

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN TIBASOSA AL NOR-
OESTE DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE,
ZONA CENTRAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL.**

**JINETH SAYRI CASTAÑEDA QUIJANO
CRISTIAN FERNANDO VECINO SALCEDO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN TIBASOSA AL NOR-
OESTE DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE,
ZONA CENTRAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL.**

**JINETH SAYRI CASTAÑEDA QUIJANO
CRISTIAN FERNANDO VECINO SALCEDO**

Trabajo de Grado para optar por el título de Geólogo

DIRECTOR:

**ADRIANA PATRICIA DUEÑES GRACES
Geólogo**

Co-Director:

M.Sc. YASMIN PELAYO SERRANO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

"El que ama lo que hace está benditamente condenado al éxito".

Facundo Cabrales.

Jineth Castañeda Quijano dedica este trabajo:

A Dios

A mis padres

A Greca

DEDICATORIA

*Cristian Fernando Vecino dedica este trabajo
Principalmente a Dios
A mi familia que me apoyó siempre
Y finalmente a mis amigos, en especial a mi compañera*

AGRADECIMEINTOS

Los autores Jineth Castañeda y Cristian Vecino agradecen:

A la ilustre Universidad Industrial de Santander por ser la casa de estudio que hoy nos permite obtener el título de Geólogos.

A los distintos profesores de la Escuela de Geología que nos ofrecieron su ayuda con valiosos aportes en los diferentes temas que tratamos.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional en todo momento.

A Luis Alfredo y Paola Andrea por la colaboración prestada durante estos meses.

A nuestros amigos por estar siempre presentes.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. GENERALIDADES	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 JUSTIFICACIÓN	22
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
2. MARCO TEORICO	24
2.1 ESTRATO	24
2.2 ESTRATIFICACIÓN	27
2.2.1 Superficie de estratificación	28
2.2.2 Tipos de estratificación	29
2.2.3 Textura de las rocas sedimentarias	33
2.3 DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CALCÁREAS	37
2.3.1 Clasificación de rocas calcáreas de acuerdo con la textura deposicional de Dunham	38
2.4 FACIES	41
2.4.1 Clasificación de Facies	42
2.5 AMBIENTES DE DEPOSITACION	47
2.5.1 Aluvial rios trenzados y Meandriformes	47
2.5.2 Planicies de marea	50
2.5.3 Lagoon	52
2.5.4 Shoreface	54
3. MARCO GEOLOGICO	57
3.1 MARCO TECTÓNICO	57

3.1.1 Localización del área de estudio	57
3.1.2 Geología local del área de estudio	60
3.1.3 Geología estructural de la zona de estudio	63
3.2 ESTRATIGRAFIA	66
3.2.1 Formación Cucho (Cc)	68
3.2.2 Formación Tibasosa (Kit)	68
3.2.3 Formación Une	72
4. METODO DE TRABAJO	73
4.1 FASE DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRAFICO	73
4.2 FASE DE RECONOCIMIENTO Y TOMA DE DATOS	73
4.3 FASE DE ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	77
5. ANALISIS Y RESULTADOS	78
5.1 COLUMNA ESTRATIGRAFICA	78
5.2 DESCRIPCIÓN DE FACIES Y ATRIBUTOS	80
5.3 ASOCIACIÓN DE FACIES Y AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN	91
6. CONCLUSIONES	105
7. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFIA	107
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación. Para un estrato concreto se marcan: el techo, el muro, el espesor. Los posibles ordenamientos internos y medida de su posición espacial (dirección y buzamiento).	26
Figura 2. Capas y láminas en función del espesor. (McKee&Weir. 1953).	27
Figura 3. Tipos de superficies de estratificación.	29
Figura 4. Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor.	30
Figura 5. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes. Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en el que a sería el termino de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).	31
Figura 6. Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Power 1953, en Comptón 1962.	35
Figura 7. Imágenes de calibrado de las partículas Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987, Pág. 113.	36
Figura 8. Tipos de matriz presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias.	37
Figura 9. Clasificación de rocas calcáreas de acuerdo con la textura deposicional. Dunham 1962.	40
Figura 10. Clasificación de calizas modificado de Dunham 1962.	41
Figura 11. Los elementos morfológicos de un sistema de ríos meándricos.	48
Figura 12. Ejemplos de litofacies y perfiles vertical en sedimentos de un río trezado (A) y un río meándrico (B).	50
Figura 13. Diagrama esquemático de una planicie de marea típica.	52

Figura 14. Tipos de lagoons, basado en el grado de intercambio de agua con la costa del océano adyacente.	54
Figura 15. Estructuras sedimentarias típicas formadas en la playa y sus zonas cercanas.	55
Figura 16. Bloquediagrama de una secuencia litoral dominada por oleaje.	56
Figura 17. Localización del área de estudio.	57
Figura 18. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 4, Vía Tibasosa-Sogamoso. Columna 1.	58
Figura 19. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 3, Cantera las Monjas.	59
Figura 20. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 2, Cantera las Monjas.	59
Figura 21. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 1, Cantera las Monjas.	60
Figura 22. Modelo secuencial del desarrollo de la tectónica regional de la Cordillera Oriental, Valle Medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos. Cooper.	65
Figura 23. Mapa Geológico 1:10.000 de la zona de estudio.	67
Figura 24. Columna estratigráfica de la formación Tibasosa. Autor C. Ulloa, E. Rodríguez.	71
Figura 25. Correlación Litoestratigráfica del Cretácico y Terciario. El recuadro de color naranja, muestra la zona de la Cordillera Oriental en la que se desarrolló el presente estudio.	72
Figura 26. Bastón de Jacob.	76
Figura 27. Materiales de Campo.	77
Figura 28. Cuadro de nomenclatura correspondiente a la Columna 1.	79
Figura 29. Cuadro de Nomenclatura correspondiente a la columna 2.	79
Figura 30. Intercalaciones de capas de lodolita con arenisca.	82
Figura 31. Capa de Caliza Mudstone con fragmentos fósiles recristalizados.	83
Figura 32. Tope de una capa de caliza Wackestone con fragmentos fósiles.	84

Figura 33. Capa donde se observa los thalassinoides.	86
Figura 34. Capa de caliza Wackestone con presencia de Trigonias	88
Figura 35. Intercalaciones de capas de concreciones de caliza Mudstone con Lutita.	90
Figura 36. Capa donde se observa la facie A(sl),int,C,m.	91
Figura 37. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 1.	93
Figura 38. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 2.	94
Figura 39. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra una asociación de facie 3.	95
Figura 40. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 4.	96
Figura 41. Extracto de la columna estratigráfica que muestra la asociación de facie 5.	98
Figura 42. Extracto de la columna estratigráfica que muestra la asociación de facie 2	99
Figura 43. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facies 4.	101
Figura 44. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 6.	102
Figura 45. Fotografía donde se ilustra la asociación de facie 6.	103
Figura 46. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 7.	104

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de tamaño de grano (textura) de Wentwort.	34
Tabla 2. Tabla comparativa de las clasificaciones de rocas calcáreas de Folk 1974 y Dunham y de rocas terrígenas o siliciclásticas.	38
Tabla 3. Descripción de los códigos de litofacies para rocas sedimentarias clásticas.	43
Tabla 4. Lista de atributos para rocas sedimentarias clásticas.	44
Tabla 5. Descripción de los códigos de litofacies para rocas carbonatadas.	46
Tabla 6. Tabla de atributos para rocas carbonatadas.	46

LISTA DE ANEXOS

Se encuentran en otra carpeta

Pág.

ANEXO A. Columnas estatigráficas de la Formación Tibasosa (Medio Magnético)	
ANEXO B. Tabla de facies de la Formación Tibasosa (Medio Magnético)	
ANEXO C. Catálogo de muestras de la columna estatigráficas de la Formación Tibasosa (Medio Magnético)	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN TIBASOSA AL NOR-OESTE DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE, ZONA CENTRAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL.

AUTORES: Castañeda Quijano Jineth**
Vecino Salcedo Cristian

PALABRAS CLAVE: Formación Tibasosa, ambientes sedimentarios, Cretácico inferior, facies.

Este trabajo es un análisis estratigráfico de las rocas sedimentarias del Cretácico inferior específicamente la Formación Tibasosa (Hauteriviano Temprano- Albiano tardío) en la cuenca de la Cordillera Oriental, en los alrededores del Municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá, permitieron en un principio caracterizar las facies para así determinar las características y ambientes de depositación de cada uno de los cuatro miembros que conforman a la Formación Tibasosa, los cuales fueron descritos inicialmente por Renzoni (1981) y fueron utilizados en el presente estudio.

Se definieron siete facies las cuales permitieron determinar los ambientes de depositación característicos de la Formación Tibasosa en el área de estudio. El ambiente de depositación del miembro basal se define como de tipo continental, fluvial, ríos trezados y meandriformes para la parte basal atestiguado por la presencia de conglomerados heterogéneos, de tipo marino, de llanura de marea y lagoon, para la parte media con presencia de calizas detríticas con intercalaciones con areniscas y lodolitas, y finalmente la parte superior es un ambiente de plataforma interna y lagoon, representada por una intercalación entre calizas y lodolitas. La secuencia corresponde a un avance marino sobre el continente en el Cretácico, donde se dio la gran inundación a finales del Cretácico Inferior, entonces los ambientes sedimentarios definidos en el presente trabajo corroboran dicha información.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director. ADRIANA PATRICIA DUEÑES, Geólogo, UIS; Codirector: YASMIN PELAYO SERRANO, M.Sc. UIS.

ABSTRACT

TITLE: STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF THE TIBASOSA FORMATION AT THE NORTH-WEST OF THE SOGAMOSO TOWN, ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE, CENTRAL ZONE OF THE CORDILLERA ORIENTAL.

AUTHORS: Jineith Castañeda Quijano**
Cristian Vecino Salcedo

KEY WORDS: Tibasosa Formation, sedimentary environments, lower Cretaceous, facies.

This work is a stratigraphical analysis of the sedimentary rocks of the lower Cretaceous specifically the Tibasosa Formation (Early Hauterivian-Later Albian) in the Cordillera Oriental Basin, around the town of Sogamoso, in the department of Boyacá, allowed to characterize the facies at the beginning to determinate the characteristics and sedimentary environments of each one of the four members that compose the Tibasosa Formation, which were describe in first place by Renzoni (1981) and were used in this study.

Seven facies were defined and they allowed to determinate the sedimentary environments which are characteristic from the Tibasosa Formation in the study area. The depositional environment of the basal member is defined as a continental environment, fluvial one, braided and meandering rivers for the basal member attested by the presence of heterogeneous conglomerates, also, marine, tidal flats and lagoon, for the mid part, with presence of detrital limestones with intercalations between sandstones and lodolites, and finally the upper part, it is an inner platform and lagoon environment, represented by an intercalation between limestones and lodolites, the sequence corresponds to a marine progress over the continent in the Cretaceous. where took place the great inundation ending the lower Cretaceous, so the sedimentary environment defined in this work corroborate this information.

*Degree work

**Physicochemical faculty of engineering. School of Geology. Direct by ADRIANA PATRICIA DUEÑES; Geologist Co-director: YASMIN PELAYO SERRANO.

INTRODUCCION

En el presente estudio se muestran los resultados obtenidos a partir de los trabajos geológicos de campo y de oficina realizados en los alrededores del municipio de Sogamoso, en el Departamento de Boyacá, con el fin de analizar estratigráficamente la Formación Tibasosa.

En el área de estudio se han realizado diferentes investigaciones, principalmente con enfoque económico, debido a que en esta localidad se reporta minería artesanal de caliza desde principios del siglo XX. Entre los primeros trabajos de Geología se destaca el de RENZONI et al., (1969).

La Formación Tibasosa, se puede reconocer no solo en una gran extensión de la Cordillera Oriental, se encuentra en el área del municipio de Tibasosa, sino también se encuentra aflorando en una gran extensión del bloque colgante de la falla de Soapaga. RENZONI (1981), preciso los límites de la Formación Tibasosa, considerándolo una formación que suprayace e infrayace unidades arenosas, que son respectivamente la Formación Une y la Formación Cuche. Este autor divide la Formación en 4 miembros, compuesta de base a techo, por el Miembro Basal (Kit4), el Miembro Calcáreo Inferior (Kit3), el Miembro Arenáceo Intermedio (Kimt2) y el Miembro Calcáreo Superior (Kmt1).

Los diferentes trabajos de esta formación se basan en las rocas calcáreas del miembro superior, aunque son más orientados a la paleontología, donde encontraron, equinoideos, bivalvos, cefalópodos, serpúlidos y gastrópodos, autores como Royo y Gómez en Sarmiento (1942) y Botero (1950), Ordoñez (1960), Renzoni (1967), Rueda (1982) y Patarroyo (2002).

El objetivo principal de este trabajo es realizar una interpretación de ambientes a partir de facies de la Formación Tibasosa de edad Valanginiano-Hauteriviano y con esto aportar en la investigación en la parte estratigráfica de la Cordillera Oriental.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el fin de apoyar el proyecto de Arenas Bituminosas desarrollado por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), por medio de los proyectos de maestría, apoyamos el estudio de la subsidencia y el estudio paleogeográfico de las potenciales rocas generadoras Cretácicas de la Cordillera Oriental entre los Macizos Quetame y Santander.

A través de la información bibliográfica de la zona de la Cordillera Oriental y de Boyacá se pretende apoyar nuestro proyecto para la posterior descripción de las litologías finas del Cretácico Inferior y su medición total del espesor. Esta información se requiere ya que durante el Cretácico inferior se generó una extensión y rápida subsidencia que llevó a la depositación de espesos estratos marinos a lo largo de la Cuenca de Bogotá que cubría la mayor parte de lo que hoy ocupa la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena (Fabre, 1987) La zona Norte de la Cuenca de Bogotá se dividió en dos subcuencas separadas por un alto de basamento (Macizo de Floresta). (Fabre, 1987). Una subcuenca al noroeste conocida como la Cuenca del Cocuy la cual fue limitada al este por fallas normales del sistema de paleo-fallas del borde Llanero (Fabre, 1987); esta paleo-falla se evidencia debido a que en el flanco este de la Cordillera rocas recientes del Jurásico y Cretácico tienen más de 5000 metros de espesor, mientras que al oriente de la falla frontal las rocas de esta edad están ausentes.

El fin de el proyecto de las Arenas Bituminosas necesita saber la procedencia de los hidrocarburos que se encuentran en al Cuenca de los Llanos Orientales por lo que la descripción detallada de la Formación Tibasosa aflorante en las inmediaciones del municipio de Sogamoso, Boyacá, además de la medición del

espesor total de dicha Formación es de vital importancia ya que esta unidad fina orgánica pudo cargar de hidrocarburos la Formación Une.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El proyecto de arenas bituminosas que se desarrolla en el Instituto Colombiano del Petróleo tiene la necesidad de estudiar a fondo las unidades finas de las rocas Cretácicas de la Cordillera Oriental. Por esta razón nace este proyecto el cual pretende realizar una investigación a fondo de las facies y ambientes sedimentarios con los cuales se va a determinar la proveniencia de los sedimentos que conforman las formaciones del Cretácico inferior en la Cordillera Oriental a lo largo de secciones en el bloque colgante de la falla de Soapaga. Con la medición de espesores totales se pretende obtener la historia de subsidencia termal de la cuenca y el análisis de facies ayudará a la realización de mapas Paleogeográficos en una tesis de maestría del mismo proyecto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Analizar estratigráficamente la Formación Tibasosa por medio de evaluación de facies e interpretación los ambientes sedimentarios en las inmediaciones del municipio de Sogamoso ubicada en la Cordillera Oriental.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar ambientes sedimentarios a partir de análisis de facies en los miembros de la Formación Tibasosa.
- Realizar una clasificación y análisis de facies, para establecer la relación de los ambientes sedimentarios de depositación.

- Definir la secuencia Litoestratigráfica de la Formación Tibasosa a partir del levantamiento de una columna a escala 1:100 en inmediaciones del Municipio de Sogamoso.

2. MARCO TEORICO

En el presente capítulo se enmarcan las definiciones de los términos empleados en la elaboración del proyecto, las cuales abarcan conceptos básicos en sedimentología y estratigrafía.

En primer lugar debe saberse que las estructuras sedimentarias son características primarias de la roca, formadas en el mismo momento de depositación de los sedimentos, las estructuras sedimentarias son respuesta a las condiciones particulares del medio de depositación. Y como es bien sabido la primera y más elemental de las estructuras sedimentarias es la capa o estrato.

2.1 ESTRATO

En la realización del proyecto el término “capa” se ha utilizado como sinónimo de estrato según los autores. El término estrato fue introducido en Geología por Steno, en el siglo XVII, para denominar a una capa de roca (o de sedimento) limitada por superficies horizontales con continuidad lateral y que equivale a una unidad de tiempo de depósito. El estrato ha sido definido con una doble acepción: geométrica y genética. Desde un punto de vista geométrico Campbell (1967) lo definió como “un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separado de los niveles superiores e inferiores por superficies denominadas superficies de estratificación”. Desde un punto de vista genético Otto (1938) lo había definido como “una unidad de sedimentación que se ha depositado esencialmente bajo condiciones físicas constantes”.

Si se combinan las dos acepciones, la geométrica y la genética, se puede definir el estrato como nivel (un cuerpo generalmente tabular) de roca o sedimento, con litología homogénea o gradacional, que se depositó durante un intervalo de tiempo definido.

Un estrato está delimitado por dos superficies de estratificación (Figura 1), la inferior sobre la cual se inició el depósito se llama muro del estrato y la superior que marca el final de la sedimentación se le llama techo del estrato. Puesto que los estratos se superponen unos a otros, evidentemente, el techo de un estrato concreto es, a su vez, el muro del estrato suprayacente.

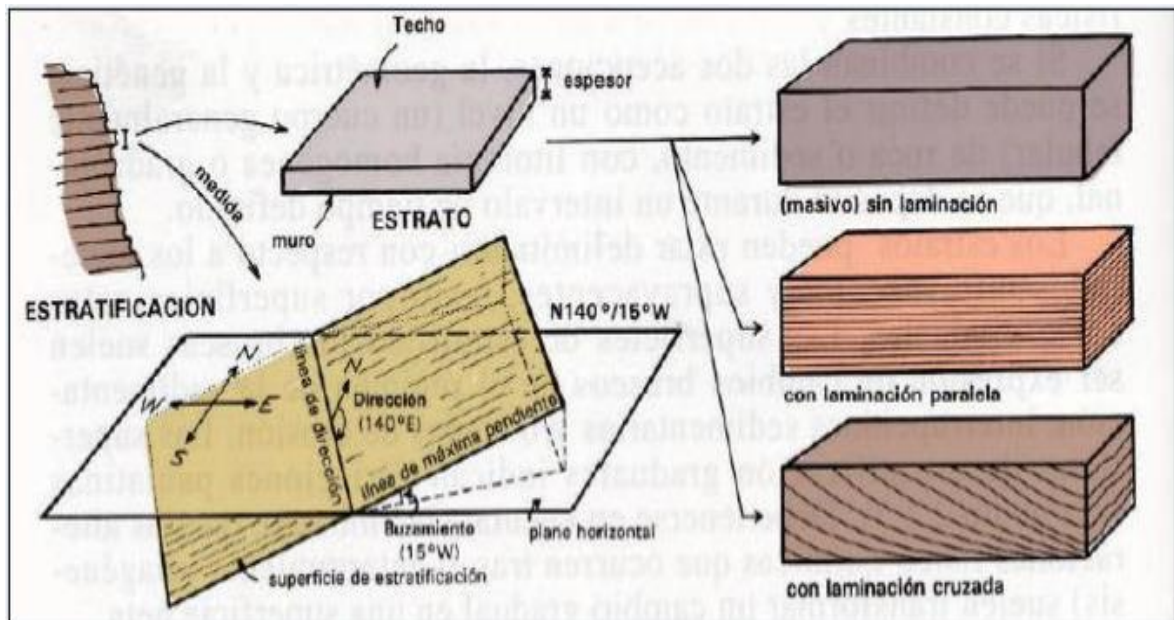
Se llama “espesor del estrato” (o potencia del estrato) a la distancia entre las superficies de estratificación que lo limitan, medida perpendicularmente a las mismas. (Figura 1).

Un término muy relacionado con el estrato es la lámina, aunque responden a conceptos diferentes. Para los autores de este libro se definió lámina como “una capa de espesor inferior al centímetro diferenciada dentro de un estrato”. Las láminas se ponen de manifiesto por diferencias en la composición, en la textura o en el color de la roca. La superficie de una lámina puede ser paralela o no a la superficie de estratificación del estrato que las contiene (Figura 2).

Las láminas se pueden reconocer tanto en estratos lutíticos como en arenosos. En los primeros se diferencian las láminas por cambios de color que implican modificaciones en el contenido de materia orgánica, cambios texturales o cambios mineralógicos. En las arenitas las láminas se reconocen por: a) cambios en las concentraciones de algunos minerales, como en el caso de algunos minerales, como el caso de los minerales pesados en algunas arenas de playa o el caso de las micas en sedimentos depositados por corrientes de tracción; b) cambios en el

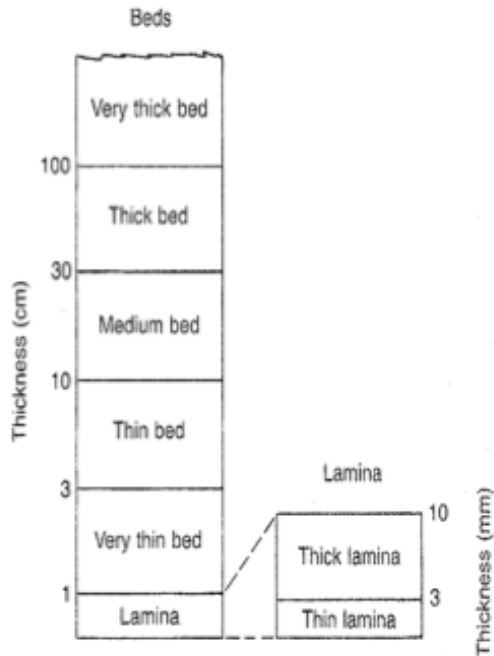
tamaño de grano presentando grano clasificación (normal o inversa); c) cambios en el contenido de matriz micrítica.

Figura 1. Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación. Para un estrato concreto se marcan: el techo, el muro, el espesor. Los posibles ordenamientos internos y medida de su posición espacial (dirección y buzamiento).



Fuente: Modificado de Vera Torre, J.A. (1994).Estratigrafía, principios y métodos.

Figura 2. Capas y láminas en función del espesor. (McKee & Weir, 1953).



Fuente: BOGG, S. (1995). "Principles of Sedimentology and stratigraphy", Second edition, Prentice Halls.

2.2 ESTRATIFICACIÓN

La estratificación es: "La disposición en estratos de los sedimentos, rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas". Al basarse la definición en la de estrato, el término estratificación se refiere tanto al aspecto geométrico (dispositivo en capas sucesivas) como al genético (intervalos sucesivos de sedimentación).

De la misma forma podemos definir la laminación como: "la disposición sucesiva de láminas dentro de un estrato" (Corrales et al., 1977). La laminación ha sido frecuentemente considerada como una estructura de ordenamiento interno dentro de los estratos, distinguiéndose dos tipos fundamentales: laminación paralela y laminación cruzada, aunque existen otros tipos minoritarios (ondulada, contorsionada, etc.). En consecuencia se pueden diferenciar tres tipos simples de estratos: el primero sin laminación interna, el segundo con laminación paralela y el

tercero con laminación cruzada. La bioturbación que con frecuencia afecta a los estratos laminados dificulta su reconocimiento, ya que la destruye parcial o totalmente.

2.2.1 Superficie de estratificación. Las superficies de estratificación pueden ser netas o difusas (Figura 3). Las superficies netas en unos casos separan materiales con la misma litología encima y debajo, mientras que en otros casos separan estratos con diferente litología. En los contactos difusos existe una franja paralela a la superficie de estratificación en la que tiene lugar el cambio gradual entre los dos términos litológicos o texturales. En la naturaleza son muy frecuentes los estratos con muros netos y los techos difusos.

Desde un punto de vista geométrico se pueden diferenciar, con cierta facilidad, varios tipos de superficies de estratificación. Un primer tipo son las superficies planas y el segundo las superficies irregulares que muestran un marcado carácter erosivo. De acuerdo con los rasgos geométricos de detalle de la propia superficie se pueden reconocer: superficies con estructuras de corrientes, superficie con pistas de organismos, superficies con estructuras de carga, superficies onduladas (techo de estratos con ripples), superficies bioturbadas afectadas por la acción de organismos que destruyen parcialmente la estructura interna del estrato, superficies nodulosas con una disposición en grumos o nódulos, especialmente visibles en el techo de ciertos bancos calizos (Figura 3).

Figura 3. Tipos de superficies de estratificación.



Fuente: Tomado de Vera Torres, J.A. Estratigrafía, principios y métodos, 1994.

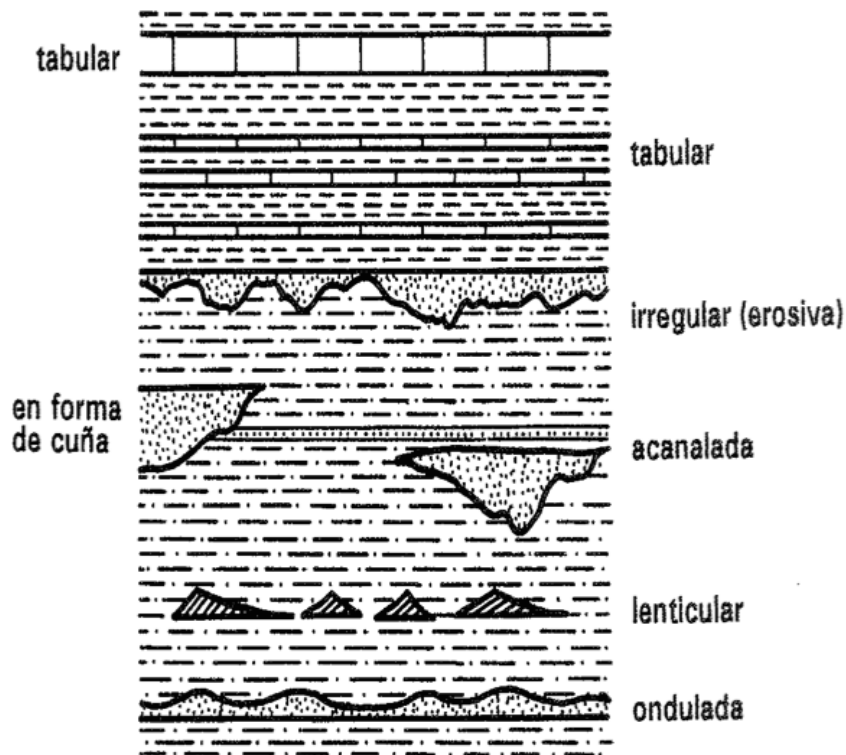
2.2.2 Tipos de estratificación. Los criterios que pueden servir para tipificar la estratificación son diversos, aunque esencialmente se basan en dos aspectos fundamentales: la geometría de los estratos individuales y los rasgos distintivos de las asociaciones de estratos sucesivos.

2.2.2.1 Geometría de los estratos: Considerando los estratos individualmente se pueden establecer una clasificación de tipos geométricos a partir de la geometría del techo y del muro (Figura 4.).

- a) Estratos tabulares: Cuando las dos superficies de estratificación (techo y muro) son planas y paralelas entre sí.
- b) Estratos irregulares: Son estratos con gran extensión lateral, con un muro irregular y erosivo y un techo plano, por lo que su espesor varía.

- c) Estratos acanalados: Con escasa extensión lateral y espesor muy variable, con una geometría interna semejante a la de la sección de un canal.
- d) Estratos en forma de cuña: Se trata de estratos limitados por superficies planas no paralelas entre sí, que terminan lateralmente por pérdida progresiva de espesor.
- e) Estratos lenticulares: Son discontinuos con el muro plano y el techo convexo.
- f) Estratos ondulados: Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de ripples de corrientes o de olas.

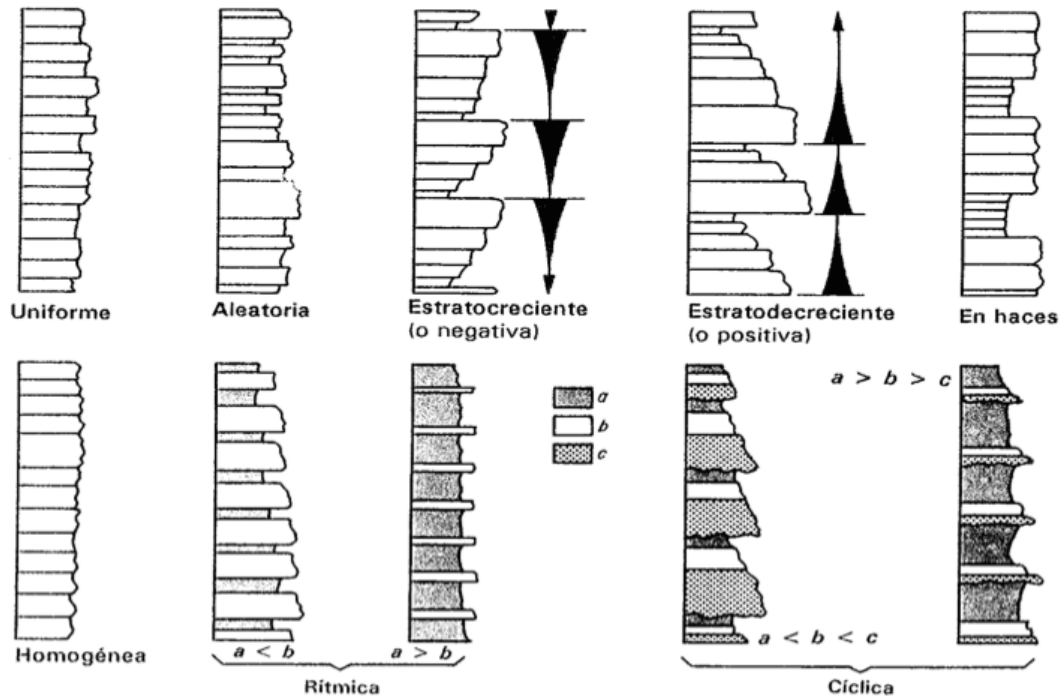
Figura 4. Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor.



Fuente: Tomado Vera Torres, J.A. (1994). Estratigrafía, principios y métodos.

2.2.2.2 Asociación de estratos: Cuando se estudian conjuntos de estratos, se pueden realizar diversos tipos de clasificaciones basadas en criterios descriptivos, pero que a su vez representan diferentes tipos de génesis. En la figura 5 se observan (Vera, 1994) las diversas posibilidades de ordenación.

Figura 5. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes. Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en el que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).



Fuente: Tomado Vera Torres, J.A. (1994). Estratigrafía, principios y métodos.

a) Una primera clasificación se basa en considerar la ordenación de espesores individuales en el conjunto de estratos sucesivos:

- Uniforme: los espesores de los estratos sucesivos tienen todos ellos unos valores análogos, con un valor real

- Aleatorio o de espesor variable: Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.
- Estratocreciente: Los espesores tienen una ordenación en lotes de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo, dentro de cada lote.
- Estratodecreciente: Es el contrario del anterior, o sea, con disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote.
- En haces: Los espesores de los estratos se distribuyen por lotes de estratos de espesores uniformes dentro de cada lote y diferentes entre lotes.

b) Otro tipo de clasificación estaría basado en la litología de los estratos que se superponen:

- Homogénea: Estratos sucesivos de la misma naturaleza.
- Heterogénea: Sin ordenación, los cambios son desordenados.
- Rítmica: Alternancia ordenada de dos tipos de litologías.
- Cíclica: El conjunto que se repite es de más de dos litologías.

c) Al relacionar los dos criterios anteriores: Espesor- Litología de los estratos, se obtienen datos muy valiosos para la interpretación genética de las asociaciones de estratos. Así si además de aumentar el espesor de estratos hacia el techo (estratocrecientes) aumenta de forma similar el tamaño de grano (granocreciente), podemos deducir un aumento de energía en el medio. En el caso de ordenaciones rítmicas y cíclicas, en las que se pasa lateralmente de un término “a” (mayor energía o tamaño de grano), a otro “b” (energía media) y finalmente al “c” (energía mínima), el análisis de la abundancia relativa de los diferentes tipos de estratos y su variación lateral, proporciona datos sobre las condiciones de depósito y su situación dentro de la cuenca sedimentaria.

2.2.3 Textura de las rocas sedimentarias. Las texturas sedimentarias se refieren a las características de pequeña escala que comprometen a cada una de las partículas individualmente o a una población de ellas, las texturas sedimentarias son: el tamaño de grano, la forma, las texturas en la superficie de las partículas, la selección o calibrado (sorting), y el empaquetamiento o arreglo.

Estas características se le pueden aplicar a los diferentes elementos que conforman la fábrica de una roca sedimentaria: **armazón, matriz, cemento y poros.**

2.2.3.1 Tamaño de las partículas: El tamaño de las partículas es un atributo fundamental y por ende una de las propiedades más importantes en la descripción de las rocas sedimentarias. El tamaño de los materiales sedimentarios es importante porque refleja: (1) los tipos de material parental: roca sedimentaria, ígnea o metamórfica en varias clases de tamaño de grano: grava, arena y lodo, (2) la resistencia de las partículas a la erosión y la abrasión y (3) los procesos de transporte y ambiente de depositación que actuaron sobre la partícula.

Los ingenieros y los geólogos han desarrollado una clasificación por tamaño de grano que consiste en tres tipos principales de tamaño: grava (materiales más gruesos de 2 mm), arena (tamaño entre 0.0624 y 2mm) y lodo (tamaño menores de 0.0624).

Cada uno de estos tres grupos tiene a su vez subclases de tamaño de grano: grava dividida en gránulos, quijo y guijarro; arena dividida en muy gruesa, gruesa, media, fina y muy fina; Lodo dividida en Limo y arcilla. Cada una de las cuales está definida por límites inferior y superior con dimensiones que varían en un factor de 2 (TABLA 1).

Tabla 1. Tabla de tamaño de grano (textura) de Wentworth.

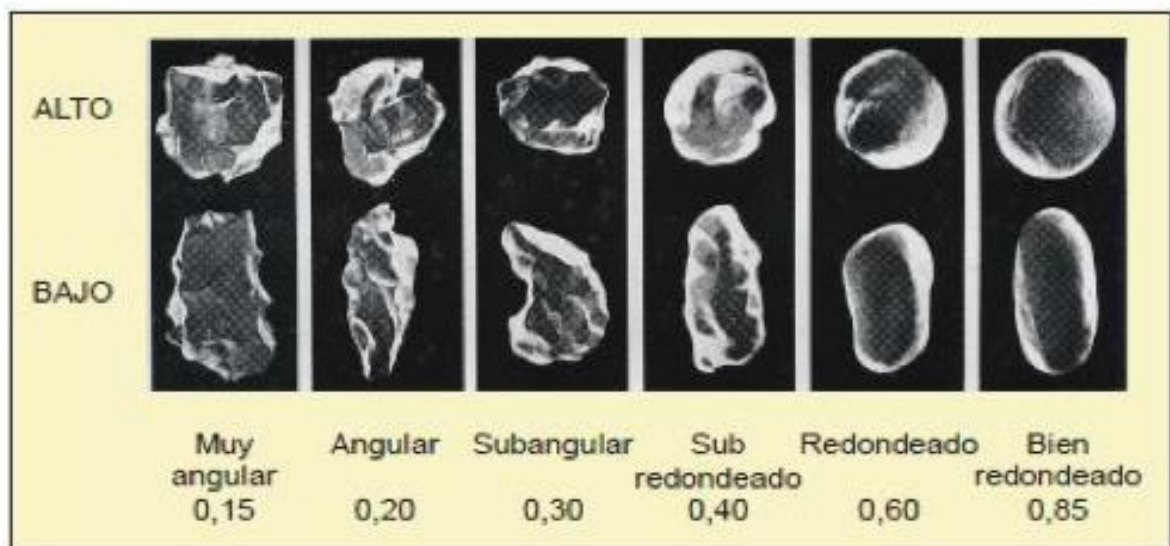
Milímetros (mm)		Clase de tamaño Wentworth	Clase mayor	Una vez litificado el sedimento		
	4096	Cantos	GRAVA	CONGLOMERADO		
	1024	Guijarros				
	256					
	64					
	16	Guijas				
	4	Gránulos				
	3.36					
	2.83					
	2.38					
	2.0					
	1.68		Upper Area muy gruesa Lower	ARENA	ARENISCA	
	1.41					
1	1.19					
	1.0	Upper Arena gruesa Lower				
	0.84					
	0.71					
	0.59	Upper Arena media Lower				
1/2	0.5					
	0.42					
	0.35	Upper Arena Fina Lower				
1/4	0.3					
	0.25					
	0.21	Upper Arena muy fina Lower				
	0.177					
	0.149					
1/8	0.125	Limos Limolita	LODO			LODOLITA
	0.105					
	0.088					
	0.074					
	0.0625					
	0.053					
	0.044					
	0.037					
	0.031					
	0.0156					
	0.0078					
	0.0039					
	0.002	Arcillas Arcillolita				
	0.00098					
	0.00049					
	0.00012					
	0.00006					
	0.00006					

Fuente:Modificado de Cruz Guevara. L.E. Caballero. V.M. descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura. UIS. 2007.

2.2.3.2 Forma de las partículas: Las partículas poseen formas particulares que reflejan tanto el origen de la partícula, como los procesos de erosión, transporte, depositación y retrabajamiento ocurridos antes o durante su depositación final. En la determinación de la forma de la partícula se utilizan dos criterios la **Esfericidad**

y la **redondez**, la esfericidad definida como el grado en el cual la partícula se aproxima a la esfera. Otro criterio para establecer la forma de la partícula que es complementario del anteriormente mencionado es denominado la redondez, este método considera la presencia de bordes o aristas o en su defecto el redondeamiento o pérdida de ellas. La redondez y la esfericidad de las partículas se pueden establecer con la ayuda de imágenes de redondez, mediante la comparación directa de estas con la muestra de roca o sedimento. (Figura 6.).

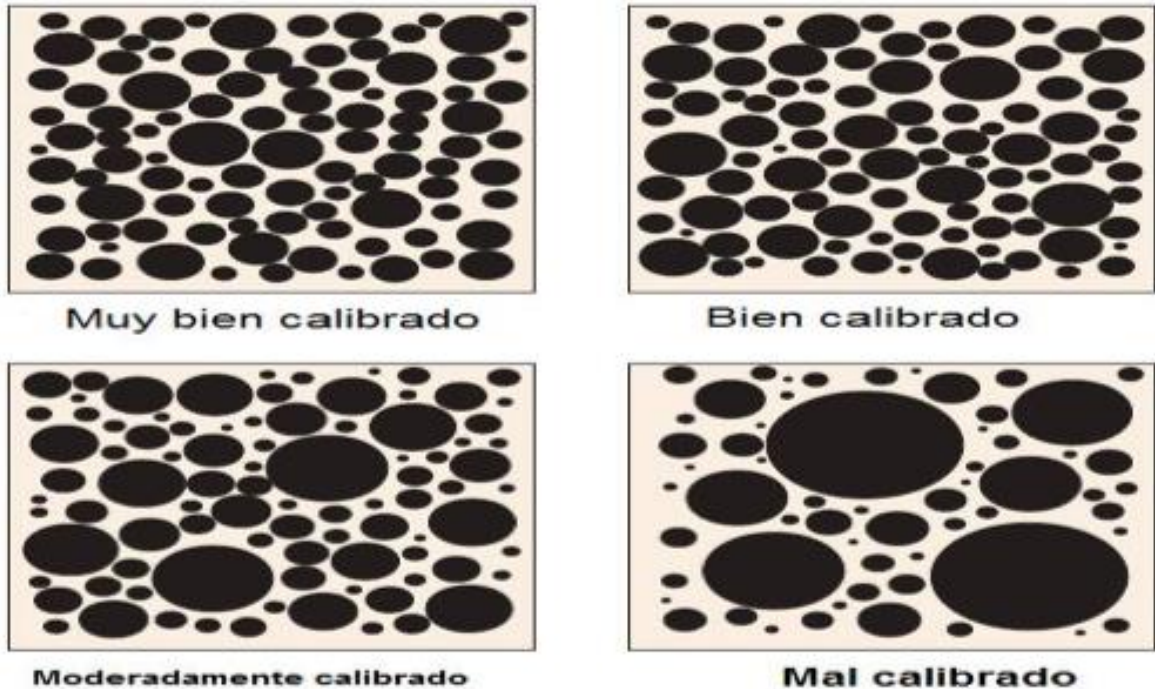
Figura 6. Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Power 1953, en Comptón 1962.



Fuente: Modificado de Cruz Guevara. L.E. Caballero. V.M. descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura. UIS. 2007.

2.2.3.3 Selección o calibrado de las partículas: La selección o calibrado es la medida de la uniformidad o de variación en los tamaños de las partículas en una roca sedimentaria o en un sedimento. El calibrado es el reflejo directo de la energía de un medio y de su capacidad para seleccionar los tamaños de las partículas que transporta y que deposita. El calibrado (selección= sorting) se puede determinar para las fracciones arena y grava. Ver Figura 7.

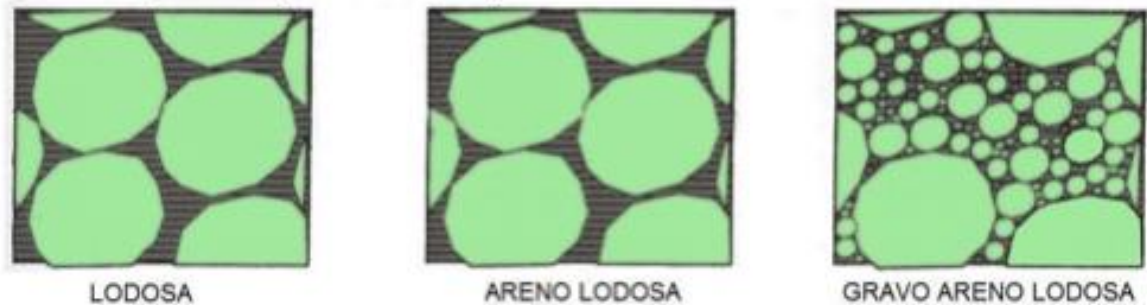
Figura 7. Imágenes de calibrado de las partículas Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987, Pág. 113.



Fuente: Modificado de Cruz Guevara. L.E. Caballero. V.M. descripción y clasificación de rocas terrígenas por sutextura. UIS. 2007

2.2.3.4 Matriz: El material de menor tamaño que se apila en los intersticios dejados por el armazón, cuando este es grueso, se le conoce con el nombre de matriz, se excluyen en esta consideración las rocas que se componen en su mayoría o totalmente de lodo. La matriz puede ser combinada: (a) arena lodosa, (b) lodosa (arcillosa y/o limosa) y en un caso muy especial y para materiales de tamaño grueso (c) grao arena lodosa tipo particular que ocurre cuando el armazón es de diversos tamaños de bloques (Gravas de gran tamaño). (Ver Figura 8).

Figura 8. Tipos de matriz presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias.



Fuente: Modificado de Cruz Guevara. L.E. Caballero. V.M. descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura. UIS. 2007.

2.2.3.5 Cemento: El material precipitado químicamente entre los intersticios dejados por el armazón se le conoce como el cemento, recuerde que estos por ser cristalinos poseen una visión especular, a diferencia de los lodos que presentan una visión difusa. El cemento es el que le da una fuerte unión a las partículas, evitando que estas puedan ser separadas con facilidad.

2.3 DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CALCÁREAS

Actualmente existen un sinnúmero de clasificaciones de las rocas calcáreas, de ellas las más usadas en el medio académico y por las compañías de petróleo son las clasificaciones de: Folk (1974) y Dunhman (1962). En ambas clasificaciones los tres constituyentes texturales: (a) Granos o partículas de mayor tamaño, principalmente integrado por materiales aloquímicos; (b) La matriz o partículas de menor tamaño, la cual es principalmente constituida en estas rocas por lodo calcáreo y (c) el cemento el cual en estas rocas es principalmente de carbonato de calcio en cualquiera de sus tres formas, calcita espar o esparita, aragonito o dolomita. (Tabla 2). En este libro se trabajó la clasificación de Dunham por facilidades de campo.

Tabla 2. Tabla comparativa de las clasificaciones de rocas calcáreas de Folk 1974 y Dunham 1962 y de rocas terrígenas o siliciclásticas.

	Rocas Calcáreas		Rocas Terrígenas
	Folk 1974	Dunham 1962	
Granos	Alquímicos: fósiles, pellets, oolitos e intraclastos	Partículas gruesas, tamaño de arena y grava	Partículas arena y grava de FR, Qz, Feld, minerales pesados
Matriz	Lodo calcáreo microcristalino (micrita)	Lodo calcáreo	Lodo terrígeno o siliciclástico
Cemento	Carbonatos de calcio (esparita)	Carbonato de calcio	Principalmente silíceo

Fuente: Cruz Guevara. L.E. Caballero. V.M. clasificación textural y composicional de rocas calcáreas. UIS. 2007. Modificada.

2.3.1 Clasificación de rocas calcáreas de acuerdo con la textura deposicional de Dunham.

Los criterios para la clasificación de Dunham, se basan en la abundancia de los materiales gruesos o del lodo calcáreo. La racionalidad de esta clasificación es que admite graficas los cambios en la rata de producción de partículas tamaño arena en relación con la rata de acumulación de lodo calcáreo. En aguas quietas, el lodo calcáreo está en disposición de asentarse sobre el fondo y permanecer allí. Por esto las rocas que se forman de lodo originalmente contrastan con esas que originalmente carecen de lodo calcáreo, independiente del tamaño o del número de partículas tamaño arena. Esta relación entre partículas de arena y lodo calcáreo distingue un sedimento originalmente depositado en aguas quietas de otro de sedimentos depositados en aguas agitadas.

La clasificación de Dunham propone dos categorías basadas en un concepto complementario al comentado anteriormente: (I) Materiales que crecieron o se formaron juntos y unidos (Boundstone) y (II) aquellos que no lo hicieron.

Existen dos categorías para el grupo II: (IIA) aquellas que en el ambiente de depositación consiste de tamaños arena o de partículas más grandes en contacto unas con otras (grano soportada) y (IIB) aquellas que en el ambiente de depositación consisten de lodo calcáreo en el cual las partículas de tamaño de arena o más gruesas se encuentran embebidas o flotando en el lodo calcáreo (lodo soportadas).

En el grupo IIA de grano soportadas existen dos tipos: (IIA1) Calizas granosoportadas que carecen de lodo calcáreo, denominadas Grainstones y (IIA2) Calizas granosoportadas pero que contienen lodo, denominadas Packstones.

El grupo II B o calizas lodo soportadas se subdivide en dos clases: (IIB1) Calizas lodosoportadas que contienen menos del 10% de partículas de tamaño arena o mayores, denominadas mudstones y calizas lodosoportadas que contienen más del 10% de partículas de tamaño arena o mayores, denominadas wackestones. (Figura 9).

Figura 9. Clasificación de rocas calcáreas de acuerdo con la textura deposicional. Dunham 1962.

Boundstone: Los componentes originales enlazados en vida ej: Arrecifes.

Calizas cristalinas: la fábrica primaria ha sido destruida por recristalización.




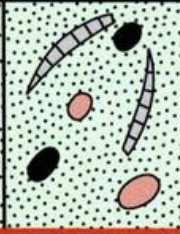
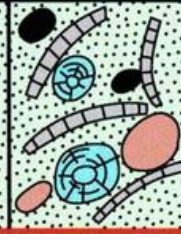


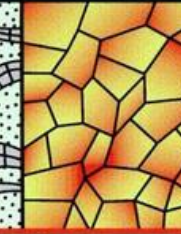
Fuente: Modificado de Cruz Guevara. L.E. Caballero. V.M. clasificación textural y composicional de rocas calcáreas. UIS.2007.

La roca Mudstone o micritas solo presentan lodo calcáreo, algunas pocas partículas calcáreas como fragmentos esqueléticos o no esqueléticos y son lodosoportadas; Las Wackestone son lodosoportadas con mayor parte matriz de lodo calcáreo pero mayor cantidad de granos que la anterior; Las packestone son granoportadas con escasa matriz y las Grainstones son granoportadas y limpias de lodo calcáreo.

La clasificación se divide en cuatro grupos con base en la relación entre partículas o granos y la matriz fina o lodo calcáreo. (Figura 10).

Figura 10. Clasificación de calizas modificado de Dunham 1962.

Clasificación de Dunham, 1962

Textura deposicional reconocible				Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción	Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación			Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico		
Con barro micrítico		Esqueleto grano-soportado			
Esqueleto matriz-soportado	> 10 % granos				
< 10 % granos	> 10 % granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina
					

Dunham, 1962
Modificado de Moore, 2001

Fuente: Tomado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petrosed/rc/cla/>

2.4 FACIES

El concepto de facies en Estratigrafía y Sedimentología lo introdujo formalmente Gressly (1838) para denominar a “la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica”, en otras palabras, se utiliza para definir los aspectos describibles de cada grupo de roca: composición, geometría y contenido de fósiles.

La definición de facies debe ser totalmente objetiva y debe basarse en los datos obtenidos en el campo al observar las rocas, como afirma Walker (1984). 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.).

En este estudio se evitara el uso del término facies en sentido genético de manera que se usará exclusivamente para denominar al conjunto de propiedades que definen a unos materiales o a los materiales con dichas características, pero en todo caso basado en criterios totalmente objetivos. Se pretende con esto, diferenciar en un estudio estratigráfico lo que sean datos objetivos que definen unos materiales, los cuales siempre permanecerán. Mientras que las interpretaciones genéticas que se hagan a partir de ellos, estas pueden ser cambiantes a lo largo del tiempo.

Con el planteamiento anterior, el reconocimiento de las facies constituye la herramienta básica del estudio estratigráfico y sedimentológica y es la fuente de información en la que se puede basar cualquier tipo de estudio e interpretación que se realice posteriormente.

2.4.1 Clasificación de Facies. La delimitación de las facies y el estudio de sus asociaciones constituyen dos aspectos fundamentales de análisis sedimentológicos y del estratigráfico.

Las facies se pueden clasificar estableciendo conjuntos con características (litológicas y estratigráficas) diferentes, que lógicamente tendrán un significado genético distinto. No es una clasificación de roca ya que en ella se tiene en cuenta, además de la litología (composición, textura, color) otros rangos como: las estructuras sedimentarias, la geometría y espesor de los estratos, el contenido fosilífero e incluso las tendencias de evolución vertical de ciertos caracteres (p. Ej.

Aumento de tamaño de grano hacia el techo). En estas clasificaciones usualmente cada tipo de facies se denominan con una letra o sigla.

2.4.1.1 Facies sedimentarias clásticas: De acuerdo a Farrell (2012), se propone una clasificación basada en la textura de rocas sedimentarias clásticas, esta clasificación es independiente de la composición, cementación y ambiente geológico, y está relacionado estrechamente a procesos sedimentológicos. A continuación se muestra el cuadro de descripción de facies, el cual fue modificado por los autores tanto en la traducción, como en el agregarle un componente en la sección de arena (Sublitoarenita), el cual no hace parte de la clasificación textural pero por motivos de importancia en la descripción se agregó a la tabla.

Tabla 3. Descripción de los códigos de litofacies para rocas sedimentarias clásticas.

Colección Completo de las Clases texturales en Sedimentos Clásticos				
	Código	Código	Equivalente consolidado	Equivalente Consolidado
Grava	G	C	Conglomerate	Conglomerado
	(s)G	C(a)	Slightly sandy conglomerate	Conglomerado ligeramente arenoso
	(m)G	C(l)	Slightly muddy conglomerate	Conglomerado ligeramente lodoso
	Sg	C(A)	Sandy conglomerate	Conglomerado arenoso
	Mg	C(L)	Muddy conglomerate	Conglomerado lodoso
	(sm)G	C(al)	Slightly sandy and muddy conglomerate	Conglomerado ligeramente arenoso y lodoso
	(ms)G	C(la)	Slightly muddy and sandy conglomerate	Conglomerado ligeramente lodoso y arenoso
	(s)mG	Cl(a)	slightly sandy muddy conglomerate	Conglomerado lodoso y ligeramente arenoso
	(m)sG	Ca(l)	Slightly muddy sandy conglomerate	Conglomerado arenoso y ligeramente lodoso
	smG	Cal	Sandy muddy conglomerate	Conglomerado arenoso lodoso
	msG	Cla	Muddy sandy conglomerate	Conglomerado lodoso arenoso
Arena	S	A	Sandstone	Arenisca
	(g)S	A(c)	Slightly gravelly sandstone	Arenisca ligeramente conglomerática
	(m)S	A(l)	Slightly muddy sandstone	Arenisca ligeramente lodosa
	mS	A(L)	Muddy sandstone	Arenisca lodosa
	gS	A(C)	Gravelly sandstone	Arenisca conglomerática

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

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

Tabla 4. Lista de atributos para rocas sedimentarias clásticas.

Atributos			
Código	Código	Descripción	Descripción
m	m	massive	masiva
biot	biot	bioturbated	bioturbada
b	mad	burrowed	madrigueras
lam	lam	laminated	laminada
b-lam	m-lam	burrow-laminated	madrigueras laminadas
l	l	lenticular bedding	estratificación lenticular
w	w	wavy bedding	estratificación ondulosa
f	f	flaser bedding	estratificación flaser
gr	gr	graded	gradual

Atributos			
Código	Código	Descripción	Descripción
gr-lam	gr-lam	gradedlaminates	laminación gradual
x	x	cross-bedded	estratificación cruzada
ch	ch	chaoticbedding	estratificación caótica
con	con	convoluted	convoluta
s	rem	swirling	remolino
r	ond	rippled	ondulosa
r-lam	o-lam	ripple-laminated	laminación ondulosa
s-lam	r-lam	swirlinglaminated	laminación remolino
mld	mld	moldic	moldes
intr	intr	intraclastic	intraclastos
df	dp	dissolutionfabric	porosidad por disolución
rt	rr	root traces	rastros de raíces
mot	mot	mottled	moteado
org	org	plantdebris	restos vegetales
dis	dis	disturbed	perturbado
rt-mot	r-mot	root-mottled	raíz-moteado
rh	cr	rhythmicallylayered	rítmicamente en capas
bnd	bnd	banded	bandeado
cem	cem	cemented	cementado
p	p	pelletal	pellets
mp	mp	micropelletal	micropellets
lig	lig	lignitic	lignítica
C	A	clay	arcilla
Z	L	silt	limolita
c	a	clayey	arcilloso
z	l	silty	limoso
/	int	interlayered	intercalado
P	t	peat	turba

Fuente: Tomado y modificado de Farrel (2012).

2.4.1.2 Facies carbonatadas: No existe una clasificación de uso general de facies carbonatadas. En este estudio se utiliza una clasificación de facies carbonatadas propuesta por los autores, basada en las clasificaciones texturales y composicionales de las rocas presentes en el área de estudio.

Tabla 5. Descripción de los códigos de litofacies para rocas carbonatadas.

CLASIFICACIÓN DE LAS FACIES CARBONATADAS	
M	Mudstone
W	Wackestone
Lc	Lodo calcáreo
A(cal)	Arenisca Calcárea

Tabla 6. Tabla de atributos para rocas carbonatadas.

Atributos	
mc	matriz calcárea
bv	bivalvos
gs	gasterópodos
am	ammonites
eq	equinodermos
tr	trigonia
ff	fragmentos fósiles
cic	cono en cono
con	concreciones
cs	concreciones silíceas

2.4.1.3 Asociación de Facies: Este concepto fue definido por Potter (1967) como “una agrupación de atributos sedimentarios que se asocian, incluyendo la geometría (espesores y extensión areal), continuidad y secuencia de unidades litológicas, tipos de rocas, estructuras sedimentarias y fauna (tipos y abundancia)” (Miall, 1990).

Miall (1990) citado por Bermúdez et al. (2003) indica que cada litofacies por separado puede representar un evento depositacional individual, y estas pueden ser agrupadas en asociaciones de litofacies que son la base para definir modelos de facies, que tienden a ser comúnmente cíclicos.

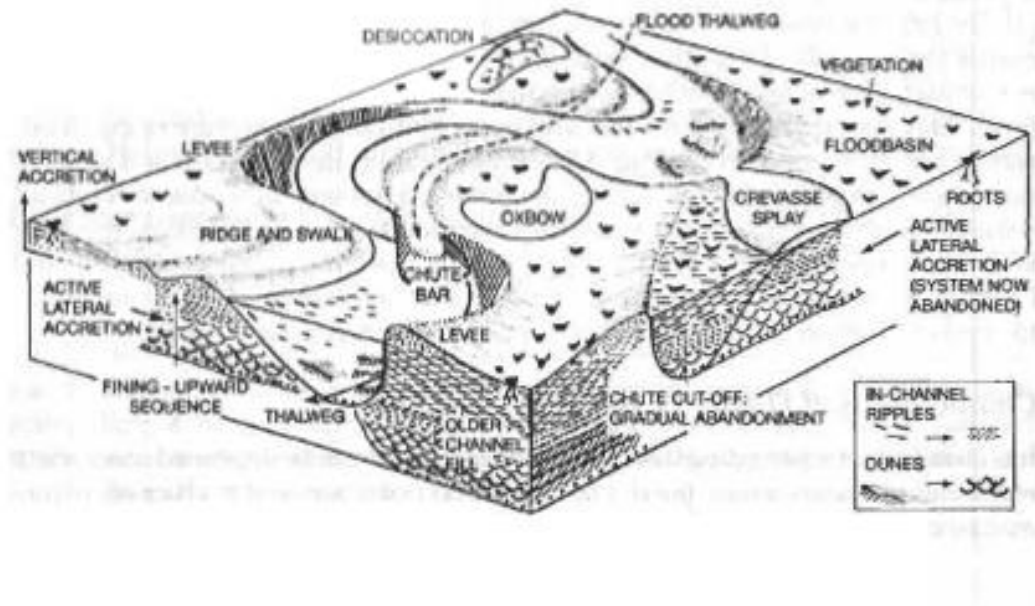
2.5 AMBIENTES DE DEPOSITACION

En este capítulo se describieran los principales ambientes sedimentarios mixtos (Figura 16).

2.5.1 Fluvial rios trezados y Meandriformes

2.5.1.1 Rio Meandriforme: Las corrientes que desarrollan meandros son usualmente aquellas de baja pendiente, con moderada carga de sedimentos y con fluctuaciones moderadas en la descarga. La velocidad de la corriente es mayor a lo largo del "talweg" y también aquí es mayor el transporte de sedimentos, especialmente el de material más grueso (Figura 12 B). El transporte más activo de sedimentos ocurre cuando el rio está crecido y simultáneamente se produce la mayor erosión en la orilla de socavación. Las barras de meandro se desarrollan, al disminuir la crecida del río, en las zonas internas de los meandros. En una barra de meandros existe una reducción en el tamaño del grano desde la base al tope, así como también una disminución en la magnitud de las estructuras sedimentarias, desde estratificación cruzada en gran escala hasta pequeñas rizaduras con láminas entrecruzadas. La sedimentación se efectúa sobre toda la superficie de la barra y a medida que se acentúa el meandro, las arenas de barra se amplían por un proceso de acreción lateral. (Ver Figura 11).

Figura 11. Los elementos morfológicos de un sistema de ríos meándricos.



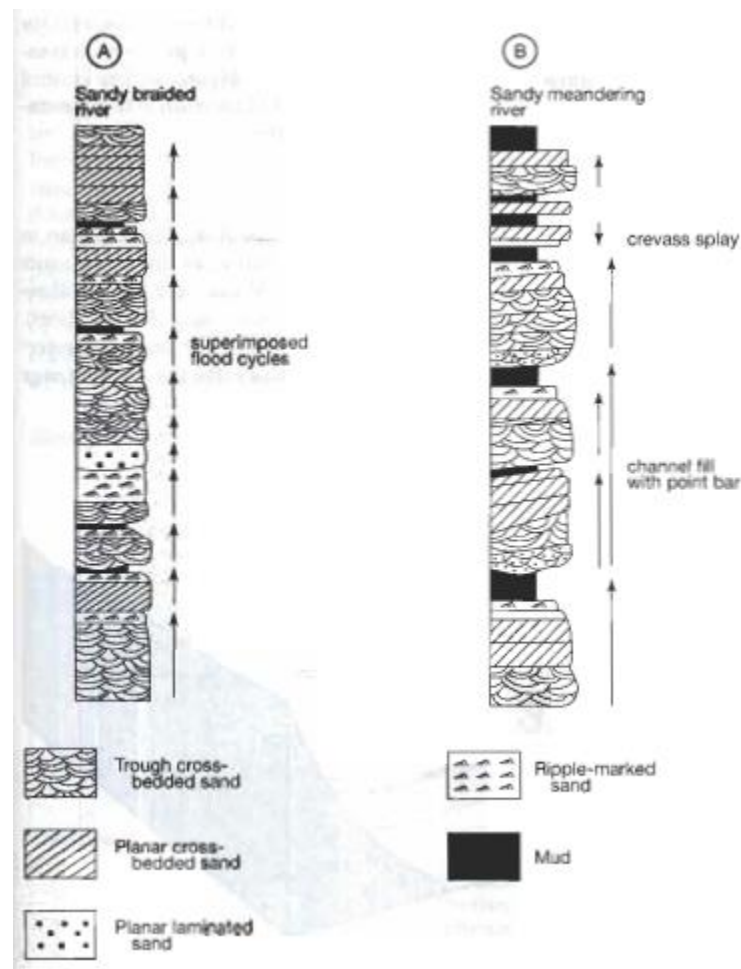
Fuente: Walker, R. G., and D. J. Cant, 1984, Sandy fluvial systems, in R. G. Walker (ed.), Facies models; Geoscience Canada Reprint Ser, 1 Fig1, p, 72.

2.5.1.2 Río Trenzado: Los canales entrelazados son característicos de las corrientes que tienen grandes fluctuaciones en el flujo y en la carga de sedimentos. El entrelazamiento se inicia al formarse barras sumergidas, al bajar el nivel del agua después de una crecida. Tales barras desvían las aguas a su alrededor y se convierten en zonas estables dentro del canal. En los ríos intermitentes, estas barras generalmente cambian de posición durante las crecidas al ser cortadas por nuevos canales. Los complejos de corrientes entrelazadas aumentan por el proceso de acreción vertical, especialmente en los ríos intermitentes los cuales, después de las crecidas, descargan grandes volúmenes de sedimentos y obstruyen los canales. Al producirse una reducción gradual en la velocidad de la corriente, se inicia una gradación (grosso en la base, fino hacia el tope) en cada unidad sedimentaria, así como también una disminución en la magnitud de las estructuras sedimentarias. (Figura 12 A).

En las épocas cuando el nivel de las aguas es bajo, el flujo de la corriente queda confinado a los canales, los cuales están separados por barras de sedimentos. Estas barras se forman durante la época de descenso del río, cuando los sedimentos se acumulan alrededor de alguna obstrucción o de los restos de una antigua barra.

Al progresar la agradación en el valle, las fases de inundación y sedimentación se reflejan en las superficies locales de erosión (fondo de los canales) y en las unidades apiladas que gradan de grueso a fino hacia arriba. Típicamente, los depósitos de las corrientes entrelazadas muestran poca variación vertical o lateral. A lo largo del curso se nota una disminución en el tamaño de los granos desde la fuente a la costa.

Figura 12. Ejemplos de litofacies y perfiles vertical en sedimentos de un río trenzado (A) y un río meándrico (B).



Fuente: Miall, A. D., 1996, The geology of fluvial deposits, Fig 8.80, p, 205, and 8.8G, p, 204.

2.5.2 Planicies de marea. Las planicies de marea se desarrollan en los tramos de costa donde la energía del oleaje es relativamente baja y donde el rango mareal es de moderado a alto. Tienen una pendiente muy suave. El alto rango mareal y las pocas pendientes favorecen que las olas no rompan sobre la llanura de marea, siendo así las corrientes de flujo y el reflujó mareal los procesos que controlan la sedimentación en estos medios. Pueden estar asociadas a otros ambientes sedimentarios litorales como: lagoons, deltas y estuarios.

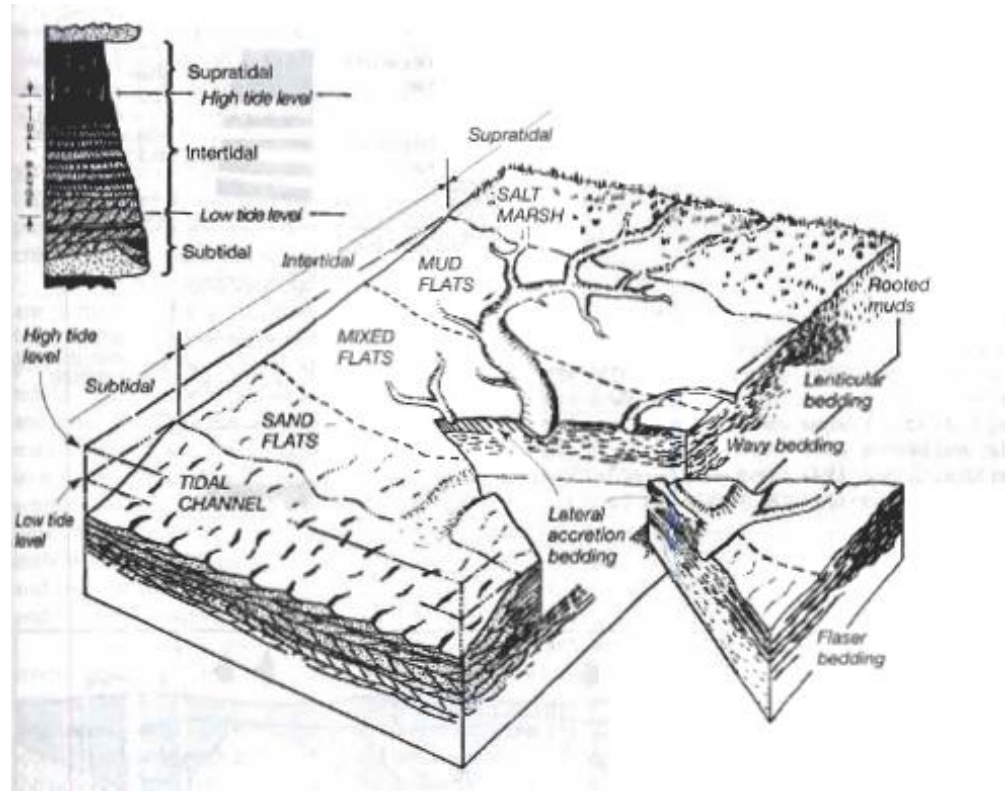
Las planicies de marea son superficies planas que suelen estar limitadas hacia la tierra por el desarrollo de marismas y surcadas por una red de canales. El prisma mareal entra por los canales de marea durante el flujo, gradualmente se van llenando a medida que la marea va subiendo, hasta que rebosa el borde de los canales y se inunda la superficie adyacente. Después de la inundación el agua se retira de las llanuras y se canaliza por los canales mareales hasta dejarla de nuevo en exposición, este patrón junto con la interacción entre corrientes mareales y la acción del oleaje son los responsables del transporte y distribución de sedimentos en las llanuras de marea (Ver Figura 13).

Sub-ambientes:

- **Planicie arenosa:** Se encuentra sumergida la mayor parte del ciclo mareal, sujeta a fuertes corrientes mareales, los sedimentos del fondo se ven afectados por el oleaje, sedimentos característicos son arenas limpias con estructura interna debido a la migración de ripples
- **Planicie mixta:** Se encuentra sumergida y expuesta durante más o menos el mismo período de tiempo, dependiendo de la marea, se da sedimentación por decantación de fangos. Estructuras características: Flaser, wavy, lenticular.
- **Planicie lodosa:** Se encuentra sumergida solo durante los periodos próximos a pleamar, las corrientes tienden a 0, no se produce transporte ni depósito por carga de fondo, pero durante el repunte de los fangos que van en suspensión pueden decantarse y depositarse. La estructura interna es laminación paralela de baja energía por decantación.
- **Marisma salobre:** Como la llanura de marea alta acumula sedimentos fangosos, cada vez estará más por encima del nivel de la pleamar, quedando

progresivamente cada vez más expuesta pudiéndose colonizar por plantas terrestres generando las marismas.

Figura 13. Diagrama esquemático de una planicie de marea típica.



Fuente: Dalrymple, R. W., 1992, Tidaldepositional systems, in Walker, R. G., and N. P. James (eds.), Facies models: Geol. Assoc. Canada, Fig 12, p 201.

2.5.3 Lagoon. Es un cuerpo de aguas poco profundas marinas separado por una barrera, bien sea isla barrera o cordón litoral, un banco de arena de origen marino, un arrecife coralino o algún accidente similar.

La sedimentación es detrítica, inicialmente de tipos de arenas, una vez formada la barra se favorece la precipitación química de carbonatos junto con la detrítica de

limos. El sedimento se dispone formando una barra paralela a la costa que cierra de forma parcial o casi completa una porción de mar que antes estaba abierta.

Los lagoons comúnmente se extienden paralelamente a la costa. Muchos lagoons no tienen una significativa escorrentía de agua fresca; sin embargo, algunas ensenadas costeras satisfacen de otro modo la definición general de lagoons, reciben la descarga de un río. Lagoons ocurren en una cercana asociación con los deltas de los ríos, islas barreras y planicies de marea.

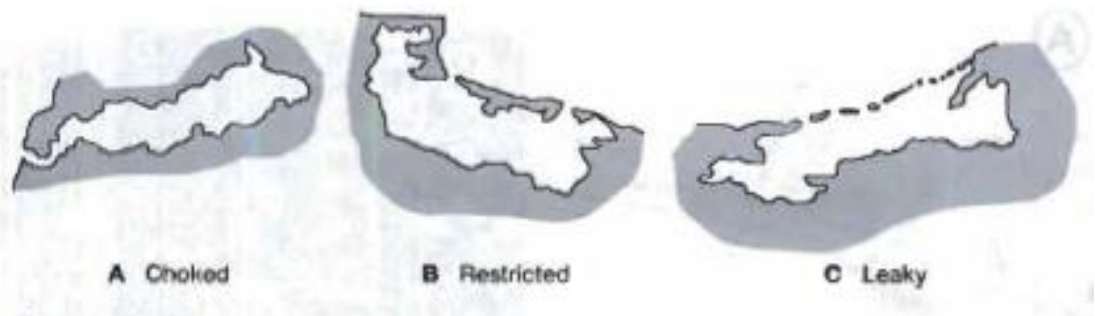
Muchos factores afectan la fluidez del agua, la mezcla de agua y el transporte de sedimentos en lagoons, como las mareas, viento de olas, escorrentías de agua fresca, tormentas episódicas, gradientes de densidad, cambios del nivel del mar, y cambios de temperatura y clima. La circulación con el océano abierto se ve restringido por una barrera, el principal movimiento de agua en lagoons es en la forma de las corrientes de marea y olas forzadas por el viento.

Los diferentes tipos de lagoons son según Kjerfve y Magill (1989):

- **Lagoons ahogados:** ocurren a lo largo de la costa con olas de alta energía una deriva significativa. Son caracterizados por uno o más entradas de canales, por largos tiempos de residencia del agua dentro del lagoon y un movimiento dominante del agua por la fuerza del viento. Radiación intensiva solar junto con eventos de entrada puede causar estratificación intermitente vertical. (Figura 14)
- **Lagoons restringidos:** comúnmente exhiben una o más entradas de canales, tiene una circulación de marea bien definida, son fuertemente influenciados por el viento y generalmente mezclados verticalmente. (Figura 14).
- **Lagoons con fugas (leaky):** normalmente ocurren a lo largo de la costa donde las corrientes de la marea son un factor más importante en el transporte de sedimentos que las olas de los vientos. Se pueden estirar a lo largo de la costa

más de 100km pero comúnmente no son más que unos pocos kilómetros de ancho. Se caracterizan por un paso amplio de las mareas, un eficiente intercambio del agua con los océanos, fuertes corrientes de marea alta salinidad y frentes turbidíticos. (Figura 14).

Figura 14. Tipos de lagoons, basado en el grado de intercambio de agua con la costa del océano adyacente.



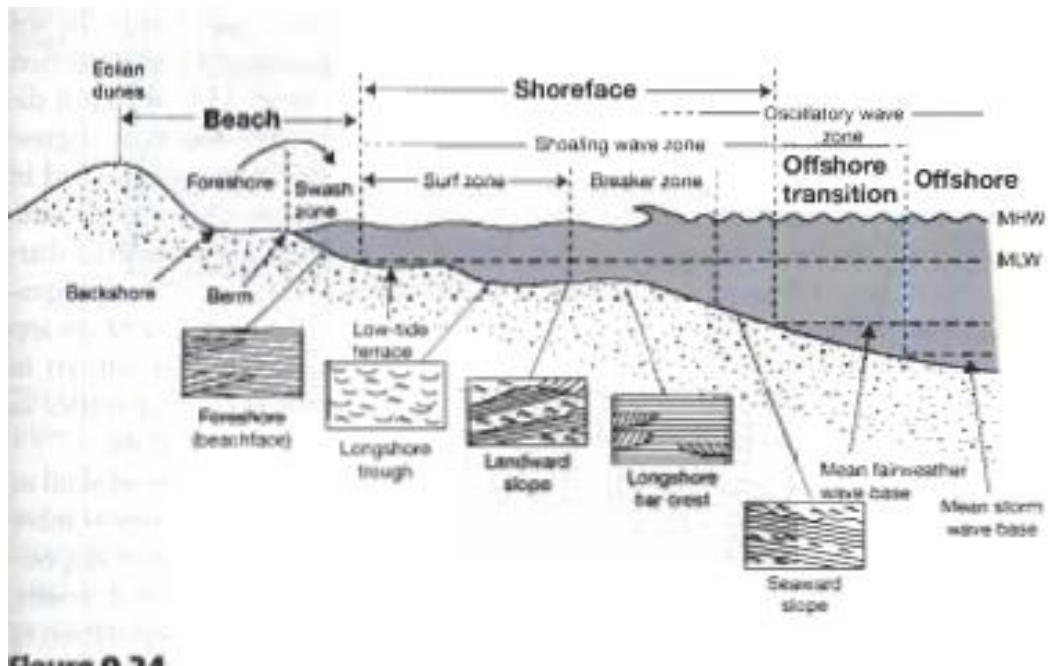
Fuente: Kjerfve, B., y K. E. Magil, 1989, Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons.

2.5.4 Shoreface. Los depósitos de shoreface se forman en un ambiente que se extiende desde el medio-bajo nivel de mar en la playa bajo el límite inferior la base de las olas. La base de las olas es la profundidad debajo de donde normalmente las olas no reacción con el fondo. La profundidad de la base del shoreface es comúnmente del orden de 10-15 m, pero esta profundidad puede ser reducida significativamente durante las tormentas. El shoreface puede dividirse en el upper, medio y lower, que corresponden aproximadamente a la zona de surf, breaker, y fuera de la zona de formación de bancos de arena. Cada una se distingue por sus características de facies.

Upper-Shoreface (zona de surf) se deposita en un ambiente dominado por fuertes olas bidireccionales y corrientes a lo largo de la costa. Los depósitos de esta zona consisten principalmente de sets de laminación cruzada multidireccionales. Shoreface medio (Zona breaker) se depositan en condiciones de alta energía a

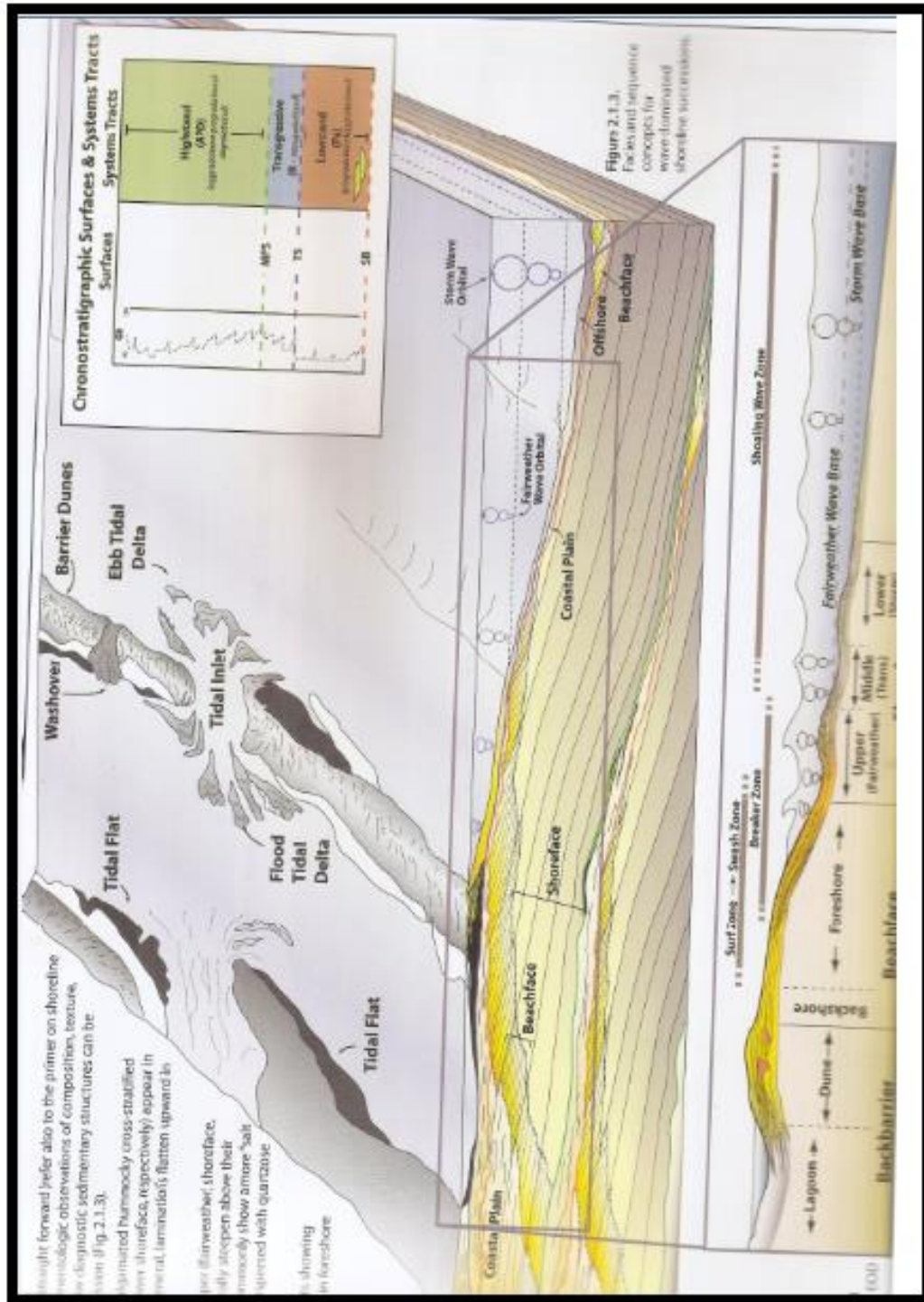
donde ocurre en rompimiento de las olas y está asociado al largo de la costa y las corrientes fuertes. Los sedimentos comúnmente son arenas de grano fino a medio, con paquetes pequeños de limo y algunas conchas. Lower-Shoreface se forma en ambientes de baja energía a mar adentro en depósitos de plataforma abierta. Está compuesta predominantemente por arena muy fina a fina pero puede contener capas intercaladas de limo y lodo. Puede tener estructuras sedimentarias como estratificación cruzada en pequeña escala, estratificación plana paralela, y estratificación hummocky (en eventos de tormentas). (Ver Figura 15).

Figura 15. Estructuras sedimentarias típicas formadas en la playa y sus zonas cercanas.



Fuente: Sedimentary structures after Davdson-Arnott, R. G. D., and B. Greenwood, 1976, Facies relationships on a barred coast, Kouchibouguac Bay, New Brunswick, Canada, in R. A. Davis, Jr., and R. L. Ethington (eds), Beach and nearshore sedimentation: Soc Econ. Paleontologist and Mineralogist Spec, Pub 4, Fig4, p. 154.

Figura 16. Bloquediagrama de una secuencia litoral dominada por oleaje.



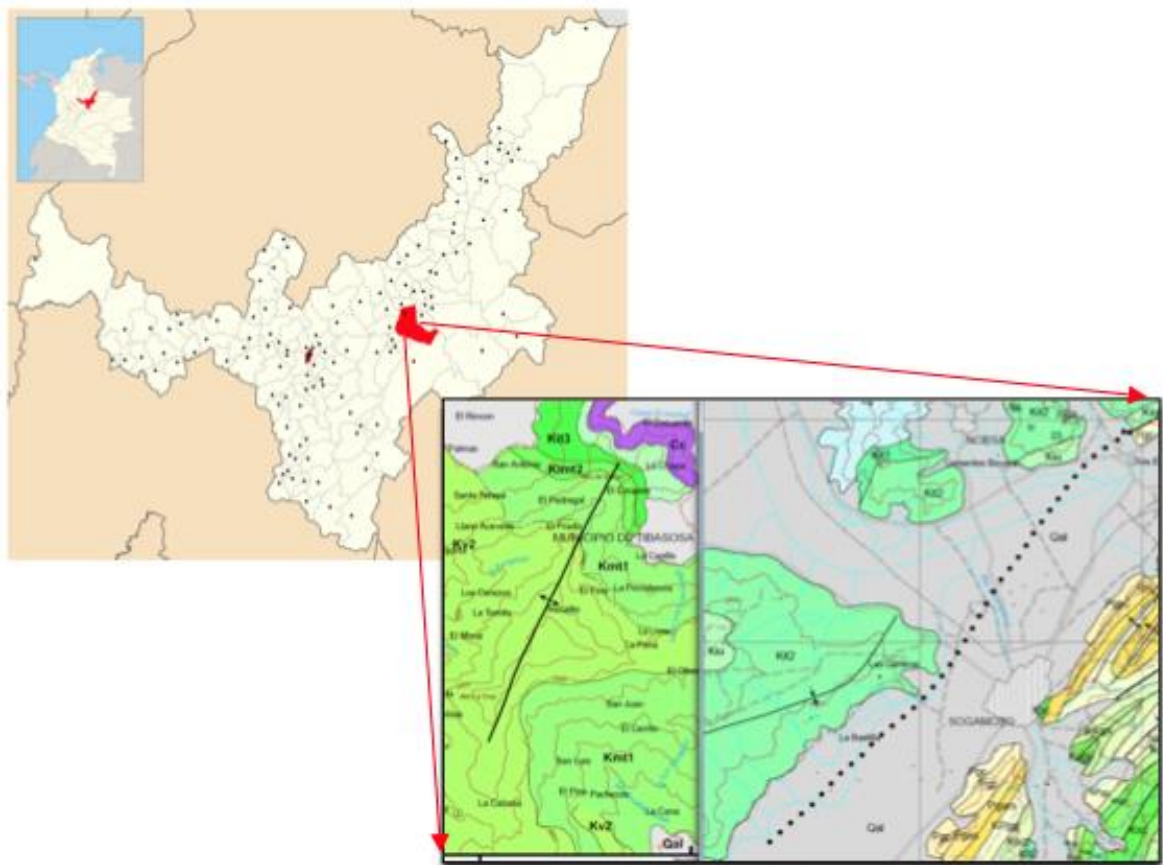
Fuente: Abreu, V., Neal, J. Sequence Stratigraphy of Siliciclastic Systems- The ExxonMobil Methodology. 2002.

3. MARCO GEOLOGICO

3.1 MARCO TECTÓNICO

3.1.1 Localización del área de estudio. El área de estudio se encuentra en la zona axial de la Cuenca de la Cordillera Oriental, en el altiplano Cundiboyacense. Ésta se localiza entre los municipios de Sogamoso y Tibasosa, ubicados en el Departamento de Boyacá. Situada en el bloque colgante de la Falla de Soapaga.

Figura 17. Localización del área de estudio.



Fuente: Imagen izquierda tomada y modificada de wikipedia.org Imagen derecha tomada y modificada de planchas 171 Duitama (Versión digital 2009) y 172 de Paz del Río (1968).

La zona del levantamiento de la sección toma dos planchas 1: 100.000 de Ingeominas la cuales son 171 de Duitama y 172 de Paz del Rio, por ello de ven los dos mapas en la parte superior (Ver Figura 17).

Se encuentra en la parte central de la Cordillera Oriental, al Oeste del Macizo de Floresta, durante el Cretácico se depositaron éstas secuencias. Es una zona muy afectada tectónicamente por el levantamiento de la Cordillera.

Localización de lugares dónde se levantó cada miembro de la Formación Tibasosa

Figura 18. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 4, Vía Tibasosa-Sogamoso. Columna 1.



Fuente: Tomado de Google Earth 2014. Modificado.

Figura 19. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 3, Cantera las Monjas.



Fuente: Tomado de Google Earth 2014. Modificado.

Figura 20. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 2, Cantera las Monjas.



Fuente: Tomado de Google Earth 2014, Modificado.

Figura 21. Localización del área donde se realizó el levantamiento del Miembro 1, Cantera las Monjas.



Fuente: Tomado de Google Earth 2014. Modificado.

3.1.2 Geología local del área de estudio. Si bien en la zona de estudio afloran rocas con edades desde el Precámbrico, en esta corta reseña solo se hará referencia al periodo comprendido por el Cretácico, y específicamente a las rocas aflorantes al Sur-Este del Macizo de Floresta las cuales constituyen la parte esencial del trabajo.

La sedimentación durante el Cretáceo fue controlada por un evento tectónico mixto de extensión cortical (rifting, backarc rifting) influenciada por la zona de subducción de la placa oceánica Farallón en el Pacífico, que se inició a finales de Triásico y comienzos del Jurásico y continuó durante todo el Cretácico, formando cuencas tipo graben. Esta sedimentación estaba limitada parcialmente al Oeste probablemente por un arco magmático y al Este por el Sistema de Falla del Borde Llanero reactivado, que levantó la cobertura paleozoica de la periferia occidental del Cratón Amazónico.

En estas cuencas controladas por fallas y sistemas de fallas normales profundas se inició la transgresión marina en el Cretácico Temprano (K1-Sctm, K1-Stm). La extensión cortical diferencial propició la subsidencia más rápida en algunas cuencas como la de Bogotá y en otras más lenta como en las de Valle Medio del Magdalena (VMM), Valle Superior del Magdalena (VSM) y Catatumbo, lo cual generó cambios rápidos de facies y variación notable de espesores entre unas y otras como es el caso de la de Bogotá cuya sedimentación ya era marina cuando las del VMM, VSM y Villa de Leyva eran continentales (lo cual produjo el dicronismo de sus respectivas unidades).

Simultáneamente a la extensión cortical se produce un adelgazamiento de la corteza continental acompañada de subsidencia térmica por aumento del flujo de calor, lo cual se manifiesta por el emplazamiento de intrusivos básicos alcalinos durante el Aptiano-Albiano en lo que hoy es la Cordillera Oriental.

Partiendo de que hay que considerar que el Macizo de Floresta constituye parte esencial de la evolución geológica del área y específicamente de la sedimentación sobre las áreas circunvecinas. El macizo forma parte de la cadena de macizos antiguos y está delimitado por las fallas de Boyacá, al occidente y Soapaga, al oriente, fallas de carácter normal inicialmente y cuyos movimientos cesan a partir del Cretácico Inferior, Aptiano, para luego ya en el Neógeno, reactivarse en sentido inverso.

Según Etayo, F. (1969) desde el Hauteriviano el denominado Paleoalto del Floresta, comienza a ser progresivamente cubierto por el mar Cretácico y al oriente del mismo, en el área de interés de este estudio la sedimentación, una vez terminada la actividad de las fallas de Boyacá y Soapaga (Aptiano), se realiza sobre una plataforma somera de baja pendiente y de margen continental que es propicia para la sedimentación y conservación de rocas con importante contenido

en materia orgánica, Guiza, S., Barbosa, W., Peña, L., & Díaz, M. (1996). Esta situación permanece hasta el Paleógeno inferior.

Durante el periodo Hauteriviano, Barremiano, Aptiano, y posiblemente mediados o finales del Albiano se depositó sobre la plataforma citada, la Formación Tibasosa, Renzoni (1981). Esta formación se deposita sobre rocas plegadas y erodadas del Macizo de Floresta en una clara discordancia angular, que en muchos sitios es evidente, pero en otros no es clara. Es claro que la Formación Tibasosa se deposita sobre una superficie erosionada y tectonizada formada por rocas precretácicas. La base del Tibasosa, presenta conglomerados polimígticos al occidente del Macizo de Floresta en el área de Duitama - Tibasosa que evidencian la discordancia y el carácter de traslape de la formación, pero al oriente del macizo estos conglomerados no aparecen y aparentemente la sedimentación es de tipo diferente, considerándose que al occidente del macizo se acumulan abanicos turbidíticos, mientras que al oriente la sedimentación se hace sobre una plataforma marina, Alzate, C. & Bueno, M. (1994).

Los estudios sobre la Formación Tibasosa indican que en la parte basal el depósito es de tipo litoral atestiguado por la presencia de calizas terrígenas, la parte media es submareal con presencia de calizas menos detríticas que las de la base y la parte superior es de plataforma, representada por lodolitas. La secuencia corresponde a un avance marino sobre el macizo que cada vez está más cubierto, avance que se prosigue hasta el Aptiano.

Posteriormente, desde el Santoniano se inicia una regresión generalizada acompañada de una emersión que se extendió hasta lo que hoy son el Valle Medio del Magdalena (VMM), Cordillera Oriental, y periferia occidental de los Llanos Orientales; este proceso retirada del mar continúa hasta el Maastrichtiano se inicia el levantamiento de parte de lo que hoy es la Cordillera Oriental (Primera Fase Norandian).

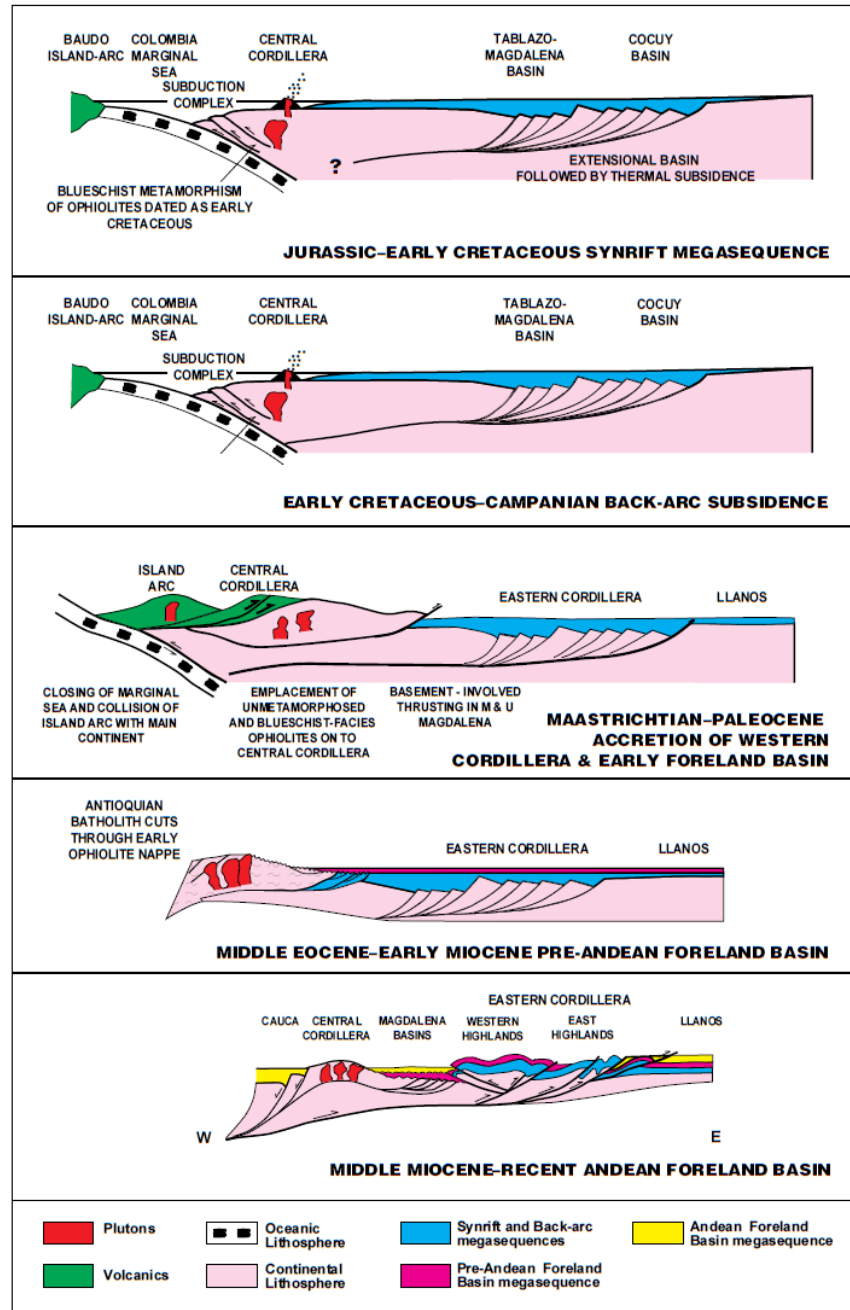
La regresión y emersión generalizadas se acompañaron de un cambio en la cinemática del grupo de fallas que controlaron la sedimentación a principios del Cretácico. Estas, que en un principio eran de tipo normal fueron afectadas por una fase compresiva que las transformó en inversas a finales del Cretácico. Este fenómeno se conoce como inversión tectónica.

3.1.3 Geología estructural de la zona de estudio. El basamento de Colombia se divide en tres zonas separadas por las suturas principales (Suarez. 1990): 1) El escudo Precámbrico del este; 2) la Provincia central de rocas metamórficas del Precámbrico-Paleozoico temprano, que subyace las Cordilleras Central y Oriental; 3) fragmentos de corteza oceánica acrecionada y sedimentos y rocas volcánicas relacionadas con subducción, que forman la Cordillera Occidental (Barrero, 1979; Álvarez, 1983; Duque-Caro 1990). Montgomery (1992) sugirió que la distribución de las cuencas del Cretácico y Terciario en el centro de Colombia posiblemente fue controlada por la reactivación de antiguas fallas.

Maze (1984) propuso un mecanismo alternativo para la extensión en una configuración de back-arc, que, dada la naturaleza oblicua de la zona de subducción, puede que probablemente tuviera una componente transtensional. Ambos mecanismos probablemente contribuyeron a la extensión. La sincronización exacta del comienzo del rifting es difícil de determinar porque los clastos del synrift continental son difíciles de datar. Los depocentros son establecidos a lo largo de la Cordillera Oriental y el Magdalena Superior con cuencas marginales en las cuencas de los Llanos y Putumayo. En la Cordillera Oriental dos cuencas de rift se desarrollaron. Entre los dos depocentros está el Alto de Santander intracuencial, que incluye los macizos de Floresta y Santander and persisten al sur de Tunja como una zona de adelgazamiento de la estratigrafía del Cretácico Inferior (Etayo et al., 1969). Estos sistemas de cuencas es inactivo en el Cretácico temprano; donde una acomodación considerable de espacio fue creada en la Cordillera Oriental (Hebrard, 1985; Fabr , 1987) abarcando el

espesor de la deposición del Cretácico Inferior (Figura 22). La sedimentación de aguas someras a lo largo de mucho del Cretácico sugiere que la deposición aproximadamente siguió el ritmo con la subsidencia. La extensión del Cretácico temprano y la subsidencia puede que haya sido al tiempo de la extensión del back-arc detrás de la zona de subducción fuera de la costa oeste de Suramérica. Se cree que la Subducción se intensificó en el Jurásico tardío y el Berriasiano basado en la presencia de plutones calco-alcalinos de esta edad en la parte este de la Cordillera Central (McCourt et al., 1984).

Figura 22. Modelo secuencial del desarrollo de la tectónica regional de la Cordillera Oriental, Valle Medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos. Cooper.



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

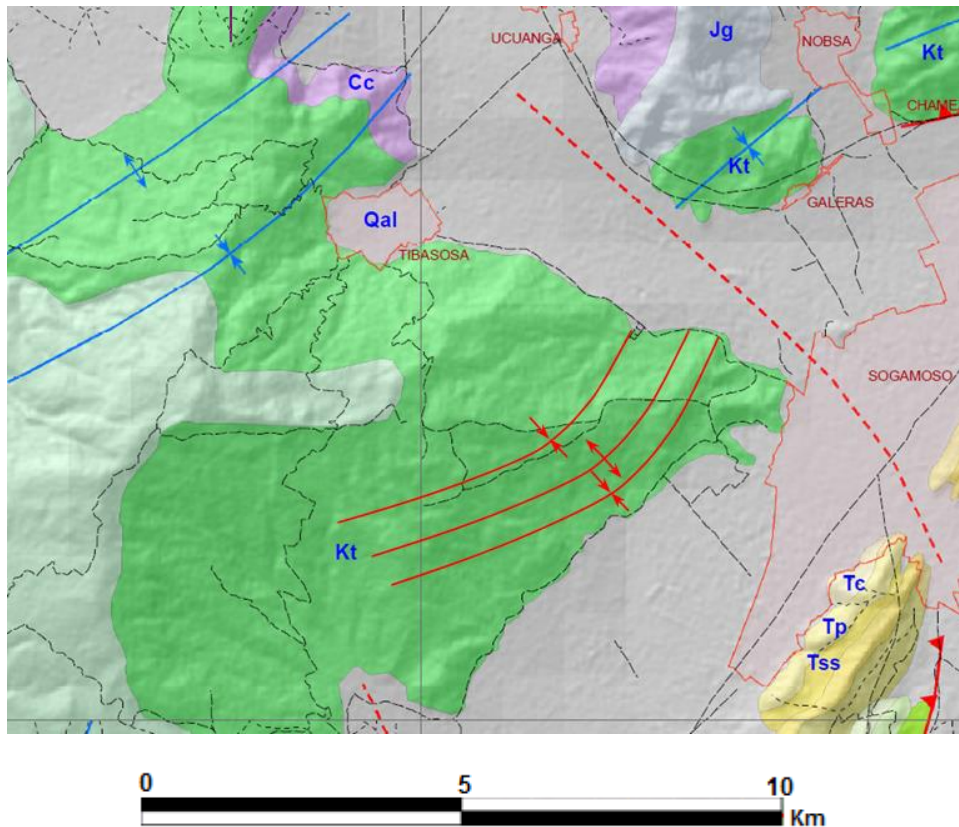
3.2 ESTRATIGRAFIA

En esta área de estudio la información existente en la literatura es pobre, por lo tanto en la fase de campo de este proyecto se ampliarán los datos existentes. La cartografía, la estratigrafía y la geología estructural de esta localidad se encuentran descritas en la memoria explicativa de la plancha 171 Duitama y 172 Paz del Río de Ingeominas.

Se conoce que la Formación Tibasosa corresponde a una Unidad Formal, ya que tiene definido sus límites, esta descrita, tiene designación de un estratotipo límite (sección tipo o localidad tipo), tiene dimensiones y relaciones regionales, edad, entre otros requisitos.

El formato de este capítulo se basara en la descripción por edades de las diferentes unidades, desde las más antiguas hasta las más recientes (base a techo) según su depositación. Solo se realizara una descripción más profunda en la Formación Tibasosa la cual es la formación de interés de este estudio (Figura 23).

Figura 23. Mapa Geológico 1:10.000 de la zona de estudio.



Fuente: Modificado de ICP-ECOPETROL, 2009. Informe del proyecto: Cronología de la deformación en cuencas Subandinas.

La Formación Tibasosa tiene su contacto Inferior con dos formaciones las cuales son Formación Girón del Jurásico y la Formación Cuche del Paleozoico pero en nuestra zona de estudio yace discordantemente sobre capas de una ciclo sedimentario mucho más antiguo la Formación Cuche, y se debe a un posible paleoalto, donde no se depositaron las formaciones hasta el Cretácico donde hay una subsidencia y se depositaron éstas unidades.

3.2.1 Formación Cuche (Cc). El nombre y rango de la unidad litoestratigráfica Formación Cuche se debe a Botero (1950), con el cual se designa a una sucesión de capas de arcillolitas de colores blanco amarillento y morado que se encuentran reposando unas veces concordantemente y otras discordantemente sobre la Formación Floresta; están cubiertas de forma discordante por la Formación Girón, y alcanzan espesores entre 300 y 400 m.

3.2.2 Formación Tibasosa (Kit). De edad Hauteriviano- Albiano tardío (Renzoni 1981) y recientes dataciones amplían el rango de Valanginiano - Albiano tardío Alzate y Bueno, (Tesis de grado, 1994 inédito), determinaciones hechas con base en amonitas.

El nombre y el rango de la unidad litoestratigráfica formación Tibasosa fueron propuestos por Renzoni (1981), para representar la sucesión litológica que aflora en la población de Tibasosa, por debajo de la Formación Une. El autor dividió la formación en cuatro miembros, los cuales fueron denominados de base a techo como: Miembro Basal (Kit₄), compuesto por conglomerado heterogéneo mal calibrado, limolitas verdes y moradas, seguido por areniscas, a veces conglomeráticas con estratificación entrecruzada; Miembro Calcáreo Inferior (Kit₃), constituido principalmente por shales negros, calizas arenosas y areniscas. Encontramos amonitas, equinodermos y lamelibrasquios; la fauna estudiada (Cf. *Acanthodiscus magnificus*, *Thurmanniceras* Cf. *Novihispanicus*, Cf. *Olcostephanus* (Roger sites) *Paucicostatus*, *Valanginiles* Cf. *Santafecinos*) permite datarlo Hauteriviano inferior; Miembro Arenáceo Intermedio (Kimt₂), compuesto por shales grises oscuros y areniscas. En el cual no encontraron fósiles; y el Miembro Calcáreo Superior (Kmt₁), formado por shales grises oscuros, caliza lumaquélica rica en equinidos y ostreas, y areniscas.

Sin embargo, por facilidades cartográficas, a la Formación Tibasosa se ha dividido en dos conjuntos. El Conjunto Inferior (Kit1) correspondiente al Miembro Basal (Kit₄) de Renzoni y el Conjunto Medio Superior (Kit2) correspondiente al Miembro Calcáreo Inferior (Kit₃), Miembro Arenáceo Intermedio (Kimt₂) y al Miembro Calcáreo Superior (Kmt₁) de Renzoni. Además, Renzoni (1981) considera que la Formación Tibasosa disminuye su espesor total en dirección norte sur, y le asigna un espesor de 574 m en la localidad de Toledo y de 355 m en cercanías de la población de Tibasosa (quebrada Guadube).

Su descripción litológica se hace con base en las columnas estratigráficas medidas por la carretera Santa Rosa - Tobasía para el conjunto inferior y al suroeste de la población de Beteitiva, para los conjuntos medio y superior.

Conjunto Inferior (Kit1)

El Conjunto Inferior consta de una sucesión de cuarzoarenitas de grano fino, medio y grueso hasta conglomerática, con colores que varían desde gris claro a blanco, gris verdoso y rojizo por meteorización, cemento silíceo, en capas medias a gruesas, con láminas inclinadas tangenciales e intercalaciones esporádicas de lodolitas arenosas, grises verdosas y amarillentas, cuyos espesores varían entre 20 y 30 cm. De este conjunto inferior se midió un espesor de 35,65 m en el sector de Santa Rosa de Viterbo a Tobasía y 33 en el sector de Beteitiva (Ver Figura 3) y en él no se observó su contacto superior con el Conjunto Medio Superior (Kit₂). El Conjunto Inferior descansa en forma paraconforme sobre la Formación Girón y discordantemente sobre la Formación Cucho y la cuarzomonzonita de Santa Rosita.

Conjunto Superior (Kit2)

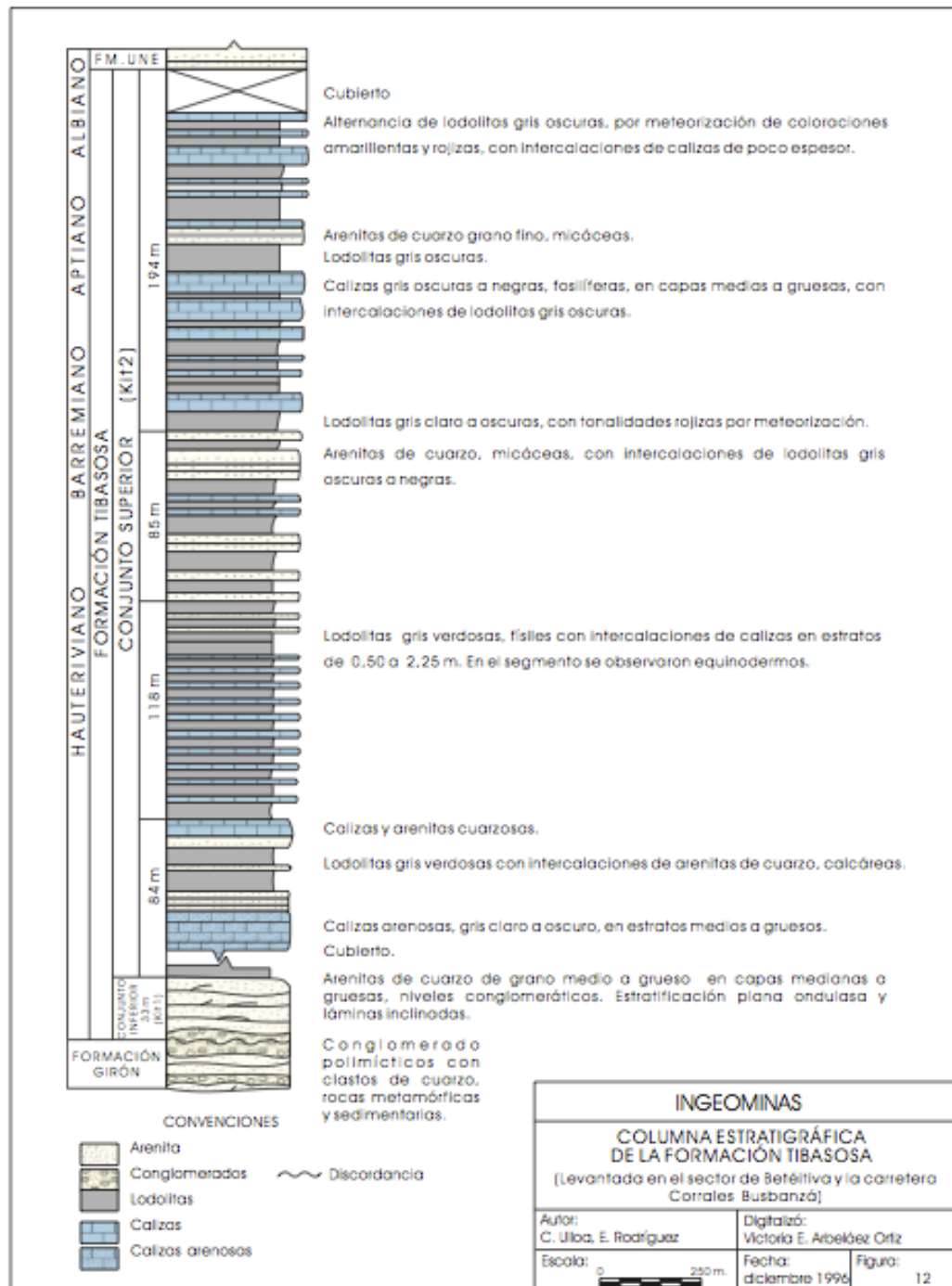
El Conjunto Superior (Kit2) tiene un espesor total de 481 m (Ver Figura 3). Para efectos de su descripción, se ha dividido en cuatro segmentos que de base a tope

son: **Segmento a:** 84 m de calizas grises oscuras en capas delgadas a gruesas con intercalaciones de areniscas calcáreas y lodolitas calcáreas. **Segmento b:** 118 m de limolitas y lodolitas grises oscuras a grises verdosas con intercalaciones de caliza gris oscura en capas de 1 a 2 m. **Segmento c:** 85 m de cuarzoarenitas color gris claro en capas medias a gruesas con intercalaciones de lodolitas negras y calizas gris oscuras en capas delgadas. **Segmento d:** 194 m conformados por una sucesión de capas de caliza gris oscura a negra, fosilífera, en capas medias y muy gruesas, con niveles que alcanzan espesores hasta de 13,80 m e intercalaciones de lodolitas grises oscuras a negras, con tonalidades amarillentas y rojizas por meteorización, en capas medias; estas intercalaciones arcillosas alcanzan espesores que varían entre 0,50 y 17 m. Hacia la parte media de esta secuencia superior, se presentan dos niveles de cuarzoarenitas de granos finos, grises claras, micáceos, en capas gruesas a muy gruesas; estos niveles arenosos alcanzan espesores de 3,15 m y 5,10 m. Este segmento más superior corresponde a lo denominado por Renzoni (1981), como Miembro calcáreo superior. (Ver Figura 24).

En la localidad de Betéitiva, este conjunto es colocado sobre la Formación Girón por fallas inversas y está por debajo de la Formación Une en contacto concordante. De la Formación Tibasosa, Renzoni (1981) cita fauna colectada en el Miembro calcáreo Inferior (Kit₃) y Miembro calcáreo superior (Kit₁), que indican una edad probable de Hauteriviano y mediados o finales del Albiano, respectivamente. Esta formación se correlaciona cronológicamente con las formaciones Arenisca de Las Juntas y Fόμεque.

En el presente estudio se utilizó la división de los 4 miembros, por la escala a la que se realizó la descripción de la Formación Tibasosa.


Figura 24. Columna estratigráfica de la formación Tibasosa. Autor C. Ulloa, E. Rodríguez.



Fuente: Tomado de Plancha 172 Paz del Rio. Autores: E. Ulloa, E. Rodríguez. Memoria Explicativa.

3.2.3 Formación Une. La Formación Une descansa concordantemente sobre las formaciones Fómeque y Tibasosa, respectivamente. Edad: AlbianoCenomaniano, según Bürgl (1957) y Campbell (1962). Autor: Hubach (1957 a y b). Descripción litológica: consta de areniscas cuarzosas, color gris claro a blanco amarillento, de grano fino a grueso, localmente conglomerática, algo micáceas, con estratificación convergente en capas delgadas a gruesas. Se presentan delgadas intercalaciones de lodolitas negras, las cuales son más frecuentes hacia la parte superior. La unidad se caracteriza por presentar una topografía de grandes escarpes, que contrasta con la topografía suave de las unidades infra y suprayacentes.

Figura 25. Correlación Litoestratigráfica del Cretácico y Terciario. El recuadro de color naranja, muestra la zona de la Cordillera Oriental en la que se desarrolló el presente estudio.

EDAD	VAN DER HAMMEN 1958 HUBACH 1957a Sabana de Bogotá	RENZONI 1969 (L11)  Piedemonte Llanero	PÉREZ Y SALAZAR 1973 Sabana de Bogotá	RENZONI 1967 (J-12) Piedemonte Llanero	ALVARADO Y SARMIENTO 1944 Sabana de Bogotá	CORDILLERA ORIENTAL, Ulloa et al. 2001	
					REGION OCCIDENTAL Sabana de Bogotá		REGION OCCIDENTAL Sabana de Bogotá
EOCENO INFERIOR	SABANA TILATA		TILATA				FORMACIÓN DIABLO
	FORMACIÓN USME				FORMACIÓN CONCENTRACION	FORMACION CONCENTRACION	FORMACIÓN SAN FERNANDO
	FORMACIÓN REGADERA				FORMACIÓN PICACHO	FORMACION PICACHO	FM ARENISCA DEL LIMBO
PALEOCENO			FORMACIÓN BOGOTÁ		FM SOCHA SUPERIOR	FM SOCHA SUPERIOR	FM ARCILLAS DE SOCHA
					FM SOCHA INFERIOR	FM SOCHA INFERIOR	FM ARENISCA DE SOCHA
MAASTRIEHT. TAR.	FORMACIÓN GUADUAS		FORMACIÓN GUADUAS		FORMACIÓN GUADUAS	FORMACIÓN GUADUAS	GRUPO PALMICHAL
MAASTRIEHT. TEM.	GRUPO GUADALUPE	GRUPO GUADALUPE	GRUPO GUADALUPE	GRUPO GUADALUPE	FORMACIÓN ERMITAÑO	Arenisca Tierra Membro los Pinos	
CAMPANIANO TAR.	Miembro de los Planeros	Formación Labor y Tierra	Formación Labor y Tierra	Formación Planeros			
CAMPANIANO TEM.	Ar. Dura	Fm. Raizal	Fm. Ar. Dura	Fm. Ar. Dura		Fm. Planeros	
CONIACIANO	PISO DE VILLETA	Chupaque	FORMACIÓN CHIPAQUE		GRUPO CHURUVITA	VILLETA	FORMACIÓN CHIPAQUE
TURONIANO		Une	FORMACIÓN UNE		FM UNE		FORMACION UNIFORMACIÓN UNE
CENOMANIANO		Fomeque	FORMACIÓN FOMEQUE				FORMACION FOMEQUE
ALBIANO		Arenisca de Capoeza	FORMACIÓN ALTO DE CAQUEZA		FORMACIÓN TIBASOSA		FORMACION TIBASOSA
HAUTERIVIANO		Conjunto Medio	Parte media del Ciqueza				FM ARENISCA DE LAS JUNTAS
VALANGINIANO							FM LUITAS DE MACANAL

Fuente: Modificado de Ulloa et al. 2001

4. METODO DE TRABAJO

La descripción de la metodología utilizada durante el desarrollo de este proyecto, se tiene en cuenta desde el momento de la recopilación bibliográfica hasta el momento de plantear las conclusiones. Este trabajo de investigación se desarrolló en tres etapas:

4.1 FASE DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRAFICO

Esta fase es una de las más amplias ya que se realiza durante todo el transcurso del proyecto. Consiste en la recopilación de información sobre temas relacionados con estudios previos realizados en el campo y en los alrededores del área de estudio.

Adicionalmente se cuenta con información proporcionada por el instituto colombiano del Petróleo (ICP). El marco geológico está comprendido por diferentes elementos como el estructural, estratigráfico y sedimentológico del área de estudio, además de información recolectada en artículos y proyectos de grado enfocados en el desarrollo y complementación de este estudio.

4.2 FASE DE RECONOCIMIENTO Y TOMA DE DATOS

Para iniciar la fase de campo, se delimito la zona de estudio a partir de una salida a campo de reconocimiento apoyada por la revisión bibliográfica.

Esta etapa de campo se realizó con el objetivo básico de reconocimiento de los diferentes tipos de rocas aflorantes en la región, toma de datos y muestras para así realizar posteriormente una interpretación específica. La fase de toma de datos tuvo una duración de 25 días de campo.

La parte de conceptos y normas de procedimientos estratigráficos nos guiamos por el Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 2010) para así estandarizar todos los conceptos utilizados.

La columna estratigráfica proviene de secciones con capas de buzamientos altos, los cuales se midieron usando la brújula (Figura 26), en cuanto a la ubicación espacial del área y cartografía se utilizaron: las Planchas 171 Duitama (2001) y 172 Paz del Rio (2003) escala 1:100.000 de INGEOMINAS; Mapa Ecopetrol/ICP INFORMACION GEOGRÁFICA escala 1:10.000.

Por otra parte el levantamiento de las secciones estratigráficas y medidas de espesores, se realizaron con la ayuda del Bastón de Jacob, el cual es un bastón de 1,5 m con un tubo perpendicular en su extremo superior que facilita la medida en pendientes, ya que la medida se hace en segmentos de 1,5 m y por el tubo se mira para situar exactamente el punto donde colocar el bastón para iniciar la siguiente medida. Figura 25.

Posteriormente a la etapa de medición se realizaron descripciones texturales, reconocimiento de las características de la estratificación, reconocimiento de estructuras sedimentarias de ordenamiento interno, reconocimiento de estructuras sedimentarias de las superficies de estratificación, reconocimiento de estructuras sedimentarias de deformación y reconocimientos de microfósiles. Todo al detalle a escala 1:100 de acuerdo con los objetivos propuestos.

Finalmente se realizó la toma de muestras de shale orgánico en condiciones frescas, estas muestras fueron enviadas a los laboratorios de geoquímica del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

En total se recolectaron 23 muestras, siempre verificando que se encontraran frescas, por ende descartamos aquellas muestras que presentaban oxidación o se observaban en mal estado (desintegradas).

Las muestras fueron nombradas utilizando la siguiente nomenclatura:

- Sección Vía a Tibasosa

Muestras recolectadas: 3

G1A-VT-##

(Grupo 1, Columna A – Vía Tibasosa – Número de Bastón)

- Sección Cantera las Monjas

Muestras recolectadas: 12

G1C-CLM-##

(Grupo 1, Columna C – Cantera las Monjas - Número de Bastón)

- Sección Cantera CalBoy

Muestras recolectadas: 1

G1D-CB-##

(Grupo1, Columna D – Cantera CalBoy – Número de Bastón)

- Sección Laguna CalBoy

Muestras recolectadas: 5

G1E-LCB-##

(Grupo1, Columna E – Laguna CalBoy – Número de Bastón)

- Sección Cantera Suescún

Muestras recolectadas: 2

G1F-CS-##

(Grupo1, Columna F – Cantera Suescún – Número de Bastón)

Figura 26. Bastón de Jacob.



Figura 27. Materiales de Campo.



4.3 FASE DE ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta última fase se organiza y digitaliza en el software SedLog 3.0 la información obtenida en campo de la Formación Tibasosa. Ya teniendo la información organizada se prosigue con el análisis de facies, para que a partir de estas se realice la asociación de facies y por último la interpretación de ambientes de depositación y así analizar los resultados de dicho estudio.

5. ANALISIS Y RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la descripción detallada de la columna estratigráfica de la Formación Tibasosa. Ver anexo A.

Con el fin de facilitar la descripción de la columna estratigráfica presentada, se ha dividido en segmentos. La descripción de cada segmento integra las observaciones de campo.

5.1 COLUMNA ESTRATIGRAFICA

En el levantamiento de esta formación arrojó un espesor total de 374,4 metros que se encontraron relacionando las cuatro secciones anteriormente nombradas. Pero por motivos de que la base de la Formación se encontraba distante del resto de miembros se decidió no unir las dos columnas para así evitar repetir capas o si llegan a hacer falta, por lo tanto, se da como resultado dos columnas estratigráficas la primera representa el Miembro 4 donde se observa el contacto con la Formación Cucho (correspondiente a la Columna 1), mientras que la segunda representa los miembros 3, 2,1 y el contacto con la Formación Une (correspondiente a la Columna 2).

En esta sección se describirán los 9 segmentos en los que se dividió la columna estratigráfica de la Formación Tibasosa.

Figura 28. Cuadro de nomenclatura correspondiente a la Columna 1.
























Lithologies	Symbols	Base Boundaries
 Sandstone	 Intraclasts	 Sharp
	 Wave ripple cross-lamination	 Irregular
	 Horizontal planar lamination	

Figura 29. Cuadro de Nomenclatura correspondiente a la columna 2.

Lithologies	Symbols	Base Boundaries
 Sandstone	 Horizontal planar lamination	 Sharp
 Claystone	 Bivalves	 Irregular
 Shale	 Wave ripple cross-lamination	
 mudstone	 Moderate bioturbation	
 Wackestone	 Shells	
 Siltstone	 Intense bioturbation	
	 Minor bioturbation	
	 Nodules and concretions	
	 Cephalopods	

5.2 DESCRIPCIÓN DE FACIES Y ATRIBUTOS

La nomenclatura que se usa en la definición de facies de este trabajo, se fundamenta en utilizar un sistema de siglas de fácil manejo y aprendizaje, el cual se basa en tomar primero la (s) letra(s) iniciales de cada tipo de roca y colocarla (s) en mayúscula, con la intención de identificar a la misma; luego se asignaran dos letras una mayúscula y la otra minúscula para establecer el contenido de los constituyentes alquímicos presentes en la roca.

Ya definidos los dos primeros parámetros, se agregara otra connotación con las siglas en minúscula que sirve para establecer la estructura sedimentaria predominante de la roca.

Ya establecida una secuencia que denotara el tipo de roca, el constituyente alquímico, y el tipo de estructura sedimentaria presente, se agregara otra connotación con una sigla minúscula que sirve para establecer otras características importantes como fragmentos fósiles, marca de conchas y moldes, etc.

En base al conjunto de características de las diferentes unidades sedimentarias que componen esta sección de estudio, se realiza la siguiente división de facies tomando en cuenta los atributos específicos que distinguen a un conjunto de rocas de otras, siendo esta división la siguiente (Ver Anexo B) cabe resaltar que dicha división se realizó inicialmente capa por capa:

- ***A,Ms,lam:Cuarzoarenita con laminación plano paralela, con presencia de moscovita***

Cuarzoarenita de grano fino, selección buena, granos subangulares a subredondeados, cemento silíceo, con laminación plano-paralela y alto contenido de moscovita. Se observa de color gris claro.

- ***A,Ms,m: Cuarzoarenita maciza con presencia de moscovita.***

Arenisca de grano medio, buena selección, granos subredondeados, cemento silíceo, de color gris claro, internamente sin estructura interna, con alto contenido de moscovita.

- ***L,int,A,Ms:Lodolita intercalada con arenisca y presencia de moscovita***

Lodolita con intercalaciones de capas muy delgadas de cuarzoarenita de grano muy fino, cemento silíceo, selección buena de grano subredondeados con presencia de moscovita.

- ***L,int,A,Ms,lam: Lodolita intercalada con arenisca, laminación plano paralela y con presencia de moscovita***

Lodolita intercalada con de capas muy delgadas de cuarzoarenita de grano muy fino, con cemento silíceo, selección buena, granos subredondeados con bajo contenido de moscovita, y laminación plano-paralela.

Figura 30. Intercalaciones de capas de lodolita con arenisca.



- ***L,lam: Lodolita con laminación plano paralela***

Lodolita con laminación plano-paralela. Se observa de color gris claro.

- ***A,lam: Cuarzoarenita con laminación plano paralela***

Cuarzoarenita con laminación plano-paralela se observa de color gris.

- ***L(a),int,A,lam: Lodolita ligeramente arenosa intercalada con arenisca***

Lodolita ligeramente arenosa con intercalaciones de capas muy delgadas de cuarzoarenita.

- ***A(cal),lam: Arenisca calcárea con laminación plano paralela***

Arenisca calcárea de tamaño de grano muy fino y buena selección con laminación plano-paralelo.

- ***A(cal),m: Arenisca calcárea con estructura maciza.***

Arenisca calcárea sin estructura interna (estructura maciza).

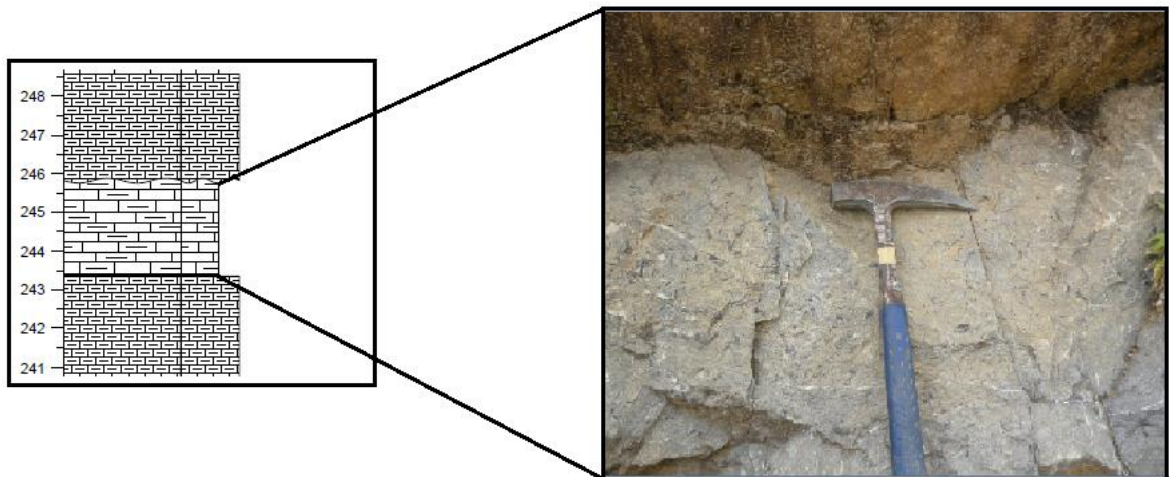
- ***L,m: Lodolita con estructura maciza***

Lodolita sin estructura interna (estructura maciza).

- ***M,ff: Caliza Mudstone con fragmentos fósiles***

Caliza Mudstone con presencia de fragmentos fósiles recristalizados.

Figura 31. Capa de Caliza Mudstone con fragmentos fósiles recristalizados.



- **L(a),int,A,Ms,lam: Lodolita ligeramente arenosa intercalada con arenisca con laminación plano paralela y moscovita**

Lodolita ligeramente arenosa con intercalaciones de capas muy delgadas de cuarzoarenita de grano muy fino con laminación plano-paralela y con contenido de moscovita.

- **W,ff: Caliza Wackestone con fragmentos fósiles**

Caliza Wackestone con presencia de fragmentos fósiles.

Figura 32. Tpe de una capa de caliza Wackestone con fragmentos fósiles.



- **L,Ms,lam: Lodolita con laminación plano paralela y moscovita**

Lodolita fisil con laminación plano paralela, alto contenido de moscovita y color gris claro.

- ***A,Ms,Gy,lam: Arenisca con moscovita y glauconita, con laminación plano paralela***

Arenisca con contenido de moscovita y glauconita, con laminación plano-paralela.

- ***A,bv: Arenisca con bivalvos***

Arenisca de grano fino con presencia de bivalvos.

- ***Lc,o-lam: Lodo calcáreo con laminación ondulosa***

Lodo calcáreo con laminación ondulosa.

- ***L,Ms,o-lam: Lodolita con moscovita y laminación ondulosa***

Lodolita con presencia de moscovita y laminación ondulosa.

- ***W,ff,biot2: Caliza Wackestone con fragmentos fósiles y bioturbación moderada***

Caliza Wackestone con presencia de fragmentos fósiles y bioturbación moderada (presencia de thalassinoides).

Figura 33. Capa donde se observa los thalassinoides.



- ***L,o-lam: Lodolita con laminación ondulosa***

Lodolita con laminación ondulosa.

- ***M,m: Caliza Mudstone maciza***

Caliza Mudstone sin estructura interna(estructura maciza).

- ***A(cal),Ms,m: Arenisca calcárea con moscovita y estructura maciza***

Arenisca calcárea con contenido de moscovita y sin estructura interna (estructura maciza).

- ***A,m: Arenisca con estructura maciza***

Cuarzoarenita sin estructura interna(estructura maciza) se observa de color gris claro.

- ***L,Ms,m: Lodolita con moscovita y estructura maciza***

Lodolita con presencia de moscovita y sin estructura interna(estructura maciza).

- ***L,ff: Lodolita con fragmento fósiles***

Lodolita con presencia de fragmentos fósiles recristalizados.

- ***A,ff: Arenisca con fragmento fósiles***

Arenisca con presencia de fragmentos fósiles.

- ***Lc,ff: Lodo calcáreo con fragmentos fósiles***

Lodo calcáreo con presencia de fragmentos fósiles.

- ***W,tr,ff,biot3: Caliza Wackestone con fragmento fósiles, trigonias y bioturbación alta.***

Caliza Wackestone con presencia de trigonias se encuentran en posición de vida completas y miden aproximadamente 6 cms y fragmentos fósiles. Presenta una bioturbación alta.

Figura 34. Capa de caliza Wackestone con presencia de Trigonias



- ***Lc,lam: Lodolita con laminación plano paralela***
Lodo calcáreo con laminación plano-paralela.
- ***L,coc: Lodolita con concreciones***
Lodolita con presencia de concreciones calcáreas.

- ***W,bv: Caliza Wackestone con bivalvos***

Caliza Wackestone con presencia de bivalvos de 2-10 cms en posición de vida.

- ***A(cal),ff: Arenisca calcárea con fragmentos fósiles***

Arenisca calcárea con presencia de fragmentos fósiles.

- ***A(cal),lam,coc: Arenisca calcárea con concreciones y laminación plano paralela***

Arenisca calcárea con laminación plano-paralela y con presencia de concreciones calcáreas de aproximadamente 2 – 15 cms de diámetro.

- ***Lc,bv: Lodo calcáreo con bivalvos***

Lodo calcáreo con presencia de bivalvos.

- ***Lc,m: Lodo calcáreo con estructura maciza***

Lodo calcáreo sin estructura interna(estructura maciza).

- ***M,bv: Caliza Mudstone con bivalvos***

Caliza Mudstone con presencia de bivalvos.

- ***M,coc: Caliza Mudstone con concreciones***

Caliza Mudstone en forma de concreciones.

Figura 35. Intercalaciones de capas de concreciones de caliza Mudstone con Lutita.

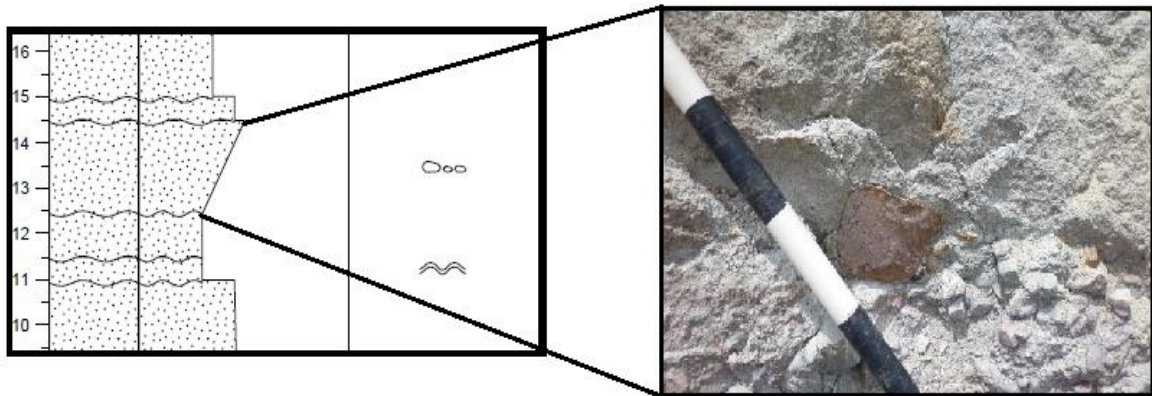


- ***L,am,lam: Lodolita con ammonites y laminación plano paralela***
Lodolita con presencia de ammonites y laminaciones plano-paralela.
- ***A(sl),m: Sublitoarenita con estructura maciza.***
Sublitoarenita conglomeratica sin estructura interna (estructura maciza).
- ***A,o-lam: Arenisca con laminación ondulosa***
Arenisca de tamaño de grano fino con buena selección y laminación ondulosa.

- ***A(sl),int,C,m: Sublitoarenita intercalada con conglomerados y estructura maciza***

Sublitoarenita conglomeratica con intercalaciones de guijas u guijarros. Estos son subredondeados no esféricos de diferentes composiciones. Se observa sin estructura interna (estructura maciza).

Figura 36. Capa donde se observa la facie A(sl),int,C,m.



- ***A(sl),Fs,Ms,m: Sublitoarenita con feldespatos, moscovitas y con estructura maciza***

Sublitoarenita conglomeratica de granos no esféricos de color verde, presenta feldespatos y moscovita sin estructura interna (estructura maciza).

5.3 ASOCIACIÓN DE FACIES Y AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

COLUMNA 1

Segmento A

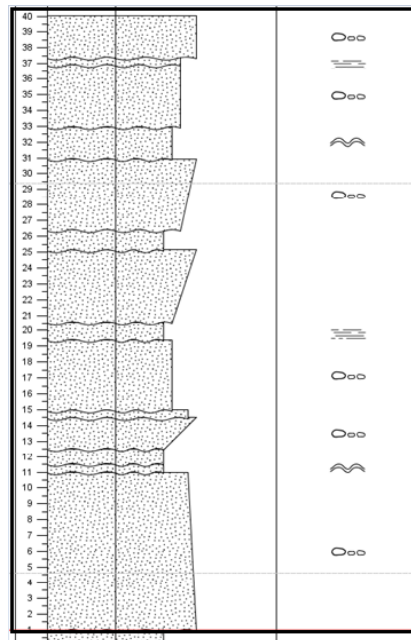
Facie 1: *A(sl)C int A(L) o-lam*

Esta asociación posee un espesor aproximadamente de 40 metros. Hacia la base se encuentra discordante sobre la Formación Cucho, está constituido

principalmente por sublitoarenita conglomerática de selección pobre con intercalaciones de guijas y guijarros en forma de capas, estos son subredondeados no esféricos y de diferente composición: Cuarzoarenitas de color rojizo y blanco, rocas ígneas rojizas (FK) y cuarzo, la laminación predominante en este segmento corresponde a la laminación ondulosa, algunas capas presenta gradación normal. Se logra identificar intercalaciones de cuarzoarenita de color verde claro, con selección pobre y tamaño de grano fino con cuarzoarenita lodo-soportada, de laminación ondulosa, con cemento silíceo. En la parte media del segmento se logra observar varias capas con gradación inversa. Y hacia el tope encontramos sublitoarenita de color verde clara de tamaño de grano muy grueso. En algunas capas se logran observar oxidación probablemente de hierro.

Tomando en cuenta las características texturales y composicionales de las rocas presentes, la estructura física que se observa en el acomodo interno de las areniscas y los contactos litológicos se interpreta **un ambiente fluvial de ríos trenzados y meandriformes.**

Figura 37.Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 1.



COLUMNA 2

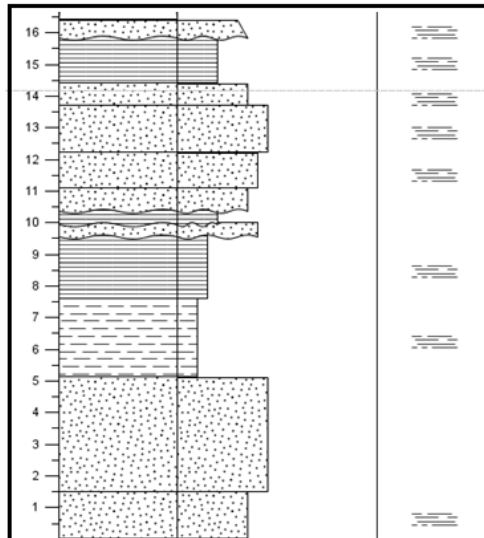
Segmento B

Facie 2: *A lamint L lam*

Esta asociación posee un espesor de 16,5 metros aproximadamente. Esta constituida de base a techo por areniscas con alto contenido de moscovita y buena selección hacia la base, la suprayace una capa de arcillolita con intercalaciones de cuarzoarenita de grano muy fino y hacia el tope del segmento se observa una intercalación de lutita gris con cuarzoarenita de grano esféricos subredondeados y con contenido de moscovita. La laminación predominante en este segmento es laminación plano paralela.

Tomando en cuenta las características antes descritas se establece un avance del mar hacia el continente por lo que sugerimos que es **un ambiente transicional, intermareal a submareal.**

Figura 38. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 2.



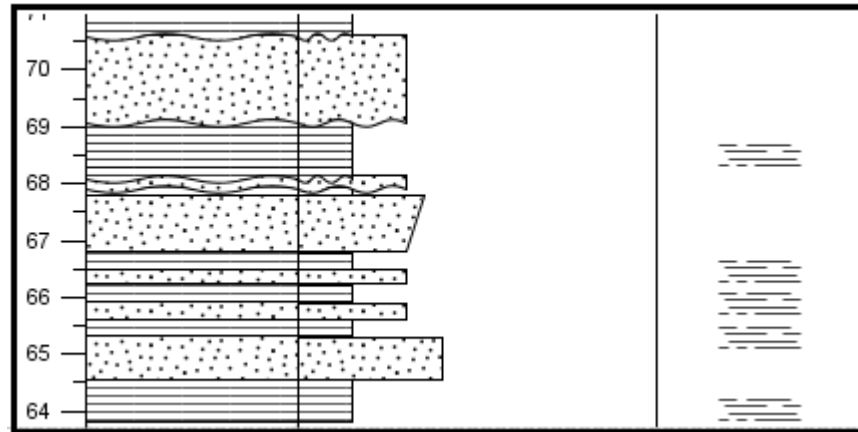
Segmento C

Facie 3: *A(cal) lam int L lam*

Esta asociación posee un espesor aproximado de 6,5 metros, se encuentra constituido por intercalaciones de lutitas y areniscas de grano fino hasta medio con moderada selección, Las capas de arenisca que se encuentran hacia la base del segmento presentan cemento calcáreo, por lo que corresponden a areniscas calcáreas, la lutita se observa de color negro con alta fisilidad. Estructura sedimentaria que domina esta sección es la laminación plano paralela.

Tomando en cuenta las características texturales y composicionales de las rocas presentes se interpreta un continuo avance del mar hacia el continente, una prueba de ello es al encontrarnos con las areniscas calcáreas, ubicando a este segmento en **un ambiente transicional, submareal a lagoon.**

Figura 39. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra una asociación de facie 3.



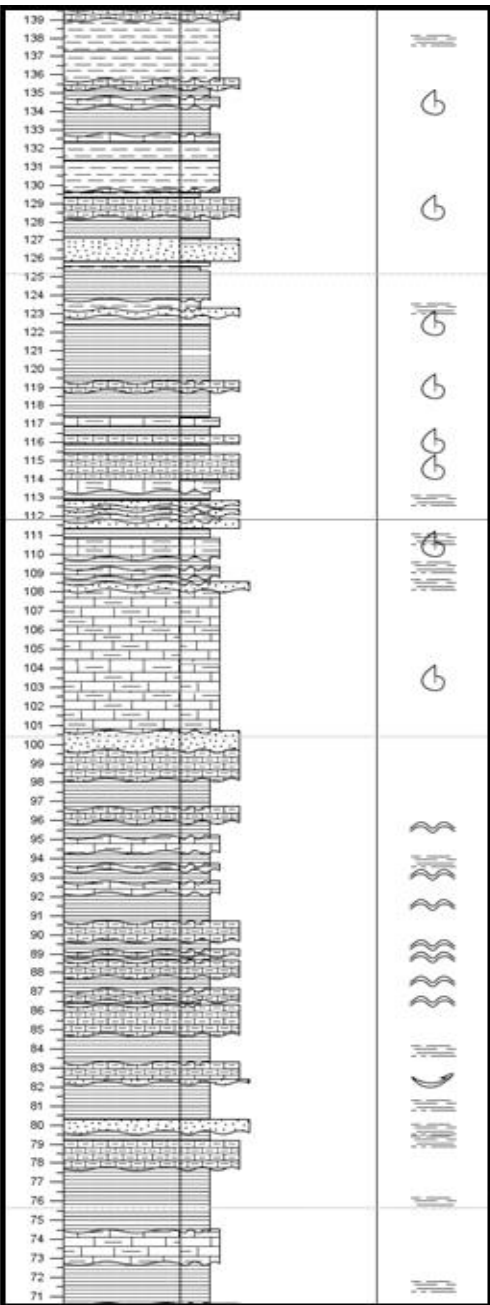
Segmento D

Facies 4: *M int W int L*

Esta asociación posee un espesor aproximado de 69 metros, se encuentra constituida por tres tipos de litologías principales intercaladas entre sí, junto con algunas capas de arenisca calcárea que se observan esporádicamente a lo largo del segmento, hacia la base, las calizas Mudstone contienen fragmentos de fósiles recristalizados, la lutita presenta abundante contenido de moscovita con laminación plano paralela, la caliza Wackestone tiene contenido fosilífero de fragmentos de conchas recristalizadas, las capas esporádicas de arenisca contienen moscovita y sonde tamaño de grano muy fino y fino de laminación plano paralela. Hacia el tope del segmento encontramos una caliza Mudstone con Thalassioides, además de una pequeña capa de Lodo calcáreo con una cantidad abundante de fósiles (Bivalvos) hasta de un 50% de la roca.

Las características de este segmento nos llevan a la conclusión que estas litologías caben en **un ambiente de lagoon a plataforma interna.**

Figura 40. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 4.



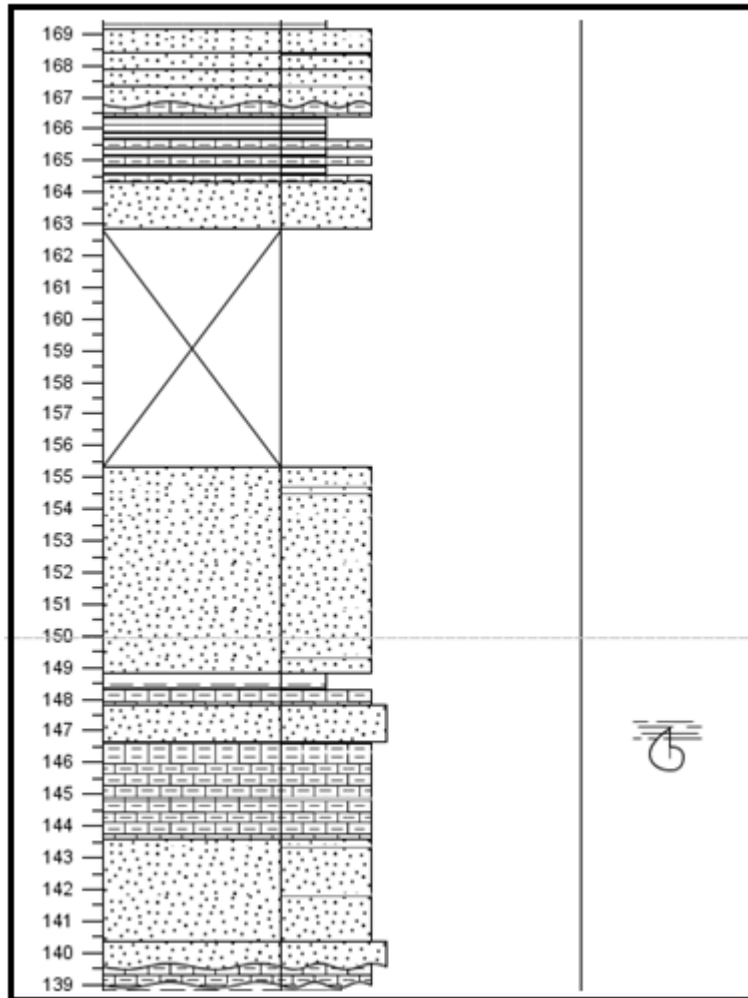
Segmento E

Facie 5:*A int W int L*

Esta asociación posee un espesor de 29,8 metros aproximadamente, se encuentra constituida hacia la base del segmento por arenisca bien seleccionada con presencia de moscovita de color café claro, la suprayace una capa de arenisca de tamaño de grano muy fino, de buena selección, la continua una capa de caliza Wackestone que hacia el tope se encuentra una colonia de conchas de Trigonias en posición de vida, estas son conchas completas de hasta el 6 cms de tamaño. Se observa una capa potente de arenisca que se va haciendo más compacta hacia el tope, la base se observa más fisil debido al gran contenido de moscovita que poseen. El tope es una arenisca maciza de gran tamaño de grano muy fino, en medio unas intercalaciones de caliza Wackestone con fragmentos fósiles recristalizados con capas de lutitas de color gris oscuro, hacia el tope del segmento se observa una capa de arenisca de tamaño de grano muy fino maciza con presencia de moscovita.

La presencia de la colonia de Trigonias en posición de vida además de las capas de arena con presencia de moscovita nos indica **un ambiente de shoreface a plataforma interna.**

Figura 41. Extracto de la columna estratigráfica que muestra la asociación de facie 5.



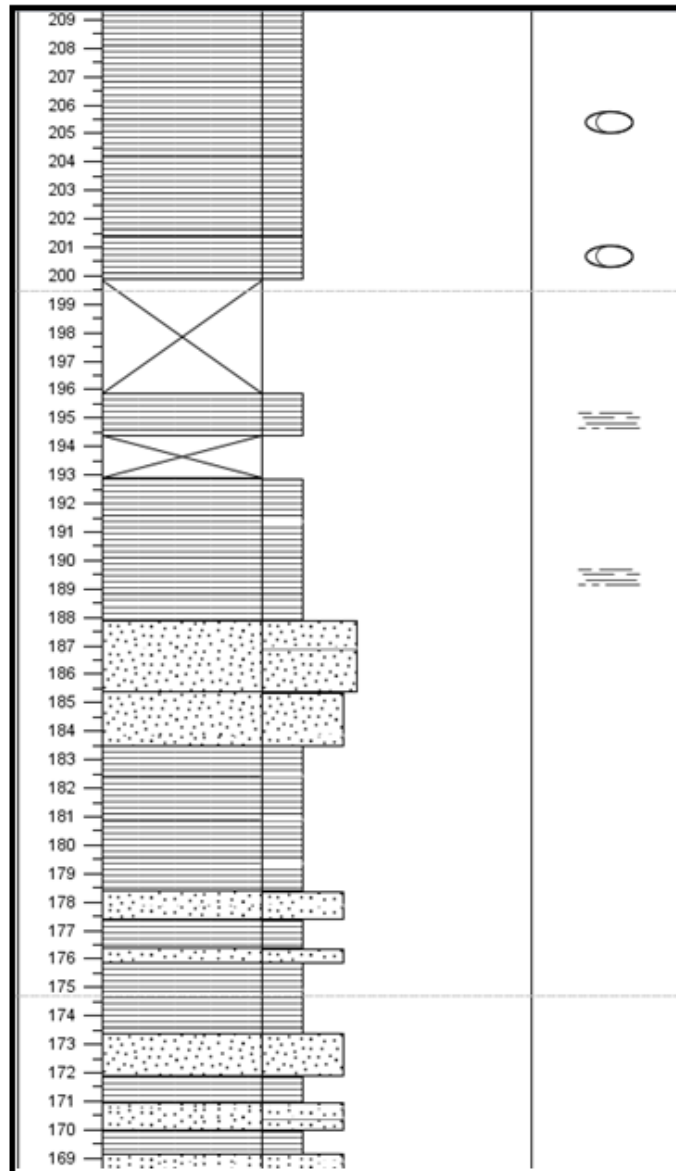
Segmento F

Facies 2: *L int A lam*

Esta asociación posee un espesor aproximado de 40,2 metros, se encuentra conformado por intercalaciones de arenisca de tamaño de grano muy fino y fino con lutitas de color gris claro con textura maciza hacia la base, tanto las capas de arenisca como las capas de lutitas tiene contenido de moscovita y laminación plano paralela. Hacia el tope del segmento se observa una capa de lutita color gris claro con presencia de concreciones de caliza Mudstone de color gris oscuro.

Esta intercalación entre arenisca y lutita son típicas de un ambiente Intermareal en este proceso de transgresión marina.

Figura 42. Extracto de la columna estratigráfica que muestra la asociación de facie 2



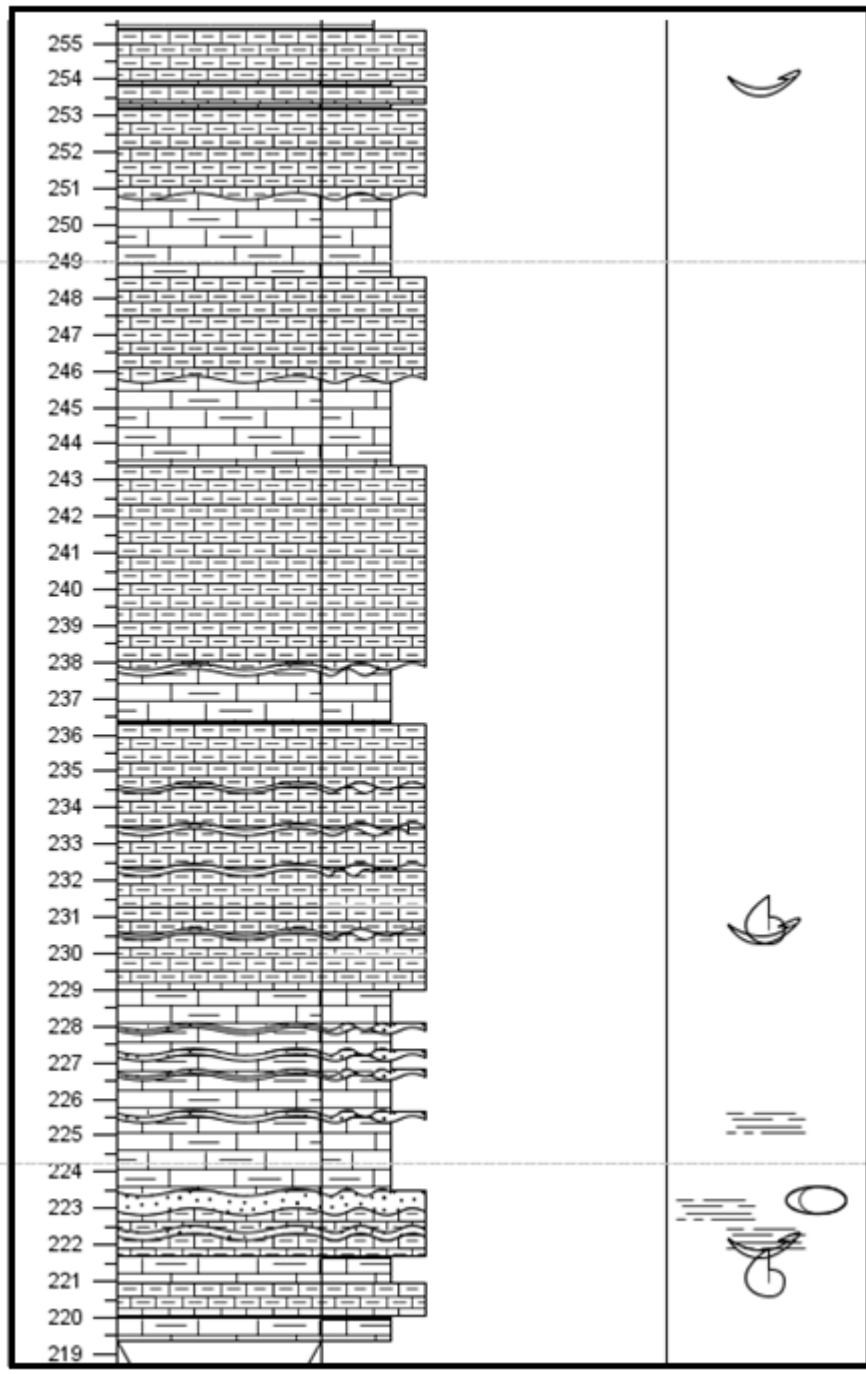
Segmento G

Facie 4: *M int W int L*

Esta asociación posee un espesor aproximado de 36 metros, se encuentra constituido hacia la base por intercalaciones entre caliza Mudstone con fósiles del 1-10%, con caliza Wackestone con un porcentaje de fósiles del 10-15% y ambas presentan un color gris claro. Posteriormente continua una intercalación entre caliza Wackestone con arenisca calcárea con fósiles de 1 cm aproximadamente, hacia el metro 223 correspondiente a una capa de arenisca calcárea con contenido de concreciones de 2-20 cms de diámetro, la suprayace intercalaciones de caliza Mudstone que presenta fragmentos fósiles desorientados de color gris oscuro con arenisca de tamaño de grano muy fino de color amarillo claro y cemento calcáreo. Hacia la parte media del segmento se observa una intercalación entre caliza Wackestone de color gris oscuro que posee restos de conchas recristalizadas con lodo calcáreo en el cual se encuentran fósiles de bivalvos (pocos se encuentran completos) de color gris claro, posterior a dicha capa se encuentran intercalaciones de caliza Wackestone con caliza Mudstone ambas de color gris oscuro, en la capa más gruesa de Wackestone se encuentran intercalaciones con capas muy delgadas de lodo calcáreo. En el tope del segmento encontramos intercalaciones entre caliza Wackestone y caliza Mudstone con presencia de bivalvos de 2-10 cms de tamaño en posición de vida.

Por la litología descrita anteriormente y el contenido fosilífero encontrado nos indica que corresponde a un ambiente de baja energía, **un ambiente de Lagoon abierto.**

Figura 43. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facies 4.



Segmento H

Facie 6: *L int M*

Esta asociación posee un espesor aproximado de 22,1 metros, se encuentra constituido por intercalaciones entre lutita de color negro con una serie de concreciones compuestas de caliza Mudstone las cuales se observan en forma de capa, estas concreciones miden desde 10 a 30 cms de diámetro, las rocas se observan de un color rojizo debido a la oxidación, hacia el tope encontramos capas de caliza Wackestone acuñaándose.

Estas intercalaciones de lutita de color negro y caliza Mudstone, además del hecho que se encuentre en un medio reducido que al emerger a la superficie se oxida nos indica un ambiente de depositación de reducción, el cual nos indica un ambiente de lagoon restringido.

Figura 44. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 6.

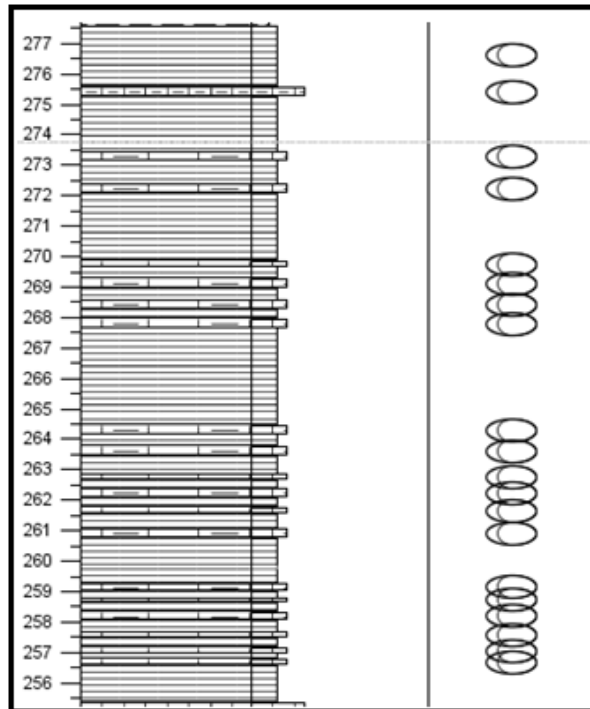
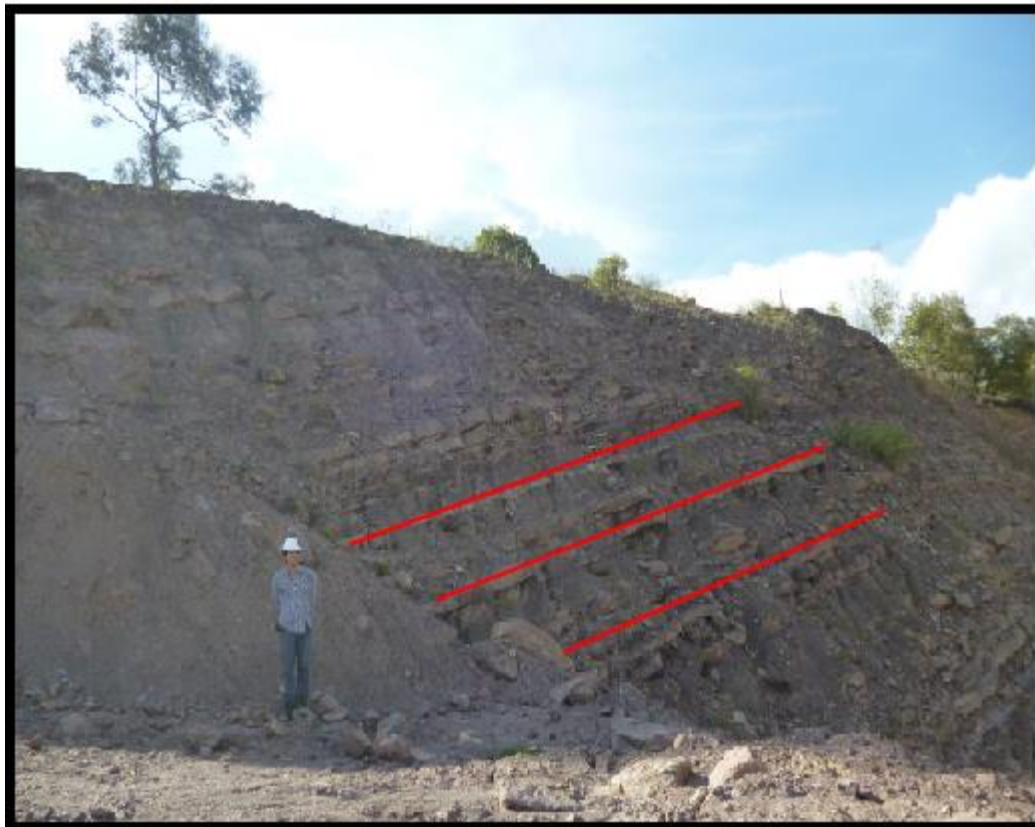


Figura 45. Fotografía donde se ilustra la asociación de facie 6.



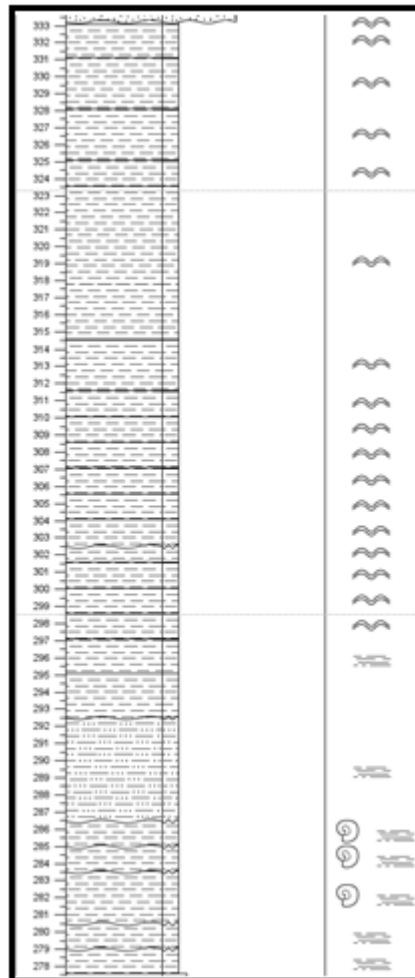
Segmento I

Facie 7: *L o-lam am*

Esta asociación posee un espesor aproximado de 55,7 metros, se encuentra constituido hacia la base por arcillolita de color gris oscuro, se observan impresiones de ammonites de diversos tamaños que varían de 1-3 cms. La continúa una arcillolita de color gris claro, se observa laminación plano paralela, en la parte exterior por la meteorización se observa un color rojizo (oxidación de minerales metálicos), en la parte media y superior del segmento la laminación de esta arcillolita gris clara es ondulosa con las mismas características litológicas que la base. La coloración de este segmento gris claro se debe a una fuerte meteorización que afecto esta zona.

Este segmento formado por arcillolita, siendo una capa tan amplia nos indica un ambiente transicional intermareal a submareal (llanura sin lagoon).

Figura 46. Extracto de la columna estratigráfica anexa que muestra la asociación de facie 7.



6. CONCLUSIONES

- En este trabajo de investigación se realizó una descripción detallada de la Formación Tibasosa. Se reconocieron los 4 miembros descritos por Renzoni (1981) en las dos columnas estratigráficas levantadas de la Formación Tibasosa. La Columna 1 correspondiente al Miembro 4 de la formación, localizada en la vía Tibasosa-Sogamoso y la Columna 2 correspondiente a los Miembros 3, 2 y 1 de la formación localizada en la vereda Las Monjas, entre los Municipios de Tibasosa y Sogamoso.
- Para realizar una descripción de facies detallada se dividió la columna estratigráfica de la Formación Tibasosa en 9 segmentos, los cuales fueron escogidos de acuerdo a las variaciones importantes de litología. Se caracterizaron siete asociaciones de facies, las cuales son: *A(sl)C int A(L) o-lam; L int A lam; A(cal) lamint L lam; M int W int L; A int W int L; L int M; L o-lam am.*
- La división de segmentos se realizó a partir de la variación litología como se ha mencionado anteriormente, en cada segmento se identificaron: las estructuras sedimentarias, mineralogía, contenido fósil, bioturbación de las capas, entre otras características. Los ambientes sedimentarios definidos para la Formación Tibasosa según la subdivisión de 9 segmentos respectivamente son, de base a techo: aluvial, ríos trezados y meándriformes; transicional, intermareal a submareal; lagoon, plataforma interna; shoreface, plataforma interna; lagoon; lagoon restringido; transicional, intermareal a submareal.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el levantamiento de diversas secciones de la Formación Tibasosa para así realizar correlaciones entre ellas y determinar un espesor mas certero.
- Se recomienda realizar un estudio regional de facies de cada miembro para la Formación Tibasosa, para analizar las variaciones laterales de los ambientes desarrollados en este estudio.
- Se recomienda un muestreo mas continuo para la Formación Tibasosa, desafortunadamente no se pudo realizar por las condiciones del terreno y la falta de ayuda para realizar huecos profundos para la toma de muestras frescas y en buen estado, esto es de gran importancia para un correcto resultado de los análisis de laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

ALZATE, J.C. & BUENO, J.M., Análisis estratigráfico secuencial de las rocas Cretácicas de la parte oriental del Departamento de Boyacá, Municipios de Sogamoso, Belencito y Aquitania. – (Trabajo de Grado no.349), 121p,. 1994. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.

BOGGS, S., Principles of sedimentology and stratigraphy, 2006, Fourth edition.

CEDIEL, F., Geología del Macizo de Floresta. 1969., I Congreso Col. Geol. Mem. 17-29.

CLAVIJO, J. Tectonoestratigrafía Cretácica del Oriente Colombiano (Valle Medio del Magdalena, Cordillera Oriental, Sierra Nevada de Santa Marta, Guajira).

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

CRUZ GUEVARA. L.E., CABALLERO. V.M. Descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura. Laboratorio 1. Parte 1: textura. UIS, 2007.

CRUZ GUEVARA L.E., CABALLERO. V.M. Descripción y clasificación por composición de las rocas terrígenas en muestra de mano. Laboratorio 2. Parte 2: composición. UIS. 2007.

ETAYO-SERNA, F., El Sistema Cretáceo en la región del Villa de Leiva y zonas próximas., 1968, Universidad Nacional de Colombia. Geología Colombiana, (5): 5-74. Bogotá.

FOLK, R., Petrology of sedimentary rocks., 2002.

GEOESTUDIOS LTDA, Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental Sector Soapaga., 2006.

MIALL, A., The geology stratigraphy sequences., 1997.

MORA, A., Inversion tectonics and exhumation processes in the Eastern Cordillera of Colombia. 2007.

MORA, A., PARRA, M., JARAMILLO, A., TORRES, V., ZELLINGER, G. & STRECKER M. R., 2010, Tectonic controls on Cenozoic foreland basin development in the north-eastern Andes, Colombia.

PATARROYO, P.: Heminutilus etheringtoni DURHAM, hacia el tope (Aptiano tardío) de la Formación Tibasosa en Firavitoba (Boyacá- Colombia)- VII Congreso Colombiano de Geología, 6 pgs., 2006. Sociedad Colombiana de Geología, Manizales.

RENZONI, G., Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja. 1967. Servicio Geológico Nacional., Informe 1546, 20 p. Bogotá.

RODRIGUEZ, A., SOLANO, O. Mapa Geológico del Departamento de Boyacá. Memoria Explicativa. 2000. Ingeominas, Bogotá.

TORO, J., ROURE, F., BORDAS-LE FLOCH, S., LE CORNEC-LANCE, & SASSI, W., Thermal and Kinematic Evolution of the Eastern Cordillera fold-and-thrust-belt, Colombia. 2004.

ULLOA, C., RODRIGUEZ, E. & RENZONI, G, Geología de las planchas 171 Duitama, 191 Tunja, 211 Tauramena y 230 monterrey cuadrángulos J-12 y K-13. 1876. Ingeominas, Boletín Geológico vol. 24 No 2. Bogotá.

ULLOA, C., RODRIGUEZ, E. & RODRIGUEZ, G, Geología de la plancha 172 Paz de Rio. 2003. Memoria Explicativa. Ingeominas. Bogotá.

VERA TORRES, J.A., Estratigrafía, principios y métodos. 1994.

VERGARA, L., GUERRERO, J., 1996, Significado Estratigráfico Secuencial de algunos Depósitos Basales del Cretácico en Colombia: Caso de las Formaciones Yavi y Tibasosa.

WALKER, R., JAMES, N., Facies Model, Reponseto sea levelchange. 1992.