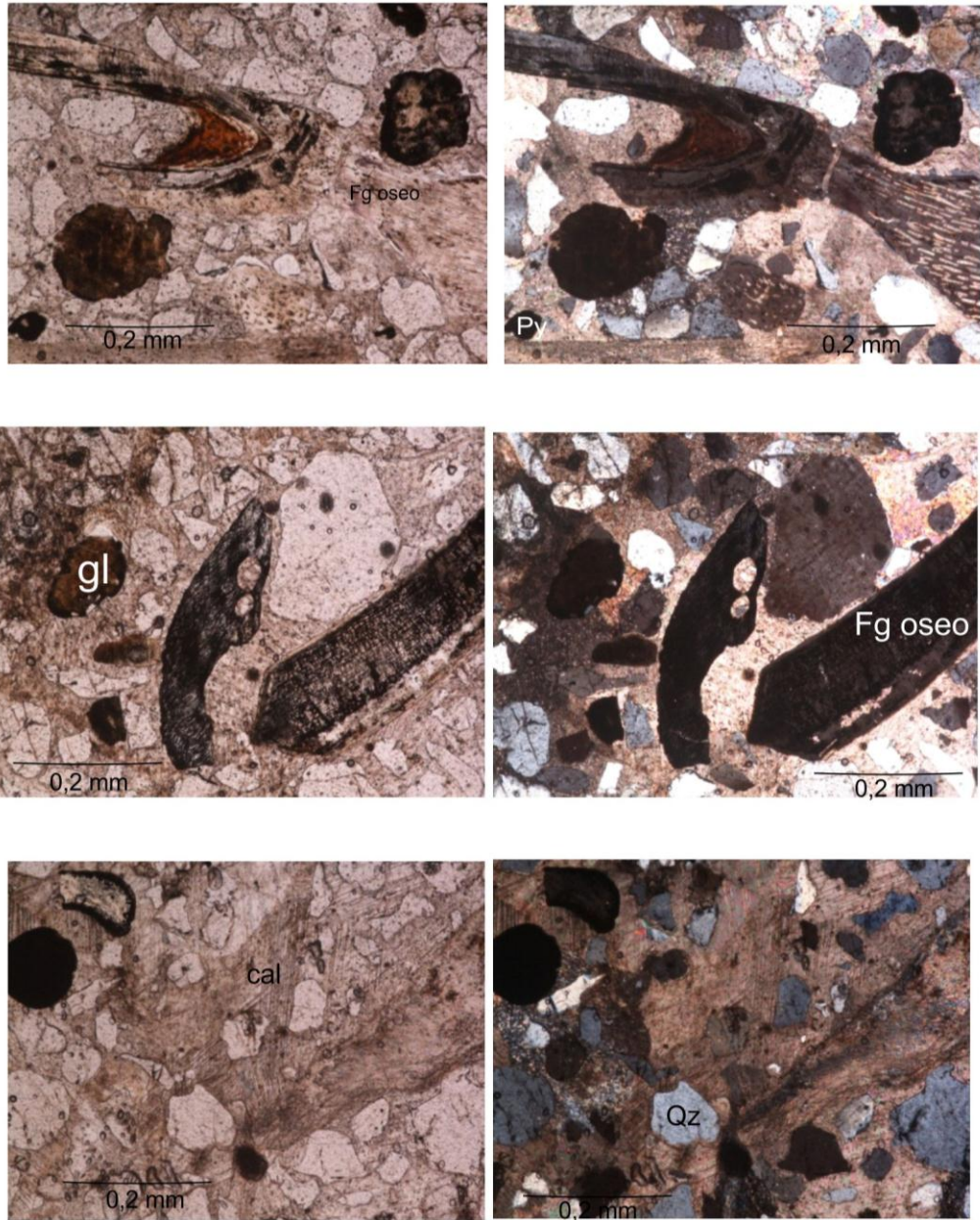
de acción de oleaje diario para que las arenas glauconitas de grano fino y muy fino fueran sujetas a intensa bioturbación tal como se evidencia en la segmento A .

En algunos metros se observa la presencia de *ripples* los cuales según Arche, (2010) son el resultado de oscilaciones del rango mareal, combinado con las variaciones estacionales de descarga de canales distribuidores que provocan la erosión parcial y el depósito de las arenas del frente deltaico.

Suprayaciendo estratigráficamente encontramos areniscas con intraclastos (**Sintr**) continuando con capas de areniscas con estratificación cruzada (**Sx**) de 1 a 2 metros de espesor seguidas por unas intercalaciones de limolitas y arenas con laminación paralela (**Slam y Zlam**), cerca del bastón 53 se toma una muestra, la cual se analiza petrográficamente y se observa una cuarzoarenista con cemento calcáreo y presencia de fragmentos óseos además de minerales opacos posiblemente pirita, ver (figura 29) hacia el techo encontramos arenas masivas intercalándose con limos ondulados y arcillas onduladas (**Sm, Zm y Mw**)

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 meandriiformes 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 playeros paralelos al borde de la llanura deltaica, Arche, (2010)

Figura 29. Sección delgada NP (izquierda), NX (derecha) de Calcoarenita con fragmentos óseos, glauconita y mineral opaco en una matriz calcárea, debido a su alto contenido de fragmentos óseos probablemente se asocia una fosforita.



Las facies (**Sw, Sm, Sx**) que continúan estratigráficamente hasta el final de la sección son interpretadas como alternancia entre un régimen de flujo bajo y depositación de los sedimentos en suspensión; según Arche, (2010) sedimentación en caída de energía de las corrientes que transportan los materiales, lo cual ocasiona una depositación en suspensión, pero sin sufrir transporte posterior; depósitos en régimen de flujo alto de sedimentos por carga de fondo.

El segmento A inicia con la abrupta somerización de ambientes de depositación marina, pasando de las lodolitas de costa afuera de la Formación Chipaque Guerrero & Sarmiento, (1996) a las arenitas de frente de playa de la Formación Arenitas de San Antonio (Segmento A de la columna). La parte superior de las parasecuencias presentes en esta última unidad concluye con tamaños de grano cada vez más gruesos, indicando que nos encontramos en un sistema deposicional de bajo nivel (*Low System Track*) con una sucesión progradacional.

Siendo correlacionado el segmento A de la columna estratigráfica con la parte inferior del grupo Guadalupe la edad que se tiene para esta sección según Guerrero y Sarmiento es el inicio del Campaniano, ya que la base del Grupo Guadalupe se sitúa muy cerca al límite Santoniano/ Campaniano con base en la desaparición de la asociación palinológica característica del Santoniano y la explosión en número de especies y de especímenes del género *Dinogymnium* según Guerrero & Sarmiento, (1996).

SEGMENTO B

Metro 183-258

Espesor 75 metros

Inicia con capas de arena de aproximadamente un metro de espesor con laminación paralela (**Slam**) pasando a limolitas con laminación ondulosa (**Sw**) en las que se intercalan capas pequeñas de Shale, que por sus características es interpretada como transportada en suspensión y depositada por asentamiento de partículas, por pérdida de energía del medio, con fluctuaciones en el aporte de materia orgánica y minerales arcillosos. El ambiente de depositación se interpreta como prodelta según Arche, (2010). La laminación se puede dar por cambios físicos o químicos en la depositación. Suprayaciendo estratigráficamente encontramos intercalaciones de capas de areniscas cuarzosas y limolitas cuarzosas con laminación ondulosa que se interpreta como transportada en suspensión y posteriormente depositada por asentamiento de partículas, debido a pérdida de energía del medio, con fluctuaciones en el aporte de material arenoso y arcilloso; pasando a capas de arenas masivas de metro y medio de espesor lo que muestra un flujo hiperconcentrado y régimen de flujo alto lo que indica el aumento de sedimentos a la cuenca, siguiendo con intercalaciones de lodolitas y limolitas con laminación planar continuando por varios metros y luego inician capas muy pequeñas de arenas muy finas con laminación paralela que se intercalan con lodolitas ligeramente limosas.

Posiblemente se depositaron durante un marcado ascenso del nivel del mar (TST). Las lodolitas negras con intercalaciones menores de arenitas de grano fino del segmento, se interpretan como depositadas por debajo del nivel de acción del oleaje diario y eventualmente por debajo del nivel de acción de tormentas, indicando una subida abrupta del nivel del mar (primera superficie mayor de

inundación o superficie transgresiva) lo cual se corrobora con la relación Th/U de los registros.

Esta sección en la cual predominan lodolitas y limolita se asocia a La Formación Lodolitas de Aguacaliente propuesta por Guerrero & Sarmiento, (1996), aunque en el área de estudio no supera los 60 metros. La Formación se considera de edad Campaniano tardío.

Figura 30. Columna segmento B, quebrada Caño Blanco

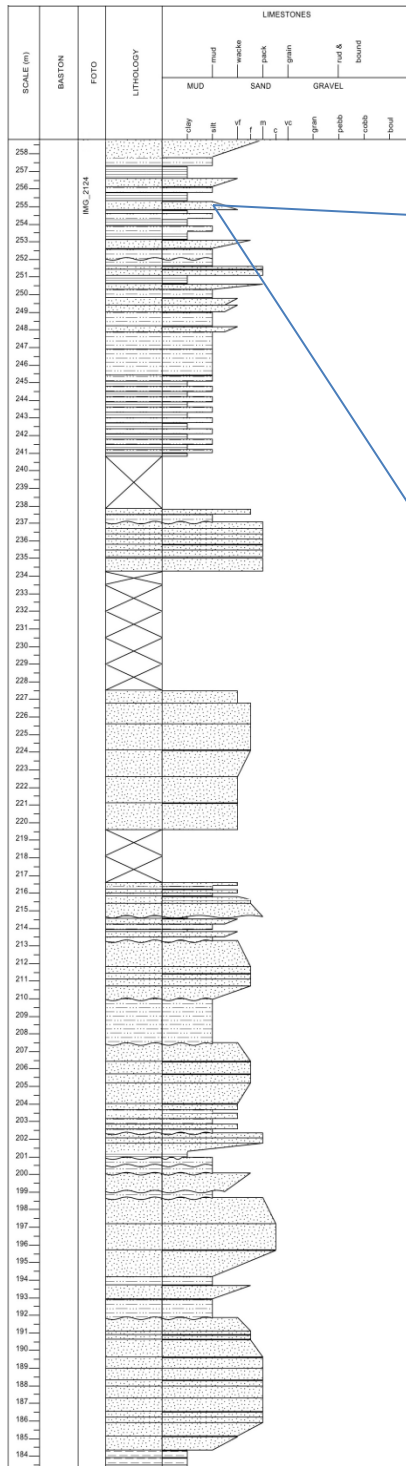


Figura 31. Lodolitas en el tope de la sección



Figura 32. Lodolitas en el tope de la sección.

SEGMENTO C

Metros: 258-307.5

Espesor 49,5 metros

A la base con una superficie erosiva, ver (figura 32) en la que predomina la facies de cuarzoarenitas de grano medio a grueso con laminación cruzada planar y tangencial a la base con granos sub redondeados, bien seleccionados con presencia de matriz feldespática caolinitizada, de color gris claro, muy friable, dispuestas en capas gruesas y muy gruesas y en contacto ondulado.

Las areniscas de cuarzo en su mayoría predominan las laminaciones cruzadas planares tangenciales a la base, ver (figura 34), la geometría en canal de las capas evidencian que la depositación ocurrió en la llanura deltaica. Las capas de areniscas muy potentes representan los bancos de arenas que se forman en la desembocadura de los canales distributarios, las capas que poseen estratificación cruzada representan un aumento en el régimen de flujo, posiblemente debido a una somerización de la cuenca.

Según Guerrero & Sarmiento, (1996) en el Piedemonte Llanero la litología más abundante es cuarzoarenita de grano muy grueso que por sectores incluye conglomerado de gránulos, siguiendo en abundancia la cuarzo arenita de grano grueso y medio. Para el Guadalupe Superior del Piedemonte Llanero se propone el nombre de Formación Arenitas de San Luis de Gaceno. La asociación palinológica de esta formación se cree de edad Maastrichtiano temprano. En la parte inferior de la unidad ya no se reconoce la asociación del Campaniano tardío presente en la unidad infrayacente.

Los sedimentos de tamaño grueso que predominan la sección se depositaron en ambientes de frente de playa y llanuras costeras durante un descenso relativo del nivel del mar, Guerrero & Sarmiento, (1996).

Figura 33. Inicio del segmento C, superficie de erosión.



Figura 34. Columna estratigráfica segmento C

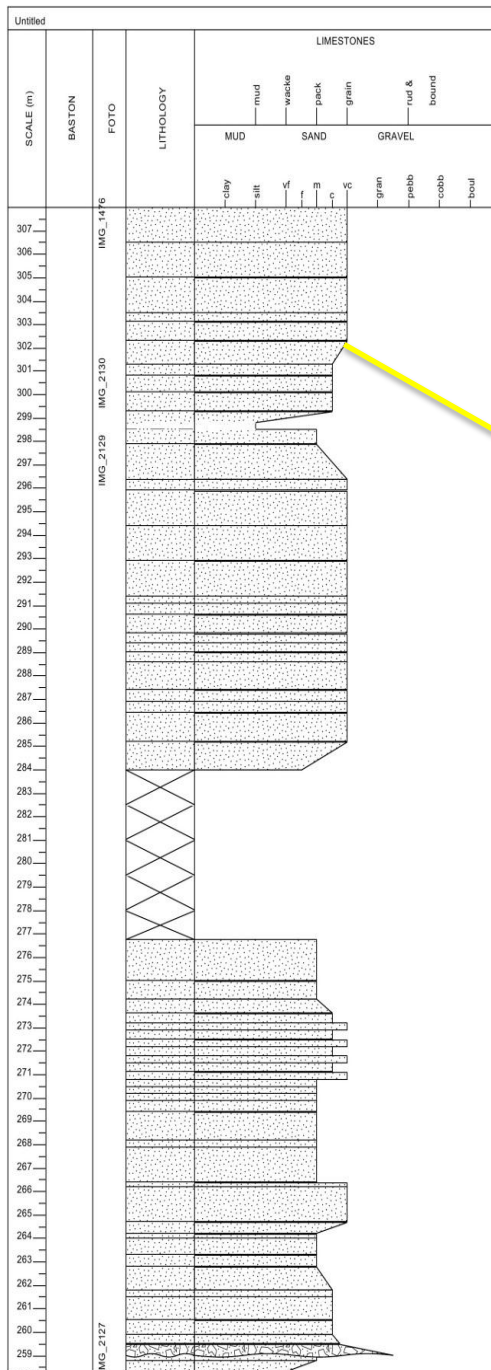


Figura 35. Laminación cruzada tangencial la base.



10. REGISTROS DE RAYOS GAMMA

SEGMENTO A

Este registro se dividió en dos partes, está La parte A-1 la cual se encuentra en los metros 0 a 70 de la secuencia estudiada, el registro de *Gamma Ray* espectral tomado nos muestra que los valores de Uranio son mayores que los de Torio, por lo tanto indica un ambiente reductor, favorable para la formación de pirita y se asocia al incremento de materia orgánica. Según Adam & Weaver, (1958) cuando la relación de Th/u son más altas de 7 las facies se pueden desarrollar por la eliminación de Uranio por meteorización y lixiviación, dejando al Torio insoluble detrás en altas concentraciones. La gráfica del *Gamma Ray* total (GR) tiene una forma aserrada por lo tanto se podría interpretar como una agradación que nos refleja la parte distal de la barra de desembocadura

Seguida por la parte A-2 que va desde el metro 70 al 183 de la secuencia analizada donde los valores de Uranio y Torio tienen una tendencia similar pero con algunos picos de Uranio que van desde 15 ppm a los 20 ppm que nos representan estratos fosfáticos o minerales radiactivos como zircones que tenga altos contenidos de Uranio, también podemos evidenciar algunos picos de Potasio el cual nos indica abundancia de minerales de arcilla, mica, feldespato y sedimentos meteorizados Adam & Weaver, (1958), el esquema del *Gamma Ray* total en esta parte tiene dos formas (1) que es un GR simétrico que evidencia una posible variación de energía de flujo, pasando de una regresión a una transgresión y en la parte superior se observó una forma de GR cilíndrico que refleja una agradación, dando como resultado un ambiente de relleno de canales, clarificando un cambio en la energía en la depositación del sedimento, ver (figura 35).

Figura 36. Analisis de registros gamma Ray, segmento A

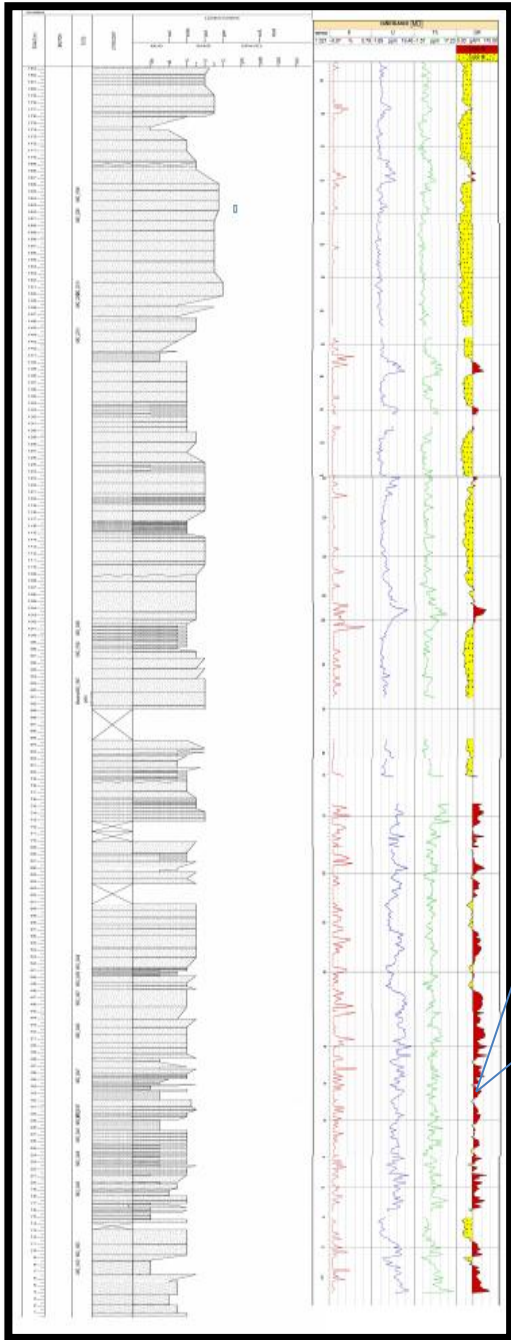


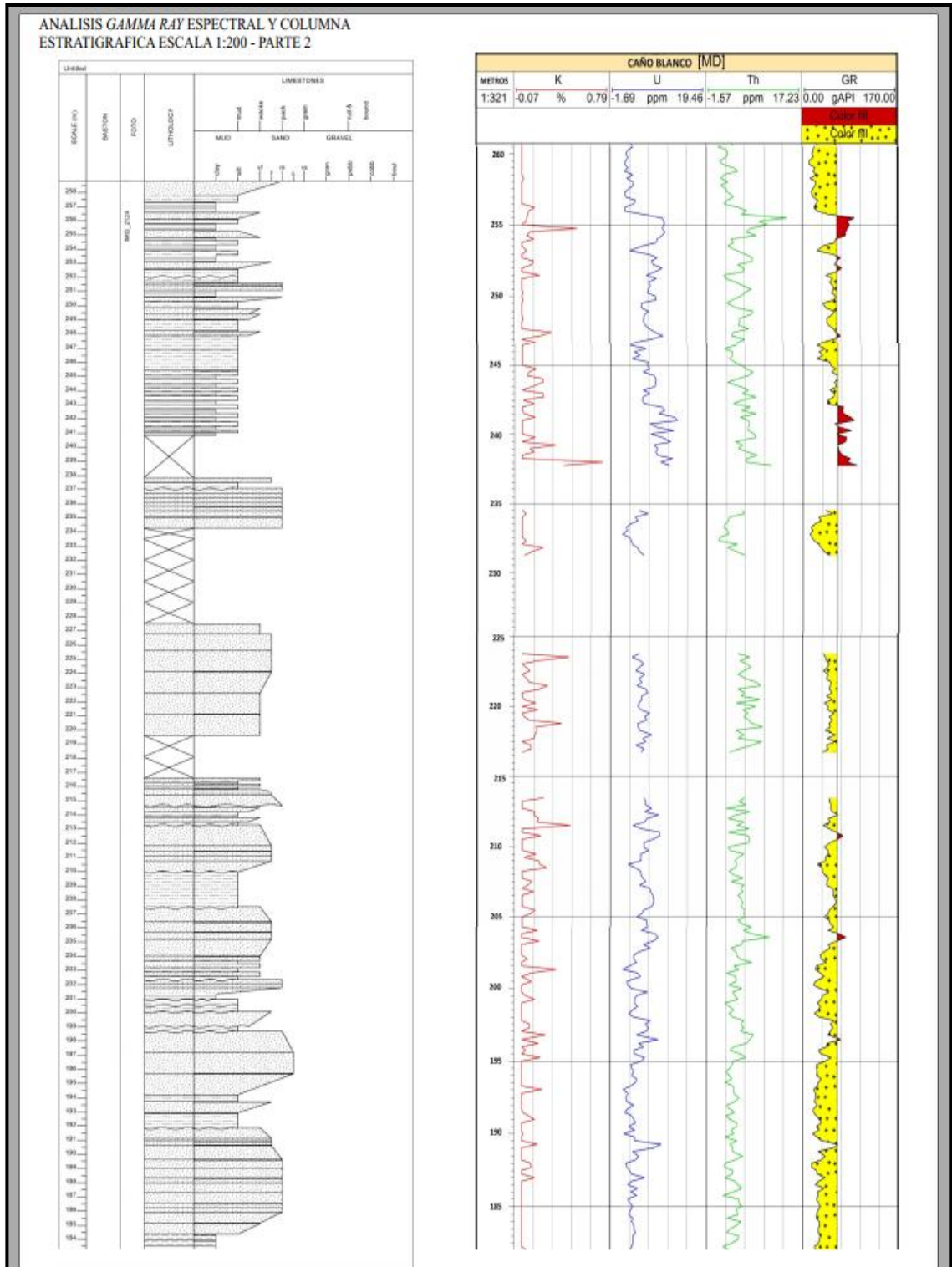
Figura 37. Intercalacion de areniscas, lodolitas y shale .



SEGMENTO B

En la gráfica de tendencia del registro que va desde el metro 183 al 258 de la sección trabajada muestra que la curva del registro *Gamma* total (GR) va hacia el extremo izquierdo, lo cual señala unas zonas permeables de arenas limpias. La gráfica deja ver una figura simétrica que indica una posible progradación y retrogradación en la que los sedimentos fueron depositados en el Prodelta, hacia la parte superior la figura de la curva del GR cambio a un aserrado (dentado) mostrando una agradación, la relación Th/U en esta parte en su mayoría son semejantes exponiendo una regresión en la depositación de sedimentos en la parte distal del delta indicándome un ambiente reductor Adam & Weaver, (1958), ver (figura 37).

Figura 38. Análisis gamma ray espectral, segmento B



SEGMENTO C

En esta última tendencia de los registros *gamma* van desde el metro 258 al 307, Se constató una secuencia de arenas limpias con alto contenido de impregnación de hidrocarburos , en esta parte la tendencia de Potasio disminuye mostrando mala meteorización y con respecto a la relación de Th/U se mantienen similares con valores menores de 2 , según Adam & Weaver, (1958) son propios de un ambiente oxidante, lo que sustenta que nos encontramos en un ambiente de depositación característico de una llanura deltaica , la gráfica que proporciona el gamma ray es de forma cilíndrica mostrando una agradación , las facies resultantes se apilan verticalmente y la migración de la línea de costa no ocurre , dando como resultado rellenos de canales distributarios.(Ver figura 39)

Figura 39. Análisis gamma ray Segmento C

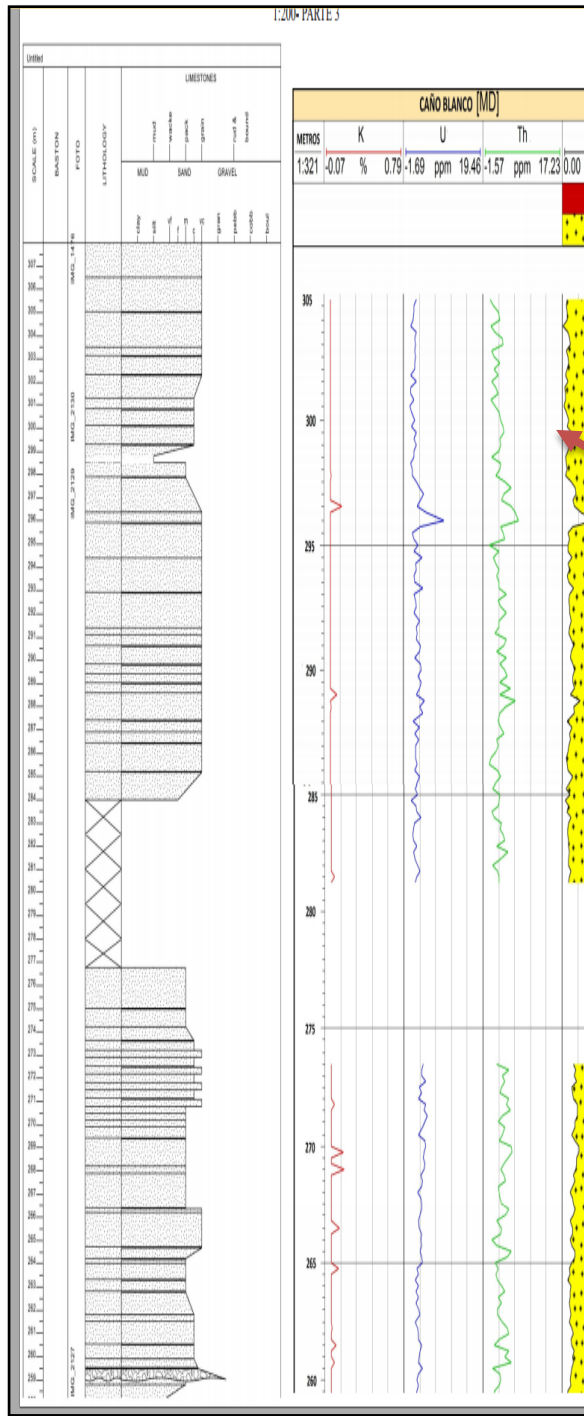


Figura 40. Canales distributarios



El objetivo de la toma de estos registros fue corroborar la tendencia de la curva del registro *Gamma* total con el levantamiento de la columna y servir de apoyo junto con los valores de T_h , U , K para la interpretación de los ambientes de depositación, la toma de estos registros se puede tener en cuenta para futuros estudios estratigráficos del Grupo Guadalupe en el Piedemonte Llanero para lograr correlaciones con los pozos de esta región.

11. CONCLUSIONES

En la práctica documentada en este libro se levantó una columna estratigráfica de 307.5 metros en su espesor a escala 1:100 del grupo Guadalupe en los alrededores de Acacias - Meta, con una interpretación de asociaciones de facies y análisis de la toma de registros de rayos *Gamma* espectral donde se tuvo en cuenta las relaciones de Th/U para identificar los ambientes de depositación

El grupo Guadalupe en esta sección se dividió en tres segmentos de acuerdo a sus características litoestratigráficas y tendencias mostradas en el registro de rayos *gamma* de afloramiento.

Siguiendo una secuencia de base a techo, iniciamos con el segmento A que tiene un espesor de 183 metros los cuales se interpretan como la parte distal de la barra de desembocadura ya que hay un predominio la interestratificación de arenas de grano muy fino a arenas limosas y en menor proporción lodolitas, que presentan una alta bioturbación y de acuerdo a esta se asocia a la icnofacie skolithos. Con respecto al registro de rayos *gamma* de afloramiento podemos corroborar que las tendencias del GR total y los valores de Th/U muestra una posible agradación que refleja la parte distal de la barra de desembocadura en un ambiente reductor.

El segmento B presenta un espesor de 75 metros que se interpreta como un ambiente de depositación del Prodelta, el cual presenta intercalación de limolitas y lodolitas debido a una pérdida de energía en el medio. Este segmento se encuentra caracterizado por la relación de Th/u en su mayoría semejantes mostrando una posible regresión en la parte distal del delta.

El segmento C cuyo espesor es de 49.5 metros, se caracteriza por el predominio de areniscas de cuarzo con laminación cruzada planar, tangencial a la base con geometría de canal evidenciando que la depositación de los sedimentos ocurrió en la llanura deltaica, representa bancos de arenas que se forman en la desembocadura de los canales distributarios. La relación Th/U se mantiene similar con valores menores de 2ppm propicios de un ambiente oxidante, característico de un ambiente de llanura deltaica

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio más detallado en el que se incluya análisis petrográfico, palinológicos y geoquímicos con el fin de caracterizar la secuencia aflorante en la Quebrada Caño Blanco en los alrededores de Acacias Meta
- Realizar una correlación estratigráfica de todas las columnas levantadas del Grupo Guadalupe en el piedemonte Llanero con el objetivo interpretar el cambio lateral de las facies existentes
- Tener en cuenta los registros *Gamma Ray* tomados en esta sección con el fin de correlacionarlos con los pozos de los Llanos Orientales , para estimar posibles frentes exploratorios de hidrocarburos

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS John A. S. WAYER Charles E. Thorium-to-uranium ratios as indicators of sedimentary processes, example of concept of geochemical facies. En: Bulletin of the American Association of Petroleum geologists Vol. 42 No. 2 Febrero, 1958 pp. 387 - 430

ARCHE, Alfredo. (2010). Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España.

BAYONA, G., CORTES, M., JARAMILLO, C., OJEDA, G., ARISTIZABAL, J. J. & REYES-HARKER, A. (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, v. 120.

BAYONA, G., CARDONA, A., JARAMILLO, C., MORA, A., MONSTES, C., CABALLERO, V., MAHECHA, M., LAMUS, F., MONSTENEGRO, O., JIMENEZ, G., MESA, A., VALENCIA, V., (2012): Onset of Reactivation in the Eastern Cordillera of Colombia and Proximal Llanos Basin; repose to Caribbean – South American Convergence in early Paleogene time. State University, Pullman, WA 99164-2812 85721, USA.

BUATOIS, L., G. MÁNGANO & F. ACEÑOLAZA. 2002. Trazas fósiles. Señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Museo Egidio Feruglio, Ed. esp. # 2. 382 pp

COMISIÓN NORTEAMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA, (2010). CODIGO DE NOMENCLATURA ESTRATIGRAFICA, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología MEXICO

COOPER, M. A., ADDISON, F. T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, A. B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J. & TABORDA, A. (1995): Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 79.

CRUZ, L. E., (1991). Cartografía de rocas sedimentarias, Guías de campo1.pag 22-23, Escuela de geología, UIS

Cruz G, Luis Enrique; Caballero, Víctor. Manual de laboratorio de Sedimentología para geólogos. Universidad Industrial de Santander. 2007

FALLA, Elías J. INTERPRETACION DE REGISTROS DE POZO DE PETROLEO, (2005). Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima, Perú

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, R., (2013). Nuevo manual de laboratorio, Geología de hidrocarburos. Escuela de geología. UIS. Bucaramanga.

PARRA, MARIA. RODRIGUEZ, FERNANDO., KAMMER, ANDREAS., LASSO, ALVARO. Nuevas observaciones sobre los elementos estructurales del

Piedemonte llanero entre los ríos Guatiquia y Guamal. Flanco oriental de la Cordillera Oriental de Colombia. 2000.

PEREZ-SALAZAR. ESTRATIGRAFIA Y FACIES DEL GRUPO GUADALUPE, (1973): Geología Colombiana, v. 10, p. 6-85.

RENZONI, G. (1963): Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá.-Boletín Geológico 10(1-3): 59-79. Servicio Geológico Nacional, Bogotá.

RIDER, M., (2002). The geological interpretation of well logs. 2nd ed., rev. Sutherland, Scotland.

SARMIENTO-ROJAS, L.F., VAN WESS, J.D., AND CLOETINGH, S., (2006), Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models: Journal of South American Earth Sciences, v. 21.

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

ULLOA, C. & RODRIGUEZ, E. (1979): Geología del Cuadrángulo K-12, Guateque.-Boletín Geológico 22(1): 1-55, Ingeominas, Bogotá.

VERA J., (1994), Estratigrafía: Principios y métodos, Ed Rueda. Págs. 133-139, 197, 489-491.

VERGARA, L. & RODRIGUEZ, G. (1996): Consideraciones sobre la Petrografía y Diagénesis de los Grupos Guadalupe (Cordillera Oriental) y Palmichal (Piedemonte Llanero). Geología Colombiana. Santafe de Bogotá.

WALKER, ROGER G.. Facies models. 2nd ed. Toronto, Ont.: Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service, 1984

ANEXOS

Anexo A. Columna Estratigrafica escala 1:100

(Ver Documento Adjunto)

Anexo B. Registros *Gamma Ray*

(Ver Documento Adjunto)