

**Modelo Sedimentológico de las Formaciones La Paz y Mugrosa del Campo Yariguí-  
Cantagallo, Cuenca del Valle Medio del Magdalena**

**Andrés Arnulfo Prada Gómez, María Melissa Salcedo Rodríguez**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo UIS**

**Director de Proyecto**

**Mario García González**

**Geólogo, Ph.D.**

**Codirector**

**Edgar Ramiro Pineda Martínez**

**Geólogo**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico-Químicas  
Escuela de Geología  
Bucaramanga**

**2018**

### **Dedicatoria**

*A Dios todo poderoso por guiarme en todo momento, no dejarme desfallecer y por haberme regalado una hermosa familia que día a día luchan por brindarme lo mejor de ellos. Este gran logro va dedicado también a mi linda madre Yolanda Gómez Valbuena, por su infinito amor, su incansable esfuerzo y dedicación para brindarme siempre las mejores oportunidades, por todo su apoyo durante cada paso que doy en mi vida, porque gracias a su ejemplo de valentía y berraquera, hoy puedo sentirme orgulloso de mi y decir que es un logro cumplido de los muchos que tengo para mi vida, te amo mucho mamita, eres mi motivación y por quien lucharé hasta el final, gracias a ti soy lo que soy. A mi hermoso ángel de la guarda, mi papito Arnulfo Prada Sandoval, que, aunque ya no estás conmigo, sé que me cuidas, me guías y me amas infinitamente como yo a ti. A mi novia Talía Mena Maya por creer en mí, por brindarme siempre su lindo amor, por sus consejos, su ayuda y por su apoyo incondicional. A mis hermanas Andrea Prada Gómez y Estefanny Cogollo Gómez, por brindarme su amor, confianza en todo momento y estar dispuestas siempre a ayudarme y apoyarme en cada situación de mi vida. A todos aquellos que de una u otra forma me ayudaron e hicieron posible este logro.*

*Infinitas gracias, porque este logro cumplido hoy en mi vida es mío y de ustedes. ¡Los amo!*

**Andrés Arnulfo Prada Gómez**

## **Dedicatoria**

### ***A Dios***

*Por haberme permitido culminar una etapa más de vida y ser mi guía espiritual, además de colmarme de sus bendiciones, gracia infinita y bondad*

### ***A mi madre Yolanda Rodríguez***

*Por ser mi motor de vida, mostrarme el camino hacia la superación y brindarme con su amor incondicional, dedicación y sacrificio las herramientas para alcanzar mis sueños*

### ***A mi padre Rubén Ángel***

*El hombre más importante de mi vida, le agradezco porque a pesar de su temprana ausencia ha estado siempre presente protegiéndome y guiando mis pasos desde el cielo*

### ***A mi hermana Valentina***

*Por brindarme sus consejos, afecto, compañía y ser un ejemplo de superación*

### ***A mi sobrina Emma***

*Por llenar mi vida de felicidad y brindarme las más sinceras manifestaciones de afecto*

***Este logro está dedicado a Dios y familiares que han acompañado mi proceso de formación***

***Melissa Salcedo Rodríguez***

### **Agradecimientos**

*A Dios en primer lugar por brindarme la oportunidad de ser quien soy, por guiarme en todo momento y estar a mi lado a lo largo de este camino, por regalarme la hermosa familia que tengo, a quien ofrezco mi esfuerzo y dedicación, a mi madre; Yolanda Gómez Valbuena, quien ha estado siempre ahí, brindándome su apoyo, amor, confianza y a quien debo la mayor parte de este logro, a mi padre; Arnulfo Prada Sandoval, mi ángel y quien me ha iluminado en cada paso que doy, a mis hermanas; Andrea Prada Gómez y Estefanny Cogollo Gómez, por su gran apoyo, consejos y paciencia en cada instante de mi vida, a mi novia, Talía Mena Maya, por su infinito amor, paciencia, apoyo y por siempre depositar su confianza en mí y a toda mi familia en general que de una u otra forma han estado siempre brindándome su apoyo y respaldo.*

*A mi director de tesis; geólogo PhD. Mario García Gonzales, por su asesoría, acompañamiento y su apoyo en la realización de este proyecto. A mi codirector de tesis; geólogo Edgar Pineda Martínez, por su apoyo incondicional, por estar siempre al frente del proyecto y por toda su dedicación para con el desarrollo y realización del mismo. A todos y cada uno de los profesores de la escuela de geología quienes siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo y contribuyeron a mi formación como geólogo e influyeron en mi crecimiento personal y profesional.*

*A cada una de las personas que aportaron su granito de arena en el cumplimiento de este sueño, a todos mis amigos por su apoyo durante todo este tiempo y a todos aquellos nuevos amigos que me regaló esta linda carrera, aquellos con los que recorrí este camino, por siempre estar para mí, brindándome su apoyo y confianza.*

*A todos, mi eterna gratitud.*

**Andrés Arnulfo Prada Gómez**

### **Agradecimientos**

*A Dios y mi familia por su acompañamiento y confianza a lo largo de mi proceso de formación como geóloga.*

*Al geólogo Edgar Pineda Ramírez, quien con su conocimiento, experiencia y dedicación ha contribuido a la culminación de mis estudios, por abrirme las puertas de su hogar e influir en mi crecimiento personal y profesional.*

*Al geólogo David Serrano por compartir su conocimiento y por su presencia imprescindible en el desarrollo y ejecución del presente proyecto.*

*A mi director de Tesis, PhD. Mario García González por su asesoría y por permitirme hacer parte de este proyecto.*

*A mis docentes les agradezco por guiarme durante mi proceso de aprendizaje, además de su dedicación y paciencia.*

***Melissa Salcedo Rodríguez***

### **Agradecimientos**

Les expresamos nuestros más sinceros y sentidos agradecimientos a todas aquellas personas que hicieron posible que este proyecto fuese una realidad:

A la Universidad Industrial de Santander, nuestra alma mater, por contribuir junto con su cuerpo de docentes a nuestra formación personal y profesional.

Al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), el cual nos brindó los medios y la oportunidad de potenciar nuestras habilidades haciéndonos partícipes del proyecto Yariguí-Cantagallo.

Al director del proyecto, geólogo PhD. Mario García González, por su asesoría y acompañamiento durante la realización del proyecto.

Al codirector del proyecto, geólogo Edgar Pineda Martínez, quien con su apoyo incondicional estuvo al frente del proyecto durante todo el proceso de ejecución del mismo.

A los geólogos David Alfonso Serrano Ferreira y María Alejandra Joya Rincón, por su generosidad y apoyo durante el desarrollo de las diferentes etapas del proyecto.

Finalmente, agradecemos a todas y cada una de las personas que de una u otra manera ayudaron a la realización y desarrollo del proyecto.

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción .....	23
1. Objetivos.....	25
1.1 Objetivo General.....	25
1.2 Objetivos Específicos.....	25
2. Generalidades del Campo .....	26
2.1 Localización .....	26
2.2 Reseña Histórica del Campo Yariguí-Cantagallo.....	29
2.3 Distribución del Campo .....	32
3. Marco Geológico .....	33
3.1 Estratigrafía.....	33
3.1.1 Formación La Paz. ....	35
3.1.2 Formación Mugrosa. ....	36
3.2 Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.....	37
4. Marco Teórico.....	43
4.1 Concepto de Facies .....	43
4.1.1 Tipos de facies. ....	45
4.2 Asociación de Facies.....	45
4.3 Ambientes de Depósito en Sistemas Fluviales .....	48
4.3.1 Sistema fluvial de ríos meandriformes. ....	51
4.3.1.1 Patrones de sedimentación en sistemas fluviales meandriformes.....	52
4.3.1.2 Geometría de un meandro. ....	53

4.3.1.3 Elementos morfológicos de los sistemas fluviales meandriformes. ....	55
4.3.2 Sistema fluvial de ríos trenzados. ....	57
4.3.3 Sistemas de abanicos aluviales. ....	62
4.3.3.1 Proceso depositacional.....	62
4.3.3.2 Características de los depósitos de abanico aluvial. ....	64
5. Modelo Sedimentológico .....	68
5.1 Metodología .....	68
5.1.1 Parámetros empleados en la descripción de núcleos. ....	69
5.1.2 Información de núcleos.....	73
5.1.3 Secciones delgadas.....	74
5.1.4 Definición de facies. ....	78
5.1.5 Descripción de las facies sedimentarias.....	79
5.1.6 Facies de la formación La Paz. ....	81
5.1.7 Facies de la formación Mugrosa. ....	94
5.2 Ambiente de Depósito.....	102
5.2.1 Interpretación ambiental unidades operacionales CG8-CG3.....	103
5.2.2 Interpretación ambiental unidades operacionales CG2A-CG1.....	104
5.2.3 Interpretación ambiental unidades operacionales CG-B1.....	106
5.2.4 Canales.....	108
5.2.5 Relleno de canal.....	109
5.2.6 Desborde de canal.....	110
5.2.7 Depósitos de llanura de inundación.....	111
5.2.8 Depósitos de crevasse splay.....	112

5.2.9 Depósitos de barras de canal..... 113

6. Conclusiones ..... 115

Referencias Bibliográficas ..... 117

Apéndices..... 122

**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los sistemas fluviales.....	51
Tabla 2. Tipos de cauces en sistemas fluviales meándricos .....	53
Tabla 3. Parámetros geométricos que definen un sistema fluvial meandriforme .....	54
Tabla 4. Inventario de núcleos y secciones delgadas.....	69
Tabla 5. Convenciones empleadas en la realización de columnas estratigráficas .....	70
Tabla 6. Clasificación litológica por potencialde acumulación de hidrocarburo.....	71
Tabla 7. Grado de bioturbación y porcentaje equivalente .....	72
Tabla 8. Grado de impregnación de la roca .....	72
Tabla 9. Clasificaión del grado de consolidación propuesto por Compton .....	73
Tabla 10. Información de pozos corazonados para el campo Yariguí-Cantagallo .....	74
Tabla 11. Facies asociadas a los pozos del campo Yariguí-Cantagallo.....	75
Tabla 12. Códigos de facies empleados en el campo Yariguí-Cantagallo.....	79
Tabla 13. Facies identificadas en el campo Yariguí-Cantagallo.....	80

**Lista de Figuras**

	Pág.
Figura 1. Localización de las principales cuencas de Colombia, destacando la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM). Tomado y modificado de Cediell, et al. (2011).....	27
Figura 2. Localización de la zona de estudio, la cual corresponde al Campo Yariguí-Cantagallo, Valle Medio del Magdalena. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ....	28
Figura 3. Campo Yariguí-Cantagallo, Valle Medio del Magdalena. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ....	28
Figura 4. Columna estratigráfica del Campo Yariguí-Cantagallo y las unidades de interés. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ....	34
Figura 5. Sedimentación continental en cuenca tipo Rift. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).....	38
Figura 6. Sedimentación marina cuenca termal post-rift tipo sag. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ....	39
Figura 7. Transición de cuenca tipo sag a cuenca tipo foreland; sedimentación paralítica por regresión marina y se deposita Lisama horizontalmente. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).....	40
Figura 8. Migración hacia el este del frente deformacional y erosión regional de cuenca tipo foreland. Durante este periodo ocurre la erosión de las formaciones Lisama y Umir en el campo, además de la exhumación de la serranía de San Lucas y paleoalto de Sogamoso. B) Cuenca regional tipo foreland y depositación fluvial de abanicos aluviales, aportes restringidos por el paleoalto en la formación La Paz. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ....	41

Figura 9. Depositación fluvial y rompimiento de cuenca regional tipo foreland. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ..... 42

Figura 10. A) Depositación fluvial por rompimiento de cuenca tipo foreland y acortamiento por inversión tectónica. B) Depositación fluvial en cuenca intermontana, la formación La Paz no está presente en el paleoalto de Sogamoso. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ..... 43

Figura 11. Tipos de asociaciones de facies; A) multiepisódica, B) bandeada, C) bandeada descíclica, D) asimétrica positiva (granodecreciente), E) asimétrica negativa (granocreciente). Estratigrafía I (2017). Tomado de <https://es.slideshare.net/OliverValeraDeLen/facies-y-asociaciones-de-facies>. ..... 47

Figura 12. Tipos de Sistemas Fluviales; (A) Canales Trenzados, (B) Canales rectos, (C) Canales Anastomosados, (D) Canales Meándricos. Tomado y modificado de Gómez y Morales (2008). 49

Figura 13. Diagrama de Hjulstrom; relación entre la erosión, transporte, y sedimentación en función del tamaño de grano y la velocidad de flujo. Tomado y modificado de Gómez y Morales (2008). ..... 50

Figura 14. Fases que representan la evolución de los ríos asociados a sistemas fluviales de tipo meandriforme. .... 52

Figura 15. Principales parámetros que definen la geometría de un sistema fluvial de tipo meandriforme. Tomado y modificado de Olivares (2016). ..... 54

Figura 16. Representación esquemática de la arquitectura fluvial de depósitos fluviales de ríos trenzados. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía. .... 60

Figura 17. Ejemplo de litofacies y perfiles verticales en los sedimentos de A) río trezado y B) río meándrico. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía. .... 61

Figura 18. Superficies típicas de abanicos aluviales. A) Superficie de abanico. B) Perfil transversal del abanico. C) Perfil longitudinal. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía. .... 63

Figura 19. Facies y estructuras sedimentarias que representan un sistema de abanico aluvial en la Arenisca Van Horn, Texas. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía. .... 66

Figura 20. Principales características que muestran los depósitos masivos (debris flow) y otras facies asociadas. Las potencias pueden variar entre pocos decímetros y algunos metros. Tomado de Boggs (2006). .... 67

Figura 21. Representación esquemática de la metodología empleada para la realización del presente trabajo de investigación. .... 68

Figura 22. Ejemplo de una arenisca con relictos de laminación y bioturbación que representa los códigos empleados para la definición de facies. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). .... 79

Figura 23. Facies volcano-sedimentaria o toba (Tb), pozo CTG-I, profundidad de 7183ft, espesor total en la formación de 14,55ft. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). .... 81

Figura 24. Facies conglomeráticas de la formación La Paz. A) Conglomerado con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7726ft, B) Facies Arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7729ft; C) Facies Conglomerado arenoso, pozo YG-J, profundidad 8401ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). .... 83

Figura 25. Facies conglomeráticas de la formación La Paz. A) Arenisca conglomerática con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7692ft; B) Arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7728fts; C) Arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados, pozo YG-I, profundidad 7593fts. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). .... 85

Figura 26. Facies de areniscas con estratificación cruzada en la Formación La Paz. A) Arenisca con estratificación cruzada y cemento calcáreo, pozo YG-J, profundidad 8466ft; B) Facies arenisca con estratificación cruzada, pozo YG-J, profundidad 8512ft; C) Facies de arenisca con relictos de estratificación cruzada y bioturbada, pozo YG-F, profundidad 7395ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018)..... 87

Figura 27. Facies de areniscas laminadas y bioturbadas en la formación La Paz A) Arenisca con laminación, pozo YG-G, profundidad 7714ft; B) Arenisca con relictos de laminación y bioturbación, pozo CTG-J, profundidad 6790ft; C) Arenisca bioturbadas, pozo YG-I, profundidad 7584ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ..... 89

Figura 28. Facies de areniscas lodosas y lodolitas en la formación La Paz. A) Arenisca lodosas con laminación, pozo YG-G, profundidad 7835ft; B) Facies Arenisca lodosa bioturbada, pozo YG-I, profundidad 7584ft; C) Facies de lodolita laminada, pozo YG-E, profundidad 7965ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). .... 91

Figura 29. Facies de lodolitas laminadas y bioturbadas en la formación La Paz. A) Lodolita con relictos de laminación y bioturbación CTG-J, profundidad 5790ft; B) Lodolita bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6418ft; C) Lodolita sin estructuras, pozo YG-F, profundidad 6701ft. De derecha a izquierda decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). .... 93

Figura 30. Facies conglomeráticas y ligeramente conglomeráticas presentes en la formación Mugrosa. A) Conglomerado con estratificación cruzada, pozo CTG-J, profundidad 6425ft; B) Facies Conglomerado arenoso, pozo CTG-J, profundidad 5602ft; C) Facies de arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados, pozo YG-J, profundidad 8401ft'. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018)..... 95

Figura 31. Facies de areniscas con estratificación cruzada en la formación Mugrosa. A) Arenisca con estratificación cruzada, pozo CTG-J, profundidad 6422ft; B) Facies de arenisca laminada, pozo CTG-F, profundidad 7257ft; C) Facies de arenisca con relictos de laminación y bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6413ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ..... 98

Figura 32. Facies de areniscas y areniscas lodosas bioturbadas en la formación Mugrosa. A) Arenisca bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6419ft; B) Facies de arenisca lodosa bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6418ft; C) Facies de lodolita laminada, pozo CTG-J, profundidad 6428ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018)..... 100

Figura 33. Facies lodosas en la formación Mugrosa A) Lodolita con relictos de laminación y bioturbación CTG-J, profundidad 6418ft; B) Lodolita bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6399ft; C) Lodolita sin estructuras, pozo CTG-J, profundidad 6400ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018). ..... 101

Figura 34. Sucesión vertical de facies presente en las unidades operacionales CG8 - CG3, para cada uno de los pozos descritos del campo Yariguí-Cantagallo. El desarrollo de las facies conglomeráticas (color café) asociadas a las bases de los canales es considerable mostrando un

ambiente de alta energía. Las facies finas (color gris), pueden preservarse como depósitos de acreción en los canales. A la derecha se observa el grafico ideal para este tipo de depósito, con la respectiva asociación y sucesión de facies. Tomado de Ecopetrol (2018). ..... 104

Figura 35. Sucesión vertical de facies presente en las unidades operacionales CG2A-CG1, para cada uno de los pozos. Se evidencia la baja conservación de las facies arcillosas debido a la constante reactivación de canales y el gran espesor de las bases de canal. A la derecha se muestra el grafico ideal para este tipo de depósito. Tomado de Ecopetrol (2018)..... 106

Figura 36. Sucesión de facies para las unidades operacionales CG-B1 en cada uno de los pozos del campo, mostrando la alta conservación de las facies finas en relación con las facies más arenosas y evidenciando la disminución en el desarrollo de las bases de canal. Conglomerados de tamaño granulo y guijo, de menor tamaño a los vistos en las secuencias anteriores. Tomado de Ecopetrol (2018). ..... 107

## Resumen

**TÍTULO:** MODELO SEDIMENTOLÓGICO DE LAS FORMACIONES LA PAZ Y MUGROSA DEL CAMPO YARIGÍ – CANTAGALLO, CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA\*

**Autores:** María Melissa Salcedo Rodríguez – Andrés Arnulfo Prada Gómez\*\*

**Palabras Claves:** Cuenca del Valle Medio del Magdalena, Formación La Paz, Formación Mugrosa, Modelo Sedimentológico, Facies.

El campo Yariguí-Cantagallo se encuentra geológicamente localizado en el borde oeste de la cuenca del Valle Medio del Magdalena, en cercanías a la serranía de San Lucas (cordillera central), entre los límites del departamento de Santander y Bolívar. Dentro de la secuencia estratigráfica definida para el campo, se encuentran la formación La Paz, primera depositación totalmente continental y la formación Mugrosa, la cual contiene los yacimientos petrolíferos de mayor importancia comercial en la parte central de la cuenca del VMM.

En el presente proyecto de grado se desarrolla un modelo sedimentológico de las formaciones La Paz y Mugrosa. La elaboración de este modelo involucra el análisis de las propiedades de dichas formaciones por esta razón se interpretó la descripción de los núcleos correspondientes a 21 pozos corazonados, para un total de 2664.76ft, de los cuales 2503.56ft se asocian a la formación La Paz y 161.2ft a la formación Mugrosa. Adicionalmente, se elaboran las respectivas columnas estratigráficas de los pozos YG-A, YG-B, YG-C, YG-D, YG-E, YG-F, YG-G, YG-H, YG-I, YG-J, YG-K, CTG-A, CTG-B, CTG-C, CTG-D, CTG-E, CTG-F, CTG-G, CTG-H, CTG-I Y CTG-J. En el proceso de interpretación se definieron 19 facies sedimentarias y las asociaciones correspondientes, dando paso a la definición de los ambientes de depósito para las formaciones reservorio del campo.

El ambiente sedimentario definido para la formación La Paz corresponde a una depositación continental de tipo fluvio-aluvial; la base de la formación se asocia a depósitos de sistemas de ríos trenzados, la zona media al cuerpo de un abanico aluvial con influencia de canales trenzados y la zona superior a un ambiente fluvial de ríos meandriformes. Por otro lado, el ambiente de depósito definido para la formación Mugrosa corresponde en su totalidad a un ambiente continental fluvial de ríos meandriformes.

---

\* Trabajo de Grado Modalidad Investigación.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Químicas, Escuela de Geología, Director: Geólogo PhD. Mario García Gonzales (UIS) Codirector: Geólogo Edgar Pineda Martínez (ICP).

**Abstract****TITLE: SEDIMENTOLOGICAL MODEL OF THE LA PAZ AND MUGROSA FORMATIONS OF THE YARIGUÍ-CANTAGALLO FIELD, MIDDLE MAGDALENA VALLEY BASIN\*****Authors:** María Melissa Salcedo Rodríguez – Andrés Arnulfo Prada Gómez\*\***Key words:** Middle Magdalena Valley Basin, La Paz Formation, Mugrosa Formation, Sedimentological Model, Facies.

The Yariguí-Cantagallo field is geologically located on the western edge of the Middle Magdalena Valley basin, in the vicinity of the San Lucas mountain range (central mountain range), between the limits of the department of Santander and Bolívar. Within the stratigraphic sequence defined for the field, are the La Paz formation, the first totally continental deposit and the Mugrosa formation, which contains the most important commercial oil deposits in the central part of the Middle Magdalena Basin (MMB).

In the current research project, a sedimentological model of the La Paz and Mugrosa formations is developed. The elaboration of this model involves the analysis of the properties of these formations, for this reason the description of the cores corresponding to 21 wells was interpreted, for a total of 2664.76ft, of which 2503.56fts are associated with the La Paz formation and 161.2fts to the Mugrosa formation. Additionally, the respective stratigraphic columns of the wells YG-A, YG-B, YG-C, YG-D, YG-E, YG-F, YG-G, YG-H, YG-I, YG-J, YG-K, CTG-A, CTG-B, CTG-C, CTG-D, CTG-E, CTG-F, CTG-G, CTG-H, CTG-I and CTG-J were elaborated. In the interpretation process, 19 sedimentary facies and the corresponding associations were defined, giving way to the definition of the sedimentary environments for the reservoir formations of the field.

The sedimentary environment defined for the formation La Paz is a fluvial-alluvial continental deposit; the base of the formation is related to braided rivers systems, the middle zone to an alluvial fan body that is influenced by braided channels and the upper zone in related to a fluvial environment of the meandering rivers. On the other hand, the deposit environment defined for the Mugrosa formation corresponds in its entirety to a fluvial continental environment of meandering rivers.

---

\* Undergraduate Thesis. Research Work

\*\* Faculty of Physical - Chemical Engineering, School of Geology, Director: Geologist PhD. Mario García Gonzales (UIS) Co-Director: Geologist Edgar Pineda Martínez (ICP).

## **Introducción**

Actualmente, se conoce que las unidades terciarias del Eoceno que hacen parte de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) se depositaron en un ambiente continental de tipo fluvio-aluvial. Sin embargo, debido a que la depositación de sedimentos tuvo lugar por procesos tectono-sedimentarios, hasta el momento no ha sido posible un modelo asertivo que permita conocer la distribución de los geocuerpos presentes en las formaciones La Paz y Mugrosa dentro del campo Yariguí-Cantagallo. Las necesidades actuales de desarrollo del campo ameritan un modelo refinado que involucre parámetros como dimensión, distribución, continuidad y heterogeneidad de los diferentes paquetes arenosos en el subsuelo.

El modelo sedimentológico del campo Yariguí-Cantagallo requiere la integración de diferentes escalas y fuentes de información, con el fin de obtener un modelo que permita identificar las características específicas del yacimiento y los factores que controlan la capacidad de flujo en el medio poroso para las formaciones reservorio del campo. Por esta razón, el estudio integra información que incluye datos de laboratorio, núcleos de roca, electroformas, datos interpretados de paleocorrientes y los topes de unidades operacionales.

El propósito del presente proyecto de investigación es contribuir al desarrollo de un modelo sedimentológico para el campo Yariguí-Cantagallo, mediante el cual se busca precisar la heterogeneidad de las rocas que conforman las formaciones La Paz y Mugrosa; para alcanzar este objetivo se realiza una descripción detallada de los núcleos correspondientes a los pozos corazonados, asimismo se lleva a cabo una interpretación y correlación de facies permitiendo una interpretación ambiental de las respectivas formaciones reservorio que conforman el campo. Los

resultados obtenidos pretenden generar un impacto en el desarrollo de la industria, contribuyendo con una explotación de mejor calidad y potencial para el campo Yariguí-Cantagallo.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Generar el modelo sedimentológico para las formaciones reservorio La Paz y Mugrosa del campo Yariguí-Cantagallo, ubicado en la cuenca del Valle Medio del Magdalena.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar la interpretación de las descripciones de los núcleos correspondientes a los pozos corazonados para el campo Yariguí-Cantagallo.
- ✓ Elaborar las respectivas columnas estratigráficas de los pozos empleados en el presente proyecto.
- ✓ Realizar una base de datos que contenga la información relevante de los pozos utilizados en la construcción del modelo sedimentológico.
- ✓ Hacer un análisis o definición ambiental de la formación La Paz para el Campo del Valle Medio del Magdalena.
- ✓ Hacer un análisis o definición ambiental de la formación Mugrosa para el Campo del Valle Medio del Magdalena.

## **2. Generalidades del Campo**

### **2.1 Localización**

El área de estudio corresponde a un campo del Valle Medio del Magdalena. Geológicamente, se encuentra localizada en el borde oeste del VMM, en cercanías a la Serranía de San Lucas (cordillera central), entre los límites del departamento de Santander y Bolívar. El campo presenta una longitud aproximada de 7km de largo por 2km de ancho, para un área total de 12km<sup>2</sup> (Ecopetrol, 2018).

La principal vía de acceso es el transporte fluvial sobre aguas del río Magdalena y como vías alternas se encuentran dos carreteras; una de estas comunica el municipio de Puerto Wilches con la ciudad de Barrancabermeja, mientras que la otra lo comunica con la troncal del Magdalena Medio. La zona industrial del campo se encuentra ubicada en el municipio de Cantagallo, al sur del departamento de Bolívar. Por otro lado, el área de influencia del campo corresponde a los municipios de Cantagallo, Puerto Wilches y San Pablo (Palacios y Acosta, 2011).

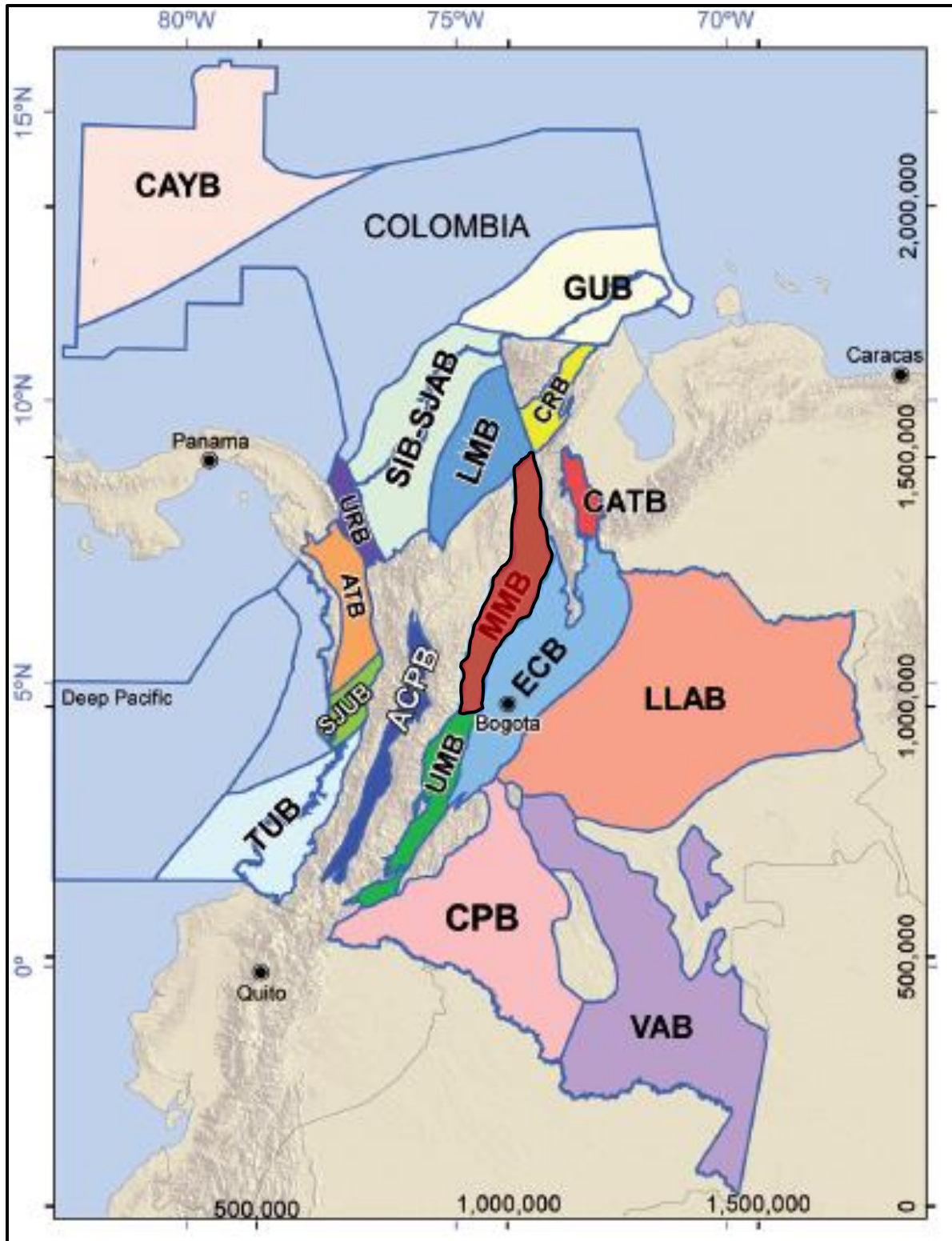


Figura 1. Localización de las principales cuencas de Colombia, destacando la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM). Tomado y modificado de Cediel, et al. (2011).

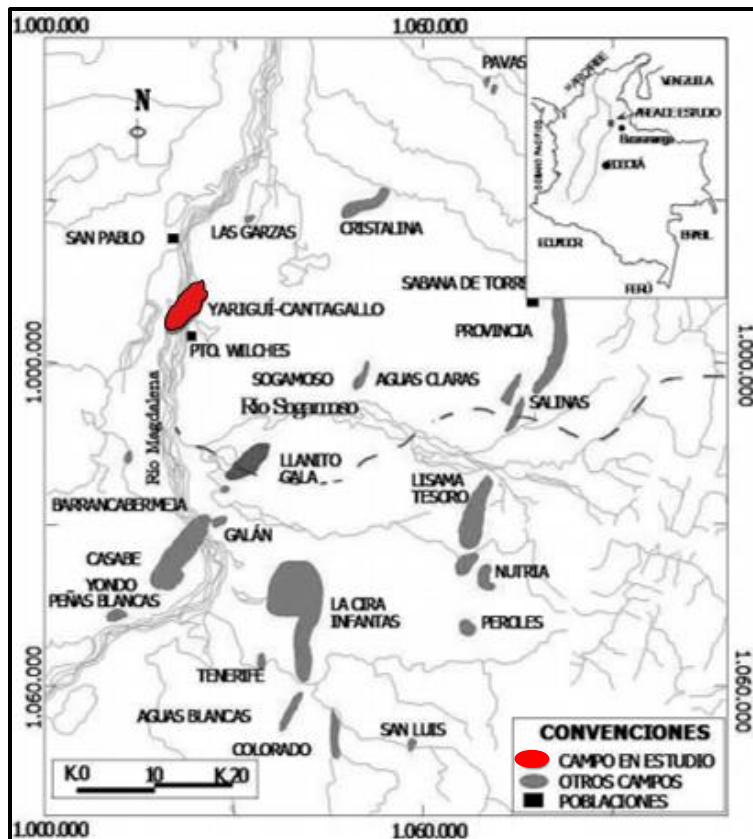


Figura 2. Localización de la zona de estudio, la cual corresponde al Campo Yariquí-Cantagallo, Valle Medio del Magdalena. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).



Figura 3. Campo Yariquí-Cantagallo, Valle Medio del Magdalena. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

## 2.2 Reseña Histórica del Campo Yariguí-Cantagallo

Los campos Yariguí y Cantagallo forman parte de las antiguas concesiones San Pablo y Cantagallo, las cuales fueron otorgadas en el año de 1939 a la Compañía de Petróleos del Valle del Magdalena Medio, subsidiaria de la compañía Socony Vacuum. Para el año de 1953, las concesiones fueron otorgadas a la Shell Cóndor.

Durante la etapa de exploración del campo, entre los años 1941 y 1942, la Compañía de Petróleos del Valle del Magdalena Medio perforó dos pozos: Cimitarra 1 y Cimitarra 2. Inicialmente, uno de los pozos recibe el nombre de Cimitarra 1, para luego ser cambiado por Cantagallo 1 (CG-1); el pozo alcanzó una profundidad de 1494fts, donde se encontraron rocas del Grupo Girón a los 1145fts, con algunas manifestaciones de gas y aceite hacia la base de la secuencia terciaria. El pozo Cimitarra 2, posteriormente Cantagallo 2 (CG-2), llegó a alcanzar una profundidad de 6170fts, dentro de los cuales se encontraron sedimentos del cretácico a los 6153fts. El pozo CG-2 produjo 286 bpd (barriles por día) de aceite de 20,1° API (American Petroleum Institute), considerándose como el pozo descubridor del campo.

El desarrollo del campo tuvo lugar entre los años de 1943 y 1949 con la perforación de 10 pozos. Posteriormente, siguió un receso hasta el año de 1951, cuando la concesión Cantagallo fue adquirida por la compañía Shell Cóndor. De los 12 primeros pozos perforados en el campo, solo 5 de estos fueron productores comerciales, uno de ellos, el CG-4 fue abandonado posteriormente debido a una inundación del río Magdalena. Los pozos Cantagallo 5,8 y 11 resultaron secos, con leves manifestaciones de gas y aceite, asimismo, los pozos CG 5 y 11 sirvieron de extensión en el extremo meridional de la concesión. Los pozos CG 1,3 y 9 fueron perforados en el área

correspondiente al bloque levantado de la falla Cantagallo, donde se encontraron rocas del Grupo Girón o basamento cristalino, el cual se encontró a una profundidad relativamente baja.

En el periodo comprendido entre julio de 1952 y diciembre de 1953, la compañía Shell Cóndor decide perforar 7 nuevos pozos, de los cuales 6 resultaron productores; el pozo CG-16 fue perforado sobre el bloque levantado de la falla Cantagallo. A partir del año 1953, la exploración y posterior explotación de nuevos pozos se incrementa hacia la zona oriental del campo Cantagallo, es decir, la mayoría de las direcciones de perforación se llevaron a cabo desde el margen derecho aguas abajo del río Magdalena o a partir de algunas islas ubicadas entre los municipios de Cantagallo y Puerto Wilches.

Entre los años 1953 y 1962 se llevó a cabo la perforación de 40 nuevos pozos en el campo Yariguí, de los cuales YR-1, YR-2, YR-6, YR-15, YR-32, YR-33 y YR-40 fueron abandonados por fallas mecánicas, mientras que otros pozos se abandonaron por no ser productores comerciales. Para la misma época, los pozos YR7, YR-8 y YR-12 se emplearon como pozos de observación de presión del yacimiento. Posteriormente, el pozo YR-15 se reactivó en octubre de 1975.

En diciembre de 1965, la compañía Shell Cóndor realiza un ensayo de inyección de agua en las arenas Cantagallo a través del pozo YR-8, obteniendo como resultado una rata de inyección promedio de 7000 bwpd (barriles de agua por día) a 3500 psi (libra de fuerza por pulgada cuadrada). Sin embargo, la prueba realizada no fue considerada lo suficientemente concluyente debido a su corta duración.

En junio de 1971, luego de un receso de 9 años en cuanto a perforación se refiere, se decide perforar el pozo YR-41. Entre los años 1974 y 1975, las concesiones Cantagallo y San Pablo pasan a la administración de Ecopetrol S.A, lo cual fue posible mediante la creación de la compañía Explotaciones Cóndor S.A.

Entre 1976 y 1983, bajo la administración de Ecopetrol, se lleva a cabo la perforación de 28 pozos en el campo Yariguí (YR-42 a YR-69), y uno en Cantagallo (CG-23); el objetivo de la perforación consistió en disminuir el espaciamiento, reemplazar pozos antiguos o aquellos que presentaban daños mecánicos irreparables.

En el año de 1995, Ecopetrol S.A. inicia el proyecto de reinyección de aguas producidas, cuya finalidad consistió en eliminar los vertimientos de esta agua en el río Magdalena y así dar cumplimiento a las políticas del gobierno y de la empresa en cuanto a la conservación ambiental se refiere; la reinyección inicia en las arenas Cantagallo de la formación La Paz, a través del pozo YR-8.

Inicialmente, los pozos produjeron por flujo natural durante un periodo de tiempo corto, debido principalmente a su baja relación gas-aceite original y al escaso empuje hidráulico, por lo tanto, fue necesario producir yacimientos por sistemas artificiales como lo fueron en su orden gas lift, bombeo mecánico y bombeo hidráulico. Actualmente, existen 4 pozos con sistema de bombeo electro sumergible. La producción comercial del campo inició en el año 1952, hasta el año de 1959 la explotación del campo Cantagallo alcanza su máximo desarrollo con una producción de 2795 BOPD (barriles de petróleo por día), y en 1962 el campo Yariguí lo logra, llegando a una

producción de 18575 BOPD. Actualmente, estos campos pertenecen a la gerencia del Centro Oriente de Ecopetrol S.A. y dependen administrativamente de la Superintendencia del Río, que incluye, además, las áreas de Casabe, Peñas Blancas, Bajo Río y Cicuco (Palacios & Acosta, 2011).

### **2.3 Distribución del Campo**

El campo se encuentra distribuido en islas a lo largo del margen del río Magdalena y sobre los municipios de Puerto Wilches y Cantagallo. Actualmente, el campo pertenece a la Gerencia de Centro Oriente de Ecopetrol S.A. En el año de 1963, se logró el tope máximo de producción cuando se llegó a extraer cerca de 20.000 bpd de crudo; desde 1965 comenzó una continua declinación, la cual culminaría en su punto más bajo en el año 2003, cuando se produjeron menos de 5000 bpd de crudo.

El periodo de decadencia hizo que este campo se ubicara en la lista de aquellos campos que entrarían en un proceso de recuperación de sus niveles de producción, en marzo de 2003, como resultado de grandes inversiones, se logró que el promedio de producción diaria del campo pasara de 4885 bpd de crudo a los 13500 bpd. En la actualidad, el campo Cantagallo es el de mayor producción en la Superintendencia de Operaciones del Río (SAR) y en la Gerencia Regional Magdalena Medio (GRMM) (Palacios & Acosta, 2011).

### 3. Marco Geológico

#### 3.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica generalizada de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (figura 4) muestra secuencias Pre-Mesozoicas y Mesozoicas que descansan en forma discordante, junto con las secuencias Cretácicas que las suprayacen. Partiendo de las formaciones cronológicamente más antiguas; Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo, Simití, Salto y La Luna, de influencia marina, suprayacidas por la formación Umir, que marca el inicio de la depositación no marina, característica del Cenozoico. Las rocas terciarias de la cuenca del VMM, corresponden a las formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y los Grupos Real y Mesa, depositadas sobre la discordancia del Eoceno-Paleoceno (Beltrán, 2012).

En el campo Yariguí-Cantagallo, la secuencia perforada por los pozos empleados durante el presente proyecto, está constituida por rocas continentales del Terciario, correspondientes a las formaciones La Paz, Mugrosa, Colorado y La Cira, las cuales descansan de manera discordante sobre rocas clásticas-marinas del Cretácico. Se puede resaltar que la formación La Paz se encuentra en contacto con la formación Mugrosa, debido a la erosión de la formación Esmeraldas, como consecuencia del levantamiento de la Cordillera Central (Beltrán, 2012).

Serie	Nomenclatura estandar	Espesor (m)	Litología	Descripción litológica generalizada	
Pleistoceno	Grupo Mesa	150 - 575		Gravas y cantos de grava. Conglomerado y arenita bien estratificado. Abundante material piroclástico	
Plioceno					
Mioceno (?)	Grupo Real	400 - 3600		Arenita, arcillolita arenosa y conglomerado de rocas ígneas y metamórficas	
Oligoceno (?)	Grupo Chuspas	575 - 3200		Muy conglomerática hacia la base	
				Formación Colorado	Horizonte fosilífero de La Cira
				Formación Mugrosa	Shale rojo alternando con arenita conglomerática gruesa
Eoceno (?)	Grupo Chorro	1225 - 2300		Horizonte fosilífero de Mugrosa (local).	
				Formación Esmeraldas	Shale con delgados estratos de arenita de grano fino
				Formación La Paz	Horizonte fosilífero de Los Corros (local).
Paleoceno	Formación Lisama	950-1225		Arenitas con interestratificaciones de limolita y shale	
Maastrichtiano	Shale de Umir	> < 1000		Mantos de carbón ocasionales	
Campaniano				Arenitas con interestratificaciones de limolita y shale	
Santoniano	Formación La Luna	180 - 350		Local localmente shale alterado duro (Toro Fm).	
Coniaciano		50 - 225		Mantos de carbón	
Turoniano		50 - 100		Predomina el shale calcáreo con estratos de chert y caliza interestratificado con concreciones	
Cenomaniano	Caliza del Salto	50 - 125		Shale calcáreo negro finamente laminado de dureza Media	
Albiano	Shale de Simiti	250 - 650		Shale negro duro calcáreo, estratos de caliza, concreciones de pirita	
Aptiano	Grupo calcáreo Basal	150 - 325		Caliza dura arcillosa	
Barremiano		125 - 625		Caliza y marga, bastante fosilífera	
Hauteríviano		150 - 425		Shale negro blando finamente laminado	
Valanginiano ?	Formación Tambor	0 - 650		Caliza masiva y marga bastante fosilífera	
Jurásico	Formación Girón	0 - 2660		Limolita gris oscura, arenita y conglomerado, limolita gris al tope	
	Formación Jordan	657 - 800		Con foraminíferos	
	Grupo Plutónico de Santander	?		Limolita marrón y rojas, shale y arenita con volcánicos	
Triásico	Grupo Suratá	0 - 590		Arenita arcosa, limolita y toba	
Permico		450 - 500		Granito y cuarzomonz. rosada- granod y cuarzomznita gris	
Carbonífero	Fm Diamante	440		Arenita y limolita calcárea	
Devónico	Formación Floresta	600 - 700		Caliza conglomeratica	
Predevonico a Precámbrico	Macizo igneo metamórfico			Caliza y Shale	
				Orthoneiss	Rocas metasedimentarias, Filita
				Neiss de Bucaramanga	Neiss cuarzo-feldespático
				Neiss y Migmatita	

Figura 4. Columna estratigráfica del Campo Yariguí-Cantagallo y las unidades de interés. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

**3.1.1 Formación La Paz.** La formación La Paz representa la base del Grupo Chorro, se caracteriza por ser la primera depositación totalmente continental en la cuenca del Valle Medio del Magdalena y por contener los yacimientos petrolíferos más importantes, ubicados en la parte nor-occidental y en el Piedemonte Oriental de la cuenca. Litológicamente, está constituida por litoarenitas feldespáticas, arcosas líticas masivas y conglomeráticas, de color gris claro, con estratificación cruzada e intercalaciones esporádicas de shales y limolitas, en los dos tercios inferiores de la formación. Hacia la base, se encuentra un nivel de lutitas arenosas que constituyen el Miembro Toro Shale (Ecopetrol, 2018).

La Paz se depositó en un ciclo de baja acomodación, en un marco sedimentario de alto régimen de subsidencia y abundante aporte de sedimentos; el resultado final de estos procesos es el apilamiento de arenitas depositadas en un ambiente de canales fluviales, lo cual se puede observar en la parte occidental de la cuenca (actual área del campo Cantagallo), cambiando hacia sistemas fluviales anastomosados en la zona más oriental de la misma (área del campo Provincia). En la zona central de la cuenca del VMM no hay evidencia de la formación, debido al control que ejerció el paleoalto de Sogamoso sobre la depositación (Ecopetrol, 2018).

Se considera que la edad de la formación La Paz es Eoceno, haciéndose más antigua hacia el norte. En el sector occidental de la cuenca, la formación se adelgaza y está predominantemente constituida por areniscas conglomeráticas masivas, de tamaño de grano grueso, depositadas en sistemas de abanicos aluviales que pueden alcanzar espesores de hasta 2000ft. En la sección oriental del río Sogamoso, se encuentra la parte basal de la formación La Paz, que consiste en una alternancia de areniscas de grano grueso y arcillolitas, suprayacidas por areniscas conglomeráticas

masivas, de tamaño de grano grueso, que a su vez se encuentran interestratificadas con arcillolitas grises que pueden alcanzar espesores de hasta 4900ft (Ecopetrol, 2018).

**3.1.2 Formación Mugrosa.** La Formación Mugrosa representa la base del Grupo Chuspas, y contiene los yacimientos petrolíferos más importantes en la parte central de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Litológicamente, está compuesta por una alternancia de cuarzoarenitas micáceas y feldespáticas, con alto contenido de matriz arcillosa, estratificación cruzada como estructura sedimentaria y algunas zonas de bioturbación. Generalmente, la zona inferior de la formación consta de areniscas de grano fino a medio, con la presencia esporádica de cantos y granos de tamaño grueso, que se encuentran intercalados con shales de tonalidades que pueden variar de azules a grises. La zona intermedia está compuesta por shales masivos y moteados, que presentan algunas intercalaciones de areniscas de grano fino. En la parte superior, se identifican manifestaciones esporádicas de areniscas con clastos, intercalados con shales moteados (Ecopetrol, 2018).

El ambiente de depósito ha sido definido como de tipo continental deltaico, donde las facies gruesas se depositan en un régimen de flujo alto, típico de canales o canales de crevasse, que migran transicionalmente hacia las facies más finas que son dependientes de un régimen de flujo bajo, característico de depósitos de lagos y llanuras de inundación, culminando en un evento de máxima acomodación y de gran extensión lateral, representado en la formación por el Horizonte Fosilífero Mugrosa, el cual se describe como un intervalo de shale rico en fósiles, específicamente moluscos de agua dulce, reptiles, restos de peces y mamíferos, en el que también se ha reportado la presencia de glauconita, lo cual indica una posible influencia marina. En el sector occidental de

la cuenca, la formación está compuesta por areniscas de tamaño de grano fino a medio, interestratificadas con shales varicoloreados y depositadas en un ambiente de tipo fluvial meandriforme que continua hasta el área correspondiente al Campo Provincia. Se considera que la edad de depositación para la Formación Mugrosa es Oligoceno Inferior a Oligoceno Medio. (Ecopetrol, 2018).

Para finalidades del proyecto, es importante reconocer que en el área correspondiente al campo Yariguí-Cantagallo, la formación Mugrosa descansa de manera discordante sobre las Arenas C de la formación La Paz, lo cual se debe principalmente a la ausencia de la formación Esmeraldas por efecto del levantamiento del paleoalto de Sogamoso. Adicionalmente, esta formación contiene el tercer yacimiento en importancia del campo (Arenas B2-B3), compuesto por areniscas de grano grueso, depositadas en un sistema de canales fluviales (Ecopetrol, 2018).

La curva del registro potencial espontáneo (SP) y las curvas de resistividad en los registros eléctricos, han permitido que la formación Mugrosa se subdivida en tres miembros, operacionalmente denominados Miembro Basal (Arenas B2-B3), Miembro Intermedio (Arenas B1-B0) y el miembro conocido como Horizonte Fosilífero de Mugrosa, ubicado en la parte superior de la formación Mugrosa e inferior de la formación Colorado. Los diferentes miembros presentan un espesor variable que alcanza los 1900fts (Ecopetrol, 2018).

### **3.2 Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena**

La evolución tectónica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) está ligada al origen de los Andes Colombianos. Las rocas metamórficas paleozoicas de la Cordillera Central

conforman el basamento de la cuenca, que está cubierto de manera discordante por rocas del Mesozoico y Cenozoico (ANH, 2011).

Durante el Triásico-Jurásico se generaron esfuerzos de tipo tensional y transtensional, producto de la separación de Pangea, apertura del Tetis y posterior extensión del arco magmático de la Cordillera Central; favoreciendo la acumulación de depósitos de tipo molásico, seguidos por la depositación de sedimentos típicamente continentales fluviales que constituyen la formación Bocas, Jordán, Girón y los Santos (ANH, 2011).

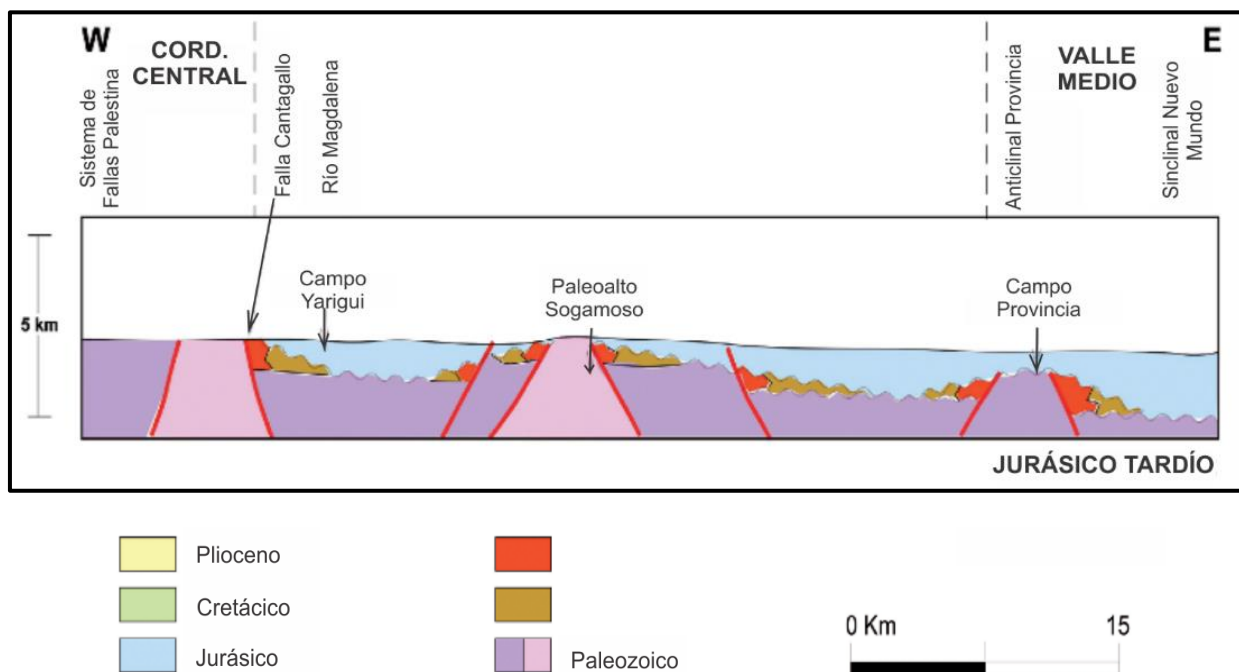


Figura 5. Sedimentación continental en cuenca tipo Rift. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Para el Cretácico inferior continuaron los eventos distensivos que dieron lugar a la formación de una cuenca tipo rift y a la depositación de la formación Tambor, asociada a depósitos fluviales de corrientes trenzadas. Posteriormente, el comienzo de una transgresión marina condujo a la

depositación de potentes secuencias de rocas marinas; principalmente lodolitas, calizas y areniscas de la formación Rosa Blanca, (Royero & Clavijo, 2001), seguida de la formación Paja, la cual está constituida principalmente por shales negros ligeramente fosilíferos. En el Cretácico medio se deposita la formación Tablazo, mostrando un ambiente nerítico somero, y sobre la cual se deposita la formación Simití, en un ambiente nerítico más profundo (Royero & Clavijo, 2001).

En el Cretácico Tardío, por subsidencia térmica post-rift se forma una cuenca regional de tipo sag, que permite alcanzar el máximo nivel de inundación y a su vez, la depositación de la formación La Luna; conformada por calizas, lutitas, capas delgadas de chert y concreciones de calizas fosilíferas. Finalizando el período, la cuenca experimenta una somerización que favorece la depositación de sedimentos continentales de la formación Umir (Royero & Clavijo, 2001).

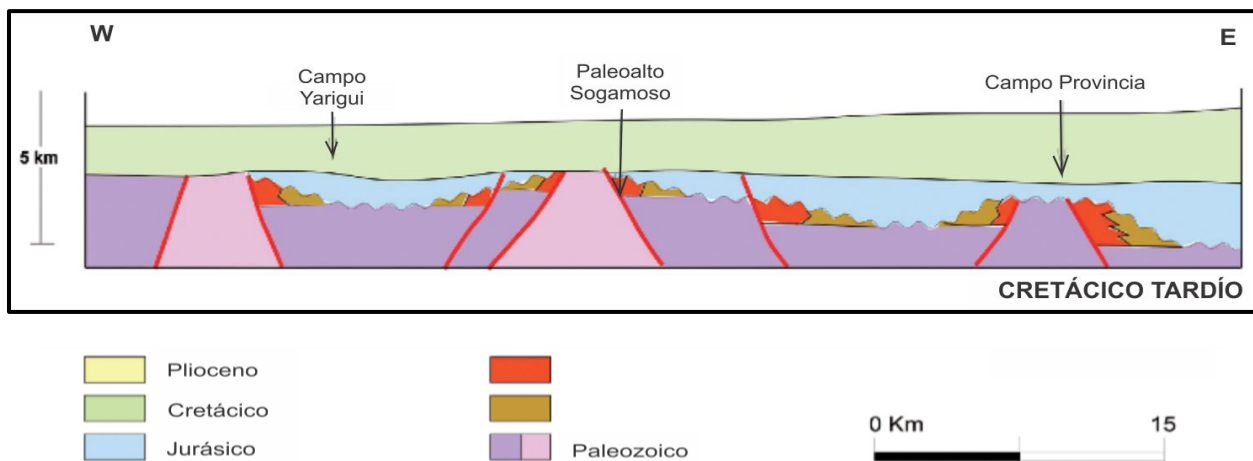


Figura 6. Sedimentación marina cuenca termal post-rift tipo sag. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

En la transición Cretácico Tardío-Paleoceno ocurre la acreción de una meseta oceánica en el occidente de Colombia, produciendo el levantamiento y exhumación de rocas de la Cordillera Central, lo cual dio origen a un frente de deformación compresiva (Cooper, Addison, Alvarez,

Coral, Graham, Hayward, Howe, Martinez, Naar, Peñas, Pulham & Taborda, 1995). La deformación ocurrida durante este periodo causo la transformación de la cuenca del VMM, pasando de una cuenca marina típica del Cretácico a un área de piedemonte donde se acumularon depósitos de delta trenzado y abanicos aluviales (Ecopetrol, 2018).

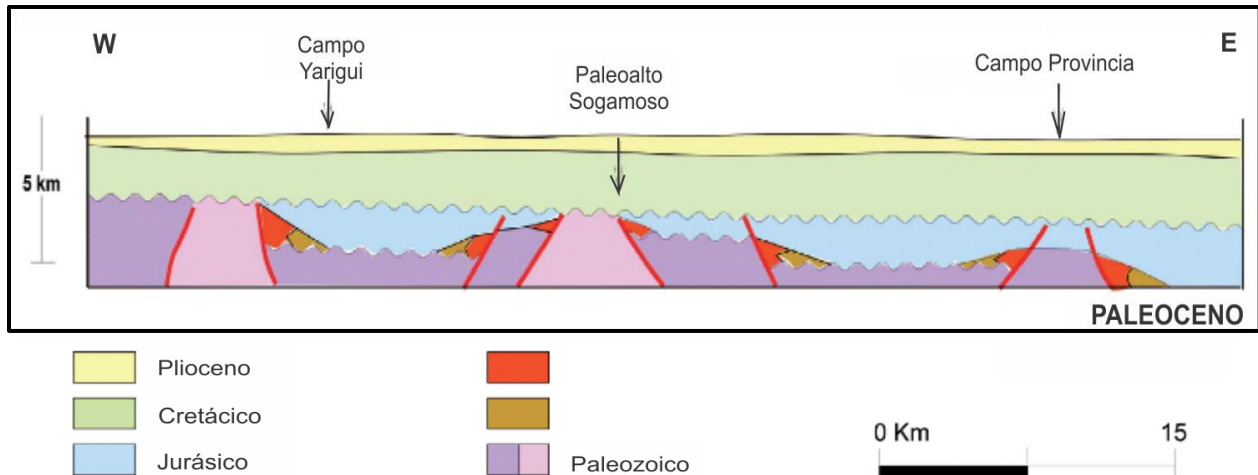


Figura 7. Transición de cuenca tipo sag a cuenca tipo foreland; sedimentación paralítica por regresión marina y se deposita Lisama horizontalmente. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Durante el Paleoceno-Eoceno medio, dicho frente de deformación junto con el progresivo levantamiento de la Cordillera Central, permitió la formación de una cuenca regional de antepaís (foreland). Los sedimentos continentales depositados sobre la discordante secuencia cretácica inician con la formación La Paz; la cual conserva abundante material lítico, feldespático y conglomerático proveniente de la Cordillera Central. En el Eoceno tardío ya ocurre la depositación de abanicos aluviales desde la Cordillera Central, así como la sedimentación de tipo fluvial en la cuenca del VMM; dando lugar a la depositación de la formación Esmeralda; compuesta por areniscas de grano fino, limolitas y shales con algunas capas de carbón (Royero et al., 2001). La formación Esmeralda es erosionada en el campo Yarigui-Cantagallo, debido a un período de fuerte

erosión que se extendió a lo largo de la cuenca, suprimiendo parte del registro estratigráfico en algunos sectores. Este episodio es causado por el levantamiento de la Cordillera Central y algunos paleoaltos locales (Sogamoso), dicho evento se reconoce en la cuenca como la inconformidad del Eoceno Medio (Ecopetrol, 2018).

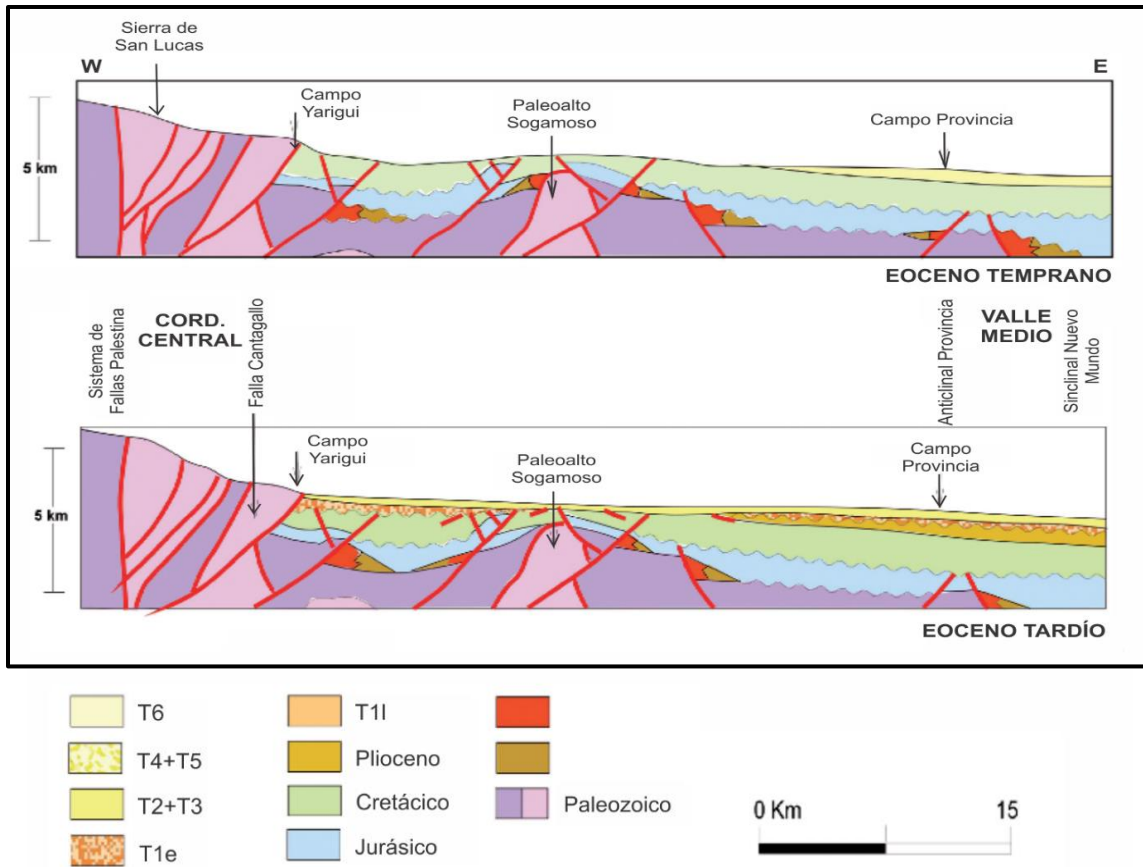


Figura 8. Migración hacia el este del frente deformacional y erosión regional de cuenca tipo foreland. Durante este periodo ocurre la erosión de las formaciones Lisama y Umir en el campo, además de la exhumación de la serranía de San Lucas y paleosalto de Sogamoso. B) Cuenca regional tipo foreland y depositación fluvial de abanicos aluviales, aportes restringidos por el paleosalto en la formación La Paz. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Durante el Oligoceno, los eventos de inversión y levantamiento generaron depósitos sintectónicos de facies aluviales de ríos meándricos de la formación Mugrosa (Oligoceno Temprano a Tardío) y la formación Colorado (Mioceno Temprano). A partir del Oligoceno tardío,

la tasa de acortamiento aumento dando paso a la inversión total de la cuenca Mesozoica. En el registro geológico se han identificado cambios laterales de espesor en los sedimentos del Mesozoico, lo cual permitió corroborar que los sistemas de fallas normales generados durante el Triásico-Jurásico y reactivados en el Mesozoico, sufrieron una inversión tectónica durante la Orogenia Andina Cenozoica, que a su vez dio lugar al desarrollo de fallas inversas y de empuje.

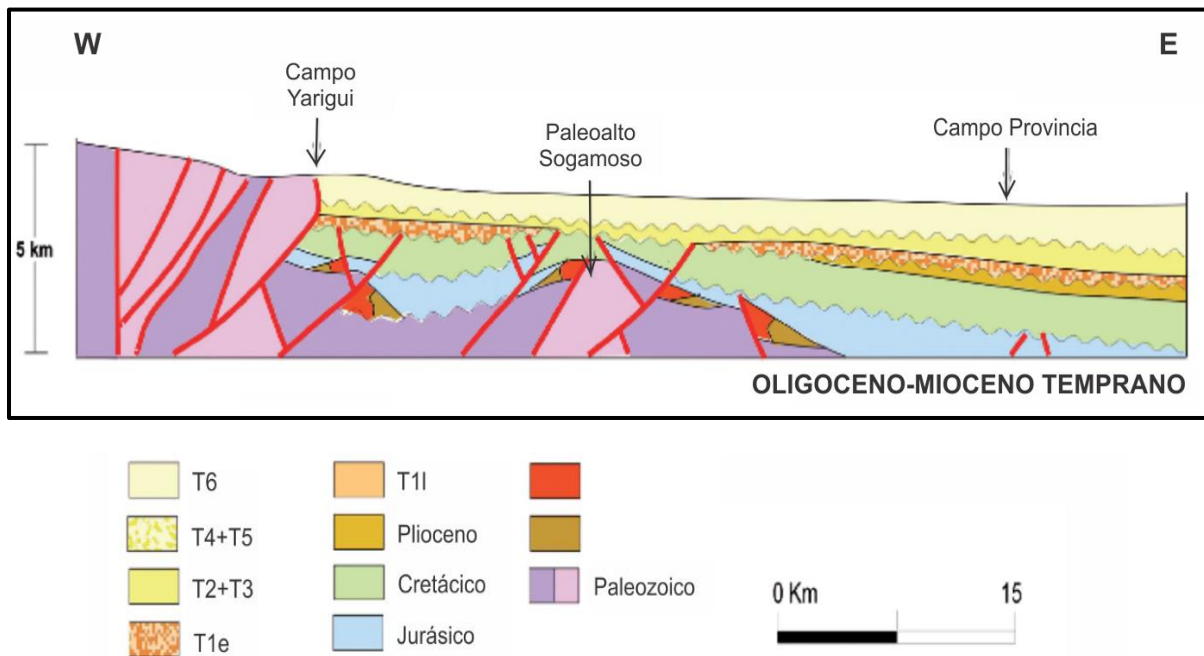


Figura 9. Deposición fluvial y rompimiento de cuenca regional tipo foreland. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

A partir del Mioceno Medio hasta el Plioceno, ocurre hundimiento por flexión de litosfera de la actual cuenca del VMM, debido al levantamiento andino que ocasionó la separación entre las cuencas de la CO y del VMM, convirtiendo esta última en una cuenca intermontana. Esta es la principal razón por la que la cuenca del VMM es rellenada por depósitos continentales a medida que la CO se exhuma, lo cual se evidencia con la depositación de la formación Real (Mioceno Medio a Superior) y la formación Mesa de edad Plioceno (Caballero, 2010).

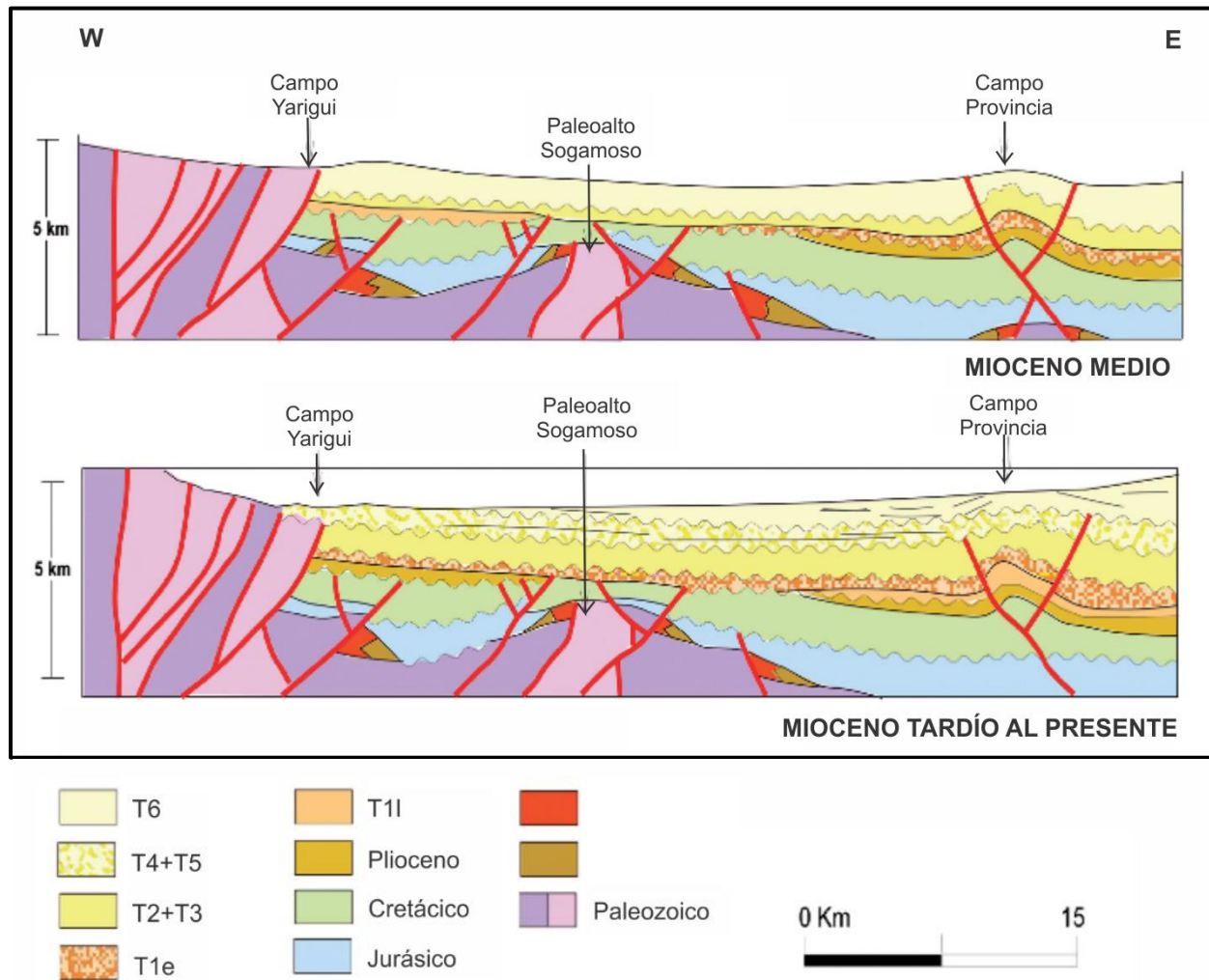


Figura 10. A) Depositación fluvial por rompimiento de cuenca tipo foreland y acortamiento por inversión tectónica. B) Depositación fluvial en cuenca intermontana, la formación La Paz no está presente en el paleoalto de Sogamoso. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Concepto de Facies

Hacia la segunda mitad del siglo XVII, el padre de la geología Nicolas Steno, empleo el término facies para aludir al aspecto externo de las rocas, sin embargo, es Gressly quien lo introduce

formalmente a la nomenclatura geológica en el año de 1838, definiéndolo como: “la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica” (Vera, 1994).

El término facies se diferencia claramente de los términos medio sedimentario y unidad estratigráfica, ya que el concepto facies, se refiere a un conjunto de características, por lo tanto, carente de dimensiones, mientras que los otros dos términos poseen dimensiones; en el primer caso haciendo referencia a un área en concreto (medio sedimentario) y en el segundo caso a un volumen determinado (unidad estratigráfica). El término facies presenta dos acepciones: abstracta y concreta (Vera, 1994).

- ✓ **Acepción abstracta:** conjunto de características litológicas tales como composición, textura, estructuras sedimentarias y paleontológicas que definen dicha roca y permiten su diferenciación de las demás (Vera, 1994).
  
- ✓ **Acepción concreta:** cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litología, texturas, estructuras sedimentarias físicas y biológicas, geometría, distribución de paleocorrientes, contenido fosilífero y color (Vera, 1994).

Es importante mencionar que independientemente de la acepción utilizada, la definición de facies debe ser totalmente objetiva, basándose en los datos obtenidos en campo al observar las rocas, como afirma Walker (1984). En dicha observación es necesario combinar los datos geométricos como espesor y forma de los estratos y aquellos relativos a las rocas como son la

litología, textura, estructuras sedimentarias, fósiles, color, entre otros, destacando los aspectos más representativos de su génesis (Vera, 1994).

**4.1.1 Tipos de facies. Litofacies:** se usa para aludir a los aspectos exclusivamente litológicos de un conjunto de estratos y correlativamente para las condiciones fisicoquímicas que reinaron durante el depósito (Vera, 1994). Ej. Areniscas glauconíticas.

- ✓ **Biofacies:** se refiere a los aspectos paleontológicos y a las condiciones biológicas reinantes durante el depósito (Vera, 1994). Ej. Facies de radiolarios
  
- ✓ **Facies sísmica:** se utiliza para denominar al conjunto de propiedades observables en un perfil sísmico para un estrato o conjunto de estratos (Vera, 1994).
  
- ✓ **Microfacies:** conjunto de características litológicas y paleontológicas observables al microscopio en lámina delgada y, correlativamente, a las condiciones genéticas que controlaron su depósito (Vera, 1994).
  
- ✓ **Electrofacies:** conjunto de respuestas de las digrafías que caracterizan un estrato y permiten que este pueda ser diferenciado de los otros que le rodean (Vera, 1994).

## 4.2 Asociación de Facies

Se denomina “asociación de facies” a la distribución ordenada de varias facies, genéticamente relacionadas. Para ser considerada como una asociación, las facies agrupadas deben cumplir dos

condiciones esenciales: tratarse de facies que se encuentren juntas y que estén genéticamente relacionadas entre sí (Vera, 1994).

Las facies se consideran como la unidad de rango menor, y como unidad de rango inmediatamente superior a la asociación de facies. A la expresión vertical de esta asociación de facies se llama secuencia de facies, la cual suele tener espesores del orden de algunos metros y es la expresión de sedimentación correspondiente a una parte muy concreta de un medio sedimentario, por ejemplo, una barra de desembocadura dentro de un frente deltaico. Una facies individual puede tener poco valor en una interpretación genética, sin embargo, el análisis de las asociaciones de facies y secuencias de facies refleja la actividad de un proceso determinado dentro de un medio sedimentario, lo cual puede llegar a ser un excelente criterio en la interpretación ambiental (Vera, 1994). Se pueden considerar los siguientes tipos de asociaciones:

- ✓ **Multiepisódicas**
- ✓ **Cíclicas o rítmicas**
  - Bandeadas o bitemáticas (cyclic bedding)
  - Asimétricas (cyclic sequences)
  - Complejas
- ✓ **No cíclicas**

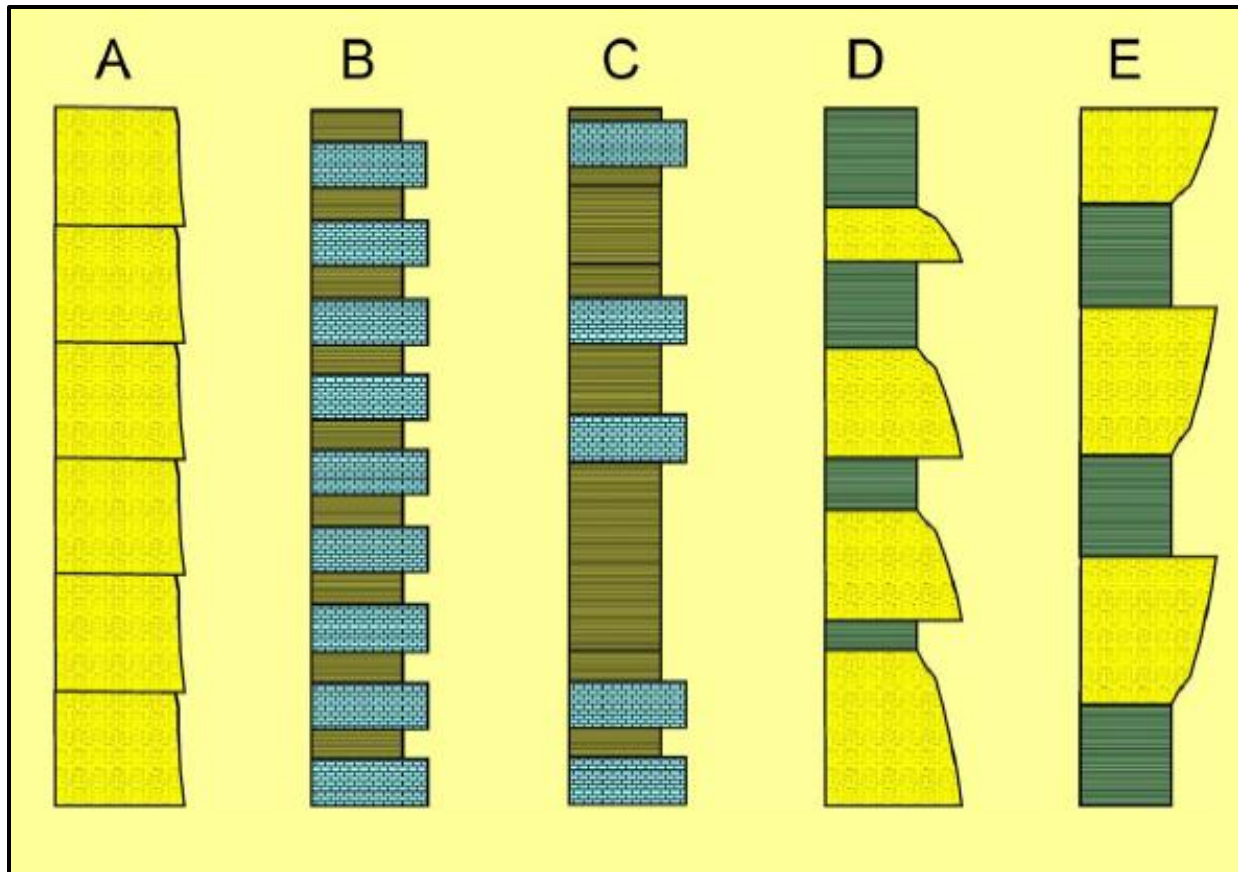


Figura 11. Tipos de asociaciones de facies; A) multiepisódica, B) bandeada, C) bandeada descíclica, D) asimétrica positiva (granodecreciente), E) asimétrica negativa (granocreciente). Estratigrafía I (2017). Tomado de <https://es.slideshare.net/OliverValeraDeLen/facies-y-asociaciones-de-facies>.

De acuerdo con la posición de los cambios de facies con respecto a las superficies de estratificación se pueden diferenciar tres tipos: cambios laterales de facies, cambios verticales de facies y cambios oblicuos de facies (Vera, 1994).

- ✓ **Cambios laterales de facies:** son aquellos que ocurren entre diferentes facies comprendidas entre dos líneas isócronas, por lo tanto, marcan el paso de una facies a otra coetánea (Vera, 1994).

- ✓ **Cambios verticales de facies:** son aquellos que separan las facies depositadas en intervalos de tiempo sucesivos y en las que su límite es una superficie deposicional (Vera, 1994).
  
- ✓ **Cambios oblicuos de facies:** son aquellos en los que tienen lugar, simultáneamente cambios de facies laterales y verticales (Vera, 1994).

### 4.3 Ambientes de Depósito en Sistemas Fluviales

Actualmente, existen métodos que buscan clasificar, describir e interpretar los sistemas fluviales de una forma estandarizada, apoyándose en parámetros tales como: jerarquía de los estratos, superficies limítrofes, asociaciones de litofacies, elementos arquitecturales y geometría de los cuerpos sedimentarios.

Tanto los sistemas de ambientes fluviales como sus depósitos asociados están compuestos por sedimentos que pueden provenir de diferentes fuentes; principalmente de ríos por efecto de la gravedad, sin embargo, estos depósitos pueden generarse bajo una diversidad de condiciones climáticas, que varían de desérticas a glaciales. En la actualidad, se distinguen cuatro sistemas fluviales bien definidos (figura 12).

- ✓ **Sistemas de ríos rectos:** se caracterizan por no presentar barras y tener una baja sinuosidad, la cual es menor a 1,5.

- ✓ **Sistemas de ríos trenzados:** se caracterizan por presentar barras, en torno a las cuales el flujo se reúne y bifurca alternativamente. Presenta una baja sinuosidad.
  
- ✓ **Sistemas de ríos meándricos:** se identifican canales sinuosos.
  
- ✓ **Sistemas de ríos anastomosados:** se caracterizan por presentar varios canales que se reúnen y bifurcan a lo largo del río.

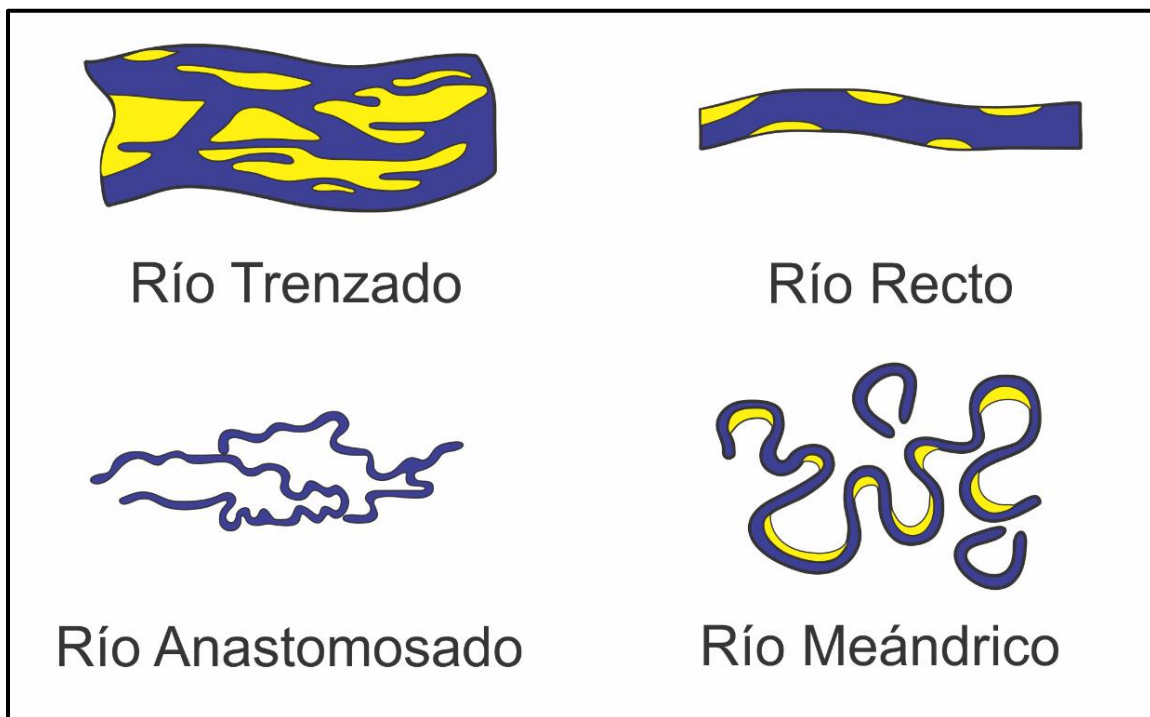


Figura 12. Tipos de Sistemas Fluviales; (A) Canales Trenzados, (B) Canales rectos, (C) Canales Anastomosados, (D) Canales Meándricos. Tomado y modificado de Gómez y Morales (2008).

Generalmente, los sistemas fluviales son agradacionales y se caracterizan porque el canal se convierte en el foco de depositación de la carga sedimentaria transportada, lo cual representa la principal característica de una superficie fluvial agradacional, asimismo, la progradación y

acreción lateral son rasgos que pueden presentarse en un sistema fluvial. La manera en que los diferentes materiales son transportados por las corrientes de los ríos va a depender del tamaño de estos, es decir, los sedimentos de tamaño arcilla, limo o arena viajan en suspensión, mientras que los materiales de tamaño grava o cantos viajarán por saltación o tracción (figura 13). Adicionalmente, otros factores como la pendiente del terreno controlan la sedimentación, y en gran parte el tipo de canal que se forma.

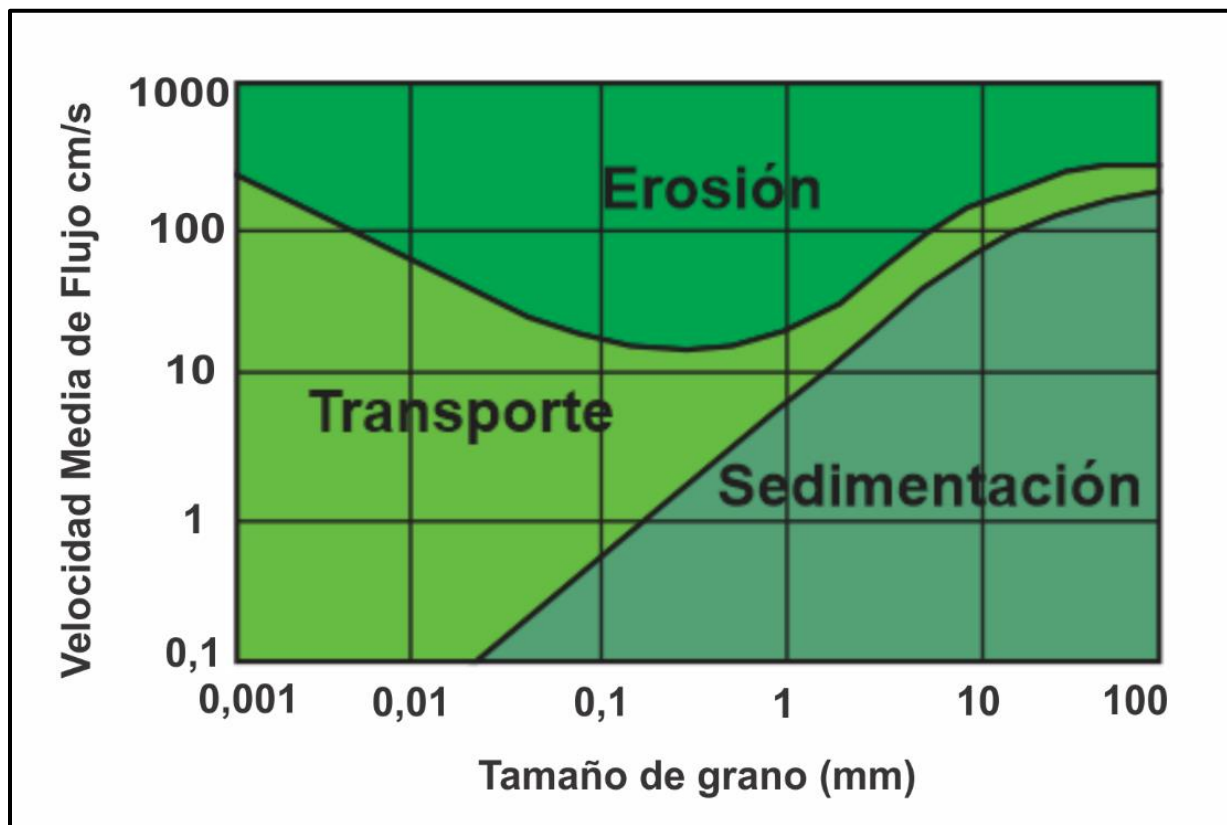


Figura 13. Diagrama de Hjulstrom; relación entre la erosión, transporte, y sedimentación en función del tamaño de grano y la velocidad de flujo. Tomado y modificado de Gómez y Morales (2008).

De acuerdo con el tipo de sistema fluvial se preserva una configuración arquitectural específica para los depósitos asociados al mismo, los cuales a su vez conforman el registro preservado más importante en los ambientes de tipo continental.

Tabla 1

*Clasificación de los sistemas fluviales.*

SINUOSIDAD	NÚMERO DE CANALES	
	UNICANAL	MULTICANAL
Baja	Rectos	Entrelazados
Alta	Meándricos	Anastomosados

Clasificación de los sistemas fluviales con base a la sinuosidad y el número de canales.

**4.3.1 Sistema fluvial de ríos meandriformes.** Los ríos asociados a sistemas fluviales de tipo meandriforme tienden a estar confinados a un canal principal, descrito por su curso y sinuosidad pronunciada, la cual es mayor a 1,5 según Rust (1978), sin embargo, este valor puede variar ligeramente de un autor a otro, ya sea para un menor o mayor valor. Estos sistemas se caracterizan por presentar muchas inflexiones a lo largo de su recorrido y una curva sobre el canal que genera dos diferentes velocidades para el flujo de agua, asimismo, un gradiente relativamente bajo, donde los sedimentos involucrados en la carga de las corrientes son más finos, con una relación suspensión/carga en tracción elevada y materiales cohesivos en sus márgenes.

Los principales elementos morfológicos que conforman un sistema fluvial de ríos meándricos son: canal principal, barras puntuales, bordes naturales, lagos naturales, planicies de inundación y áreas de desborde. Debido a que en estos sistemas los materiales sedimentarios se acumulan por

la acción del canal principal y la inundación periódica de la planicie adyacente, los depósitos suelen asociarse a estos elementos morfológicos.

Generalmente, los grandes sistemas de ríos meándricos desarrollan en su desembocadura sistemas deltaicos, asimismo, pueden presentar un cambio gradual corriente abajo de un sistema de ríos trenzados, sin embargo, se caracterizan porque suelen presentarse como sistemas independientes. La aparición de un meandro representa un aumento del recorrido fluvial, lo que a su vez implica una disminución de la pendiente, donde los sedimentos tienden a depositarse en la parte convexa del meandro, mientras que la erosión predomina en la parte cóncava, por efecto de la fuerza centrífuga (Olivares, 2016).

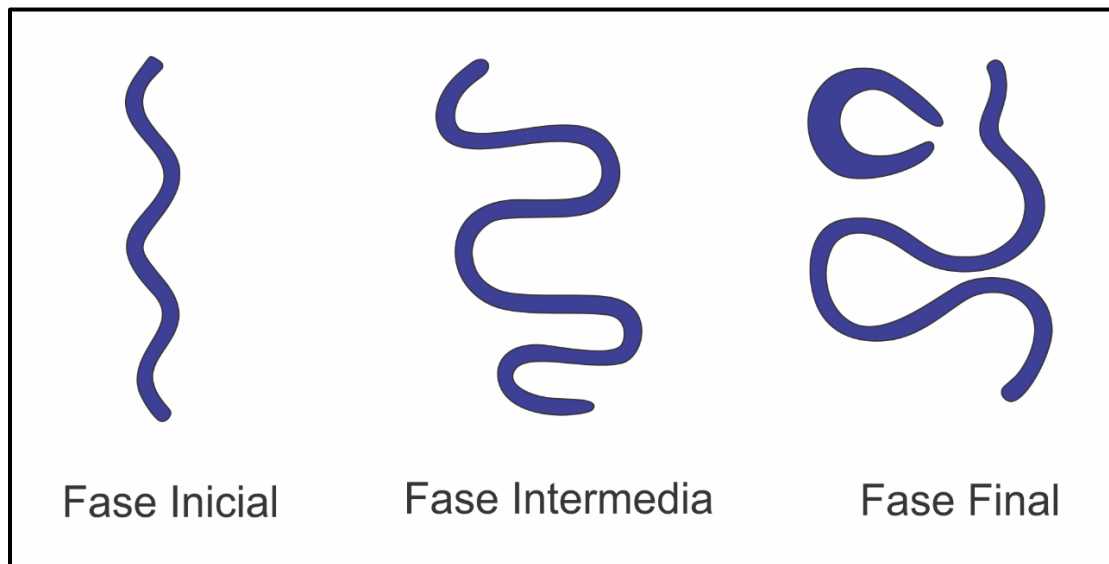


Figura 14. Fases que representan la evolución de los ríos asociados a sistemas fluviales de tipo meandriforme.

**4.3.1.1 Patrones de sedimentación en sistemas fluviales meandriformes.** En un sistema fluvial meandriforme relativamente evolucionado, a una curva del canal le precede otra con orientación contraria, de esta manera, en casi la totalidad del canal domina la naturaleza de flujo helicoidal,

especialmente cuando el nivel de agua es alto, ya que se genera un patrón de sedimentación bastante exclusivo. Este patrón da lugar a que los detritos se acumulen en una capa inclinada dispuesta sobre el margen interno o de acreción del meandro, lo cual a su vez permite la formación de una estructura interna de estratificación cruzada dentro del canal, conocida como estratificación cruzada en  $\epsilon$ ; el reconocimiento de esta estructura en el registro fósil ha sido empleada por muchos años como elemento diagnóstico del modelo fluvial meandriforme. Cabe resaltar que la acumulación de materiales sedimentarios en el margen interno del meandro provoca excavación o erosión en el margen opuesto, de esta manera, se genera un desplazamiento lateral del canal.

Las principales características de un sistema fluvial meandriforme son: pendiente baja, márgenes u orillas erosiónales, sección transversal poco variable, variación de caudales no muy marcada y flujo característico en las curvas (tabla 2).

**4.3.1.2 Geometría de un meandro.** La geometría de un canal hace referencia a la descripción técnica de un determinado curso de agua sinuoso (tabla 3). Los meandros se caracterizan por presentar una forma de onda irregular y diversos parámetros que permiten describir sus canales (Olivares, 2016).

Tabla 2

*Tipos de cauces en sistemas fluviales meándricos.*

CLASE	CARACTERÍSTICAS
<b>Regulares</b>	Los meandros se repiten de manera homogénea casi en la totalidad de la longitud del río. El ángulo entre el canal y el eje del valle es menor a $90^\circ$ .
<b>Irregulares</b>	No se repite el patrón de meandro y los diferentes meandros son irregulares.

**Tortuosos** En este tipo de ríos, se repite un patrón de meandros con ángulos de 90° entre el eje del canal y la tendencia del valle. Estos suelen formarse cuando la geología, el relieve, la resistencia a la erosión de ciertas márgenes controlan el cauce.

Tipos de cauces en ríos meándricos y las principales características que los definen.

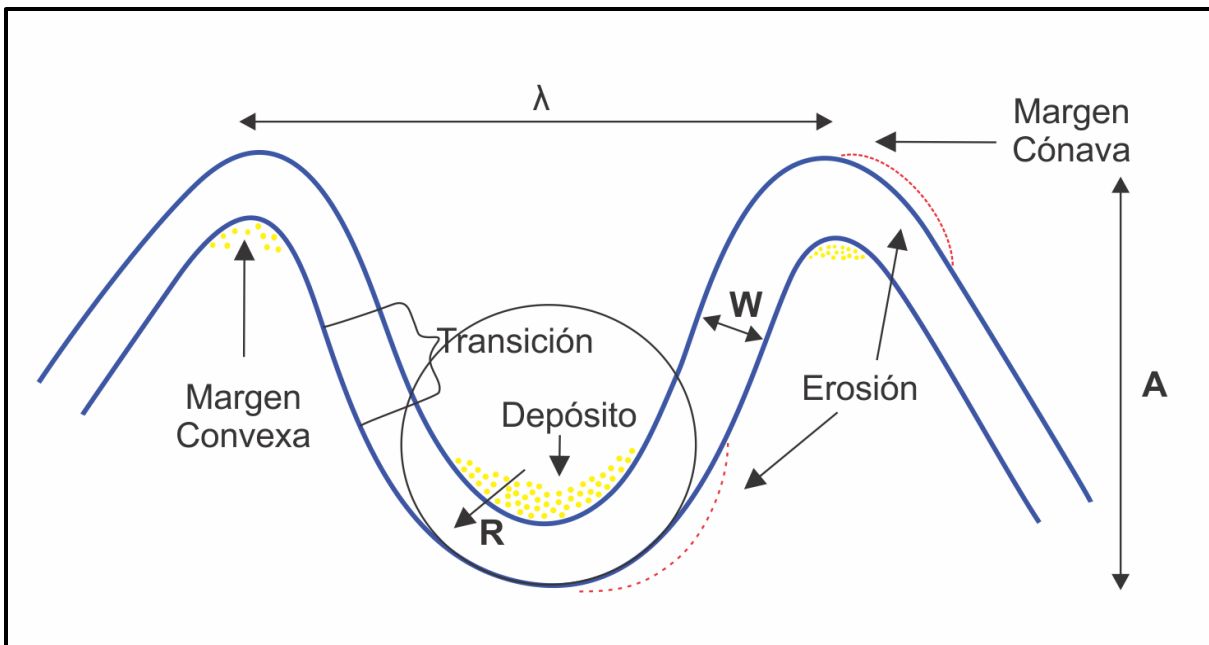


Figura 15. Principales parámetros que definen la geometría de un sistema fluvial de tipo meandriforme. Tomado y modificado de Olivares (2016).

Tabla 3

Parámetros geométricos que definen un sistema fluvial meandriforme.

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	DEFINICIÓN
Longitud de onda ( $\lambda$ )	Longitud del patrón del meandro a lo largo de la línea central del valle o eje de los meandros.

Amplitud o ancho del meandro (A)	Ancho de la cadena de meandros, la cual es medida perpendicularmente al eje de los meandros.
Radio de curvatura (R)	Medida entre dos puntos de inflexión.
Ancho del canal o cauce (W o B)	Ancho medido en el punto de inflexión del meandro.
Curvatura (C)	Se define como la inversa del radio de curvatura.
Sinuosidad	Relación existente entre la longitud del canal y la del valle fluvial (Leopold y Wolman, 1957).
Trenzamiento	Define el número de barras o islas dentro de los canales.

Parámetros geométricos que permiten describir los canales meándricos.

#### **4.3.1.3 Elementos morfológicos de los sistemas fluviales meandriiformes. Depósitos de canal:**

Los canales meándricos presentan una elevada sinuosidad debido a que el ancho del canal se mantiene constante a medida que la sinuosidad incrementa. En vista de planta, el canal se describe como una única línea sinuosa; donde los surcos y umbrales que se forman pueden relacionarse directamente con variaciones en la velocidad y anchura del canal. En caudales bajos, el flujo erosiona principalmente a los surcos, se produce una lenta sedimentación en los umbrales y la erosión amplía las secciones del curso, lo cual disminuye la velocidad media y también la sedimentación del umbral, lo que a su vez conlleva a la generación de un lecho de canal ondulado.

Generalmente, estos depósitos están constituidos de material grueso que los ríos tienen la capacidad de transportar en los periodos de máxima fuerza de las corrientes; dentro del material depositado se encuentran gravas, troncos, materiales vegetales de dimensiones considerables y lodo parcialmente consolidado, que ha sido erosionado de las paredes del canal. Los depósitos de canal suelen tener forma lenticular y su principal característica es la imbricación de los clastos.

### **Barras longitudinales**

Se generan en las áreas internas y convexas de las curvas del canal meándrico, a partir de un flujo en forma de espiral, creado en dicho punto por acción del flujo. Los materiales más gruesos generalmente se depositan en las partes basales de la barra, mientras que los materiales más finos se depositan en la parte superior, dando como resultado la formación de una secuencia granodecreciente, la cual se genera debido a una disminución paulatina de energía que experimenta el flujo a medida que va ascendiendo sobre el margen convexo del canal, lo que se traduce en una disminución vertical del tamaño de grano y posterior aparición de estructuras sedimentarias. La principal característica de las barras longitudinales es la presencia de estratificación cruzada como estructura sedimentaria física.

### **Planicies o llanuras de inundación**

Las llanuras de inundación son superficies aluviales que se ubican en el área adyacente al curso fluvial, en este caso el meandro, y que suelen estar inundadas. Estos depósitos están compuestos por sedimentos que los ríos movilizan por excavación de los canales o por migración lateral; los

sedimentos son finos y han sido depositados por suspensión a partir de las aguas que inundan las planicies adyacentes al canal. En corte, la litología puede variar, reflejando que está siendo afectada por cambios en los procesos de sedimentación (Arche, 2010). Estos depósitos tienden a desarrollar poco espesor, gran cantidad de material vegetal y se caracterizan porque en ellos se puede apreciar bioturbación en una proporción moderada.

### **Desborde de canal**

Estos depósitos se generan cuando las aguas que conforman la corriente principal tienen la capacidad de romper los muros que las están confinando en un curso determinado. La sedimentación por tracción y suspensión ocurre de forma rápida durante el transporte, cuando el agua que está cargada de materiales gruesos y finos pierde su competencia al cesar el confinamiento, dando como resultado la generación de depósitos gradados.

### **Lagos laterales**

Los lagos laterales están compuestos por sedimentos finos, los cuales incluyen arcillas y lodos que han sido incluidos en estos depósitos durante las épocas de inundación. Adicionalmente, los lagos laterales suelen presentar laminación como estructura física sedimentaria, y algunas veces restos de plantas, ostrácodos y moluscos de agua.

**4.3.2 Sistema fluvial de ríos trezados.** Los canales trezados tienen una baja sinuosidad que puede variar entre 1.1 y 1.2; se caracterizan por presentar múltiples canales separados entre sí por

barras longitudinales y transversales a manera de pequeñas islas, en torno a las cuales el flujo se reúne y bifurca alternativamente de acuerdo con la clasificación propuesta por Miall (1977) y Rust (1978), la cual se basa en dos parámetros: sinuosidad y trenzamiento. Este estilo fluvial es muy común en zonas donde caudales altos y esporádicos de agua generan una carga abundante de sedimento, lo cual generalmente ocurre en la parte distal de los abanicos aluviales.

Los sistemas de canales trenzados se definen con base en los diferentes tipos de barras que en ellos se desarrollan, las cuales pueden ser agrupadas en tres tipos básicos: longitudinales, transversales y laterales, también conocidas como braid bars (barras trenzadas). Las barras longitudinales se forman en la parte media de los canales, donde los sedimentos más gruesos (gravas y arenas), se depositan debido a la pérdida de competencia durante el transporte, orientándose con el eje principal, paralelo a la dirección de la corriente. La fracción gruesa del material se deposita en el eje principal y en la parte basal de la barra, tendiendo a generar una secuencia granodecreciente. Las estructuras internas que suelen estar presentes en este tipo de barras son principalmente estratificación masiva y ocasionalmente estratificación horizontal pobremente desarrollada (Boggs, 2006).

Las barras transversales se forman de manera transversal al flujo principal de la corriente, y son típicas de sistemas de ríos trenzados que transportan una carga sedimentaria de mayor tamaño con respecto a los otros tipos de barras trenzadas (*braid bars*); en este tipo de barras se pueden encontrar rizaduras a gran escala por la inclinación característica de las capas. Por otro lado, las barras laterales, son barras muy largas que se desarrollan en áreas de baja energía, a lo largo de las porciones laterales de la corriente principal (Boggs, 2006).

Las barras trenzadas se consideran barras puntuales de doble margen, donde a medida que la corriente se bifurca aguas arriba, la naturaleza helicoidal del transporte sedimentario genera acreción lateral en ambos lados de la barra y una tendencia granodecreciente. Las barras trenzadas pueden migrar aguas abajo, sin embargo, cuando permanecen estables durante un largo periodo de tiempo pueden ser colonizadas por la vegetación, dando lugar a la formación de islas (Boggs, 2006). Asimismo, las llanuras de inundación pueden estar presentes e incluso algunos canales trenzados pueden haberse formado en los sedimentos fangosos de dichas llanuras (Arche, 2010).

La migración lateral de sistemas fluviales trenzados da lugar a depósitos de canales y barras en forma de lámina o cuña (Boggs, 2006). La migración lateral combinada con agradación conlleva a la depositación de areniscas laminares o conglomerados que encierran material más fino, generalmente de tamaño lodo. Por otro lado, múltiples episodios de migración de barras trenzadas producen apilamiento vertical de este tipo de depósitos, generalmente separados por lodolitas.

Las estructuras sedimentarias presentes en este estilo fluvial representan direcciones unidireccionales de paleocorrientes que tienden a ser más variables en los depósitos de ríos meándricos que en los de tipo trenzados (Boggs, 2006). La sucesión vertical de facies está constituida principalmente por arenas con estratificación cruzada planar, acompañadas de forma ocasional por estratificación cruzada en surco y ripples, por lo tanto, son secuencias producidas por la migración dentro de los canales de barras alternas. Dado que el canal puede presentar una cierta sinuosidad, pueden desarrollarse también superficies de acreción lateral, sin embargo, la principal característica del sistema son los elementos de acreción frontal debido a la migración de

las barras alternas. Los depósitos fluviales pueden contener una variedad de partes fósiles de animales terrestres, así como vestigios de plantas (Arche, 2010).

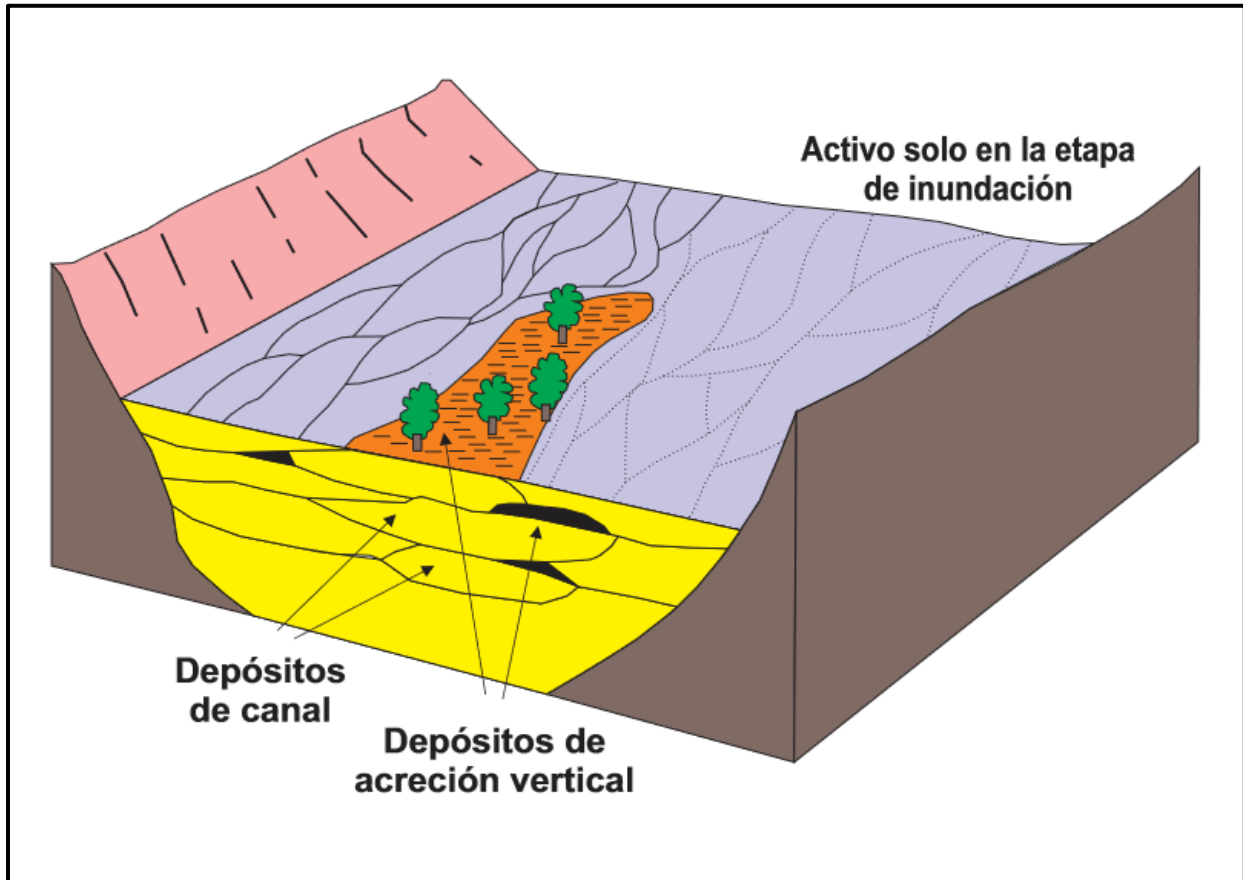


Figura 16. Representación esquemática de la arquitectura fluvial de depósitos fluviales de ríos trenzados. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía.

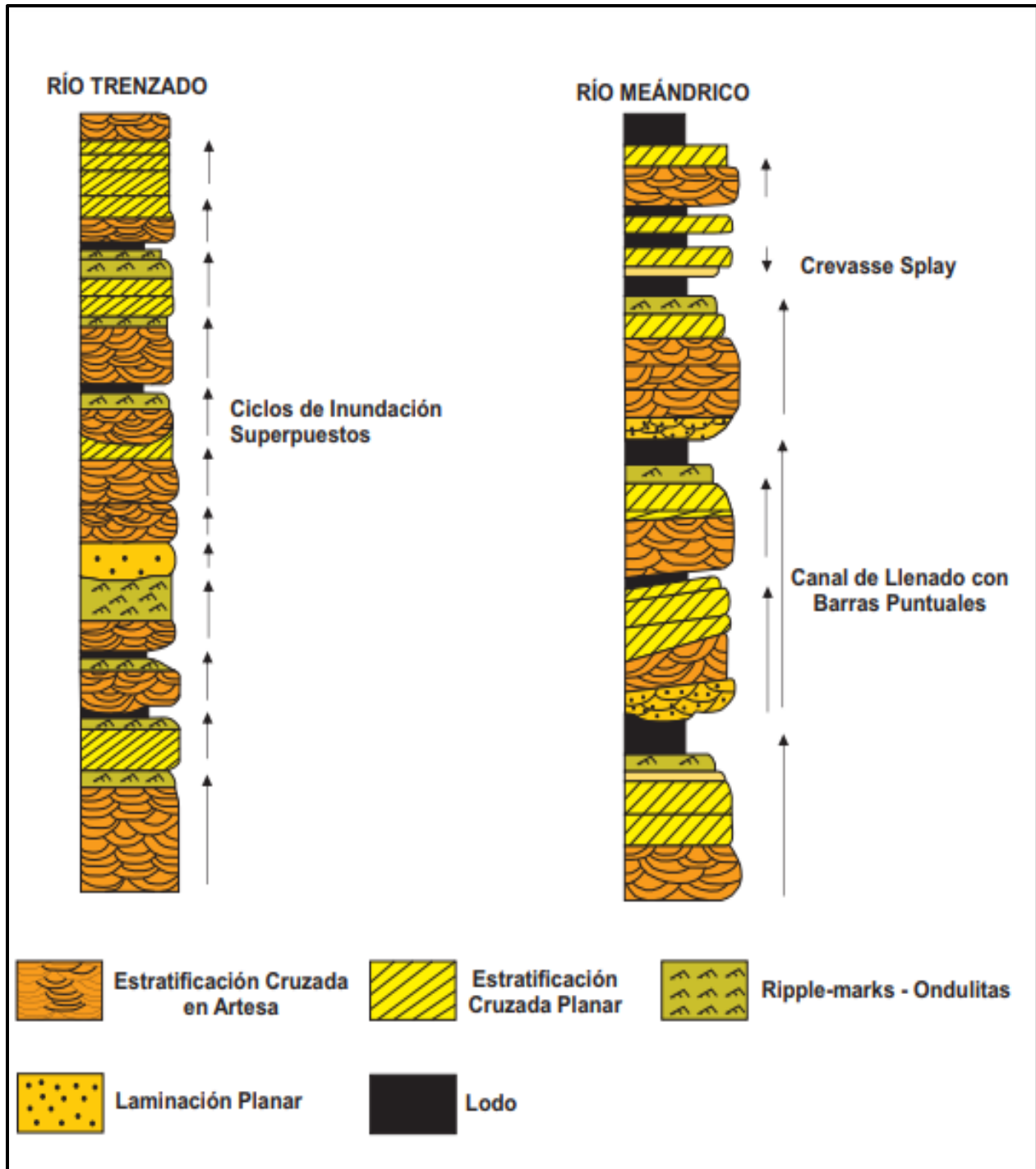


Figura 17. Ejemplo de litofacies y perfiles verticales en los sedimentos de A) río trezado y B) río meándrico. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía.

**4.3.3 Sistemas de abanicos aluviales.** Los abanicos aluviales generalmente se hallan localizados en zonas donde se produce una ruptura significativa de pendiente, por lo que son particularmente comunes en áreas de alto relieve, por lo regular, a la base de un relieve montañoso (cordillera central) que actúa como área fuente (Arche, 2010). A lo largo de un frente de montaña, los abanicos aluviales tienen la capacidad de desarrollar un sistema adyacente de drenajes que pueden fusionarse lateralmente para formar un amplio piedemonte (Boggs, 2006).

Estos sistemas se desarrollan tanto en regiones áridas como semi-áridas con vegetación escasa, donde el transporte de sedimentos ocurre con poca frecuencia, pero con gran violencia durante aguaceros repentinos, y en las áreas más húmedas donde la lluvia es intensa. En regiones húmedas, los abanicos aluviales pueden fusionarse cuesta abajo con llanuras aluviales o fluviales (Boggs, 2006).

**4.3.3.1 Proceso depositacional.** Sobre la base del proceso depositacional, los abanicos aluviales se pueden dividir principalmente en abanicos dominados por flujos de detritos (debris flow) y abanicos dominados por flujo de corriente (stream flow). Sin embargo, los flujos de lodo y deslizamiento de tierra son procesos significativos en el transporte y depositación de depósitos de abanico aluvial (Arche, 2010).

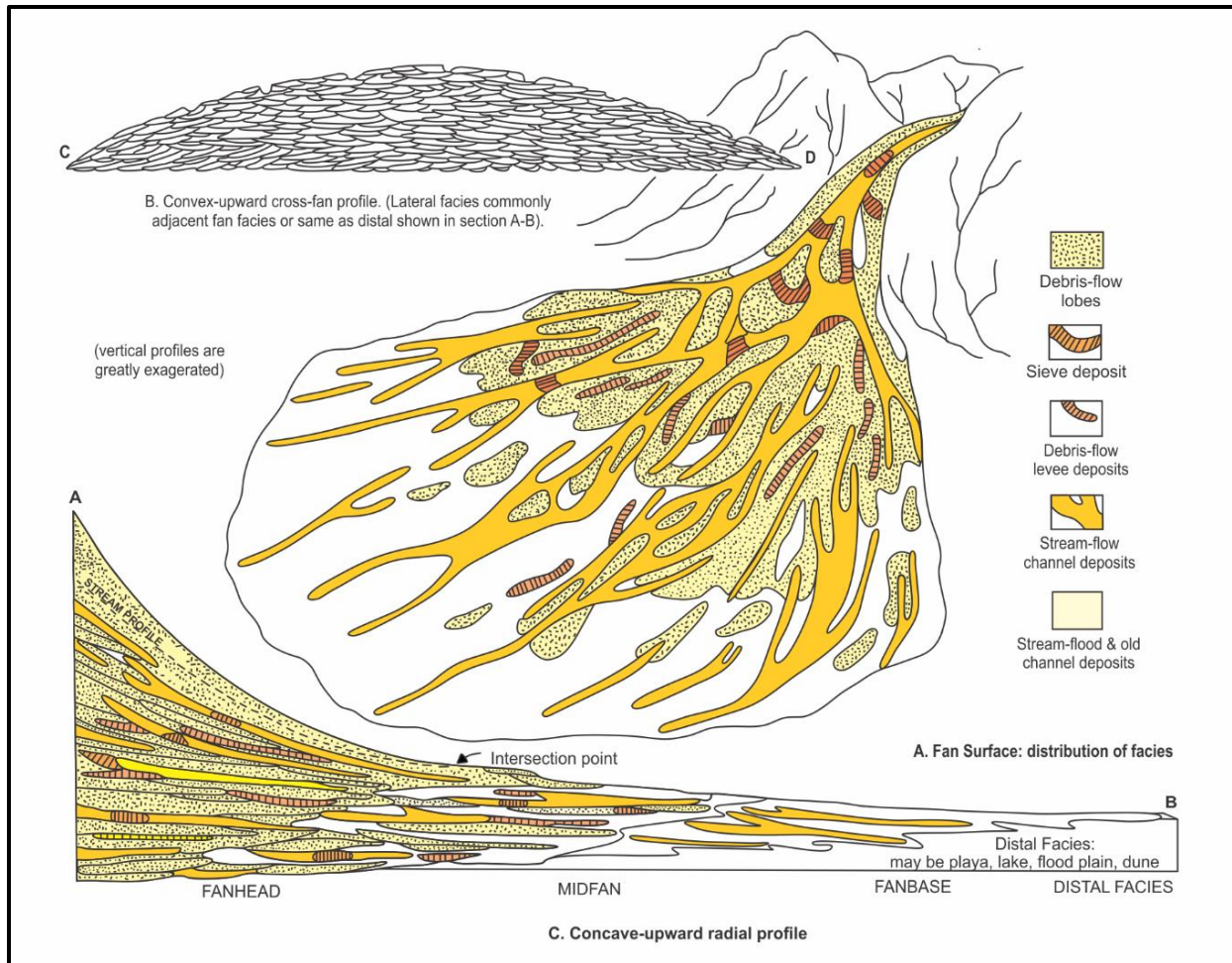


Figura 18. Superficies típicas de abanicos aluviales. A) Superficie de abanico. B) Perfil transversal del abanico. C) Perfil longitudinal. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía.

El flujo de corriente permite la depositación de dos tipos de depósitos: sedimentos de canales aluviales y depósitos de tamiz. Los sedimentos de canales aluviales se acumulan dentro de los canales de corrientes que desembocan en los abanicos; dando lugar a cuerpos largos y estrechos formados por el material de granulometría más gruesa y pobremente seleccionada. Los depósitos de tamiz están constituidos por lóbulos de grava gruesa y generalmente se desarrollan en abanicos donde el aporte de material fino por parte de la fuente se puede considerar muy bajo. En su mayoría, estos depósitos se constituyen de grava altamente permeable (Boggs, 2006).

Los flujos de escombros y lodo, comunes en regiones áridas o semiáridas también pueden ocurrir en zonas donde hay una abundante cantidad de material vulcanoclástico no consolidado. Estos depósitos se caracterizan por ser pobremente seleccionados y no presentar estructuras sedimentarias, por lo que se pueden encontrar bloques de varios tamaños y dimensiones. Asimismo, son impermeables y no porosos debido a su alto contenido de matriz lodosa. Los flujos de lodo se diferencian de los flujos de escombros, en que los depósitos que se forman están constituidos por sedimentos tamaño arena y de granulometrías más finas (Boggs, 2006).

**4.3.3.2 Características de los depósitos de abanico aluvial.** Los abanicos aluviales disponen de una geometría distintiva que se aproxima a la forma de un cono en vista de planta, perfil convexo en sección transversal y perfil cóncavo en sección radial, con un sistema bien desarrollado de canales distributarios sinuosos a anastomosados que sugieren una dispersión radial de las principales paleocorrientes. En función del perfil radial, los abanicos pueden dividirse en tres zonas: proximal, media y distal (Boggs, 2006).

### **Abanico Proximal**

La zona proximal o cabecera del abanico se caracteriza por presentar los materiales de granulometría más gruesa. En esta zona, los flujos fluviales tienden a ser confinados a canales individuales, y el desborde de estos puede ocurrir por obstrucción de canal causada por depósitos de flujo acuosos fluviales o masivos de escombros (Arche, 2010). Estos depósitos consisten en conglomerados ricos en matriz y algunos conglomerados clasto soportados pueden ocurrir en los canales de tipo fluvial. La deposición rápida implica un mal desarrollo de fábricas y texturas

sedimentarias específicas, de manera que los sedimentos clásticos generalmente son muy angulosos y están muy mal seleccionados (Boggs, 2006).

### **Abanico Medio**

La zona media del abanico se caracteriza por tener una pendiente suave y granulometrías intermedias, donde una red de canales someros alimenta diferentes partes de esta zona. Del cuerpo interno o abanico proximal, proceden algunos episodios masivos y flujos acuosos densos altamente energéticos (Arche, 2010). El cuerpo externo o abanico medio se caracteriza por facies que han sido transportadas mediante corrientes acuosas, que pueden redondear los clastos por impacto y realizar alguna selección granulométrica de los mismos, por esta razón, es común encontrar que las gravas que están dentro de los conglomerados fluviales desarrollen imbricación. Los materiales han sido transportados mediante formas de fondo (barras) que proporcionan una morfología general de tipo trenzado al cauce mayor (Boggs, 2006).

### **Abanico Distal**

En la zona distal o pie del abanico se encuentran las pendientes más suaves, las granulometrías más finas, ausencia de canales o completo desarrollo de estos con una mejor selección (Boggs, 2006). La zona interna del pie del abanico corresponde a la parte más alta y se caracteriza por tener materiales con geometría lenticular (canalizados), procedentes del cuerpo externo del abanico (Arche, 2010). Las facies predominantes son intercalaciones de arenas y limos, que pueden llegar a mostrar una tendencia secuencial granocreciente (negativa) y algunas capas delgadas de

conglomerados. En la zona intermedia y externa del pie del abanico existe una sedimentación predominante de materiales terrígenos finos, donde esporádicamente se intercalan algunos lentejones de materiales de granulometría más gruesa. En el pie del abanico se puede desarrollar estratificación cruzada de bajo ángulo y en artesa (Boggs, 2006).

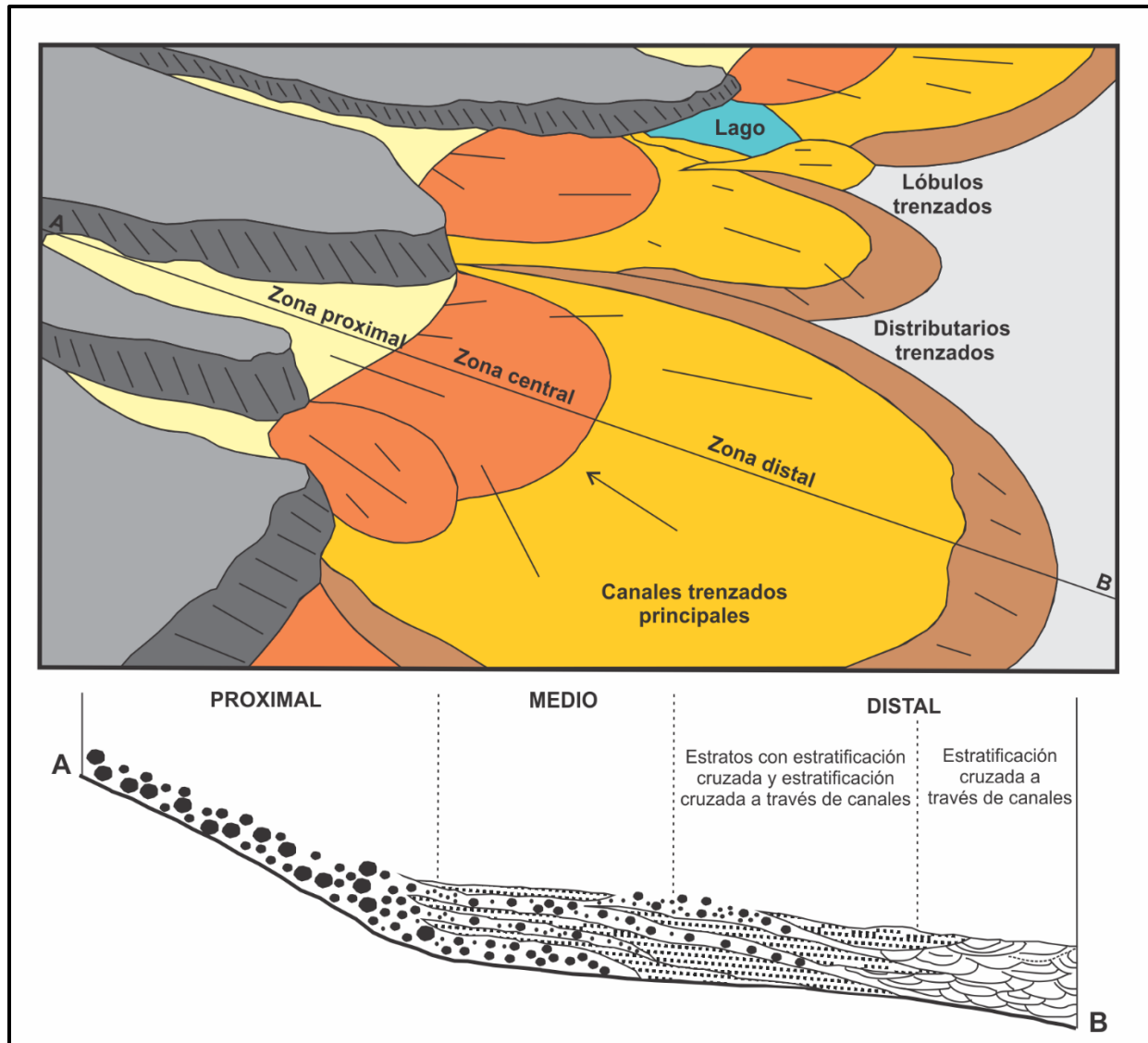


Figura 19. Facies y estructuras sedimentarias que representan un sistema de abanico aluvial en la Arenisca Van Horn, Texas. Tomado y modificado de Boggs (2006). Principios de sedimentología y estratigrafía.

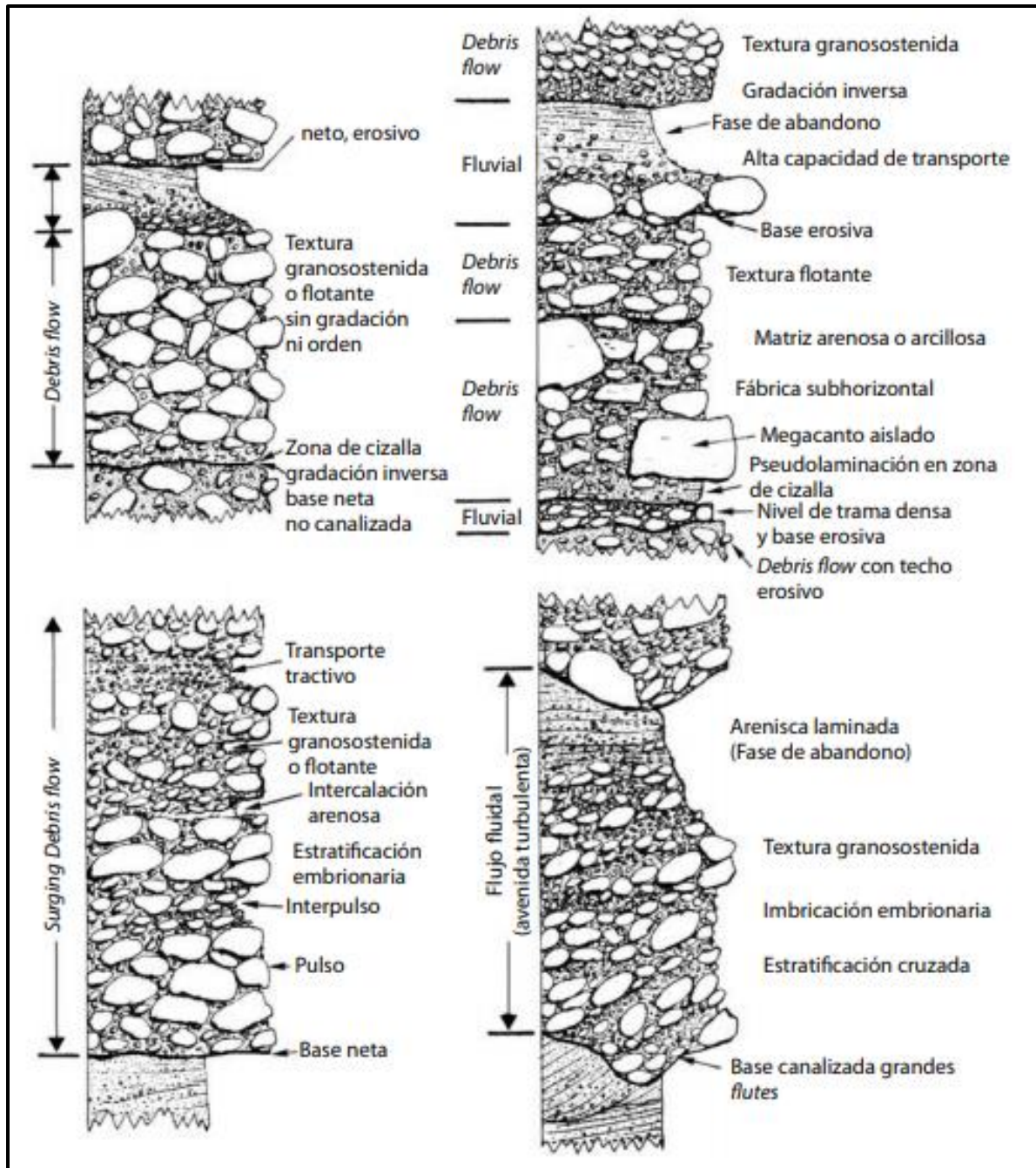


Figura 20. Principales características que muestran los depósitos masivos (debris flow) y otras facies asociadas. Las potencias pueden variar entre pocos decímetros y algunos metros. Tomado de Boggs (2006).

### 5. Modelo Sedimentológico

#### 5.1 Metodología

La metodología empleada durante la realización del modelo sedimentológico se basa en la interpretación de los núcleos descritos, con el firme propósito de alcanzar los diferentes objetivos propuestos para el presente trabajo de investigación. Esta metodología permite determinar las facies, asociaciones de facies, y con base en esta información, definir los ambientes de depósito para las formaciones La Paz y Mugrosa en los pozos YG-A, YG-B, YG-C, YG-D, YG-E, YG-F, YG-G, YG-H, YG-I, YG-J y YG-K; CGT-A, CTG-B, CTG-C, CTG-D, CTG-E, CTG-F, CTG-G, CGT-H, CTG-I, CTG-J.

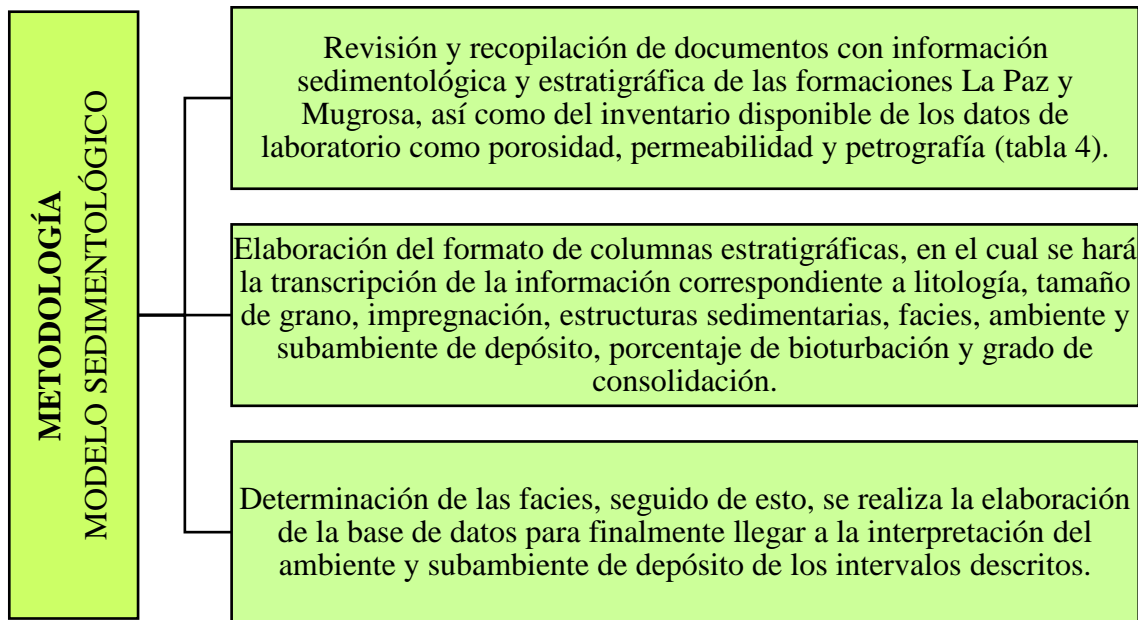


Figura 21. Representación esquemática de la metodología empleada para la realización del presente trabajo de investigación.

Tabla 4

*Inventario de núcleos y secciones delgadas.*

POZO	PIES	DRX		SEM	PETROGRAFIA
		Bulk	< 2 micras		
Cantagallo-A	82.58	---	---	---	---
Cantagallo-B	4.13	---	---	---	---
Cantagallo-C	18.34	---	---	---	---
Cantagallo-D	83.3	---	---	---	---
Cantagallo-E	70.05	---	---	---	---
Cantagallo-F	6.53	---	---	---	---
Cantagallo-G	86.18	9	9	---	---
Cantagallo-H	26.8	---	---	---	---
Cantagallo-I	58.78	---	---	---	---
Cantagallo-J	223.5	12	12	12	---
Yariguí-A	733.13	8	8	8	8
Yariguí-B	259.5	2	2	2	7
Yariguí-C	6.68	---	---	---	---
Yariguí-D	37.4	---	---	---	---
Yariguí-E	79.8	6	6	6	6
Yariguí-F	99.6	8	8	6	9
Yariguí-G	147.39	12	12	11	10
Yariguí-H	125.54	7	7	7	7
Yariguí-I	112.709	31	31	31	31
Yariguí-J	177.4	13	13	13	13
Yariguí-K	234.94	16	16	16	16

Información de núcleos y secciones delgadas Campo del Valle Medio del Magdalena. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).


















**5.1.1 Parámetros empleados en la descripción de núcleos.** La descripción sedimentológica de los núcleos corazonados se desarrolló en formatos a escala 1:10. En los formatos empleados se registró información de parámetros previamente definidos tales como: granulometría con base a la clasificación de Wentworth (1922); composición según Folk (1974); aspectos texturales de la roca como redondez; selección, presencia de matriz o cemento según Dott (1964); estructuras sedimentarias según Reineck & Singh (1980); color de la roca con base a la “Rock Color Chart”,

la cual emplea el sistema de color Munsell (2009) y estructuras biogénicas según Pemberton (1992).

- ✓ En la descripción litológica, a cada uno de los achurados se asignaron colores específicos, los cuales van a representar el color real de la roca dentro de la columna estratigráfica (tabla 5). Adicionalmente, las diferentes litologías encontradas son agrupadas con base a sus características como roca reservorio en ocho diferentes tipos (tabla 6).

Tabla 5

*Convenciones empleadas en la realización de columnas estratigráficas.*

<b>Achurados Rocas Siliciclásticas</b>			
	Arenisca		Arcillolita
	Arenisca lodosa		Limolita calcárea
	Arenisca conglomerática		Arcillolita calcárea
	Conglomerado		Limolita
	Arenisca calcárea		Limolita arenosa
<b>Color</b>			
	Crema		Gris claro
	Rojizo		Gris medio
	Verdoso		Gris oscuro
	Varicoloreado		

Convenciones de roca utilizadas en la descripción litológica.

Tabla 6

*Clasificación litológica por potencial de acumulación de hidrocarburo.*

ID	Característica de la Roca
7	Llanuras de inundación y lagos (lodolitas verdosas, gris verdosas y café rojizas).
6	Facies de abandono de canal (lodolitas grises laminadas, ocasionalmente intercaladas con láminas de areniscas)
5	Desbordes de canal y/o abanicos aluviales (areniscas de granos tamaño fino, muy fino, ocasionalmente medio).
2	Parte media a alta del canal (areniscas de granos tamaño fino, muy fino, ocasionalmente medio).
1	Parte media a baja del canal (arcosa lítica a litoarenita feldespática, de tamaño de grano medio, ocasionalmente grueso).
3	Lag deposit (litoarenita feldespática y conglomerado muy grueso, ocasionalmente grueso).
4	Lag deposit con contenido calcáreo (litoarenita feldespática calcárea y conglomerado muy grueso, ocasionalmente grueso).
8	Roca volcanoclástica calcárea y vulcanismo calcofélsico, aumento en el contenido de fragmentos volcánicos de tamaños grueso a medio.

Agrupación de las litologías con base en su potencial de acumulación de hidrocarburos.

- ✓ El porcentaje de bioturbación presente en la roca se define con base en la clasificación de Pemberton (1992) (tabla 7).
  
- ✓ El grado de impregnación presente en la roca se determina mediante una estimación cualitativa por inspección visual, en la cual se clasifica la impregnación como baja, moderada y alta en función de la presencia de hidrocarburo observado en la roca (tabla 8).

- ✓ El grado de consolidación de la roca se determinó con base en la clasificación de Compton (1985), dichos parámetros se presentan en la tabla 9. Este criterio se encuentra consignado dentro de la casilla de observaciones que hace parte del formato de columnas estratigráficas empleadas en la presente metodología.

Tabla 7

*Grado de bioturbación y porcentaje equivalente.*

Índice	Grado de Bioturbación	Porcentaje Equivalente
0	Sin bioturbación	0%
1	Muy ligeramente bioturbada	1-5%
2	Ligeramente bioturbada	6-30%
3	Moderadamente bioturbada	31-60%
4	Altamente bioturbada	61-90%
5	Intensamente bioturbada	91-99%
6	Completamente bioturbada	100%

Porcentajes de bioturbación asociado al grado de bioturbación que puede presentar una roca. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Tabla 8

*Grado de impregnación de la roca.*



Nomenclatura asociada al grado de impregnación de la roca. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Tabla 9

*Clasificación del grado de consolidación propuesto por Compton.*

Grado de Consolidación	Descripción
Suelto	Roca no consolidada (arena).
Muy friable	La roca se desmenuza al contacto con las manos.
Friable	La roca se rompe al ejecutar una presión moderada con las manos.
Ligeramente friable	La roca soporta presión con las manos, pero con mayor presión se disgrega.
Consolidada	La roca se rompe únicamente con el golpe de un martillo.

Clasificación de Compton del grado de consolidación de las rocas y las características que la definen. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

**5.1.2 Información de núcleos.** En el presente proyecto de grado se realiza la interpretación de los núcleos previamente descritos con el fin de elaborar el modelo sedimentológico para las formaciones reservorio La Paz y Mugrosa. Se incluye la descripción de un total de veintiún (21) pozos, de los cuales once (11) de ellos se encuentran localizados en Yariguí y diez (10) de ellos en Cantagallo; cada uno de estos pozos aporta información precisa al registro sedimentario del campo del Valle Medio del Magdalena, con el fin de cubrir todas las unidades operaciones definidas y así observar los cambios laterales de facies encontrados a lo largo del área de estudio.

Tabla 10

*Información de pozos corazonados para el campo Yariguí-Cantagallo.*

Pozo	Unidad Operacional	Intervalo		Pies Descritos	TVD	Estado del Núcleo
		Tope	Base			
Cantagallo-A	B2, B3, C	4485	5311.5	82.58	73.58	Malo
Cantagallo-B	B1, B2	3280.4	3593	4.13	3.80	Bueno
Cantagallo-C	B2, C3, CG1	5304	6925.18	18.34	16.88	Bueno
Cantagallo-D	B2, B3, C4, CG6	2311	6748	83.3	76.68	Regular
Cantagallo-E	B3, CG3, C1, CG2A, CG3, CG4	5017	8890	70.05	65.83	Regular
Cantagallo-F	B2, CG6	5124	6929	6.53	6.14	Bueno
Cantagallo-G	B2, C4, CG1, CG2, CG2A, CG3, CG4, CG5, CG6	5225	6430	86.18	80.98	Regular
Cantagallo-H	C4, CG8	6550	7837	26.8	24.29	Malo
Cantagallo-I	CG3, CG5, CG7, CG8	6550	7837	58.78	52.37	Regular
Cantagallo-J	B3, C4, CG1, CG1a, CG2	5580	6928	223.51	199.15	Bueno
Yarigui-A	C4, C5, C6, CG, CG1, CG1a, CG2, CG2a, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8	6539	6723	733.13	653.22	Malo
Yarigui-B	C5, CG, CG1, CG1a, CG2, CG2a	6680	8812	259.5	231.22	Malo
Yarigui-C	CG1a, CG2a	6938	7681	6.68	5.95	Regular
Yarigui-D	CG1a, CG2, CG4	7916.5	8280	37.4	33.32	Regular
Yarigui-E	CG1a, CG2	7849	7983.2	79.8	71.10	Bueno
Yarigui-F	B3, C, CG3, CG5	5250	7333.5	99.6	88.74	Bueno
Yarigui-G	CG1a, CG2	7700	7862.47	147.39	131.33	Bueno
Yarigui-H	CG1, CG1a, CG2	6539	6723	125.54	111.86	Bueno
Yarigui-I	CG1, CG1a	7580	7735	112.709	100.42	Bueno
Yarigui-J	CG1a, CG2, CG2a	8325	8548.87	177.4	158.06	Bueno
Yarigui-K	CG1, CG1a, CG2	7752	8016	234.94	209.33	Bueno

Pozos corazonados, unidades operacionales en las cuales fueron corazonados y las principales características asociadas. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

**5.1.3 Secciones delgadas.** Adicionalmente, se incluyen 125 secciones delgadas que proporcionan información acerca de las formaciones reservorio, de estas secciones cuatro (4) corresponden a la formación Mugrosa (unidad operacional B3) y las demás secciones corresponden a la formación La Paz. Dentro de las 124 secciones restantes, una (1) pertenece a la unidad operacional CG6, una (1) a la unidad operacional CG4, dos (2) a la unidad operacional CG3, tres (3) a la unidad operacional CG5, siete (7) a la unidad operacional CG, nueve (9) a la unidad operacional CG2A, veinte (20) a la unidad operacional CG2, veintitrés (23) a la unidad

operacional CG1, y cincuenta y cinco (55) a la unidad operacional CG1A. Es importante resaltar que cada una de las secciones delgadas representan una facies (tabla 11).

Tabla 11

*Facies asociadas a los pozos del campo Yariguí-Cantagallo.*

ID	POZO	UD. OPERACIONAL	PROFUNDIDAD	FACIES
1	YG-I	CG1	7586.5	S-x
2	YG-I	CG1	7598.5	S-x
3	YG-I	CG1	7612.5	gS-x
4	YG-I	CG1	7613.5	gS-x
5	YG-I	CG1	7614.5	gS-x
6	YG-I	CG1	7615.5	gS-x
7	YG-I	CG1	7616.54	gS-x
8	YG-I	CG1A	7649.25	S-x
9	YG-I	CG1A	7651.5	S-x
10	YG-I	CG1A	7654.5	S-x
11	YG-I	CG1A	7655.5	gS-x
12	YG-I	CG1A	7656.5	S-x
13	YG-I	CG1A	7657.5	S-x
14	YG-I	CG1A	7661.5	S-x
15	YG-I	CG1A	7662.5	S-x
16	YG-I	CG1A	7663.25	G-x
17	YG-I	CG1A	7668.5	sG
18	YG-I	CG1A	7670.5	M
19	YG-I	CG1A	7675.25	mS-biot
20	YG-I	CG1A	7676.5	S-x
21	YG-I	CG1A	7677.5	gS-imb
22	YG-I	CG1A	7678.5	gS-imb
23	YG-I	CG1A	7680.5	S-x
24	YG-I	CG1A	7681.5	gS-imb
25	YG-I	CG1A	7692.5	G-x
26	YG-I	CG1A	7703.25	S-x
27	YG-I	CG1A	7707.5	gS-x-ca

ID	POZO	UD. OPERACIONAL	PROFUNDIDAD	FACIES
28	YG-I	CG1A	7710.25	sG
29	YG-I	CG1A	7720.5	S-x
30	YG-I	CG1A	7725.25	sG
31	YG-I	CG1A	7731.5	G-x
32	YG-F	B3	5255.71	S-biot
33	YG-F	B3	5259.67	sG
34	YG-F	B3	5261.5	S-biot
35	YG-F	B3	5273.88	S-lam
36	YG-F	CG3	6728.5	S-biot
37	YG-F	CG5	7294.5	S-x-ca
38	YG-F	CG5	7312.5	S-x-biot
39	YG-F	CG5	7324.33	S-biot
40	YG-G	CG2	7755.29	S-x
41	YG-G	CG2	7756.33	S-x
42	YG-G	CG2	7760.5	S-x
43	YG-G	CG2	7763.5	gS-x
44	YG-G	CG2	7770.79	S-x
45	YG-G	CG2	7779.67	M
46	YG-G	CG2	7789.67	sG
47	YG-G	CG2	7801.5	gS-x
48	YG-G	CG2	7809.29	gS-x
49	YG-G	CG2	7853.33	S-x-biot
50	YR-A	CG	7091.2	S-lam-biot
51	YR-A	CG	7127.7	S-biot
52	YR-A	CG	7129.1	S-biot
53	YR-A	CG	7132.9	S-biot
54	YR-A	CG1	7176.3	S-biot
55	YR-A	CG1	7182.3	S-biot
56	YR-A	CG1	7185.2	S-biot
57	YR-A	CG1	7193.1	S-biot
58	YR-A	CG1	7200.1	gS-x-ca
59	YR-A	CG1	7256.1	S-x
60	YR-A	CG1A	7450.99	S-biot
61	YR-A	CG1A	7456.9	S-biot
62	YR-A	C6	6937.42	S-x
63	YR-A	CG	7035.25	S-biot
64	YR-A	CG1	7229.25	S-biot
65	YR-A	CG1A	7425.67	sG

ID	POZO	UD. OPERACIONAL	PROFUNDIDAD	FACIES
66	YR-A	CG1A	7437.75	gS-imb
67	YR-A	CG2A	7702.75	S-x
68	YR-A	CG3	7786.58	S-x
69	YR-A	CG4	7885.67	S-x
70	CG-G	CG1	6115.2	S-biot
71	CG-G	CG1	6121	S-biot
72	CG-G	CG1	6124.4	S-biot
73	CG-G	CG1	6127.9	sG
74	CG-G	CG1	6130.4	S-biot
75	CG-G	CG1	6131.4	S-biot
76	CG-G	CG2A	6480.4	S-x
77	CG-G	CG2A	6483.6	S-x
78	CG-G	CG2A	6487.4	S-x
79	YR-B	CG	7125.3	S-biot
80	YR-B	CG	7136.3	S-biot
81	YR-B	CG1	7251.3	S-x
82	YR-B	CG1	7256.4	S-x
83	YR-B	CG1	7268.3	S-x
84	YR-E	CG1A	7882.33	S-x
85	YR-E	CG1A	7886.5	S-x
86	YR-E	CG1A	7887.5	S-x
87	YR-E	CG2	7934.5	S-lam
88	YR-E	CG2	7935.5	M
89	YR-E	CG2	7961.5	sG-x
90	YR-H	CG1A	6622.5	S-biot
91	YR-H	CG1A	6658.5	S-x
92	YR-H	CG1A	6668.5	S-lam
93	YR-H	CG1A	6697.5	S-biot
94	YR-H	CG2	6718.5	S-biot
95	YR-H	GG2	6719.5	S-biot
96	YR-H	CG2	6720.21	S-biot
97	YR-J	CG1A	8348.79	S-lam
98	YR-J	CG1A	8349.5	S-lam
99	YR-J	CG1A	8350.5	S-lam
100	YR-J	CG1A	8357.5	S-biot
101	YR-J	CG1A	8358.5	S-biot
102	YR-J	CG1A	8375.25	S-lam
103	YR-J	CG1A	8376.5	S-lam
104	YR-J	CG1A	8404.5	gS-x

ID	POZO	UD. OPERACIONAL	PROFUNDIDAD	FACIES
105	YR-J	CG2A	8427.5	S-x
106	YR-J	CG2A	8451.08	sG
107	YR-J	CG2A	8497.5	S-x
108	YR-J	CG2A	8498.5	S-x
109	YR-J	CG2A	8501.25	sG
110	YR-K	CG1A	7761.5	S-x
111	YR-K	CG1A	7762.5	S-x
112	YR-K	CG1A	7799.29	S-x
113	YR-K	CG1A	7902.5	S-x
114	YR-K	CG1A	7903.71	S-x
115	YR-K	CG1A	7904.5	S-x
116	YR-K	CG1A	7749.5	S-x
117	YR-K	CG1A	7950.5	S-x
118	YR-K	CG1A	7951.5	S-x
119	YR-K	CG1A	7958.5	S-x
120	YR-K	CG1A	7959.5	S-x
121	YR-K	CG1A	7969.5	S-x
122	YR-K	CG2	7985.33	S-x
123	YR-K	CG2	7986.5	S-x
124	YR-K	CG2	7987.5	S-x
125	YR-K	CG2	8005.5	S-x

Secciones delgadas reportadas en los informes de petrografía; se relaciona la profundidad, unidad operacional y facies de estas. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

**5.1.4 Definición de facies.** Las facies se definieron con base en la nomenclatura propuesta por Farrell (2012). De acuerdo con el autor, el primer símbolo se asocia a una letra mayúscula que indica la granulometría predominante en la roca, el segundo signo corresponde a una palabra escrita en minúscula, la cual hace referencia a las estructuras físicas, y finalmente, la tercera palabra igualmente escrita en minúscula indica los procesos de bioturbación. Cada uno de los símbolos que conforman dicha nomenclatura se encuentran separados por guiones (-) y en caso de intercalaciones, las diferentes litologías se separan mediante un slash (/).

Los códigos definidos para las características texturales de la roca incluyen cinco clases litológicas y cuatro clases adicionales que hacen referencia a las estructuras sedimentarias y biogénicas.



Figura 22. Ejemplo de una arenisca con relictos de laminación y bioturbación que representa los códigos empleados para la definición de facies. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Tabla 12

*Códigos de facies empleados en el campo Yariguí-Cantagallo.*

Característica Textural		Estructura Sedimentaria		Estructura Biogénica	
<b>M</b>	Lodolita	<b>lam</b>	Laminación	<b>biot</b>	Bioturbación
<b>mS</b>	Arenisca lodosa	<b>x</b>	Estratificación cruzada		
<b>S</b>	Arenisca	<b>imb</b>	Imbricación		
<b>gS</b>	Arenisca conglomerática				
<b>G</b>	Conglomerado				

Códigos de facies empleados en la descripción de núcleos del campo Yariguí-Cantagallo. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

**5.1.5 Descripción de las facies sedimentarias.** De acuerdo con los parámetros empleados en la descripción de núcleos se definieron 19 facies sedimentarias (tabla 13). Las facies identificadas

fueron agrupadas por formación, color representativo, ambiente de depósito y las propiedades como roca almacenadora de hidrocarburos.

Tabla 13

*Facies identificadas en el campo Yariguí-Cantagallo.*

<b>Tipo Roca</b>	<b>Facies</b>	<b>Descripción</b>
7	M	Lodolita.
7	M-biot	Lodolita bioturbada.
6	M-lam-biot	Lodolita con relictos de laminación y bioturbación.
6	M-lam	Lodolita laminada.
5	mS-biot	Arenisca lodosa bioturbada.
5	mS-lam	Arenisca lodosa laminada.
5	S-biot	Arenisca bioturbada.
2	S-lam-biot	Arenisca con relictos de laminación y bioturbación.
2	S-lam	Arenisca laminada.
1	S-x-biot	Arenisca con relictos de estratificación cruzada y bioturbación.
1	S-x	Arenisca con estratificación cruzada.
4	S-x-ca	Arenisca calcárea con estratificación cruzada.
1	gS-x	Arenisca conglomerática con estratificación cruzada.
4	gS-x-ca	Arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada.
3	gS-imb	Arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imb.
3	sG	Conglomerado arenoso.
3	G-x	Conglomerado con estratificación cruzada.
4	G-x-ca	Conglomerado calcáreo con estratificación cruzada.
8	Tb	Toba y/o roca vulcano-sedimentaria.

El color de la roca se relaciona con su calidad como reservorio de hidrocarburos. Cafés, facies conglomeráticas; cremas, facies de baja calidad; azules, facies cementadas; amarillas, facies de arenas con buenas características de roca reservorio; grises y vino tinto, facies no prospectivas.

**5.1.6 Facies de la formación La Paz.** En la formación La Paz del campo Yariguí-Cantagallo, se encuentran la totalidad de las facies identificadas y mencionadas anteriormente, es decir, un total de 19 facies en 2504,03ft, pertenecientes a los pozos CTG-A, CTG-C, CTG-D, CTG-E, CTG-F, CTG-G, CTG-H, CTG-I, CTG-J, YG-H, YG-I, YG-C, YG-D, YG-E, YG-F, YG-G, YG-J, YG-K. Cabe resaltar que las facies asociadas a la formación son predominantemente arenosas y se encuentran amalgamadas mostrando una alta conectividad entre ellas.

✓ **Volcano-sedimentaria o Toba (Tb)**



*Figura 23.* Facies volcano-sedimentaria o toba (Tb), pozo CTG-I, profundidad de 7183ft, espesor total en la formación de 14,55ft. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

Se presentan como rocas volcano-sedimentarias de color rojo pálido (10R 6/2), naranja rojizo moderado (10R 6/6), rojo grisáceo (5R 4/2) y morado rojizo grisáceo (5RP 4/2). La roca presenta

cristales visibles, suele tener estratificación cruzada como estructura interna y evidencia de fragmentos líticos ígneos y volcánicos. La facies representa un espesor de 1ft en el pozo CTG-I, 11.25ft en YG-A y 2.3ft en YG-B para un espesor total de 14.55ft.

✓ **Conglomerado con estratificación cruzada (G-x)**

Conglomerado matriz soportado color marrón amarillento (10YR 5/4), amarillo oscuro (5Y 7/6) y marrón amarillento oscuro (10YR 4/2), de granos angulares a subangulares, moderadamente seleccionados. Presenta clastos de hasta 2cm, líticos volcánicos de tonalidades rojizas-verdosas y líticos sedimentarios. Adicionalmente, se observa estratificación cruzada como estructura física interna (Figura 24B). La facies presenta un espesor de 15.85ft en el pozo CTG-J, 12.81ft en YG-A, 3.7ft en YG-B, 7.5ft en YG-E, 8.47ft en YG-H, 7.06ft en YG-I y 7.08ft en YG-J para un espesor total de 76.83ft en la formación.

✓ **Conglomerado con estratificación cruzada y cemento calcáreo (G-x-ca)**

Conglomerado matriz soportado de color blanco (N9), con guijos subangulares a subredondeados mal seleccionados, presencia de líticos volcánicos y sedimentarios en menor proporción. La roca presenta cemento calcáreo y estratificación cruzada como estructura sedimentaria física. La facies presenta un espesor de 0.6ft en el pozo YG-B, 0.93ft en YG-G y 1.83ft en YG-I para un espesor total de 3.37ft en la formación.

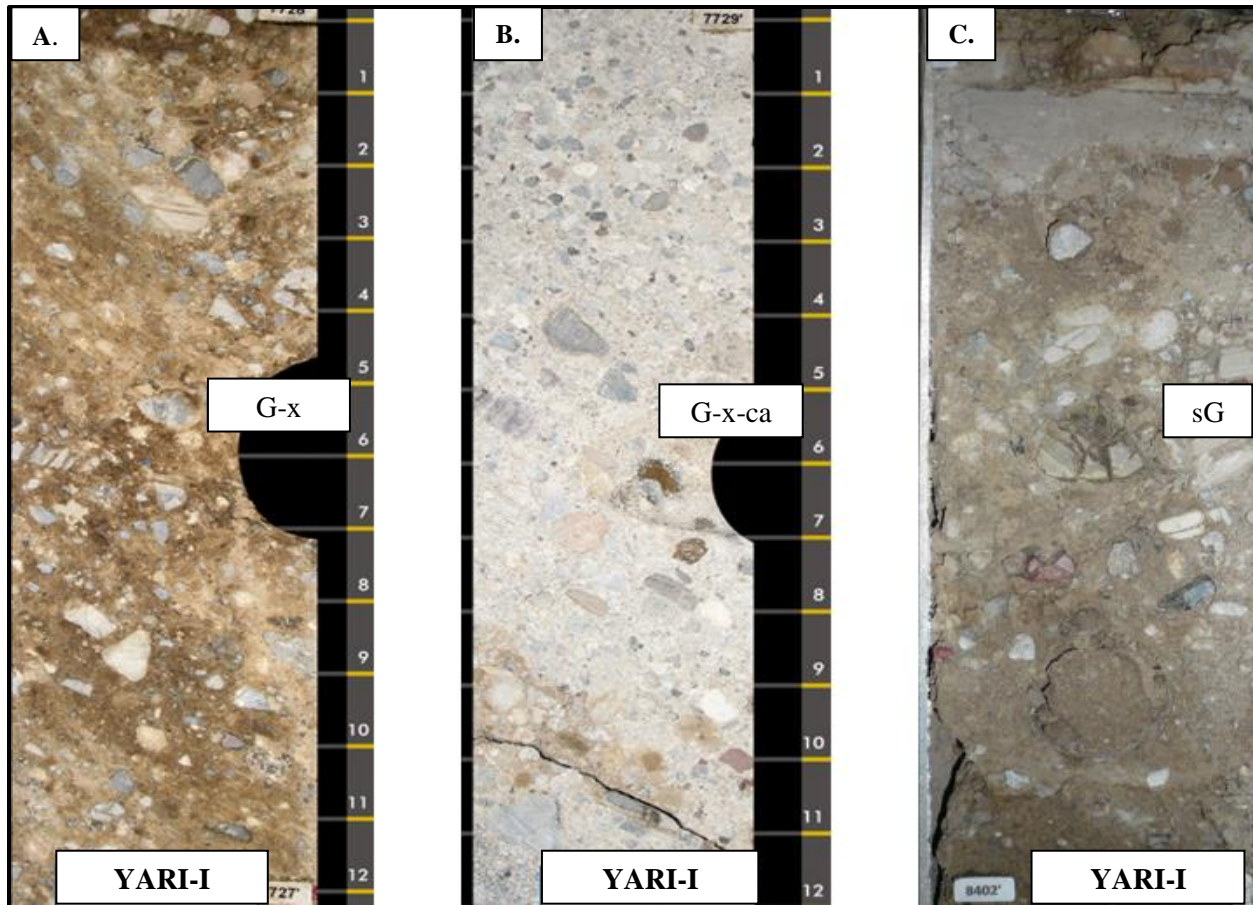


Figura 24. Facies conglomeráticas de la formación La Paz. A) Conglomerado con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7726ft, B) Facies Arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7729ft; C) Facies Conglomerado arenoso, pozo YG-J, profundidad 8401ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ **Conglomerado Arenoso (sG)**

Conglomerado matriz soportado con matriz arenosa y ocasionalmente lodosa, de color marrón amarillento (10YR 5/4), amarillo oscuro (5Y 7/6) y marrón amarillento oscuro (10YR 4/2), de granos angulares a subangulares, mal seleccionados. La roca presenta clastos de hasta 2cm, principalmente de líticos volcánicos, ocasionalmente sedimentarios y algunos clastos imbricados con leve impregnación de hidrocarburo. Con un espesor total de 83.32ft en los núcleos recuperados para el campo (figura 24C), la facies presenta un espesor de 2ft en el pozos CTG-A, 2.98ft en

CTG-E, 1.45ft en CTG-G, 2.26ft en CTG-I, 1.79ft en CTG-J, 0.14ft en YG-C, 27.8ft en YG-A, 19.1ft en YG-B, 6.1ft en YG-E, 5.7ft en YG-F, 16.17ft en YG-G, 14.08ft en YG-H, 17.02ft en YG-I, 28.43ft en YG-J, 12.08ft en YG-K para un espesor total de 157.6ft en toda la formación.

✓ **Arenisca conglomerática con estratificación cruzada (gS-x)**

Litoarenitas feldespáticas y arcosas líticas conglomeráticas a ligeramente conglomeráticas de color café amarillo oscuro (10YR 4/2). Adicionalmente, se identifican gravas cuarzosas, limolitas y areniscas rojizas con fragmentos ígneos y de tipo chert de aproximadamente 4-12mm, subangulares a subredondeados, moderadamente seleccionados. La roca presenta estratificación cruzada como estructura sedimentaria física (Figura 26.A). La facies representa un espesor de 1.3ft en el pozo CTG-5, 2.7ft en CTG-7, 0.9ft en CTG-13, 3.6ft en CTG-24, 19.6ft en YG-13, 0.8ft en YG-1, 5.8ft en YG-48D, 14.3ft en YG-74, 32.79ft en YG-85, 33.29ft en YG-104, 19.75ft en YG-108, 36.7ft en YG-503 y 51.14ft en YG-505 para un espesor total de 222.8ft en la formación.

✓ **Arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada (gS-x-ca)**

Litoarenitas feldespáticas a arcosas líticas y conglomeráticas de color blanco (N9), blanco azulado (5B 9/1) y rosado naranja grisáceo (5YR 7/2). Adicionalmente, se presentan gravas cuarzosas, limolitas y areniscas rojizas con fragmentos de rocas ígneas y chert de aproximadamente 4-14mm, subangulares a subredondeados y moderadamente seleccionados. La roca presenta cemento calcáreo y estratificación cruzada con gránulos en los forsets como estructura sedimentaria física (figura 25B). La facies representa un espesor de 0.25ft en el pozo

CTG-E, 1.75ft en YG-A, 2.7ft en YG-B, 2.67ft en YG-G y 0.79ft en YG-I para un espesor total de 8.17ft en la formación.

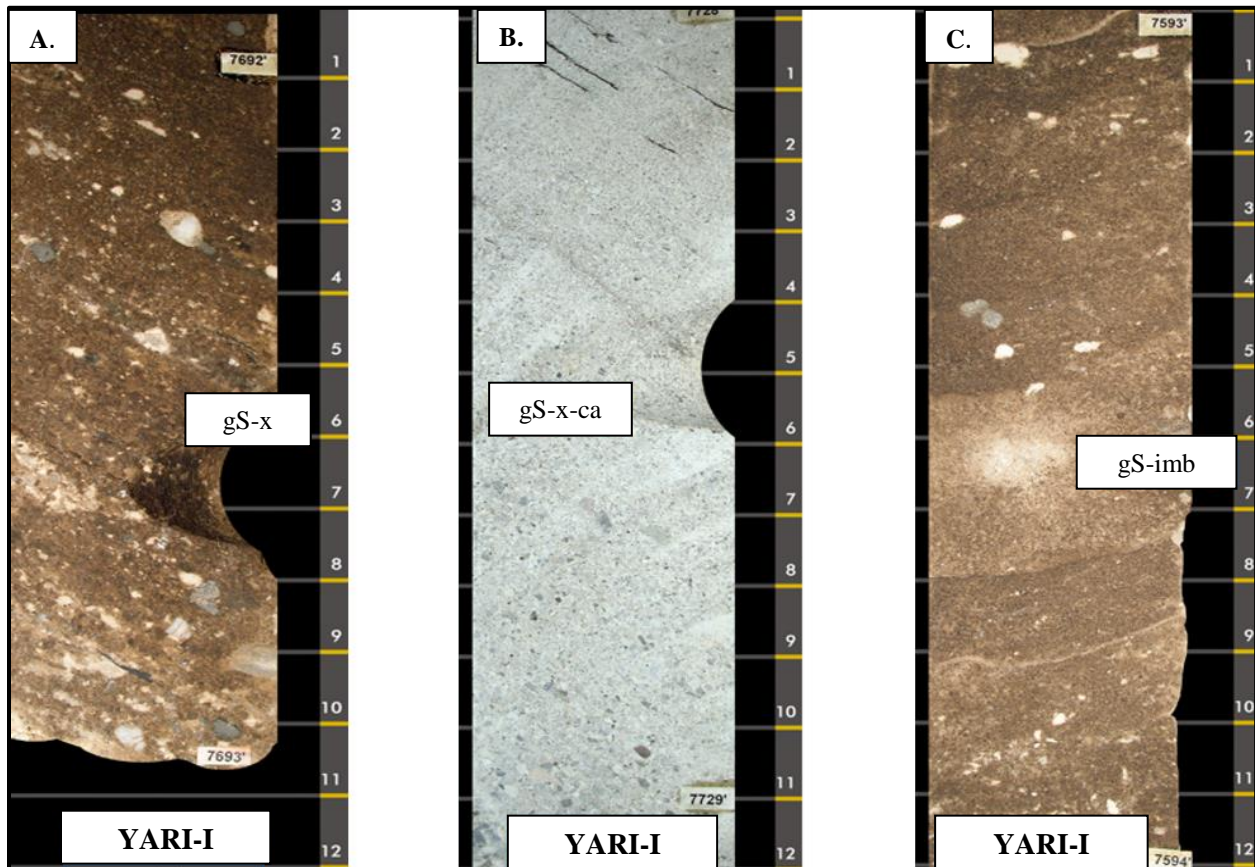


Figura 25. Facies conglomeráticas de la formación La Paz. A) Arenisca conglomerática con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7692ft; B) Arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada, pozo YG-I, profundidad 7728fts; C) Arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados, pozo YG-I, profundidad 7593fts. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

- ✓ Arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados (gS-Imb)

Litoarenitas feldespáticas y arcosas líticas conglomeráticas de color café amarillento oscuro (10YR 4/2). Adicionalmente, gravas cuarzosas, limolitas y areniscas de tonalidades rojizas con fragmentos subangulares a subredondeados, moderadamente seleccionados, que corresponden a rocas ígneas y chert. La roca presenta imbricación de clastos como estructura sedimentaria física (figura 25C). La facies representa un espesor de 1.6ft en el pozo CTG-A, 0.67ft en CTG-C, 4.14ft en CTG-F, 2ft en CTG-H, 6.96ft en CTG-I, 5.13ft en CTG-J, 46.03ft en YG-A, 2ft en YG-B, 2.99ft en YG-C, 1.25ft en YG-D, 1ft en YG-E, 0.85ft en YG-G, 16.21ft en YG-H, 9.2ft en YG-I, 18.94ft en YG-J y 15.42ft en YG-K para un total de 135.6ft en la formación.

✓ **Arenisca calcárea con estratificación cruzada (S-x-ca)**

Arcosa lítica a litoarenita feldespática de color gris claro (N7), de granos subangulares, moderadamente seleccionados. La roca presenta estratificación cruzada como estructura sedimentaria física, laminas esporádicas de material carbonoso y fracturas rellenas de lodo (figura 26A). La facies representa un espesor de 2.07ft en el pozo CTG-C, 1.19ft en CTG-E, 1.05ft en YG-A, 11ft en YG-B, 6.3ft en YG-E, 6.98ft en YG-F y 2.49ft en YG-I para un espesor total de 31.08ft en la formación.

✓ **Arenisca con estratificación cruzada (S-x)**

Arcosa lítica a litoarenita feldespática, color café amarillento oscuro (10YR 4/2), café moderado (5YR 3/4) y café oscuro (5YR 2/2), de granos subangulares y selección moderada a buena. La roca es friable, presenta estratificación cruzada como estructura sedimentaria física, laminas

esporádicas de material carbonoso siguiendo la estratificación, fracturas rellenas de lodo y buena impregnación (figura 26B). La facies representa un espesor de 3.72ft en el pozo CTG-C, 47.7ft en CTG-D, 11.53ft en CTG-E, 0.38ft en CTG-F, 27.93ft en CTG-G, 2ft en CTG-H, 3.15ft en CTG-I, 37.26ft en CTG-J, 172.32ft en YG-A, 39.2ft en YG-B, 16.17ft en YG-D, 33.1ft en YG-E, 27.69ft en YG-F, 40.39ft en YG-G, 18.94ft en YG-H, 40.55ft en YG-I, 38.5ft en YG-J y 1139.99ft en el pozo YG-K para un espesor total de 700.6ft en la formación.

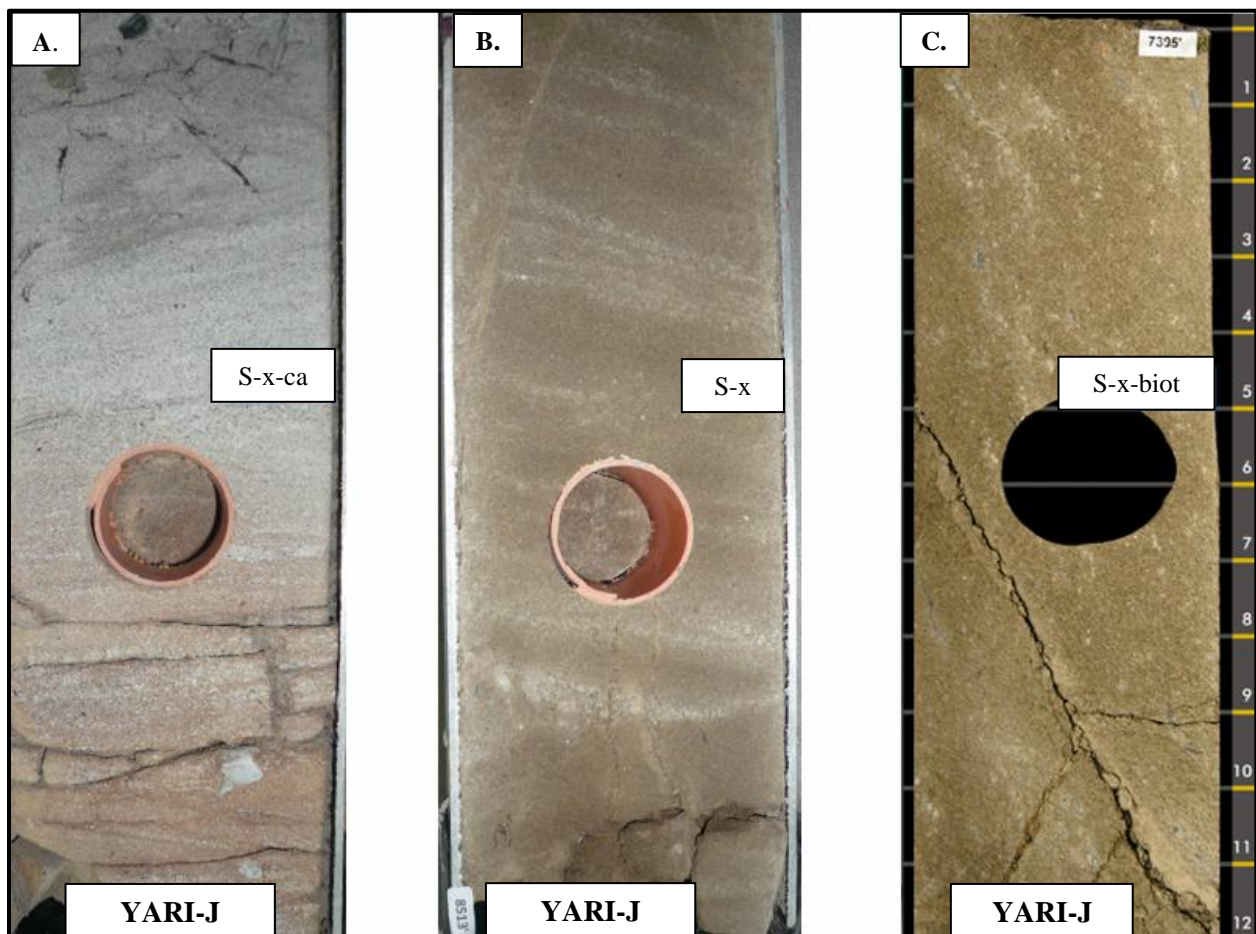


Figura 26. Facies de areniscas con estratificación cruzada en la Formación La Paz. A) Arenisca con estratificación cruzada y cemento calcáreo, pozo YG-J, profundidad 8466ft; B) Facies arenisca con estratificación cruzada, pozo YG-J, profundidad 8512ft; C) Facies de arenisca con relictos de estratificación cruzada y bioturbada, pozo YG-F, profundidad 7395ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ **Arenisca con relictos de estratificación cruzada y bioturbación (S-x-biot)**

Litoarenita feldespática de matriz lodosa, color café amarillento oscuro (10YR 4/2) y café moderado (5YR 3/4), de granos subangulares a subredondeados de tamaño fino a medio con selección moderada a buena y líticos negros, ocasionalmente lodoso. La roca es friable, presenta relictos de estratificación cruzada como estructura física, bioturbación no diferenciable y buena impregnación (figura 26C). La facies representa un espesor de 2ft en el pozo YG-A, 4.3ft en YG-B, 6.75ft en YG-F y 6.33ft en YG-G, para un espesor total 19.39ft en la formación.

✓ **Arenisca con relictos de laminación y bioturbación (S-lam-biot)**

Arcosas líticas de color naranja pálido (10YR 8/2), naranja amarillento pálido (10YR 8/6) y café amarillento oscuro (10YR 4/2), de granos subangulares a subredondeados con buena selección. La roca es friable, presenta relictos de laminación plano-paralela y ondulosa como estructura sedimentaria física, asimismo, se observan esporádicas laminas irregulares de material carbonoso y bioturbación no diferenciada (figura 27B). La facies representa un espesor de 0.42ft en el pozo CTG-C, 14.73ft en CTG-J, 14.66ft en YG-A, 12.2ft en YG-B y 3.4ft en YG-G, para un espesor total de 45,41ft en la formación.

✓ **Arenisca Laminada (S-lam)**

Arcosas líticas de color naranja pálido (10YR 8/2), naranja amarillento pálido (10YR 8/6) y gris anaranjado (10YR 7/4), de granos subangulares a subredondeados con selección buena a

moderada. La roca es friable (figura 27A), presenta laminación plano-paralela, ondulosa y ocasionalmente ripples como estructura sedimentaria física con láminas irregulares de material carbonoso. La facies representa un espesor de 0.25ft en el pozo CTG-C, 7.48ft en CTG-E, 5.9ft en CTG-G, 1.8ft en CTG-H, 20.37ft en CTG-I, 14.41ft en CTG-J, 42.05ft en YG-A, 19.8ft en YG-B, 0.58ft en YG-D, 3.7ft en YG-E, 0.9ft en YG-F, 2.83ft en YG-G, 6.36ft en YG-H, 15.27ft en YG-J y 1ft en el pozo YG-K, para un espesor total de 142.7ft en la formación.

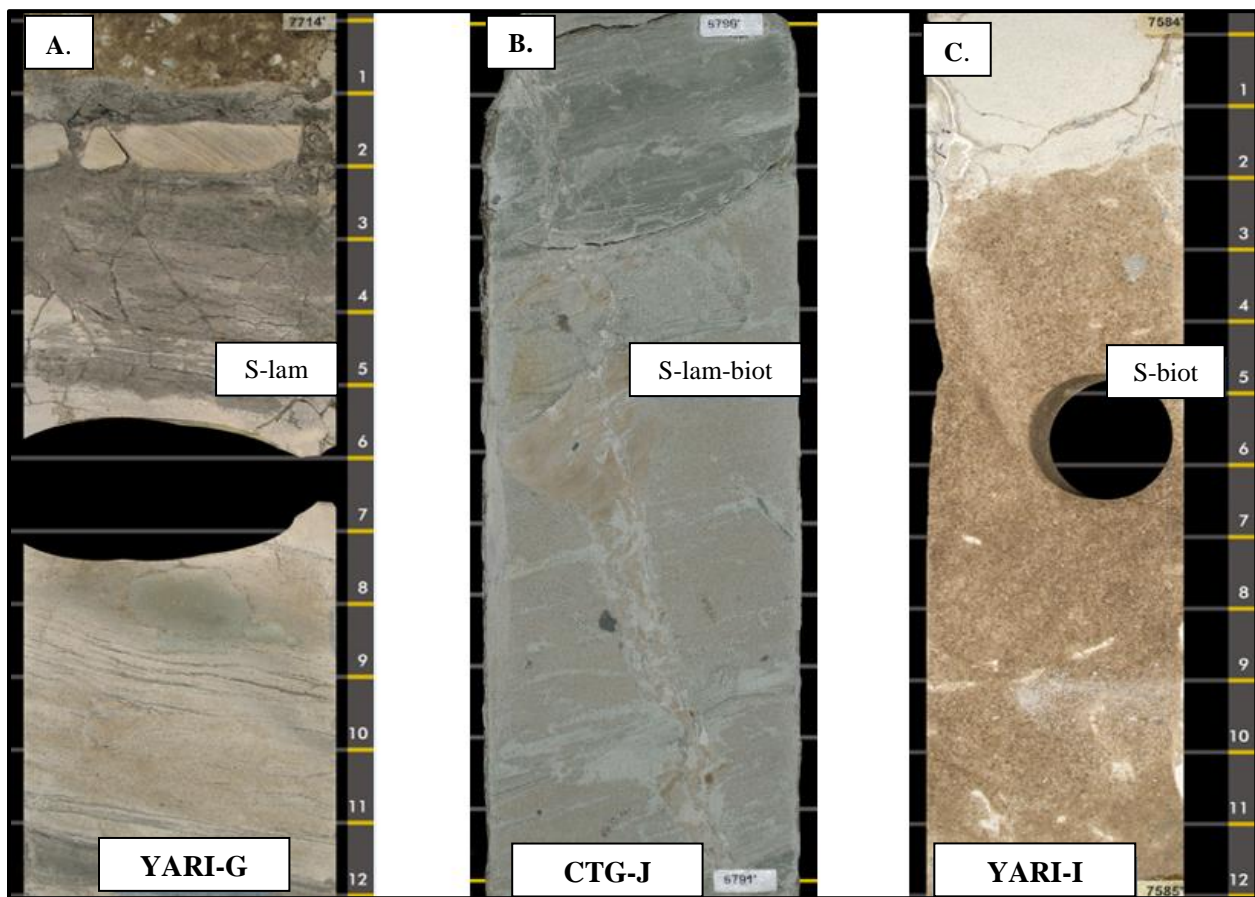


Figura 27. Facies de areniscas laminadas y bioturbadas en la formación La Paz A) Arenisca con laminación, pozo YG-G, profundidad 7714ft; B) Arenisca con relictos de laminación y bioturbación, pozo CTG-J, profundidad 6790ft; C) Arenisca bioturbadas, pozo YG-I, profundidad 7584ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ **Arenisca Bioturbada (S-biot)**

Arcosas líticas de color naranja muy pálido (10YR 8/2), naranja amarillento pálido (10YR 8/6), naranja grisáceo (10YR 7/4), café amarillento oscuro (10YR 4/2), café grisáceo (5YR 3/2) y amarillo verdoso pálido (10Y 8/2), granos subangulares a subredondeados con selección moderada a buena. La roca es friable, no evidencia estructuras físicas sedimentarias, presenta bioturbación no diferenciada (figura 27C) e impregnación esporádica. La facies representa un espesor de 22.5ft en el pozo CTG-A, 5.4ft en CTG-C, 1.5ft en CTG-D, 20.46ft en CTG-E, 27.1ft en CTG-G, 17.6ft en CTG-H, 58.31ft en CTG-J, 241.98ft en YG-A, 135.3ft en YG-B, 1ft en YG-C, 1.23ft en YG-D, 1.3ft en YG-E, 25.99ft en YG-F, 8.73ft en YG-G, 17.59ft en YG-H, 3.55ft en YG-I, 22.53ft en YG-J y 6.24ft en el pozo YG-K, para un espesor total de 624.4ft en la formación.

✓ **Arenisca lodosa bioturbada (mS-biot)**

Arcosa lítica con abundante matriz lodosa, color naranja muy pálido (10YR 8/2), gris verdoso claro (5GY 8/1) y amarillo verdoso pálido (10Y 8/2), de granos subredondeados con selección moderada. La roca se observa bioturbada por madrigueras y bioturbación no diferenciada (figura 28B). La facies representa un espesor de 0.8ft en el pozo CTG-A, 0.17ft en CTG-C, 1.12ft en YG-E, 0.7ft en CTG-G, 2.03ft en CTG-I, 2.67ft en CTG-J, 0.5ft en YG-A, 0.23ft en YG-C, 1.24ft en YG-D, 5.27ft en YG-G, 7ft en YG-H, 4.22ft en YG-I, 4.12ft en YG-J y 0.49ft en YG-K, para un espesor total de 30.62ft en la formación.

✓ **Arenisca lodosa laminada (mS-lam)**

Arcosa lítica con abundante matriz lodosa, color naranja muy pálido (10YR 8/2), gris verdoso claro (5GY 8/1) y verde amarillo moderado (5GY 7/4), de granos subredondeados con selección moderada. La roca presenta laminación plano-paralela y ondulosa como estructura sedimentaria física (figura 28A). La facies representa un espesor de 13.17ft en el pozo CTG-J, 1.7ft en YG-E, 1.43ft en YG-F, 0.8ft en YG-H, 1.06ft en YG-I, 1.94ft en YG-J y 1.41ft en YG-K, para un espesor total de 21.55ft en la formación.

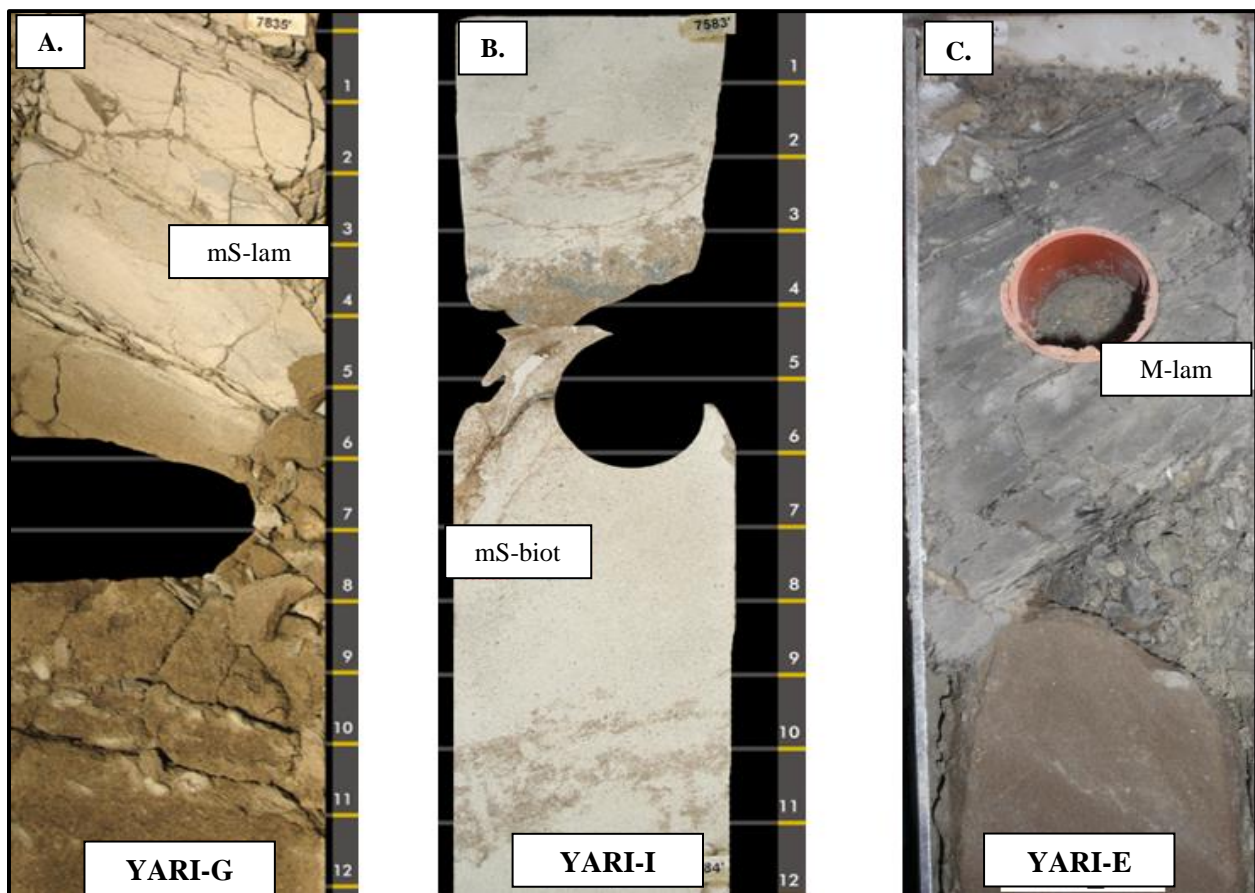


Figura 28. Facies de areniscas lodosas y lodolitas en la formación La Paz. A) Arenisca lodosas con laminación, pozo YG-G, profundidad 7835ft; B) Facies Arenisca lodosa bioturbada, pozo YG-I, profundidad 7584ft; C) Facies de lodolita laminada, pozo YG-E, profundidad 7965ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ **Lodolita laminada (M-lam)**

Dentro de esta facies se agrupan los lodos, limos y arcillas cuyo color varía desde gris medio (N5), gris oscuro medio (N4), rosado moderado (5R 7/4), amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) hasta tonalidades varicoloreadas. La roca presenta laminación plano-paralela como estructura física sedimentaria, ocasionalmente presencia de láminas carbonosas (figura 28C). La facies representa un espesor de 2.72ft en el pozo CTG-E, 2ft en CTG-I, 1.35ft en CTG-J, 33.36ft en YG-A, 1.3ft en YG-B, 2.7ft en YG-E, 0.59ft en YG-G y 2.62ft en el pozo YG-K, para un espesor total de 46.65ft en la formación.

✓ **Lodolita con relictos de laminación y bioturbación (M-lam-biot)**

Representan los lodos, limos y arcillas cuyo color varía de gris medio (N5), gris oscuro medio (N4), rosado moderado (5R 7/4) y amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) a tonalidades varicoloreadas. En la roca se identifican relictos de laminación plano-paralela como estructura sedimentaria física, ocasionalmente laminas irregulares de material carbonoso (figura 29A). La facies representa un espesor de 7.96ft en el pozo CTG-E, 0.8ft en CTG-J, 8.93ft en YG-A, 0.7ft en YG-B y 2.91ft en el pozo YG-G, para un espesor total de 21.31ft en la formación.

✓ **Lodolita Bioturbada (M-biot)**

Dentro de esta facies se agrupan los lodos, limos y arcillas de colores que varían desde gris medio (N5), gris oscuro medio (N4), rosado moderado (5R 7/4), amarillo verdoso moderado (10Y

7/4) hasta tonalidades varicoloreadas. La roca se encuentra bioturbada por bioturbación no diferenciada, madrigueras y trazas de la familia scoyenia (figura 29B). La facies representa un espesor de 0.61ft en el pozo CTG-E, 5.6ft en CTG-A, 1.24ft en CTG-H, 10.71ft en CTG-I, 18.7ft en CTG-J, 68.7ft en YG-A, 2.9ft en YG-B y 0.52ft en el pozo YG-G, para un espesor total de 109ft en la formación.

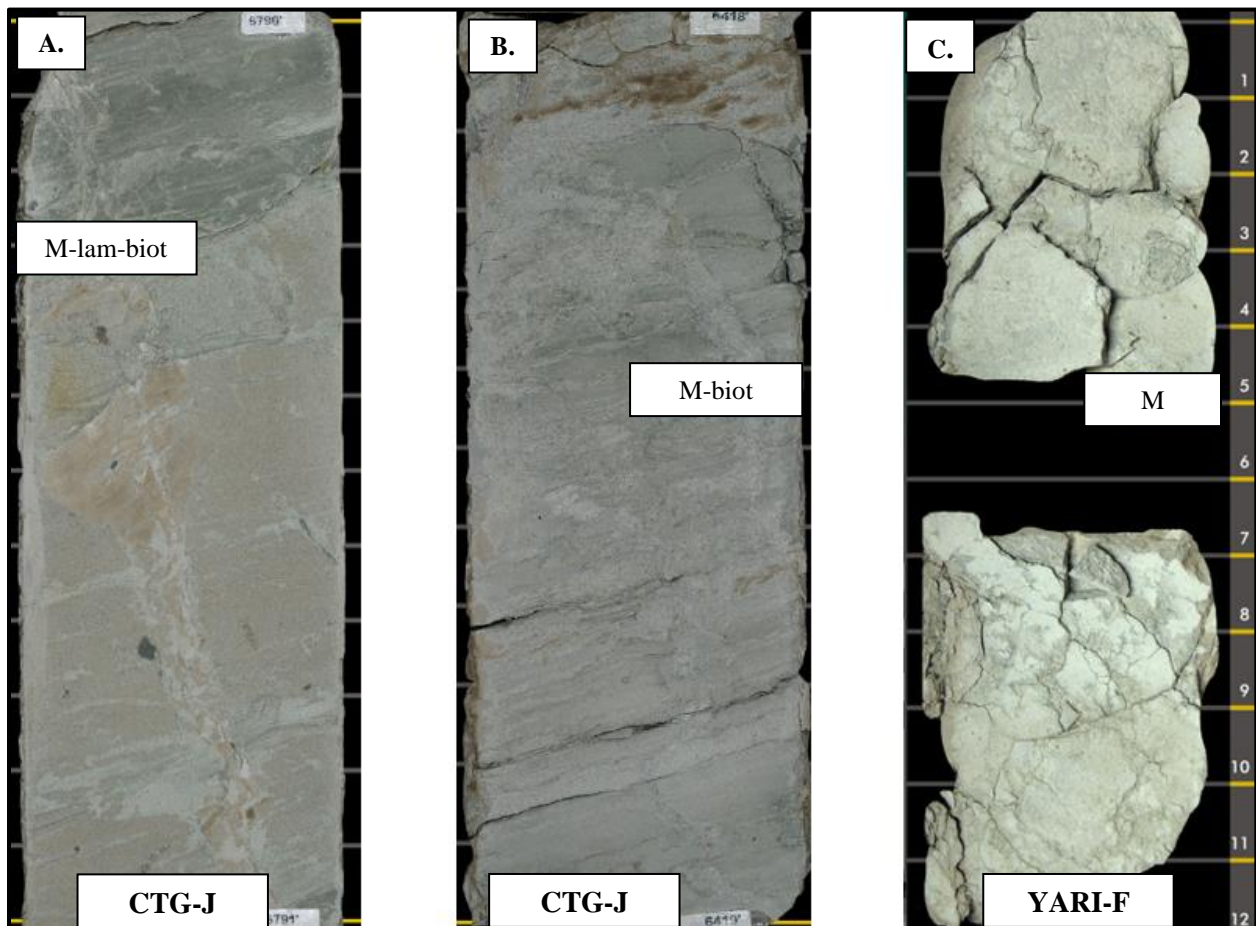


Figura 29. Facies de lodolitas laminadas y bioturbadas en la formación La Paz. A) Lodolita con relictos de laminación y bioturbación CTG-J, profundidad 5790ft; B) Lodolita bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6418ft; C) Lodolita sin estructuras, pozo YG-F, profundidad 6701ft. De derecha a izquierda decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ **Lodolita (M)**

Agrupar los lodos, limos y arcillas de color gris medio (N5), gris oscuro medio (N4), rosado moderado (5R 7/4), amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) y amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). Ausencia de estructuras sedimentarias físicas y biogénicas (figura 29C). La facies representa un espesor de 1.17ft en el pozo CTG-C, 5.28ft en CTG-E, 8.1ft en CTG-G, 1.1ft en CTG-H, 4.3ft en CTG-I, 7.45ft en CTG-J, 19.13ft en YG-A, 1.6ft en YG-B, 2.3ft en YG-C, 11ft en YG-D, 2.1ft en YG-E, 1.04ft en YG-F, 9.13ft en YG-G, 2.76ft en YG-H, 1.4ft en YG-I, 3.79ft en YG-J y 4.5ft en el pozo YG-K, para un espesor total de 86,16ft en la formación.

**5.1.7 Facies de la formación Mugrosa.** En la formación Mugrosa del campo Yariguí-Cantagallo, se identificaron un total de 12 facies sedimentarias para los pozos CTG-A, CTG-B, CTG-C, CTG-D, CTG-E, CTG-F, CTG-G, CTG-H, CTG-J, YG-A, YG-B, YG-F. Las facies se encuentran distribuidas entre facies arenosas y lodosas, evidenciando una baja conectividad entre ellas.

✓ **Conglomerado con estratificación cruzada (G-x)**

Conglomerado matriz soportado con tonalidades que pueden variar de naranja amarillo oscuro (10YR 6/6), café amarillo pálido (10YR 5/4), marrón amarillo oscuro (10YR 4/2), amarillo moderado (5Y 7/6) y café amarillo pálido (10YR 6/2), constituido por granos subangulares a subredondeados que presentan buena selección. Se observan líticos volcánicos de tonalidades rojizas y verdosas, ocasionalmente sedimentarios tipo chert. Presencia de estratificación cruzada

como estructura física interna (figura 30A). La facies representa un espesor total de 3.68ft en el pozo CTG-J.

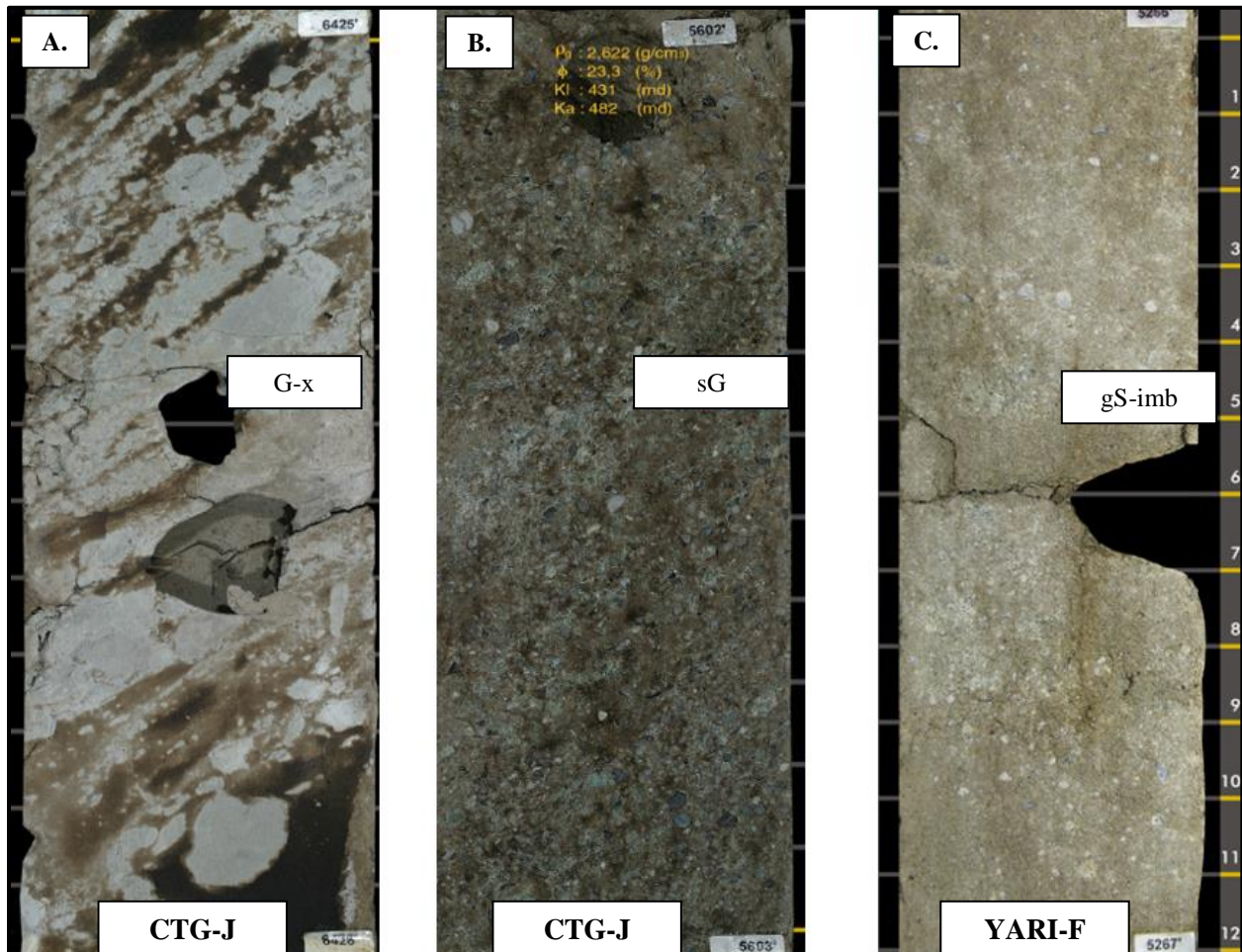


Figura 30. Facies conglomeráticas y ligeramente conglomeráticas presentes en la formación Mugrosa. A) Conglomerado con estratificación cruzada, pozo CTG-J, profundidad 6425ft; B) Facies Conglomerado arenoso, pozo CTG-J, profundidad 5602ft; C) Facies de arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados, pozo YG-J, profundidad 8401ft'. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ Conglomerado arenoso (sG)

Conglomerado matriz soportado, color naranja muy claro (10YR 8/2), café amarillo oscuro (10YR 4/2), amarillo oscuro (5Y 7/6) y café amarillo pálido (10YR 6/2), de granos subangulares a subredondeados con selección moderada a buena. Se reconoce presencia ocasional de matriz arcillosa (figura 30B). La facies representa un espesor de 5.38ft en el pozo YG-F, 0.42ft en CTG-A y 1.5ft en el pozo CTG-G, para un espesor total de 7.03ft en la formación.

✓ **Arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados (gS-Imb)**

Litoarenita feldespática conglomerática y ligeramente conglomerática, color naranja muy pálido (10YR 8/2) a naranja grisáceo (10YR 7/4). Se identifican gravas cuarzosas, limolitas y fragmentos subangulares a subredondeados, moderadamente seleccionados de rocas ígneas y chert. La roca presenta imbricación de clastos como estructura sedimentaria física (figura 30C). La facies representa un espesor de 0.065ft en el pozo CTG-E, 6.12ft en YG-F, 5.78ft en CTG-A y 0.08ft en el pozo CTG-F, para un espesor total de 12.05ft en la formación.

✓ **Arenisca con estratificación cruzada (S-x)**

Litoarenita feldespática con abundante matriz arcillosa, color gris verdoso claro (5GY 8/1), naranja muy pálido (10YR 8/2) y café amarillo moderado (10YR 5/4). La roca presenta granos que varían de tamaño medio a grueso, subangulares a subredondeados, moderadamente seleccionados. Asimismo, estratificación cruzada como estructura sedimentaria física y baja impregnación (figura 31A). La facies representa un espesor de 14.58ft en el pozo CTG-D, 6ft en

CTG-C, 1.3ft en CTG-F, 5.3ft en CTG-G y 16.7ft en el pozo CTG-J, para un espesor total de 43.88ft en la formación.

✓ **Arenisca laminada (S-lam)**

Litoarenita feldespática de tamaño de grano muy fino a fino, color gris amarillento (5Y 8/1) y gris muy claro (N8) de granos subangulares a subredondeados con selección moderada. La roca es friable y presenta fragmentos líticos. Se observa laminación plano-paralela, ondulosa y ripples como estructura física sedimentaria, ocasionalmente láminas de materia orgánica (figura 31B). La facies representa un espesor de 0.9ft en el pozo CTG-A, 0.4ft en CTG-B y 0.6ft en el pozo CTG-E, para un espesor total de 1.9ft en la formación.

✓ **Arenisca con relictos de laminación y bioturbación (S-lam-biot)**

Litoarenita feldespática de tamaño de grano muy fino a fino, color gris amarillento (5Y 8/1) y gris muy claro (N8) de granos subangulares a subredondeados con selección moderada. La roca es friable y presenta fragmentos líticos. Se observan relictos de laminación plano-paralela y ondulosa afectadas por bioturbación no diferenciada, además de la presencia esporádica de láminas irregulares de materia orgánica (figura 31C). La facies representa un espesor total de 3.8ft en el pozo CTG-A.

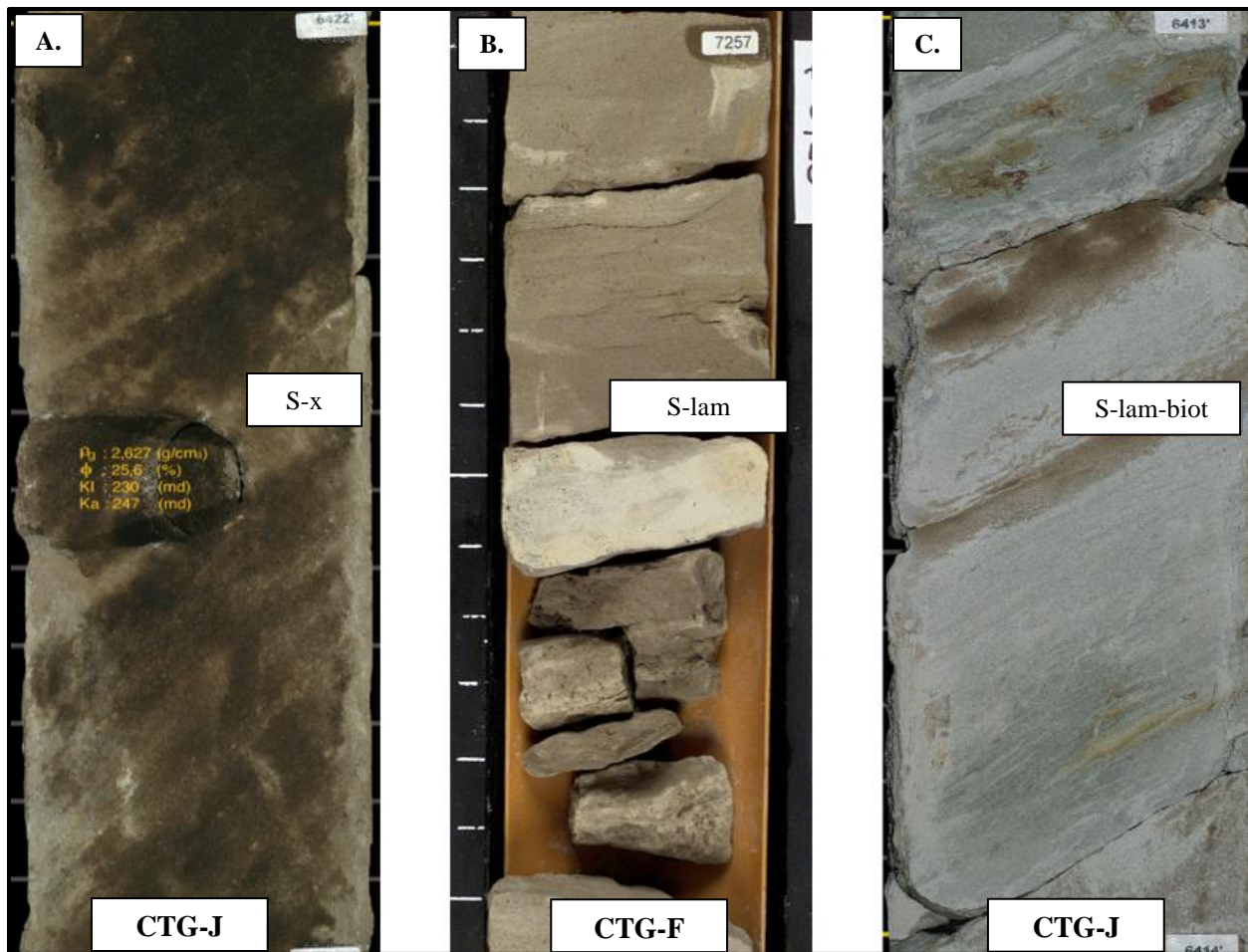


Figura 31. Facies de areniscas con estratificación cruzada en la formación Mugrosa. A) Arenisca con estratificación cruzada, pozo CTG-J, profundidad 6422ft; B) Facies de arenisca laminada, pozo CTG-F, profundidad 7257ft; C) Facies de arenisca con relictos de laminación y bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6413ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

#### ✓ Arenisca Bioturbada (S-biot)

Litoarenita feldespática de grano medio, color café claro (5YR 5/2), naranja amarillento oscuro (10YR 6/6) y naranja amarillento pálido (10YR 8/6) de granos subangulares a subredondeados, moderadamente seleccionados. La roca presenta matriz arcillosa, fragmentos líticos, bioturbación por trazas no diferenciada (figura 32A) y ausencia de estructuras sedimentarias físicas. La facies representa un espesor de 32.66ft en el pozo CTG-A, 1.03ft en CTG-B, 3.17ft en CTG-C, 8.8ft en

CTG-D, 3ft en CTG-E, 0.84ft en CTG-F, 1.7ft en CTG-G, 0.41ft en CTG-J y 6.36ft en el pozo YG-F, para un espesor total de 57.97ft en la formación.

✓ **Arenisca lodosa Bioturbada (mS-biot)**

Grauvaca de grano fino, muy fino y limo, color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2), naranja grisáceo (10YR 7/4), café amarillento pálido (10YR 6/2) y gris amarillento (5Y 7/2), de granos subredondeados con selección moderada. La roca no evidencia estructuras sedimentarias físicas y se encuentra ocasionalmente bioturbada por trazas no diferenciadas (figura 32B). La facies representa un espesor de 3.6ft en el pozo CTG-A, 1ft en CTG-B, 0.17ft en CTG-F y 2.54ft en el pozo YG-F, para un espesor total de 7.31ft en la formación.

✓ **Lodolita laminada (M-lam)**

Lodolita, arcillolita y limolita color gris claro (N7), gris medio (N5), amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) y rosado naranja moderado (10R 7/4). Presencia de laminación plano-paralela y ondulosa como estructura sedimentaria física, ocasionalmente láminas de material carbonoso. Puntualmente ripples de corriente y nódulos de siderita (figura 32C). La facies representa un espesor de 0.7ft en el pozo CTG-A y 3.51ft en el pozo CTG-J, para un espesor total de 4.21ft en la formación.

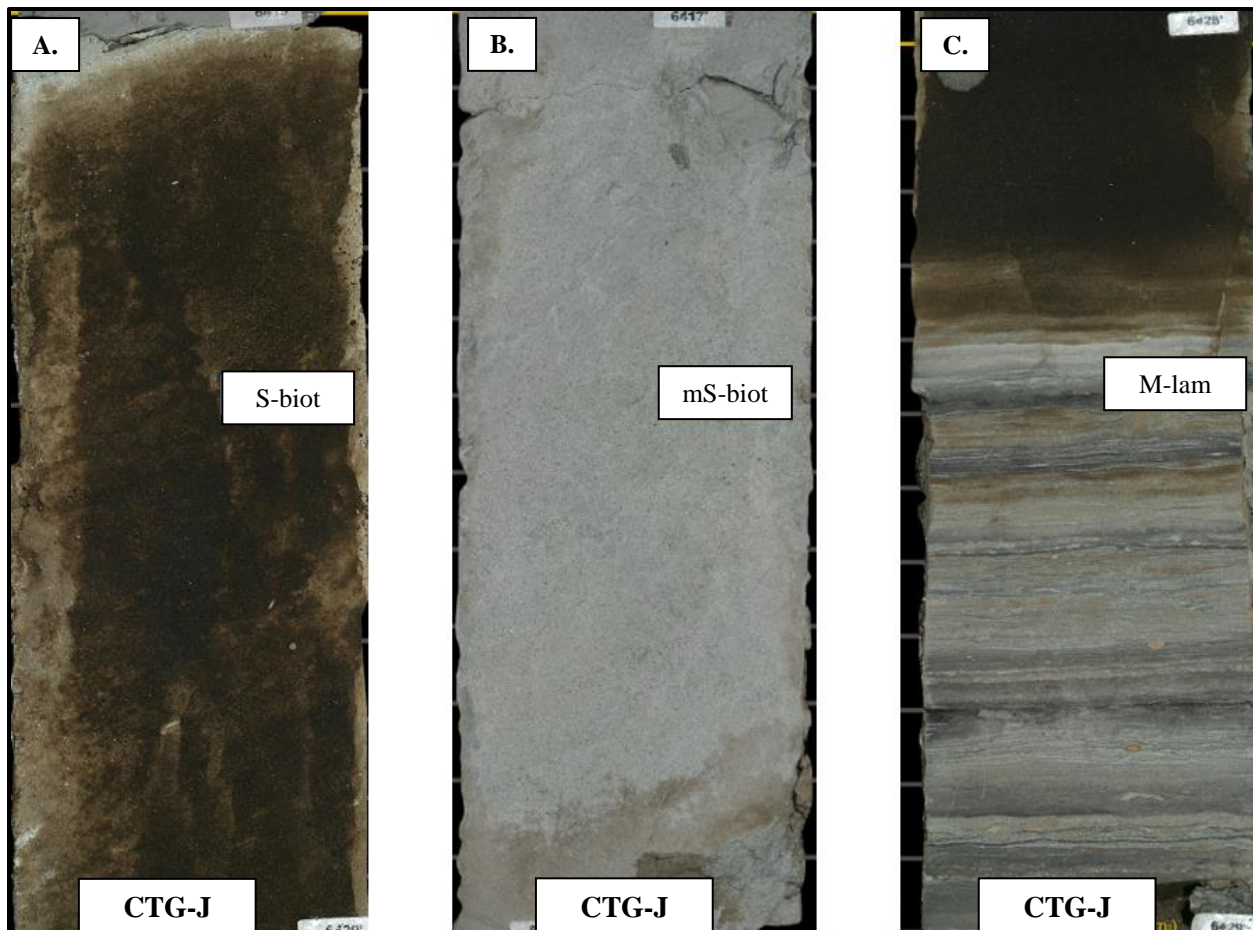


Figura 32. Facies de areniscas y areniscas lodosas bioturbadas en la formación Mugrosa. A) Arenisca bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6419ft; B) Facies de arenisca lodosa bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6418ft; C) Facies de lodolita laminada, pozo CTG-J, profundidad 6428ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

✓ **Lodolita con relictos de laminación y bioturbación (M-lam-biot)**

Dentro de esta facies se agrupan lodolitas, arcillolitas y limolitas color gris claro (N7), gris medio (N5), amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) y rosado naranja moderado (10R 7/4). Se observa la presencia de moscovita y material carbonoso. Puntualmente, intercalaciones de láminas delgadas de arena, esporádicas láminas discontinuas, siderita y fragmentos carbonosos. La roca presenta bioturbación no diferenciada como estructura sedimentaria orgánica, asimismo relictos

de laminación plano-paralela y ondulosa (figura 33A). La facies representa un espesor de 3.8ft en el pozo CTG-A.

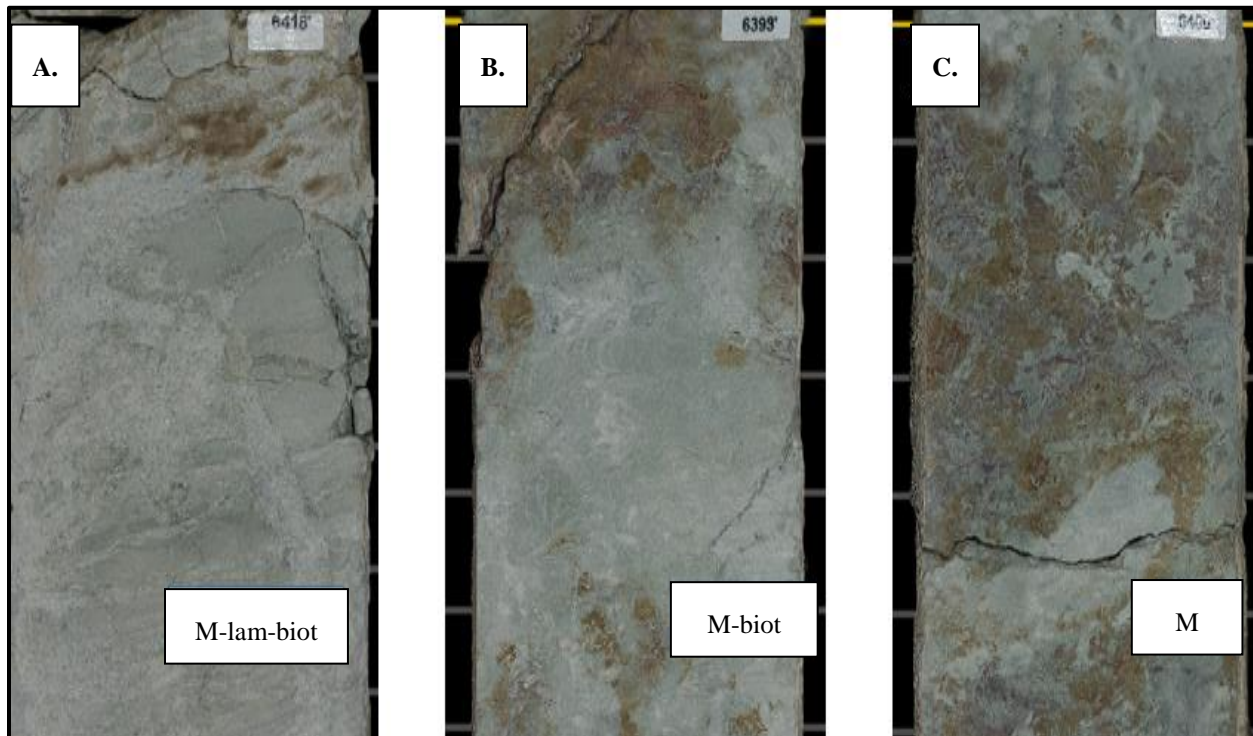


Figura 33. Facies lodosas en la formación Mugrosa A) Lodolita con relictos de laminación y bioturbación CTG-J, profundidad 6418ft; B) Lodolita bioturbada, pozo CTG-J, profundidad 6399ft; C) Lodolita sin estructuras, pozo CTG-J, profundidad 6400ft. De izquierda a derecha decrece el nivel energético. Tomado y modificado de Ecopetrol (2018).

#### ✓ **Lodolita Bioturbada (M-biot)**

Arcillolita varicoloreada con tonalidades gris claro (N7), gris medio (N5), amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) y rosado naranja moderado (10R 7/4). La roca no evidencia presencia de estructuras sedimentarias físicas, se observa bioturbación no diferenciada y raíces (figura 33B). La facies representa un espesor de 0.6ft en el pozo CTG-A, 0.2ft en CTG-B y 3.42ft en el pozo CTG-J, para un espesor total de 4.22ft en la formación.

**✓ Lodolita (M)**

Lodolita, arcillolita y limolita varicolorada con tonalidades gris claro (N7), gris medio (N5), amarillo verdoso moderado (10Y 7/4) y rosado naranja moderado (10R 7/4). La roca no evidencia estructuras sedimentarias físicas y biogénicas reconocibles (figura 33C). La facies representa un espesor de 4.5ft en el pozo CTG-A, 0.2ft en CTG-B, 2.2ft en CTG-D, 0.34ft en CTG-F y 2.67ft en el pozo YG-F, para un espesor total de 9.91ft en la formación.

**5.2 Ambiente de Depósito**

El ambiente de depósito definido para el campo Yariguí-Cantagallo se interpreta con base en la asociación de las unidades operacionales y las principales características que las definen, posibilitando así, identificar tres (3) ambientes primordiales que corresponden a ríos trezados, ríos meandriformes y abanicos aluviales. La definición del tipo de río que conforma los depósitos se realizó con base en la clasificación de Miall (1985), la cual considera el conjunto de litofacies, tipo de sedimento que se transporta y los perfiles verticales típicos.

En el campo Yariguí-Cantagallo se identifican seis (6) subambientes o elementos geomorfológicos; canal, relleno de canal, barras de canal, desborde de canal, llanura de inundación y crevasse splay. De acuerdo con el modo de sedimentación, estos subambientes corresponden a depósitos de tipo progradacional (desborde de canal y crevasse splay), depósitos de tipo agradacional (relleno de canal y llanura de inundación) y depósitos de acreción lateral (canal y barras de canal). Cabe resaltar que las rocas de las formaciones La Paz y Mugrosa presentes en el

campo Yariguí-Cantagallo representan un potencial atractivo como reservorio para la cuenca del Valle Medio del Magdalena VMM.

**5.2.1 Interpretación ambiental unidades operacionales CG8-CG3.** Los depósitos de sistemas fluviales interpretados en 9 de los pozos; CTG-D, CTG-E, CTG-F, CTG-G, CTG-H, CTG-I, YG-A YG-D y YG-F están constituidos por conglomerados gruesos y areniscas con composición multimineral que contienen abundantes clastos volcánicos, ígneos y metamórficos. Estas arenas representan canales y barras que se amalgaman debido a la rápida depositación, el gran volumen de carga y el bajo espacio de acomodación dando lugar a ciclos de canales truncados. La erosión tiene lugar hacia la base, destruyendo la parte superior del depósito que corresponde a facies finas de relleno de canal.

Los cuerpos canaliformes se encuentran asociados a las facies conglomeráticas (sG, G-x y G-x-ca) en la parte basal, suprayacidas por las areniscas conglomeráticas o areniscas de grano grueso a medio, que presentan ya sea estratificación cruzada o clastos imbricados. La estratificación cruzada observada en la facies gS-x y S-x, es una estructura sedimentaria típica en sedimentos granulares y se forma por la migración de rizaduras (ripples), dunas y mega-dunas. La presencia de laminación plano-paralela y ondulosa irregular afectada por bioturbación son indicadores de una disminución del régimen de flujo. En algunos casos se pudieron determinar superficies de reactivación como se representa en el intervalo del pozo YG-D.

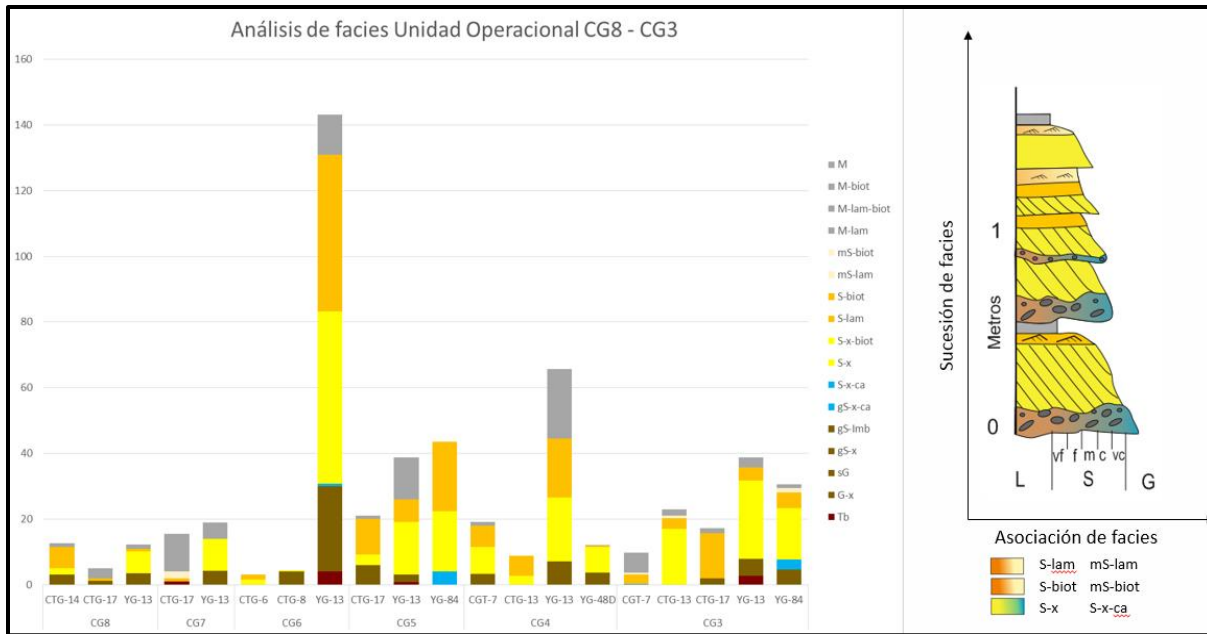


Figura 34. Sucesión vertical de facies presente en las unidades operacionales CG8 - CG3, para cada uno de los pozos descritos del campo Yariquí-Cantagallo. El desarrollo de las facies conglomeráticas (color café) asociadas a las bases de los canales es considerable mostrando un ambiente de alta energía. Las facies finas (color gris), pueden preservarse como depósitos de acreción en los canales. A la derecha se observa el grafico ideal para este tipo de depósito, con la respectiva asociación y sucesión de facies. Tomado de Ecopetrol (2018).

De acuerdo con lo observado anteriormente y considerando el gran desarrollo de depósitos de base de canal que tienen las unidades operacionales CG8-CG3 en la parte inferior de la formación La Paz; el ambiente de depositación se interpreta como un río trenzado de baja sinuosidad con barras alternadas, donde se reconocen los siguientes tipos de depósito: canales, barras de canal, rellenos de canal y llanuras de inundación. Los cambios en las proporciones de los diferentes tipos de depósito se interpretan como cambios laterales de facies.

**5.2.2 Interpretación ambiental unidades operacionales CG2A-CG1.** Los depósitos fluviales interpretados en 14 de los pozos; CTG-C, CTG-E, CTG-G, CTG-J, YG-A, YG-B, YG-C, YG-D, YG-E, YG-G, YG-H, YG-I, YG-J y YG-K están constituidos por conglomerados tamaño guijo y areniscas con abundantes clastos volcánicos, ígneos y metamórficos. En las arenas es común

encontrar material arcilloso y junto con los conglomerados se relacionan a depósitos agradacionales y flujos de detritos que muestran ciclos truncados por nuevas superficies de reactivación, las cuales erosionan las facies finas de relleno de canal y llanura de Inundación.

Textualmente, las rocas de los pozos YG-E, YG-H y YG-I se caracterizan por ser principalmente arenosas con algunos intervalos conglomeráticos, mientras que los pozos YG-J y YG-K presentan facies mayormente conglomeráticas y en menor proporción intervalos arenosos.

Los canales presentan superficies de reactivación asociadas a las facies conglomeráticas (sG, G-x y G-x-ca) suprayacidas por las areniscas conglomeráticas o areniscas de grano grueso a medio que presentan estratificación cruzada o clastos imbricados (gS-x gS-Imb, S-x). La presencia de facies de arenas laminadas y bioturbadas disminuye debido a la gran cantidad de superficies de reactivación, sin embargo, cuando se deposita el ciclo completo se tiene la conservación de las facies lodosas de llanuras de inundación afectadas por bioturbación (M, M-lam, M-biot). A diferencia de la unidad operacional CG8-CG3, el espesor de la base de los canales aumenta y se observan subfacies de conglomerados lodosos, que corresponden a conglomerados lodo soportados. Adicionalmente, se evidencia el aumento de las facies mS-lam y mS biot, asociadas a areniscas de matriz arcillosa. De forma generalizada se identifica un cambio en la calidad de las rocas, pasando a areniscas mal seleccionadas y con poca madurez textural.

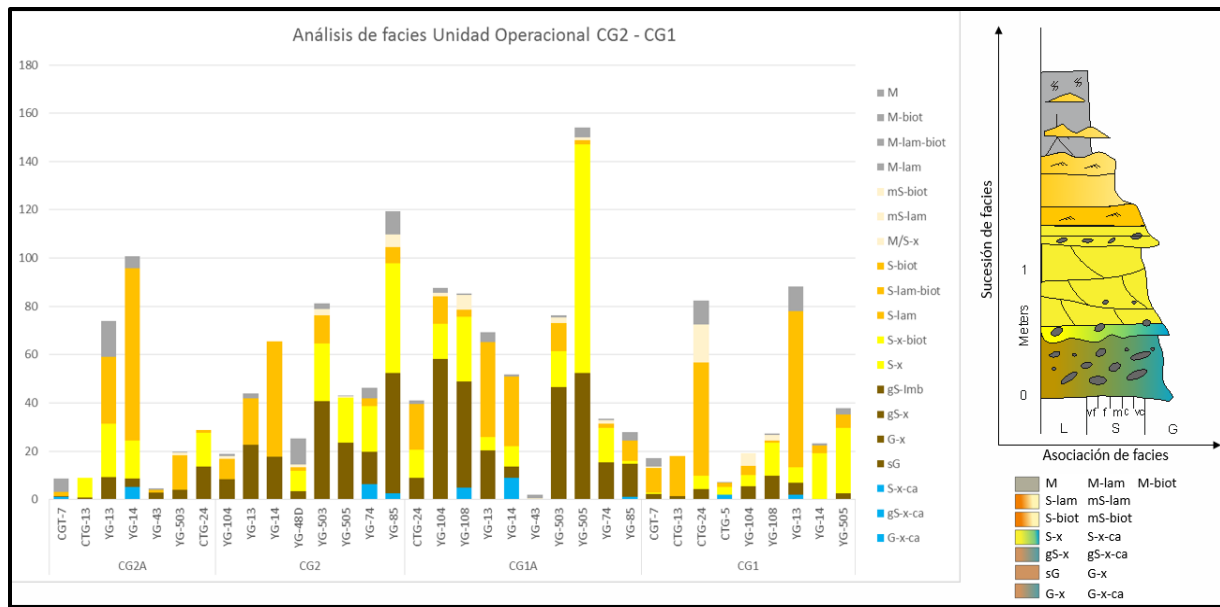


Figura 35. Sucesión vertical de facies presente en las unidades operacionales CG2A-CG1, para cada uno de los pozos. Se evidencia la baja conservación de las facies arcillosas debido a la constante reactivación de canales y el gran espesor de las bases de canal. A la derecha se muestra el grafico ideal para este tipo de depósito. Tomado de Ecopetrol (2018).

De acuerdo con la conservación de las bases de canal, la presencia de conglomerados con estratificación cruzada, asociados a flujos de lodo y la baja conservación de las facies finas, se interpreta que la parte media de la formación La Paz representa la zona media o cuerpo de un abanico aluvial con influencia de canales trenzados de gravas profundas. Adicionalmente, se reconocen los siguientes tipos de depósitos; fondo de canal, canales mayores, canales menores, rellenos de canal, desbordes de canal y llanuras de inundación.

**5.2.3 Interpretación ambiental unidades operacionales CG-B1.** Los depósitos fluviales interpretados en 12 de los pozos; CTG-B, CTG-C, CTG-D, CTG-E, CTG-G, CTG-H, CTG-J, YG-A, YG-B, YG-F están constituidos por areniscas de grano grueso que gradan hasta tamaños de grano fino, seguidas de secuencias lodosas típicas de llanuras de inundación.

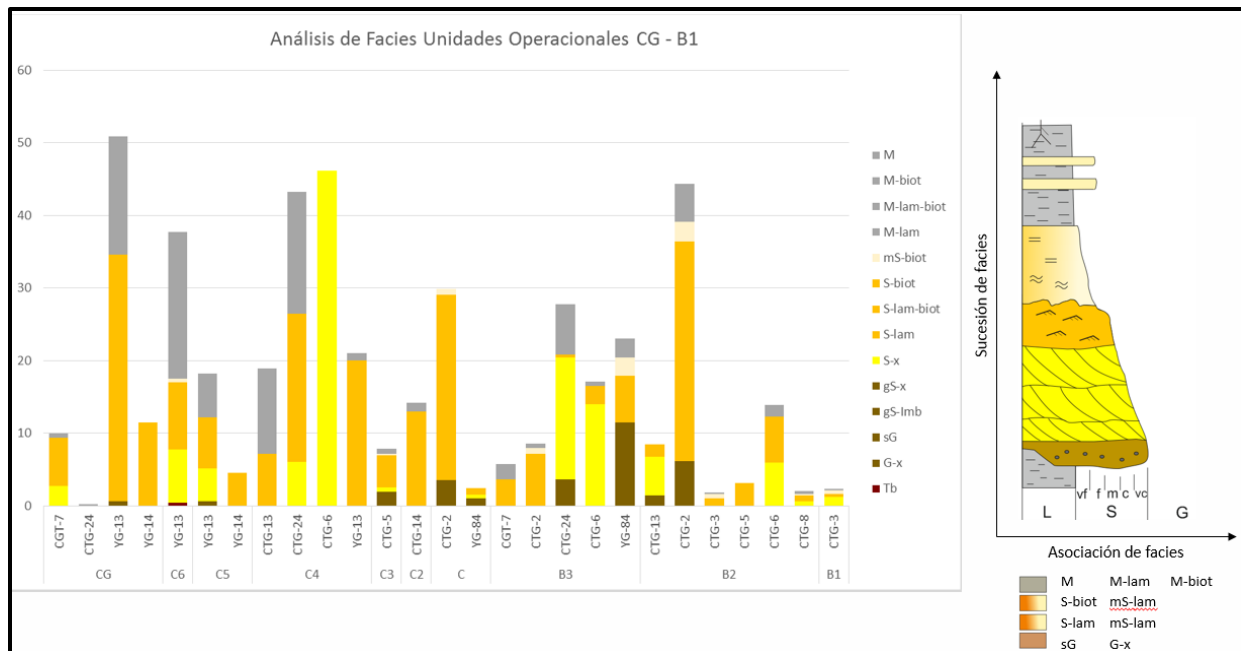


Figura 36. Sucesión de facies para las unidades operacionales CG-B1 en cada uno de los pozos del campo, mostrando la alta conservación de las facies finas en relación con las facies más arenosas y evidenciando la disminución en el desarrollo de las bases de canal. Conglomerados de tamaño grano y guijo, de menor tamaño a los vistos en las secuencias anteriores. Tomado de Ecopetrol (2018).

Los canales evidencian aumento en el espacio de acomodación, permitiendo la conservación de las facies más finas. Por otro lado, las superficies de reactivación disminuyen considerablemente y se comienza a evidenciar la migración de los canales asociados a las facies conglomeráticas (sG, G-x, gS-lmb). Las facies de arenas laminadas y bioturbadas (S-lam, S-lam-biot, S-biot) evidencian una buena conservación, mostrando en algunos casos el abandono progresivo del canal hasta llegar a las llanuras de inundación (M-lam, M-biot, M). Adicionalmente, se observan asociaciones de facies que muestran características propias de un ambiente meándrico como lo son los depósitos de desborde del canal y los levees (M-lam/S-lam), considerados como intercalaciones de arena lodo, con ocasionales niveles conglomeráticos, producto de la ruptura de los levees.

En base a la información presentada anteriormente, el tope de la formación La Paz (CG) y toda la secuencia de la formación Mugrosa se depositó en un ambiente fluvial de canales meandriformes de grano fino. Para este ambiente se reconocen los siguientes tipos de depósito: canales, barras de canal, abandono de canal, desborde de canal y llanuras de Inundación; mostrando un espesor reducido en la base de los canales y una buena conservación de las llanuras de inundación.

**5.2.4 Canales.** Los canales se pueden encontrar tanto en ríos trezados como meandriformes. Generalmente, los canales de ríos trezados están constituidos por granos de tamaño medio a grueso, con selección moderada a buena, donde se acumulan secuencias de gravas y el tamaño de grano se hace muy variado. La principal estructura sedimentaria es la estratificación cruzada, la cual evidencia la presencia de superficies de reactivación y la baja relación lodo/arena, lo que a su vez nos permite clasificarlos como de baja sinuosidad, donde la continua reactivación y amalgamación de dichos canales impiden la conservación de las facies finas.

En el campo Yariguí-Cantagallo, los canales de ríos trezados de la formación La Paz están asociados a las facies gS-Imb (124.85fts), gS-x (218.85fts), gS-x-ca (8.38fts), G-x (74.57fts), G-x-ca (16.97fts), M (12.74fts), M-lam (3.97fts), M-biot (2.23fts), M-lam-biot (4.8fts), mS-biot (17.02fts), mS-lam (7.23fts), sG (144.48fts), S-biot (393.7fts), S-lam (94.29fts), S-lam/M-lam (4.1fts), S-lam-biot (15.68fts), S-lam-biot/M-lam-biot (4.3fts), S-Imb (0.44fts), S-x (563.99fts), S-x-biot (25.9fts), S-x-ca (28.88fts) y Tb (12.63fts), que representan un espesor total aproximado de 2173.24fts; de los cuales 218.47fts corresponden a canales trezados, 544.36fts a canales trezados de baja sinuosidad, 85.4fts a canales trezados con influencia de abanicos aluviales y 1324.94fts a canales trezados de un abanico aluvial.

Por otro lado, los canales de ríos meandriformes se caracterizan por presentar baja energía y un alto porcentaje de preservación, por lo tanto, cuentan con una mayor relación lodo/arena. Adicionalmente, la sucesión de facies muestra que los depósitos de canal se hallan suprayacidos por depósitos de tipo agradacional, que pueden ser relleno de canal o llanuras de inundación. Para el campo del Valle Medio del Magdalena, los canales de ríos meandriformes de la formación La Paz se asocian a las facies gS-Imb (3.2fts), G-x (1.5fts), mS-biot (0.6fts), S-biot (99.95fts), S-lam (5.54fts), S-lam-biot (9.78fts), S-x (71.08fts), S-x-biot (3fts), sG (1.8fts) y Tb (0.5fts), que representan un espesor aproximado de 196.95fts. Mientras que, los canales meandriformes de la formación Mugrosa se asocian a las facies G-x (4.4fts), gS-Imb (11.88fts), M (0.1fts), M-lam (0.6fts), mS-biot (4.5fts), S-biot (45.02fts), S-lam (1.5fts), S-lam-biot (3.8fts), S-x (37.18fts) y sG (6.44fts), las cuales representan un espesor de 161.2fts, que corresponden a la totalidad de los núcleos analizados para dicha formación.

En la parte media de la Formación La Paz se identifican canales afectados por flujos de detritos y flujos de lodo, los cuales presentan conglomerados mal seleccionados, con clastos que pueden variar desde angulares hasta subredondeados. Las facies predominantes son conglomerados areno portados y lodo soportados, seguidos de flujos de lodo por suspensión. La sucesión de facies muestra que estos flujos se hallan suprayacidos por los depósitos de relleno de canal. En el campo del Valle Medio del Magdalena, los flujos de detritos de la formación La Paz se asocian a las facies M (1.93fts), S-biot (4.19fts) y sG (4.73fts) para un espesor total de 10.85fts.

**5.2.5 Relleno de canal.** El relleno de canal corresponde a un depósito de tipo agradacional, que generalmente suprayace a los depósitos de canal y ocasionalmente a los depósitos progradantes,

tales como desborde de canal. Estos depósitos se presentan como secuencias de facies arenosas con estratificación cruzada y ripples, hasta facies limosas de aspecto masivo, en las cuales se observan frecuentes moteados de tonalidades pardas y rojizas, bioturbación no diferenciada y huellas de raíces.

Para el campo Yarigui-Cantagallo, los depósitos de relleno de canal en la formación La Paz están asociados a las facies M (39.61fts), M-biot (13.54fts), M-lam (19.39fts), mS-lam/M-lam (8fts), M-lam-biot (2.74fts), mS-biot (1.81fts), mS-lam (0.3fts), mS-lam-biot (1.4fts), M/S-x (3.17fts), S-biot (4.5fts), S-lam (3.7fts), S-lam-biot (4.9fts), S-lam/M-lam (4fts), S-x (1.3fts), S-x-biot (3.4fts), S-x-ca (1.4fts) y Sg (0.4fts), que representan un espesor aproximado de 113.56fts; de los cuales 7.06fts se asocian a rellenos de canales meandriformes, 51.65fts a rellenos de canales trenzados, 12.5fts a rellenos de canales trenzados con influencia de abanicos aluviales y 42.35fts a rellenos de canales trenzados propios de un abanico aluvial. Por otro lado, los depósitos de relleno de canal identificados para la formación Mugrosa están asociados a las facies M-lam (0.1fts) y mS-biot (0.17fts) que representan un espesor menor de 0.27fts en toda la formación.

**5.2.6 Desborde de canal.** Los depósitos de desborde de canal son de tipo progradante, se encuentran suprayaciendo a los depósitos agradacionales, principalmente llanuras de inundación, y en algunos casos se hallan directamente sobre los depósitos de canal. Generalmente, las capas de diques (*levees*) se organizan en secuencias verticales estratocrecientes que son eliminadas por la erosión del canal; dentro de estos depósitos, se identifican bases ligeramente erosivas, suprayacidas por arenas laminadas con presencia de ripples y arenas con laminación. Finalmente,

se deposita una capa de limo o arcilla con laminación horizontal, típica del régimen de flujo bajo y ocasionalmente laminación ondulosa (depósitos granodecrecientes).

En el campo Yariguí-Cantagallo, los depósitos de desborde de canal identificados para la formación La Paz están asociados a las facies gS-x (5.5fts), gS-x-ca (0.25fts), M (4.14fts), M-lam (1.29fts), M-lam-biot (2.89fts), M-lam-biot/S-lam-biot (2.7fts), mS-biot (0.95fts), gS-Imb (0.8fts), G-x-ca (0.4fts), S-biot (4.55fts), S-lam (2.05fts), S-lam-biot (3.71fts), S-x-ca (4.03fts) y sG (0.14fts), que representan un espesor total de 33.4fts; de los cuales 9.2fts corresponden a depósitos de desborde de canales trenzados, 4.6fts a depósitos de desborde de canales trenzados de baja sinuosidad, 1.99fts a depósitos de desborde de canales trenzados con influencia de abanicos aluviales y 17.54fts a depósitos de desborde de canales trenzados típicos de un abanico aluvial.

**5.2.7 Depósitos de llanura de inundación.** Los depósitos de llanura de inundación están constituidos por lodolitas de color rojizo, con intervalos esporádicos de tonalidad gris verdosa clara. Los tonos rojizos se deben principalmente a los procesos que involucran el desarrollo de suelos y a la variación en los niveles de la tabla de agua; las lodolitas que no presentan tonalidades rojizas se depositan en cuerpos de agua semipermanentes, es decir, fueron depositadas en una llanura de inundación en la cual oscilaban las condiciones subacuosas y subáreas. En la llanura de inundación se suele observar bioturbación no diferenciada y huellas esporádicas de raíces, que muestran el desarrollo incipiente de paleosuelos. Normalmente, estos depósitos se encuentran suprayaciendo los depósitos de canal e infrayaciendo los depósitos progradantes de desborde de canal.

La continuidad lateral de los intervalos lodosos es variable, en algunos casos se pueden presentar lodolitas con espesores inferiores a 10fts, las cuales cumplen la función de aislar intervalos de canales amalgamados, que pueden tener varias decenas de pies de espesor. Se considera que estas lodolitas actúan como barreras verticales al flujo de fluidos, evitando la comunicación hidrodinámica entre diferentes cuerpos de canales meandriformes, asimismo se ha encontrado que pueden actuar como sellos laterales al flujo de fluidos como consecuencia de cambios laterales de facies de canal a facies de llanura de inundación.

Los depósitos de llanura de inundación de la formación La Paz están asociados a las facies M (15.08fts), M-biot (89.99fts), M-lam (20.89fts), M-lam-biot (10.06fts), mS-biot (2.53fts), S-biot (1.92fts), S-lam (2.22fts), S-x (1ft) y Tb (1ft), que representan un espesor aproximado de 144.69fts; de los cuales 51.91fts se asocian a llanuras de inundación de ríos meandriformes, 6.7fts a llanuras de ríos trezados, 55fts a llanuras de canales trezados de baja sinuosidad, 2.4fts a llanuras de canales trezados con influencia de abanicos aluviales y 27.98fts a llanuras de inundación de canales trezados típicos de un abanico aluvial. Por otro lado, los depósitos de la formación Mugrosa se asocian a las facies M (9.02fts), M-biot (4.1fts), M-lam (3fts), mS-biot (0.3fts) y S-biot (0.2fts), que representan un espesor total de 16.62fts en toda la formación.

**5.2.8 Depósitos de crevasse splay.** Los depósitos de crevasse splay están constituidos por areniscas bien seleccionadas de tamaño de grano fino a muy fino y ocasionalmente por areniscas lodosas; estas areniscas presentan laminación planar, ondulitas de corriente y diversos grados de bioturbación. Adicionalmente, las areniscas y lodolitas de la llanura de inundación se presentan

como una interestratificación. Cabe resaltar que la principal característica de estos depósitos es que no se encuentran saturados de hidrocarburo.

En el campo del Valle Medio del Magdalena, los depósitos de crevasse splay identificados para la formación La Paz están asociados a las facies M (0.66fts), M-lam/S-lam (2.3fts), mS-biot (0.36fts), S-biot (11.95fts), S-x (7fts), S-x-ca (2fts) y sG (0.35fts), que representan un espesor total de 24.62fts; de los cuales 11.2fts corresponden a depósitos de crevasse splay de canales meandriformes y 13.42fts a depósitos de crevasse splay en canales trenzados típicos de un abanico aluvial. Por otro lado, los depósitos identificados para los canales meandriformes de la formación Mugrosa se asocian a las facies gS-Imb (0.78fts), M (1.6fts), S-biot (6.86) y sG (0.42fts), las cuales representan un espesor total de 9.66fts en toda la formación.

**5.2.9 Depósitos de barras de canal.** Estos depósitos están constituidos por litoarenitas composicionalmente inmaduras, las cuales presentan matriz lodosa y ocasionalmente cemento calcáreo a modo de parches, producto de procesos de lixiviación y migración de fluidos laterales. Asimismo, la madurez textural de la roca es muy variable puesto que el tamaño de grano puede variar de fino a conglomerático, encontrando rocas con selección buena, moderada y mala.

Generalmente, las areniscas de los depósitos de barras de canal conforman intervalos con tendencia granodecreciente, donde es común encontrar *lag deposits* o depósitos de base de canal, en los que se pueden hallar intraclastos lodosos o líticos tamaño grava. Hacia la base de los canales se reconocen estructuras sedimentarias físicas tales como imbricación de clastos y estratificación cruzada, mientras que hacia el tope de estos canales ocasionalmente se encuentran ondulitas de

corriente y laminación ondulosa. La bioturbación presente en los depósitos de barras de canal es de intensidad variable, en algunos casos incipiente y en otros puede llegar a destruir completamente las estructuras sedimentarias físicas originales.

Teniendo en cuenta que hacia el tope de las formaciones La Paz y Mugrosa los diferentes canales presentan gradación del tamaño de grano y una sucesión de facies que sugiere un decrecimiento en el gradiente de energía, los canales se interpretan como de tipo meandriforme. Sin embargo, hacia la base y parte media de la formación La Paz estos canales se ven truncados, amalgamándose para conformar cinturones de canales, características que nos permiten clasificarlos como del tipo trenzado. En el campo del Valle Medio del Magdalena, los depósitos de barras de canal identificados para la formación La Paz se asocian a las facies gS-Imb (6.54fts), gS-x (2.8fts), S-lam (5.74fts), S-biot (23.94fts), S-lam-biot (0.42fts), S-x (26.52fts), S-x-biot (6.7fts), S-x-ca (2.7fts), sG (0.98fts) y Tb (1.9fts), que representan un espesor total de 78.24fts; de los cuales 3fts corresponden a barras de canales trenzados, 63.29fts a barras de canales trenzados de baja sinuosidad y 11.95fts a barras de canales trenzados propios de un abanico aluvial.

Los depósitos de areniscas de canal constituyen los intervalos de mayor potencial productor para el campo del Valle Medio del Magdalena. Sin embargo, se identifica que algunas facies de la base y tope de dichos canales no están saturadas en hidrocarburo, estas facies corresponden a conglomerados lodo soportados, ocasionalmente cementados y areniscas lodosas, las cuales suelen presentar mala selección y oclusión de poro por presencia de arcilla.

## 6. Conclusiones

En la formación Mugrosa se definieron un total de 12 facies sedimentarias, las cuales de acuerdo con la metodología empleada se nombraron como: conglomerado con estratificación cruzada (G-x), conglomerado arenoso (sG), arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados (gS-Imb), arenisca con estratificación cruzada (S-x), arenisca laminada (S-lam), arenisca con relictos de laminación y bioturbación (S-lam-biot), arenisca bioturbada (S-biot), arenisca lodosa bioturbada (mS-biot), lodolita laminada (M-lam), lodolita con relictos de laminación y bioturbación (M-lam-biot), lodolita bioturbada (M-biot) y lodolita (M).

En la formación La Paz se definieron un total de 19 facies sedimentarias, las cuales de acuerdo a la metodología empleada se nombraron como: volcano-sedimentaria o toba (Tb), conglomerado con estratificación cruzada (G-x), conglomerado con estratificación cruzada y cemento calcáreo (G-x-ca), conglomerado arenoso (sG), arenisca conglomerática con estratificación cruzada (gS-x), arenisca calcárea conglomerática con estratificación cruzada (gS-x-ca), arenisca conglomerática a ligeramente conglomerática con clastos imbricados (gS-Imb), arenisca con estratificación cruzada (S-x), arenisca calcárea con estratificación cruzada (S-x-ca), arenisca con relictos de estratificación cruzada y bioturbación (S-x-biot), arenisca laminada (S-lam), arenisca con relictos de laminación y bioturbación (S-lam-biot), arenisca bioturbada (S-biot), arenisca lodosa laminada (mS-lam), arenisca lodosa bioturbada (mS-biot), lodolita laminada (M-lam), lodolita con relictos de laminación y bioturbación (M-lam-biot), lodolita bioturbada (M-biot) y lodolita (M).

Se interpretaron un total de 2503.56ft de núcleos descritos para la formación La Paz; de los cuales 313.32ft representan sistemas fluviales de ríos meándricos, 865.3ft sistemas fluviales de

ríos trezados y 1324.94ft depósitos de abanicos aluviales. Por otro lado, la totalidad de los núcleos interpretados para la formación Mugrosa representan un espesor de 161.2ft, que se asocian a sistemas fluviales de ríos meándricos.

La interpretación ambiental de la formación Mugrosa nos permite definir que le totalidad de la secuencia sedimentaria se depositó en un ambiente fluvial de canales meandriformes de grano fino, los cuales se asocian a cinco principales tipos de depósito: canales, barras de canal, abandono de canal, desborde de canal y llanuras de inundación.

La interpretación ambiental de la formación La Paz nos permite definir que se depositó en un ambiente continental de tipo fluvio-aluvial; la base de la formación se interpreta como un sistema fluvial de ríos trezados, en donde predominan los sedimentos de grano grueso; la zona media de la formación corresponde al cuerpo de un abanico aluvial afectado por canales trezados, que se caracteriza por presentar baja conservación de las facies más finas y el tope de la formación se asocia a un ambiente fluvial de canales meandriformes de grano fino.

Los canales fluviales meandriformes y sus facies asociadas suelen ser de grano más fino que los depósitos de abanico aluvial y trezado, disminuyendo la cantidad de líticos y evidenciando una disminución de la relación acomodación/suministro.

### Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH. (2007). *Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal*, Bogotá, Colombia.
- Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH. (2011). *Petroleum Geology of Colombia. Fondo editorial Universidad Eafit*, 7.
- Araque, K. (2009). *Modelo geoestadístico basado en objetos para la caracterización de los cuerpos arenosos de la formación Colorado en el campo Llanito cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Arche, A. (Ed.). (2010). *Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC.
- Barba, F. (1999). Rocas sedimentarias y facies sedimentarias: relaciones conceptuales y genéticas. Aplicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.1, 29-37.
- Beltrán, E. (2012). *Estudio sedimentológico comparativo entre las formaciones Mugrosa y Colorado; y Modelamiento de los niveles de las arenas A2 de la Formación Colorado en el Campo Casabe en la cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Blandón A. (2002). *Principios de estratigrafía*. Medellín, Colombia: UNAL-Medellín.
- Boggs, S. (2006). *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.

- Caballero, V. (2010). *Evolución Tectono – Sedimentaria del Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Sedimentaria Valle Medio del Magdalena, Colombia, Durante el Oligoceno – Mioceno* (tesis de maestría). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Caballero, V. (2010). Levantamiento de la cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno tardío, oligoceno temprano. *Boletín de geología*, 32.
- Caballero, V., Mora, A., Quintero, I., Blanco, V., Parra, M., Rojas, L., López, C., Sánchez, N., Horton, B., Stockly, D., y Duddy, I., (2013). Tectonic controls on sedimentation in an intermontane hinterland basin adjacent to inversion structures: the Nuevo mundo syncline, Middle Magdalena Valley, Colombia. *Geological Society, London, Special Publications*, 377, 471.
- Cediel, F., Leal-Mejia, H., Shaw, R., Melgarejo, J., y Restrepo-Pace, P. (2011). Regional Geology of Colombia. *Petroleum Geology of Colombia. ANH*.
- Cifuentes, A. (2008). *Análisis sedimentológico y estratigráfico de la formación Mugrosa en el sector central del campo Llanito, cuenca del Valle Medio del Magdalena, Santander-Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Clavijo, J., Mantilla, L., Pinto, J., Bernal, L., y Pérez, A. (2008). Evolución geológica de la serranía de San Lucas, norte del Valle Medio del Magdalena y noroeste de la cordillera Oriental. *Boletín de Geología*, 30 (1).
- Cooper, M., Addison, F., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R., Hayward, A., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A., & Taborda, A. (1995). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, 79, (10), 1421-1443.

- Córdoba, F., Rolón, F., Buchelli, F., y Suarez, M. (2000). Provincia petrolífera del Valle Medio del Magdalena, Colombia. *Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, ACGGP*.
- De Lourdes, M., y Ortiz, M. (2001). Riesgo de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río San Pedro, Nayarit. *Investigaciones geográficas, Boletín del instituto de geografía, UNAM*, 45, 7-23.
- Dott, R. (1964). Wacke, Greywacke and Matrix—What Approach to Immature Sandstone Classification. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34, 625-632.
- Ecopetrol, ICP. (2018). *Modelo sedimentológico para la unidad Arenas Cantagallo (Fm. La Paz) y la unidad B3 (Fm. Mugrosa) campo Yariguí-Cantagallo, VMM*. Bucaramanga, Colombia.
- Farrell, K. (2012). Standardizing Texture and Facies Codes for a Process-Based Classification of Clastic Sediment and Rock. *Journal of Sedimentary Research*, 82, 364–378.
- Folk, R. (1974). Petrology of Sedimentary Rocks. *University of Texas: Hemphill Publishing Company*, p.182.
- García, J., & Fonseca, C. (2009). *Modelo sedimentológico y estratigráfico de la formación Mugrosa en el campo Escuela – Colorado* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- García, R., Conesa, C., y Pérez, P. (2015). Análisis espacial de la geometría de meandros abandonados recientes en la Vega Media del Segura (Murcia).
- Gómez, R., & Morales, J. (2008). *Modelo geoestadístico basado en objetos de las formaciones Mugrosa y Colorado, campo Lisama cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

- Jaimés, Y. (2008). *Modelo estratigráfico del área norte del campo Llanito aplicado a las formaciones Mugrosa y Colorado, cuenca Valle Medio del Magdalena, Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Miall, A. (1977). A review of the braided river depositional environment. *Earth Sci. Rev.*, 13, 1-62.
- Mojica, J., y Franco, R. (1990). Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana*, 17, 41-64.
- Naranjo, J., Caballero, V., & Gómez, P. (2017). Sucesiones de facies y ambientes de depositación del Eoceno, cuenca Llanos Orientales, sector sur. En A. Ochoa (presidencia). *XVI Congreso Colombiano de Geología, III Simposio de exploradores. Geología, Sociedad y Territorio*. Congreso llevado a cabo en Santa Marta, Colombia.
- Olivares, E. (2016). *Patrones de cambio morfológico y meándrico de 13 ríos pertenecientes a la cuenca hidrográfica de Amazonas* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Palacios, Z., & Acosta, J. (2011). *Desarrollo de una metodología que permita optimizar la interpretación de las pruebas sdt srt y minifrac en trabajos de fracturamiento hidráulico aplicado al campo Yariguí-Cantagallo* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Patiño, M. (2008). *Definición de un modelo geoestadístico basado en objetos de la formación Mugrosa a partir de los modelos estratigráfico y petrofísico en el campo Llanito cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Reineck, H., & Singh, I. (1980). Depositional Sedimentary Environments, with Reference to Terrigenous Clastics. *Springer-Verlag*, p.549.

Royero, J., y Clavijo, J. (2001). *Mapa geológico generalizado del departamento de Santander* (Memoria Explicativa). Servicio Geológico Nacional.

Rust, B. (1978). A classification of alluvial channel systems. In Miall, A.D. (Ed.): *Fluvial Sedimentology*, Mem. *Canadian Society Petroleum Geologists*, 5, 187-198.

The rock-color chart committee. (1991). *Rock Color Chart*. *The Geological Society of America*.

Vera, J. (1994). *Estratigrafía Principios y Métodos*. Madrid, España: Editorial Rueda.

Walker, R. (1984b). General introduction: Facies, Facies sequences and facies models. In: *Facies models* (R.G.Walker, Ed.), *Geoscience Canadá*, 1-9.

Wentworth, C. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The journal of geology*, 30 (5), 377-392.

### Apéndices

Apéndice A. Tabla máster-campo Yariguí-Cantagallo.

Apéndice B. Espesores por ambientes de la Fm. La Paz y la Fm. Mugrosa.

Apéndice C. Columna CTG-A.

Apéndice D. Columna CTG-B.

Apéndice E. Columna CTG-C.

Apéndice F. Columna CTG-D.

Apéndice G. Columna CTG-E.

Apéndice H. Columna CTG-F.

Apéndice I. Columna CTG-G.

Apéndice J. Columna CTG-H.

Apéndice K. Columna CTG-I.

Apéndice L. Columna CTG-J.

Apéndice M. Columna YG-C.

Apéndice N. Columna YG-D.

Apéndice O. Columna YG-E.