



**ESTUDIO DE LA CONTINUIDAD LATERAL Y VERTICAL DE LAS ARENAS DE  
LA FORMACIÓN MUGROSA EN EL CAMPO CASABE Y LLANITO, VALLE  
MEDIO DEL MAGDALENA**

**EFRAIN CASADIEGO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUACARAMANGA  
2008**



**ESTUDIO DE LA CONTINUIDAD LATERAL Y VERTICAL DE LAS ARENAS DE  
LA FORMACIÓN MUGROSA EN EL CAMPO CASABE Y LLANITO, VALLE  
MEDIO DEL MAGDALENA**

**EFRAIN CASADIEGO QUINTERO**

**Trabajo de investigación como requisito  
para obtener el título de Geólogo**

**Director**

**Geólogo MSc. Germán Meza**

**Codirector**

**Geólogo MSc. Alberto Ortiz**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUACARAMANGA  
2008**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Geólogo Ms.C Alberto Ortiz, por haberme dado la oportunidad de participar en este proyecto, así como haber sido mi director y guía durante el desarrollo de este trabajo de investigación, por sus invaluable consejos y recomendaciones.

Al Geólogo Ms.C. Germán Meza por asesorarme, por haber sido mi director y guía en el desarrollo del trabajo de investigación y en el planteamiento de recomendaciones.

A todo el equipo del CIT-ICP quienes me permitieron el uso de la base de datos y de la información esencial para la investigación.

Al Profesor Juan Diego Colegial de quien aprendí mucho en campo y me dio consejos en el desarrollo del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
3. ANTECEDENTES .....	3
3.1 ESTUDIOS ANTERIORES.....	3
3.1.1 Definición de sucesión de facies, ciclos estratigráficos. ....	4
3.1.2 Continuidad de las arenas de canal .....	6
3.2 GEOLOGÍA .....	9
3.2.1 Estratigrafía .....	9
3.2.2 Geología Estructural.....	12
4. FASES DE INVESTIGACIÓN.....	14
4.1 FASE OFICINA .....	14
4.2 FASE DE CAMPO.....	15
4.3 FASE DE LABORATORIO .....	16
4.3.1 Descripción y análisis de núcleos.....	16
4.3.2 Revisión de los registros de pozo.....	17
4.4 FASE DE INTERPRETACIÓN DE DATOS .....	17
4.4.1 Continuidad y Correlaciones Estratigráficas.....	17
4.5 ELABORACIÓN Y SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL.....	18
5. GENERALIDADES DEL CAMPO LLANITO Y CASABE .....	19
5.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
6. RESULTADOS .....	21
6.2 ANÁLISIS EN MUESTRAS DE MANO.....	26
6.3 ANÁLISIS DE NUCLEOS .....	29
6.3.1 ECE-7.....	29
6.3.2 CS-1045 .....	31
6.4 Facies, Sucesión de facies y ambiente depositacional en la Formación Mugrosa, Campo Llanito y Casabe.....	32
6.4.1 Sucesión de facies de canal.....	33
6.4.1.1 A-x (Arenisca con Estratificación Cruzada) .....	34
6.4.1.2 A-px (Arenisca de Estratificación Cruzada Planar).....	34
6.4.2 Sucesión de facies de llanura de inundación y crevasse splay .....	35
6.4.2.1 Fa/Fg (Limonitas abigarradas/grises).....	36
6.4.2.2 AL (Arenisca Lodosa) .....	36
6.4.2.3 AL-p-r (Arenisca Lodosa con Estratificación Planar y ondulitas) .....	36
6.4.2.4 Am (Arenisca Masiva) .....	37
6.5 CICLOS Y ARQUITECTURA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN MUGROSA .....	37
6.5.1.1 Ciclos de bajo termino en sucesión de facies de canal .....	39
6.5.1.2 Ciclos de termino corto en sucesión de facies de crevasse splay y llanura de inundación .....	41
6.5.2 Ciclos estratigráficos de termino intermedio.....	42
6.5.3 Ciclos estratigráficos de termino alto.....	43

6.6 ELECTROFACIES Y CARACTERIZACIÓN DE HORIZONTES ESTRATIGRÁFICOS.....	44
6.7 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA .....	47
6.7.1 Correlación estratigráfica al norte del Campo Llanito, LL=3.....	49
6.7.2 Correlación estratigráfica al sur del Campo Llanito .....	54
6.7.3 Correlación Estratigráfica al Sur del Campo Casabe, CS=2 .....	60
7. ESPESORES DE ARENAS.....	61
8. ARENICAS CON IMPREGNACIÓN DE HIDROCARBUROS .....	62
9. CONCLUSIONES.....	63
10. RECOMENDACIONES .....	65
11. REFERENCIAS.....	65

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Cambios en la simetría de ciclos dentro de un único ciclo estratigráfico debido a división de volumen de sedimento a lo largo de un perfil depositacional. Basado en un típico ciclo de un estrato del terciario inferior. ....	4
Figura 2. Criterios para el reconocimiento de ciclos en A/S. Ambiente continental.	5
Figura 3 Fuente, Ramón et al (1998), Ciclos asimétricos de escala intermedia relacionados con hemiciclos de gran escala. ....	5
Figura 5. Diagrama que muestra la alta relación entre la geometría de un canal activo individual y la geometría resultado de cuerpos de arena formados por canales, Miall (1985). ....	6
Figura 6. Depositación agradacional de canales meandriformes. ....	6
Figura 7. Variación de facies debido a los procesos depositacionales, Galloway y Hobday, 1996. ....	8
Figura 8 Relación, reflectores por respuestas de registros eléctricos y gamma, facies que componen un sistema fluvial idealizado, (Galloway, 1987). ....	8
Figura 9 Registro tipo y marcadores de la secuencia terciaria, Campo La Cira. ....	11
Figura 10 Geología estructural del área Llanito-Gala- Galán. ....	12
Figura 11 . Bloques del Campo Casabe. ....	13
Figura 12. Flujo de trabajo. ....	14
Figura 13. Panorámica Este Oeste margen de Río Sucio. ....	15
Figura 14 Ubicación de afloramientos. ....	16
Figura 15. Columna Estratigráfica Generalizada, Cuenca Valle Medio del Magdalena. ....	19
Figura 16. Localización geográfica del Área Llanito-Casabe-Gala-Galán-San Silvestre. Fuente, Ivan Dario Olaya, 2007. ....	20
Figura 17. Contacto de la Fm. Esmeraldas y la Fm. Mugrosa. ....	21
Figura 18. Limolitas grisáceas, tope de la Fm. Esmeraldas. ....	22
Figura 19 Migración de canal en la Formación Mugrosa. ....	22
Figura 20. Areniscas cuarzosas intercaladas con lodolitas negras físilas. ....	23
Figura 22. Lentes de lodolita Formación Mugrosa. ....	24
Figura 23 Areniscas rojizas y lodolitas abigarradas de la Formación Colorado. ...	25
figura 24 Traza de Skoyenia. ....	28
Figura 25. Calibración del corazón ECE-7 con registros GR, SP y ILD. ....	29
Figura 26 Intervalo del corazón de CS-1045 calibrado con el registro GR. ....	32
Figura 27. Arenisca en estratificación Cruzada en artesa. ....	34
Figura 28 Interclastos lodosos en la base de los canales. ....	34
Figura 29 M-006. Arenisca cuarzosa de grano muy fino con estratificación cruzada, abundantes líticos esquistosos, matriz lodosa. ....	35
Figura 30 Convenciones Estratigráficas. ....	38
Figura 32 Ciclos de bajo termino de crevasse y llanura de inundación, A, CS-1045 Mugrosa inferior. Ciclos de bajo termino de arenas de canal, B, ECE-7 Mugrosa inferior. ....	40
Figura 33 Ciclos de bajo termino de facies de llanura de inundación y crevasse splay o relleno de canal, ECE-7, Mugrosa superior. ....	41

Figura 34 Ciclos estratigráficos de término intermedio, agrupa areniscas y lodolitas en secuencias crecientes o decrecientes, CS-1045.....	42
Figura 35. Ciclos de corto término y asociación de facies, Calibración de registro de pozo y descripción de sucesiones de facies en corazón. Int. 6425'-6652', ECE-7 .....	43
Figura 36 Calibración de registro de pozo y descripción de sucesiones de facies en corazón. Int. 5886'-6162', ECE-7 .....	45
Figura 37. Mapa de arenas de canal B1 (Ecopetrol, 2007)      Figura 38. Mapa de arenas de canal C1 (Ecopetrol, 2007).....	46
Figura 39 Paleócorrientes promedio horizonte B1, (Ecopetrol, 2007).....	47
Figura 40 Paleócorrientes promedio horizonte C1, (Ecopetrol, 2007).....	47
Figura 41 Correlación de la transversa LL=3, Formación Mugrosa.....	49
Figura 42. Ciclos de termino intermedio y alto en la correlación LL=3, Formación Mugrosa. ....	51
Figura 43. Correlación estructural de pozos a partir del datum de referencia de la Cira Shale, entre el pozo ECEG-123 y ECEG-81 hay una posible falla normal que hace perder secuencia del registro SP.....	52
Figura 44. Ubicación de los Pozos, correlación sur del Campo Llanito.....	53
Figura 45 Correlación ECE=1 al sur del Campo Llanito, Formación Mugrosa Pozos ECEG-81, ECEG-123, ECE-7, ECE-7, ECE-2, ECE-E1. ....	54
Figura 46. Continuidad de canales en zonas de mayor amalgamamiento correlación ECE=1 .....	56
Figura 47. Correlación ECE=2 al sur del Campo Llanito, Formación Mugrosa Pozos ECEG-81, ECEG-64, ECES-1.....	57
Figura 48. Correlación ECE=3 al sur del Campo Llanito, Formación Mugrosa Pozos ECE-E1, ECEL-8 y ECES-1. ....	58
Figura 49 Correlación CS=2 al sur del Campo Colorado, Formación Mugrosa Pozos CS-10, CS-439, CS-742 y CS-1. ....	59
Figura 50. Porcentaje de arenas Formación Mugrosa correlación LL=3.....	60
Figura 51. Promedio total de los espesores de arena al Norte del Campo Llanito	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rasgos texturales, estructurales y mineralógicos en muestra de mano Formación Mugrosa. ....	26
Tabla 2. Rasgos texturales, estructurales y mineralógicos en muestra de mano Formación Colorado.....	27

## ANEXOS

Anexo 1. Descripción resumida de facies .....	68
Anexo 2. Espesor de arenas Correlación ECEC=2.....	68
Anexo 3. Espesor de arenas Correlación LL=3.....	71
Anexo 4. Coordenadas de Muestras.....	72
Anexo 5. Columna Estratigráfica afloramiento 1.....	73
Anexo 6. Columna Estratigráfica afloramiento 2.....	73
Anexo 7. Columna Estratigráfica afloramiento 3.....	73
Anexo 8. Columna Estratigráfica corazón ECE-7.....	73
Anexo 9. Columna Estratigráfica corazón CS-1045.....	73
Anexo 10. Correlación LL=3.....	73
Anexo 11. Correlación ECE=1.....	73
Anexo 12. Correlación ECE=2.....	73
Anexo 13. Correlación ECE=3.....	73
Anexo 14. Correlación CS=2.....	73

## RESUMEN

**Título:**

**Estudio De La Continuidad Lateral Y Vertical De Las Arenas De La Formación Mugrosa En El Campo Casabe Y Llanito, Valle Medio Del Magdalena.\*\***

**Autor: Efraín Casadiego Quintero\***

**Palabras Clave: Formación Mugrosa, Campo Llanito y Casabe, continuidad lateral de las areniscas de canal.**

Este estudio busca determinar la continuidad y extensión de las arenas de canal de la Formación Mugrosa y sus restricciones laterales por depósitos de llanura de inundación, los resultados de estas observaciones se obtuvieron en base a la integración de análisis sedimentológico de 441.68 ft de núcleos de perforación de los pozos ECE-7 y CS-1045 y aproximadamente 250 metros de afloramientos de la zonas Uribe-Uribe, Valle Medio del Magdalena. Con la descripción y análisis de afloramientos y corazones se pudieron proponer sucesiones y asociaciones de facies siguiendo patrones de variación de la relación A/S. Los afloramientos nos dieron las geometrías de los canales y sus espesores reales. La correlación estratigráfica de los pozos ubicados en el Campo Llanito, Gala y Galán provee información de la conexión de los canales facilitando el seguimiento de las posibles trampas de hidrocarburos y reconociendo espesores de las arenas de porosidad y permeabilidad buenas, intermedias y malas para el entrapamiento del hidrocarburo. En base a la correlación se puede observar y ubicar zonas de amalgamamiento, donde los canales son extensos arealmente. La Formación Mugrosa se formó en un ambiente de transición entre ríos meandricos y anastomosados, que están conformados por una gran variación de facies con cambios petrofísicos lateral y verticalmente, que complican el seguimiento de entrapamientos del hidrocarburo. A esto se suma el no poder tener una idea clara de la dirección de paleoflujo de las arenas de canal. Las correlaciones cortan la Formación Mugrosa en todas las direcciones, lo cual se hace para conocer como es la conexión de los canales transversos y longitudinales a la dirección del paleoflujo. Se planteó la variación de espesores de arenas por horizontes, y se obtuvo un promedio de la variación de estos espesores.

\* Trabajo de grado modalidad investigación

\*\* Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de geología, Directores: MsC Alberto Oriz, Ms.C German Meza.

## ABSTRACT

**Title:**

**Study of the Lateral and Vertical Continuity of the Sands of the Mugrosa Formation on the Llanito and Casabe Field.\*\***

**Author: Efrain Casadiego Quintero\***

**Key words: Mugrosa Formation, Llanito and Casabe field, Lateral and Vertical Continuity of the channel Sandstones.**

This research worked on the continuity and size of the channel sandstones of Mugrosa Formation and their facies change to floodplain deposits. The results based on the integration of sedimentologic analysis in 111.68 ft drill core of wells ECE-7 and CS-1045 and 250 m from outcrops near to Uribe Uribe, Middle Magdalena Basin propose a series of facies successions that follow specific (A/S) ratio variations. Outcrops made possible to find true thickness of beds and channels. Stratigraphic correlations from Llanito, Casabe, Gala and Galan fields make possible to observe channel connectivity and continuity to finally recognize sandstone thickness and reservoir quality. Correlations showed amalgamated zones in which channeling is extended laterally. Mugrosa Formation was deposited on a transitional braided-meandering with lateral facies changes that complicates the hydrocarbon traps. In addition, paleocurrents were not pretty clear. Cross sections cut the formation in all possible directions in order to get a better idea of these paleocurrents. Thickness variation was analyzed and an average was obtained for these sand bodies.

\* Work of grade modality investigation

\*\* Industrial University of Santander, Ability of Physiochemical engineerings, Geology school, Directors: MsC Alberto Ortiz, Ms.C German Meza.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante años ECOPETROL, y asociados de la industria de petróleo produjo el hidrocarburo de la Formación Mugrosa perforando una serie de pozos sin un mayor conocimiento de la extensión de las arenas y conexión de los canales que durante miles de años depositaron el sedimento adecuado para reservar el hidrocarburo.

El siguiente informe presenta la continuidad lateral y vertical de algunos canales de la Formación Mugrosa en el Campo Llanito y norte del Campo Casabe, con la información obtenida de los pozos corazonados Gala 7, Casabe 1045, los registros eléctricos y datos obtenidos de campo. Mediante el análisis de esta información se estimó la continuidad de canales dentro de la correlación elaborada con electrófacies calibradas con datos de campo, pozos corazonados y los mapas de distribución de arenas petrolíferas, con el objetivo de ampliar las posibilidades prospectivas de exploración.

La Formación Mugrosa es de edad oligoceno inferior, conformada por depósitos fluviales en un ambiente que varía entre meandriforme-anastomosado, es una de las formaciones más importantes en la explotación de hidrocarburos en Colombia. Para el estudio en la continuidad de las arenas depositadas en ambientes fluviales es importante conocer muy bien la sedimentología, estratigrafía, petrografía a detalle y su evolución geológica. Este proyecto hace parte del Convenio 005 de la Unidad de Investigación del Instituto Colombiano del Petróleo y el Grupo de Investigación en Estratigrafía de la UIS, dentro del programa de investigaciones que apoya campos maduros.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL.**

Estudiar la continuidad lateral y vertical de las arenas de la Formación Mugrosa en el área Piloto de Casabe y Llanito, Valle Medio del Magdalena, para posibles nuevas exploraciones de reservorios.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- ◆ Llevar a cabo una recopilación bibliográfica y análisis de la información de estudios anteriores de la Formación Mugrosa en los Campos Llanito y Casabe.
- ◆ Analizar, describir 441.68 ft de núcleos y ripios con el fin de definir espesores, estructuras, texturas sedimentarias y calibrarlos con GR.
- ◆ Correlacionar con registros de pozo SP, ILD y GR las arenas de la Formación Mugrosa en el campo Llanito y Casabe, calibrarlos con los núcleos para tener una idea de su geometría y variabilidad lateral y vertical.
- ◆ Visualizar la continuidad y la extensión lateral de Mugrosa en la correlación transversal seleccionada.
- ◆ Realizar un estudio en campo y levantamiento de columnas de la Formación Mugrosa, analizando la secuencia estratigráfica de los lentes, estructuras, geometría de los canales, marcadores para estimar la simetría de las capas.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. ESTUDIOS ANTERIORES

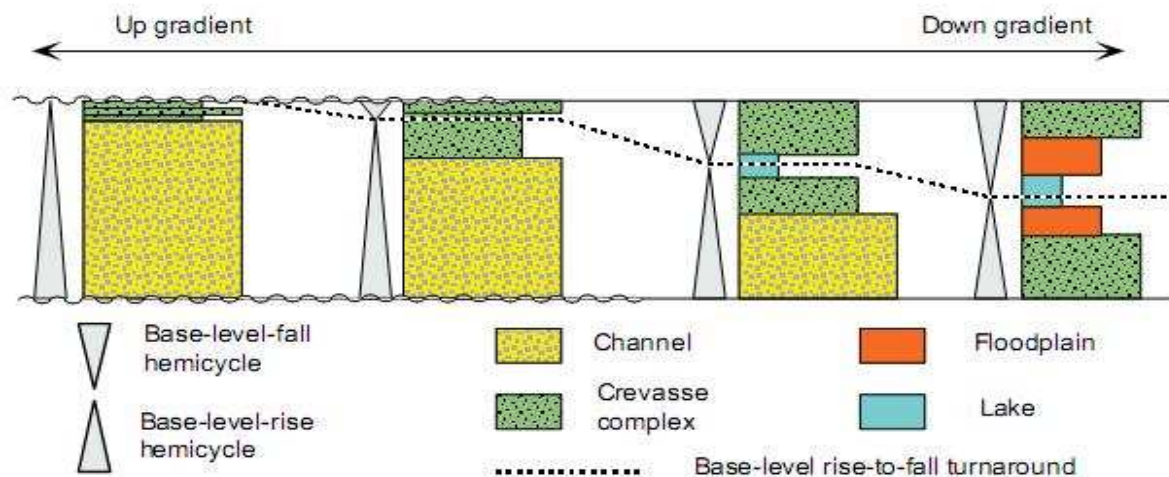
Desde estos últimos años la Cuenca del Valle Medio del Magdalena ha sido objeto de estudios mediante varios trabajos elaborados por diversos autores entre los que podemos destacar:

- ◆ Morales (1958), reporta la geología general y ocurrencia de aceite en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.
- ◆ Ramírez (1988), estudio la estratigrafía del terciario en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena en el norte y parte central, donde reportan que los sedimentos que conforman la Formación Mugrosa de ambiente fluvial de un sistema de canal meandriforme.
- ◆ Cross (1996), aporta algunos principios de estratigrafía genética del Valle Medio del Magdalena basado en datos de registros de pozo y corazones descritos donde sugiere que la Formación Mugrosa pertenece al oligoceno inferior.
- ◆ Reyes (1996), realizo un estudio de la estratigrafía de secuencias de la sección Terciaria del Valle Medio del Magdalena
- ◆ Ramón y Cross (1997), realizaron un estudio que muestra las propiedades petrofísicas y arquitecturas de los yacimientos en canales fluviales y depósitos de crevasse que dependen de las condiciones de acomodación y suministro de sedimento –A/S.
- ◆ Olaya (1998), evaluó la secuencia terciaria en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, la Formación Colorado, Mugrosa, Esmeraldas y La Paz basado en correlaciones con registros de pozo y datos de corazones.
- ◆ Ramón y Cross (1998), basados en datos de corazones, afloramientos y registros de pozo propusieron divisiones de alta resolución para los estratos. Estas unidades fueron definidas por apilamientos, sucesión de facies de pequeña escala y asociación de facies.
- ◆ Gómez et al (2005), analizo la sintectónica del Cenozoico, la sedimentación en el norte de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena y las implicaciones para

la exhumación del norte de los Andes, en el sugiere que la unidad inferior de la Formación Mugrosa se deposito por canales trenzados.

### 3.1.1. Definición de sucesión de facies, ciclos estratigráficos.

**Figura 1.** Cambios en la simetría de ciclos dentro de un único ciclo estratigráfico debido a división de volumen de sedimento a lo largo de un perfil deposicional. Basado en un típico ciclo de un estrato del terciario inferior.



**Fuente,** Ramón et al (1998) estrategias de correlación y métodos en estratos continentales, Cuenca del Magdalena Medio.

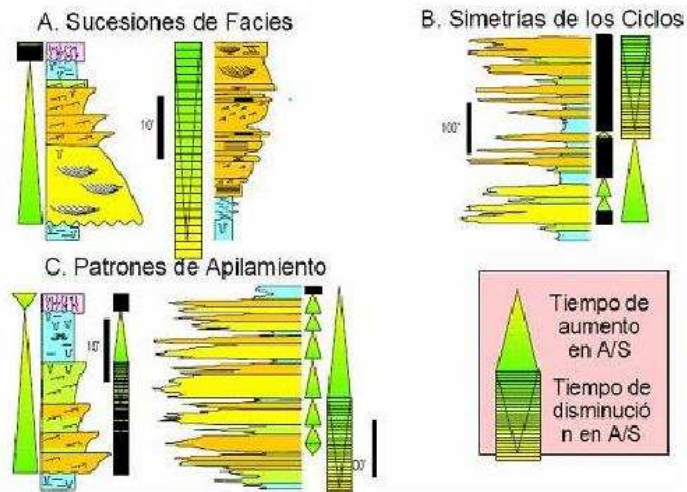
Los análisis sedimentológicos y estratigráficos de corazón, afloramientos y registros de pozo para la Cuenca del Magdalena Medio revela normalmente, recurrentes sucesiones de facies para todas las facies tract. Estos atributos son reconocidos en ciclos de pequeña escala (5 – 15m de espesor), y en los registros las condiciones incrementan y/o decrecen A/S dependiendo de su geometría, sucesión de facies y espesores, Ramón et al (1998), (figura 1).

La disminución progresiva de facies de lago, llanura de inundación y ocurrencia de incremento en la proporción de areniscas de canal y crevasse splay complejos registran el decremento de acomodación en la cuenca a escala.

◆ Ciclos de pequeña escala en condiciones de alta acomodación.

El aumento de acomodación en los ciclos de pequeña escala ocurre cerca del entorno de las subidas y caídas de ciclos de gran escala. Ellos son dominados por lagos, llanura de inundación agradacional, suelos agradacionales y depósitos de crevasse splay, son típicos ciclos simétricos, Figura 2.

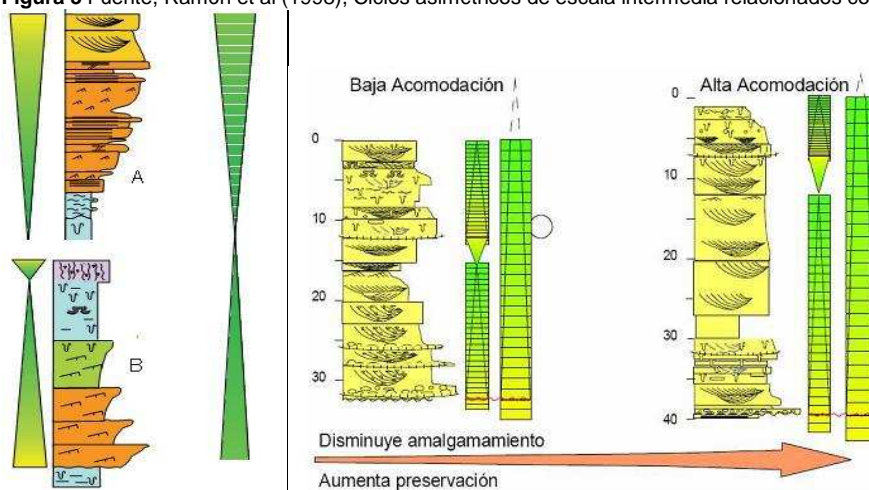
**Figura 2.** Criterios para el reconocimiento de ciclos en A/S. Ambiente continental.



**Fuente:** Fajardo A. y Ramón J.C. (1997)

♦ Ciclos de pequeña escala en condiciones de acomodación intermedia. Ellos ocurren en relaciones A/S y posiciones estratigráficas intermedias dentro de ciclos de término largo. Los ciclos de pequeña escala de acomodación intermedia tienden a ser asimétricos. A pequeña escala los ciclos asimétricos de caída de nivel base preferiblemente ocurren en hem Ciclos de caída de nivel base de ciclos de gran escala, figura 3A. A pequeña escala los ciclos asimétricos de subida de nivel base preferiblemente ocurren en hem Ciclos de subida de nivel base de ciclos de gran escala, figura 3B.

**Figura 3** Fuente, Ramón et al (1998), Ciclos asimétricos de escala intermedia relacionados con hem Ciclos de gran escala.

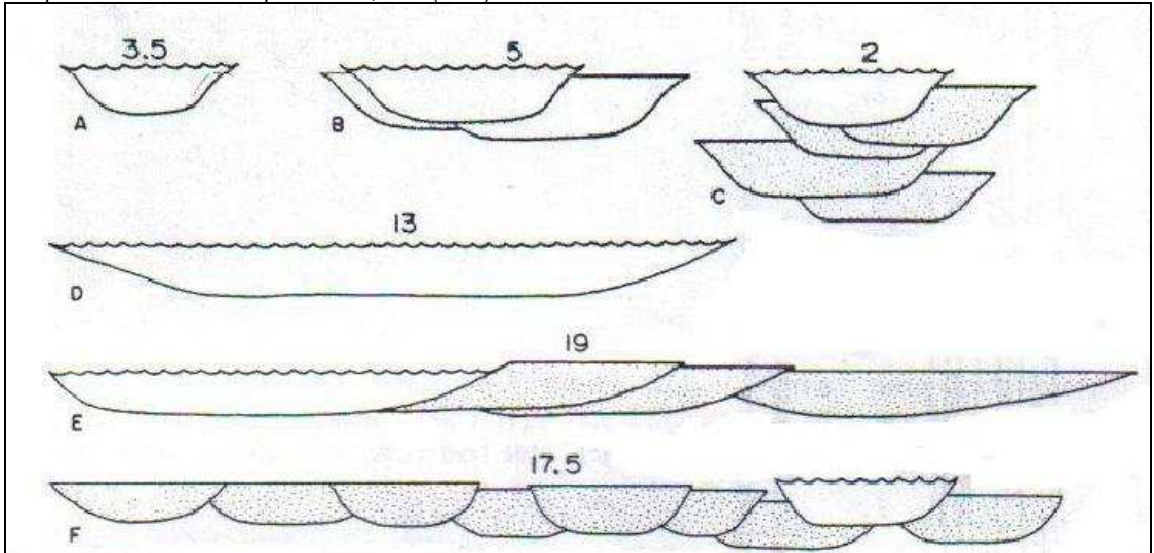


**Figura 4 .** Fajardo A. y Ramón J.C. (1997), asociación de facies de canales en diferentes condiciones A/S

La figura 4, muestra la relación de los ciclos intermedios que asocia facies de caída o subida del nivel base con ciclos de gran escala.

### 3.1.2. Continuidad de las arenas de canal.

**Figura 5.** Diagrama que muestra la alta relación entre la geometría de un canal activo individual y la geometría resultado de cuerpos de arena formados por canales, Miall (1985).



Los canales pueden agrandar verticalmente o lateralmente, formando cuerpos de arena que pueden tener relaciones diferentes de ancho/profundidad que el canal del cual se depositó. Los canales tienen las bases erosionadas en forma cóncava, los topes de los canales pueden ser erosionales o gradacionales, los canales comúnmente tienen multihistorias, cada historia está limitada por una superficie de erosión, Miall (1985), (figura 5).

En el caso de los canales meandriiformes los depósitos son agradacionales lateralmente.

**Figura 6.** Depositación agradacional de canales meandriiformes



#### a) Procesos depositacionales

Los procesos pueden ser combinaciones de depositación de carga suspendida y carga de fondo que es retenido por trampas principalmente que retienen fracciones de carga de fondo (Galloway, 1996).

##### ◆ Flujo de canal

El flujo dentro de un canal, los efectos de erosión, transporte y depositación del sedimento, esta determinado por las distribuciones de velocidad y turbulencia. Las áreas de máxima velocidad y turbulencia son los principales sitios de erosión, mientras las áreas de bajas velocidades y turbulencia son los sitios de mayor depositación de sedimento (fig. 6). Los ríos meandricos, en los cuales aumenta progresivamente la sinusoidalidad del canal, son un resultado de la distribución asimétrica de la velocidad de flujo y turbulencia dentro de un canal.

##### ◆ Flujo overbank

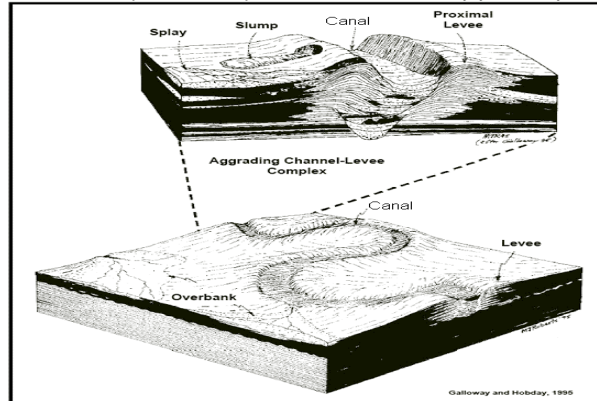
La agradación de cuencas de inundación ocurre cuando la sedimentación de aguas de inundación sobre el flujo de los bancos del río se desborda. Los depósitos de flujo de overbank están conformados principalmente por sedimento suspendido, sobre el tope de los bancos, el flujo no tiene una confinación alta y puede llegar formarse vegetación, y la velocidad de flujo decrece abruptamente. Los márgenes de canales están conformados por areniscas de grano fino, arcillas y lutitas. Los crevasse ocurren cuando el agua de inundación se desborda a través de brechas o depresiones en laderas al romperse los diques naturales del río. Los sedimentos de crevasse están dominados principalmente por carga suspendida, carga de fondo fina, se pueden presentar múltiples episodios de crevasse splay, (Galloway, 1996 y Miall, 1985).

##### ◆ Canal abandonado

Las planicies aluviales agradacionales se caracterizan por el desplazamiento de canales activos, en una escala local los meandros pueden ser cortados por diversos flujos entre un colector abierto de canal o un cuello del meandro.

La migración lateral progresiva está asociada con ríos meandricos, donde las avulsiones son procesos abruptos geológicamente. Estos depósitos después pueden ser cubiertos por sedimentos de llanura de inundación (Galloway, 1996).

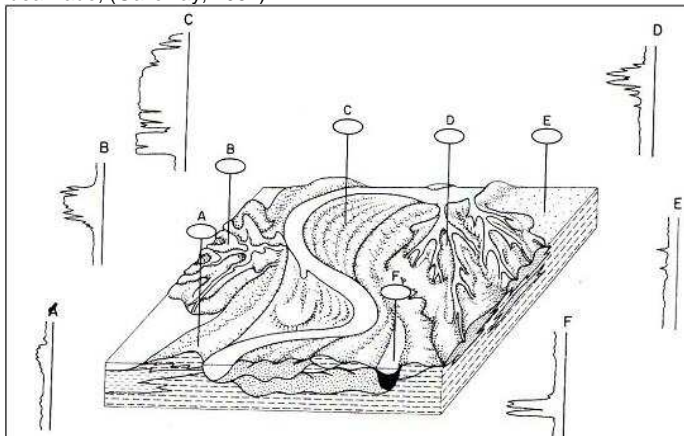
**Figura 7.** Variación de facies debido a los procesos deposicionales, Galloway y Hobday, 1996



En grandes escalas de tiempo en ambientes de canal se puede observar la acción de todos los procesos deposicionales, el amalgamamiento de los canales es el responsable de la conservación o no de las facies de cada tipo de depósito, (Fig. 7), entre más estén amalgamados los canales mayor es su continuidad.

**b) Registros de pozo de ambientes fluviales.**

**Figura 8** Relación, reflectores por respuestas de registros eléctricos y gamma, facies que componen un sistema fluvial idealizado, (Galloway, 1987).



- A :** Natural Levee
- B :** Crevasse Delta
- C :** Point Bar Sands
- D :** Crevasse Splay
- E :** Floodplain Deposits
- F :** Canal Abandonado

Un sistema fluvial consiste de varios tipos de depósitos, que tienen sus facies características, y una respuesta de registros distintiva (figura 8), que reflejan su composición litológica, secuencia textural y espesor relativo. Algunas facies pueden ser pobremente desarrolladas o preservadas, dependiendo del tipo de canal fluvial y el rango de agradación (Galloway, 1987).

## 3.2. GEOLOGÍA

### 3.2.1. Estratigrafía

#### a) Formación Mugrosa

Los sedimentos se depositaron del cretáceo superior al oligoceno debido a la acreción de la cordillera occidental que causó al norte la progradación de la construcción de la cordillera central (Campbell, 1968).

La Formación Mugrosa presenta una secuencia de arenisca gris verdosas, lodolitas grises y capas de areniscas conglomeráticas, intercaladas con shales y lodolitas. Está compuesta en su tope por un paquete de lutita de aproximadamente 200 ft de espesor, con abundante bioturbación. Ésta es una de las unidades más productivas de petróleo en la concesión de Mares. El ambiente de depositación se considera como continental fluvial, conformada por canales meandriformes que se caracterizan por ser granodecrecientes hacia el tope en la facie de canal y granocreciente en la facie de crevasse splay (Ortiz, A. 2001).

**Zona C:** Compuesta de arenisca gris-verdosa, grano medio a grueso, subangular a sub-redondeada, matriz arcillosa, regular a pobre selección, con delgadas intercalaciones de arcillolita gris verdosa, gris oscura, rojiza y blanca. Con un espesor promedio de 550 pies, (Estudio integrado de yacimientos Campo Llanito Gala, 2003)

**Zona B:** Se caracteriza por presentar una secuencia limo-arcillosa de coloraciones pardas-amarillentas a grises, con intercalaciones de areniscas gris verdosa, de grano fino. La proporción de la fracción arenosa aumenta hacia la base. Su espesor promedio es de unos 1400 pies.

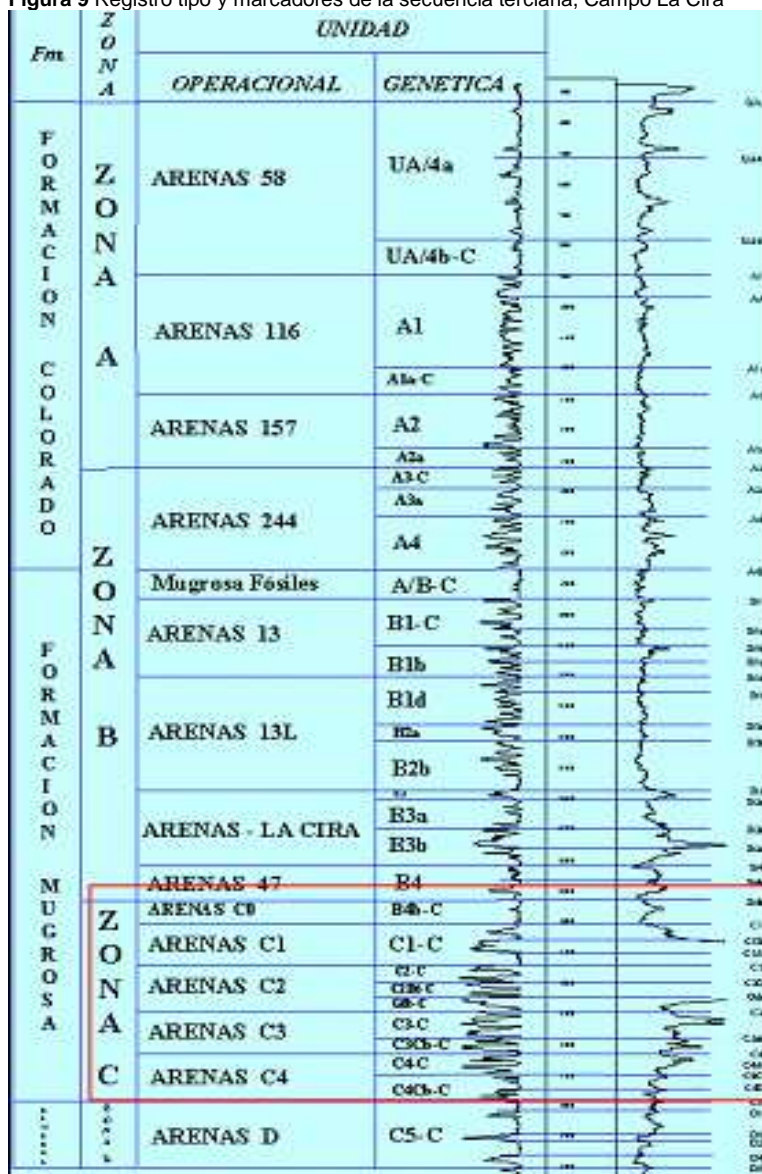
El contacto inferior de la Formación Mugrosa es aparentemente discordante con la Formación Esmeraldas, en cambio el contacto superior con la Formación Colorado es concordante. El nombre de la formación fue dado por A. K. Gill (1958), a la parte inferior del grupo Chuspas y fue tomado de la quebrada Mugrosa su edad es considerada Eoceno superior – Oligoceno inferior. La parte media consta de

shales moteados con algunas intercalaciones de arenisca. El espesor varía entre 500 y 800 m, según Clavijo, J., 2001.

En la figura 9 se puede observar un registro tipo para el Campo la Cira donde la Zona B de la Formación Mugrosa es dividida en 5 unidades operacionales y la Zona C igualmente en 5 unidades operacionales.

Los canales se caracterizan por migrar y generar una acreción lateral, en la cual a medida del tiempo el canal cambia de dirección, dejando que los diferentes ambientes del sistema migren también lateralmente. La sedimentación a lo largo del canal se lleva simultáneamente en todos los sitios. El principio de la continuidad lateral de los estratos emitido por Steno, determina que los estratos en el momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y quedan delimitados por superficies planas que muestran continuidad lateral. Existen algunas excepciones a este principio general, ya que algunos estratos se disponen paralelos a la superficie de depósito pero no totalmente horizontales, sino con una cierta inclinación original.

Figura 9 Registro tipo y marcadores de la secuencia terciaria, Campo La Cira



Fuente, ECOPEPETROL, Evaluación integrada de yacimientos, 1999.

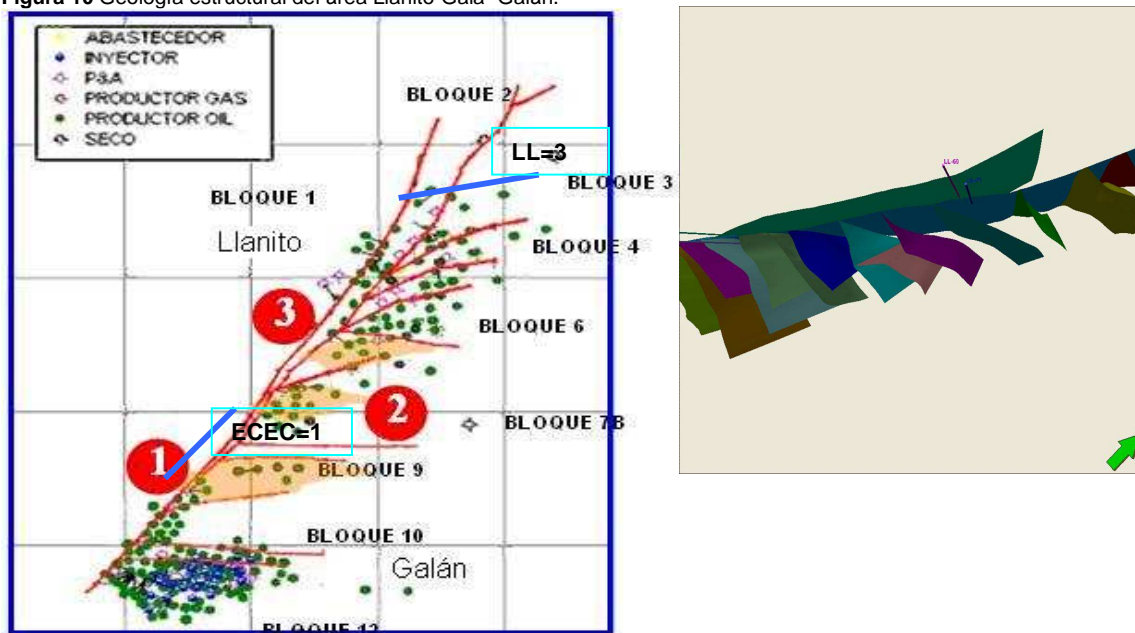
En esta metodología que se pretende realizar se espera conocer más sobre las arenas de la Formación Mugrosa, como sus características texturales, composicionales, estructurales, la variación lateral y vertical de las mismas, que pueden ser comparadas en ambos Campos para que al momento de explorar se puede distinguir los cambios sedimentológicos de esta formación.

### 3.2.2. Geología Estructural

La estructura del Campo Llanito – Gala corresponde a un anticlinal con dirección preferencial Noreste, con cabeceo al Norte, controlada por fallas de Rumbo de dirección Suroeste – Noreste, que corresponden a la prolongación Norte de la denominada falla de Casabe. Con cierre propio en el sector más Norte.

El flanco este del anticlinal esta controlado por fallas normales con dirección Noreste – Este que dividen la estructura en bloques (fig. 10.). En el Bloque VI, sector que comprende los pozos Cardales uno, dos, tres, y el Pozo Galán 64, se detecta una falla normal en la parte Oeste del bloque, con dirección Suroeste-Noreste; sin ser muy clara su continuidad hacia el Este; lo anterior hace que la estructura se amplie hacia el Sur y Suroeste, (Santacruz, 2004).

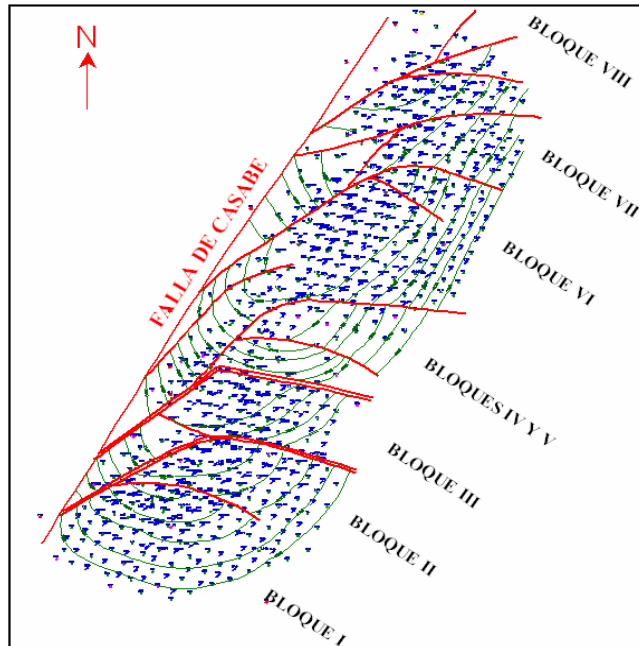
Figura 10 Geología estructural del área Llanito-Gala- Galán.



Tomado Estudio Integrado de Yacimientos Campo Llanito-Gala 2003

El área del Campo Casabe se caracteriza estructuralmente por la presencia de un monoclinas con buzamiento moderado hacia el Este, afectado por un sistema transgresivo, manifestado por la Falla Casabe, que es una falla de tipo inverso.

Figura 11 . Bloques del Campo Casabe



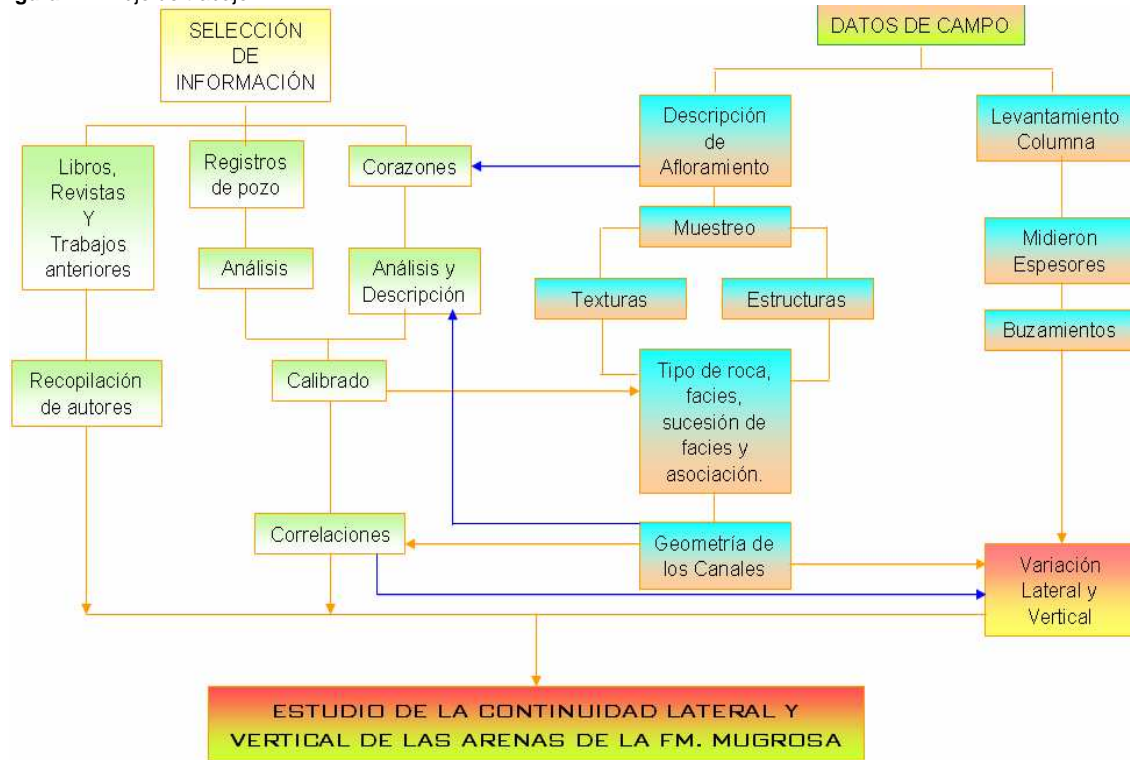
Fuente: ECOPETROL S. A., Gerencia de Yacimientos. 2001

Esta falla tiene convergencia hacia el Oeste y rumbo SW-NE, a la cual se asocia un evento de relajación, que dio origen a fallas normales, de dirección E-W, que a su vez separa la estructura en bloques y que constituye el sistema de entrapamiento en el Terciario (figura 11).

Esta estructuración se ha aprovechado operativamente para el desarrollo del campo, el cual se ha dividido en ocho bloques de Sur a Norte, cada uno limitado por fallas normales.

## 4. FASES DE INVESTIGACIÓN.

Figura 12. Flujo de trabajo



### 4.1. FASE OFICINA

El trabajo de oficina comienza con la recopilación y análisis de la información existente del área de estudio como: cartografía, topografía y geología, además de informes de estudios anteriores, publicaciones geológicas y selección de núcleos, pozos del Campo Llanito, Gala, Galán y Casabe. Esto con el fin de tener una idea de la geología regional y de las cuencas. La búsqueda de información se desarrollo en las bibliotecas de la UIS y en el Centro de Información Técnica (CIT) del ICP (Instituto Colombiano del Petróleo), en la Base de Datos GEOREF de la Biblioteca UIS y bases de datos del ICP. Se realizo un flujo de trabajo que muestra los procedimientos para realizar el estudio (Figura 12).

## 4.2. FASE DE CAMPO

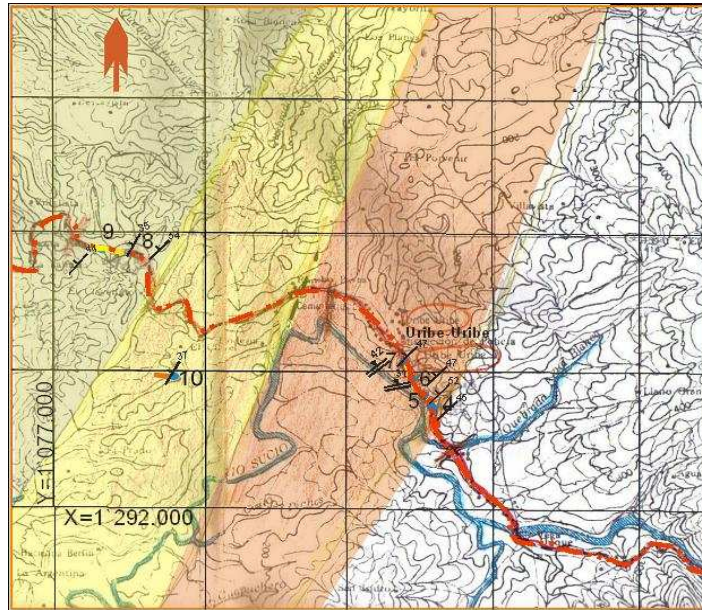
Durante esta fase se realizó un reconocimiento geológico de la Formación Mugrosa, un seguimiento lateral, descripción de la geometría de los canales, análisis de la asociación, sucesión de facies y los ambientes de depositación. Los afloramientos se ubicaron por la vía La Azufrada-Urbe Uribe-Sabana de Torres, plancha 109 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Se tomaron 18 muestras de roca, datos de orientación de los estratos y se levantaron 3 columnas estratigráficas escala 1:100 (Anexo 6). La localización de las muestras recolectadas estuvo referenciada con ayuda de GPS (Anexo 4) y con el correspondiente control mediante la verificación de lo representado en el plano topográfico y las unidades del paisaje. Así mismo, se tomaron fotografías de afloramientos y panorámicas (Figura 13).

**Figura 13.** Panorámica Este Oeste margen de Río Sucio



Se hizo un recorrido a lo largo de la Formación Mugrosa al sur este de el Campo Provincia y el Sinclinal Nuevo Mundo, durante el cual se reconocieron las unidades litológicas presentes en la formación (figura 14).

**Figura 14** Ubicación de afloramientos



### **4.3. FASE DE LABORATORIO**

Esta fase consiste en el análisis de los núcleos y registros del área Piloto en el Campo Casabe y Llanito, en los pozos CS-1045, ECE-7 y análisis de las 18 muestras recogidas de campo con el objeto de obtener datos sobre las características sedimentológicas y estructurales que complementaran la descripción de los núcleos y registros. A los núcleos descritos se le realizaron análisis sedimentológico y se relacionaron con los diferentes registros de pozo (Anexo 5).

#### **4.3.1. Descripción y análisis de núcleos.**

Esta etapa consiste en la descripción y análisis de 441.68 ft de núcleos existentes en el Campo Llanito y Casabe. Del núcleo CS-1045 se analizaron 168 ft y de ECE-7 273.68 ft donde se pueden identificar de base a tope las arenas de la Formación Mugrosa.

ECE-7 se tomo de 5886' hasta 6652' de donde se identifica de base a tope las arenas de la Formación Mugrosa (Ortiz, A., 2000). CS-1045 se tomo de 4744' hasta 4227'.

Luego de ordenar los núcleos en las cajas pertenecientes a las arenas de la Formación Mugrosa, esta descripción se hizo de base a tope tomando en cuenta el tipo de litología, tamaño de grano, composición mineralógica, estructuras sedimentarias físicas y biogénicas, contenido fósil, y a su vez evolución vertical de la secuencia sedimentaria.

La descripción de los núcleos se hizo con un estéreomicroscopio, con el cual se describieron y analizaron componentes y características (textúrales, composicionales, el color, estructuras y clasificación), para obtener una mejor identificación de las arenas y al correlacionar los pozos distinguir las variaciones de sus propiedades que se mostraran en una columna a escala 1:100.

Para la clasificación de las rocas sedimentarias clásticas se utilizara la clasificación de Folk (1974). Además se utilizaran las caracterizaciones petrográficas obtenidas de los análisis petrográficos para rocas siliciclásticas.

#### **4.3.2. Revisión de los registros de pozo**

Los núcleos descritos se calibraron con las profundidades Núcleo-Core Gamma utilizando el registro Gamma Ray y el Core Gamma. Con los registros de pozo seleccionados se calculo el espesor de las arenas de la formación Mugrosa, haciendo se un seguimiento en cada uno de los pozos, y conociendo la variabilidad de las arenas.

#### **4.4. FASE DE INTERPRETACIÓN DE DATOS**

Durante esta fase con los datos obtenidos durante el análisis y descripción de corazones y las muestras recolectadas de los afloramientos durante la fase de campo, se procede a interpretarlos y a calibrar los datos con los registros de pozo, construyendo un modelo del comportamiento de los registros GR, SP y resistivos a las diferentes litologías.

##### **4.4.1. Continuidad y Correlaciones Estratigráficas**

Una vez validados los datos de pozos y calibrados los núcleos con los perfiles de pozos, se ubicaron en el registro la Formación Mugrosa, luego se identificaron las

arenas en un registro tipo y se procedió a realizar la correlación estratigráfica de cada uno de los espesores por separado.

Se realizó la correlación estratigráfica de la Formación Mugrosa en el Campo Casabe, para esto se utilizó la descripción macroscópica detallada de los núcleos en el nivel de las arenas y se correlacionó con la respuesta de los perfiles gamma Ray, resistividad, densidad, neutrón pertenecientes al mismo pozo, posteriormente se extrapolo esta información al resto de pozos y área para así completar la correlación a nivel de las arenas en sentido oeste – este.

Posteriormente se procedió a realizar la correlación estratigráfica a nivel de las arenas en el cual predominan siliciclásticos, para la identificación de esta unidad, se ubicaron en primer lugar las diferentes superficies de inundación, las cuales presentan los valores más altos en los registros de rayos gamma y los valores más bajos en los de resistividades en ambos campos. Una vez identificada la unidad, se colocaron marcadores en los topes de la misma y se correlacionaron en toda el área con la ayuda del programa Corel Draw.

De la correlación de la transversal LL=3 al norte del Campo Llanito y ECE=2 al norte del Campo Galán se obtuvieron los espesores promedio por zonas productoras y se observaron las extensiones áreales de las arenas de canal y sus restricciones laterales, las zonas donde encuentran canales amalgamados y aislados.

#### **4.5. ELABORACIÓN Y SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL.**

Es la fase final, en la cual se redactó y elaboró el documento sobre el trabajo de investigación realizado, el cual fue enviado a los directores del proyecto para su revisión y observaciones; en base a estas correcciones se elaboró el informe final, el cual fue entregado a los calificadores para ser presentado y sustentado.

### **5. GENERALIDADES DEL CAMPO LLANITO Y CASABE**

El campo Casabe fue descubierto en 1941 e inició su explotación comercial en 1945, para lo cual se perforaron 450 pozos con espaciamiento promedio de 13 acres. En 1953, su tasa de producción representaba el 26% de reservas del total nacional para la época, según Clavijo, J. 2001.

En el Campo Llanito la sección perforada presenta las siguientes rocas, del Jura Triásico de la Formación Girón, Cretáceo de las Formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja, Tablazo, Simití, Salto, La Luna, Umir; rocas del Terciario de las Formaciones Esmeraldas-La Paz, Mugrosa, Colorado, Real y Mesa. (Fig. 15).

Figura 15. Columna Estratigráfica Generalizada, Cuenca Valle Medio del Magdalena.

PERIODO	EPOCA	FORMACION	LITOLOGIA	
CUATERN.	PLEISTOCENO	MESA		
	PLIOCENO			
Terciario	MIOCENO	REAL		
		COLORADO		
	OLIGOCENO	MUGROSA		
		ESMERALDAS		
	EOCENO	LA PAZ		
		DISCORDANCIA EOCENO-PALEOCENO		
	PALEOCENO	LISAMA		
	Cretaceo	MAESTRICHTIANO	UMIR	
		CAMPANIANO		
		LA LUNA	GALEMBO	
PUJAMANA				
SALADA				
ALBIANO		SIMITI		
APTIANO		TABLAZO		
BARREMIANO		PAJA		
		ROSABLANCA		
VALANGINIANO		TAMBOR		
JURASICO		GIRON		
PREMESOZOICO		BASAMENTO		

Fuente, Gerencia de Yacimientos, ECOPEPETROL S.A. 2004.

El Campo Llanito, se encuentran al Norte de la concesión De Mares, Cuenca del Valle Medio del Magdalena, correspondiente al sector más Norte del tren productivo del sistema de fallas de Casabe. El aceite original reportado en la actualidad es de 314 Mbbls, a la fecha cuenta con una producción diaria de 1.923 BOPD y 1.515 KPCD de gas, con una producción acumulada a Marzo de 2004 de 40'439.000 Bls de aceite y 73,260 MPC de gas, (Santacruz, R. 2004).

Este proyecto pretende delimitar mejor el área, la geometría del cuerpo sedimentario y ampliar las posibilidades prospectivas en exploración, por eso se

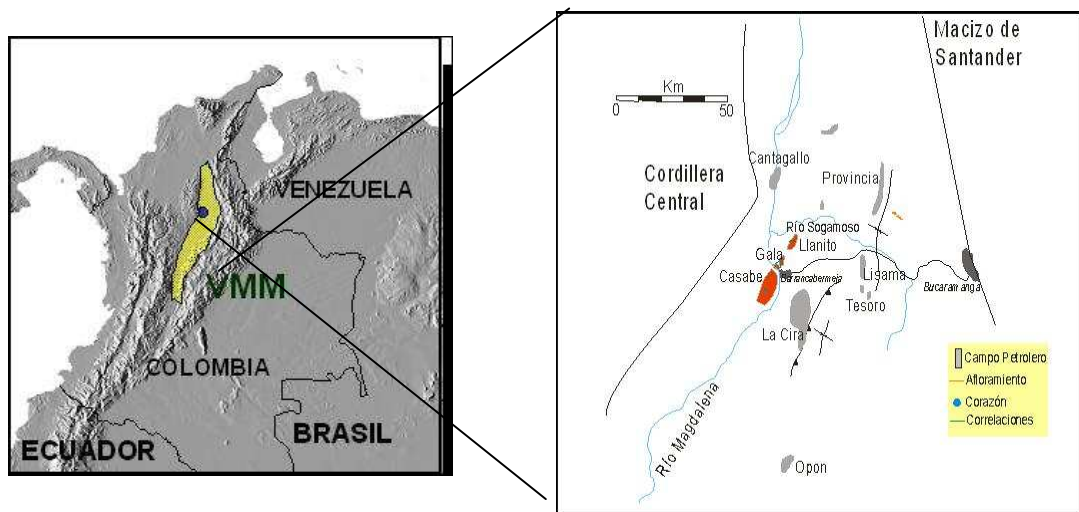
ha pensado en la continuidad de las arenas de la Formación Mugrosa, en el Campo Llanito y Casabe. Con la utilización de la metodología propuesta se podrán sugerir trayectorias de pozo y futuras nuevas exploraciones.

### 5.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Campo Llanito, explotado por la Empresa Colombiana de Petróleos - ECOPETROL, S.A., está ubicado en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, en la margen occidental del Río Magdalena, está localizado en la parte Norte de la Concesión de Mares, en el Departamento de Santander, al Norte de la ciudad de Barrancabermeja (Fig.16). Limitan al Norte con el Río Sogamoso, Al Sur con el Campo Galán – San Silvestre, Al Este con la Ciénaga de San Silvestre y al Oeste con la Ciénaga de Llanito, dentro de las coordenadas geográficas (Gauss).

N: 1'288.000 a 1'277.000 E: 1'022.000 a 1'030.000

Figura 16. Localización geográfica del  rea Llanito-Casabe-Gala-Galán-San Silvestre. Fuente, Ivan Dario Olaya, 2007



El (Departamento de Antioquia), sobre la margen izquierda del Río Magdalena, frente a la ciudad de Barrancabermeja (Departamento de Santander).

Se encuentra limitado al Este por el Río Magdalena, al Oeste por la vereda El

Cóndor, al Norte por la vereda San Miguel del Tigre y el Río Magdalena y al Sur por el Municipio de Yondó, donde se encuentran las instalaciones para su manejo operativo.

## 6. RESULTADOS

Se encontró el contacto de la Formación Esmeraldas-Formación Mugrosa sobre el río Sucio, según el estudio integrado de yacimiento, ECOPETROL 2003, la Formación Esmeralda hacia el tope predominan sedimentos limo-arcillosos de coloraciones de gris a gris clara, con delgadas intercalaciones hacia del tope de areniscas blancas, de grano medio a fino, de regular a buena selección, con inclusiones de materia orgánica, además las limonitas presentaban huellas de raíces (fig. 17.)

**Figura 17.** Contacto de la Fm. Esmeraldas y la Fm. Mugrosa



Estas limonitas grisáceas se encuentran en contacto irregular con unas capas de areniscas de grano fino a medio, subredondeados, de color blanco, de un espesor de 2 a 3 metros pertenecientes a la base de la Formación Mugrosa, intercaladas con lodolitas pardas de 1 metro de espesor (fig. 18).

**Figura 18.** Limolitas grisáceas, tope de la Fm. Esmeraldas



### **6.1. Descripción de Afloramientos**

En el desarrollo se hicieron visitas a afloramientos expuestos de 10 a 15 m de largo, se tomaron datos estructurales donde se encontraron diclasas con rumbo de N40E a N50E y buzamientos en dirección NW; el muestreo se tomó cada metro, si la roca no estaba meteorizada y donde se observaran cambios de facies, estructuras y texturas estratigráficas, se hizo una breve descripción textural y petrográfica de las rocas. Se levantaron 3 columnas en la vía Uribe Uribe-Sabana de Torres, el rumbo de las capas está entre N42E a N52E y buzamiento de 46NW a 56NW.

**Figura 19** Migración de canal en la Formación Mugrosa

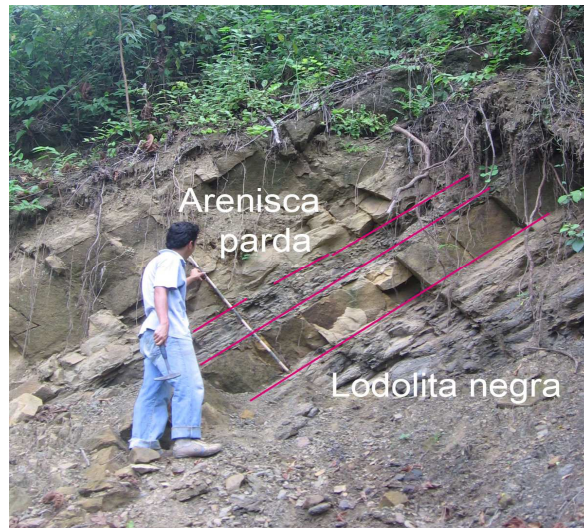


Afloramiento de la Formación Mugrosa cortado por el Río Sucio, donde se observa las superficies de acreción del canal y un acúñamiento lateral del estrato muy

grueso hacia el este y una dirección de migración del canal en dirección oeste (figura 19).

El afloramiento de la Formación Mugrosa al margen del río Sucio, metros arriba de donde se tomó la fotografía anterior, se observa el cambio de ambiente de depositación al anterior, observándose en este depósitos de lodolitas de llanura de inundación intercaladas con areniscas que fueron depositadas posiblemente en subida de nivel base del canal y canales abandonados, (figura 20).

**Figura 20.** Areniscas cuarzosas intercaladas con lodolitas negras fisiles.



Las areniscas cuarzosas pardas de grano fino, acuñada lateralmente, que se encuentren inclinadas con rumbo N47E y buzamiento 46NW, con un grupo de familia de diaclasas en dirección de rumbo N85E y buzamiento 31SE, se encuentra intercaladas con lodolitas negras que muestran paleocorriente en dirección azimuth 274. En el margen derecho de la carretera La Sufrada-Uribe Uribe se encuentran los depósitos de la Formación Mugrosa con geometrías tabulares, se estima el espesor de los canales de aproximadamente 5.5m a 6m intercaladas con capas de lodolitas de color gris claro fisiles de 5 a 10cm, (figura 21).





**Figura 21.** Afloramiento de la Formación Mugrosa cortado por la carretera La Azufrada-Uribe, en la base de la Formación, con arenisca de color pardo intercaladas con lodoltas .

El afloramiento presenta areniscas pardas de grano grueso a muy grueso, de muy mala selección, matriz arenosa, estratificación en arteza cruzada, metros arriba de la foto anterior. Las superficies de reactivación del afloramiento se caracteriza por interclastos de arcilla con conglomerados de 2mm a 1cm. Lentes de lodolita dejados al reactivarse los canales (figura 22).

**Figura 22.** Lentes de lodolita Formación Mugrosa.

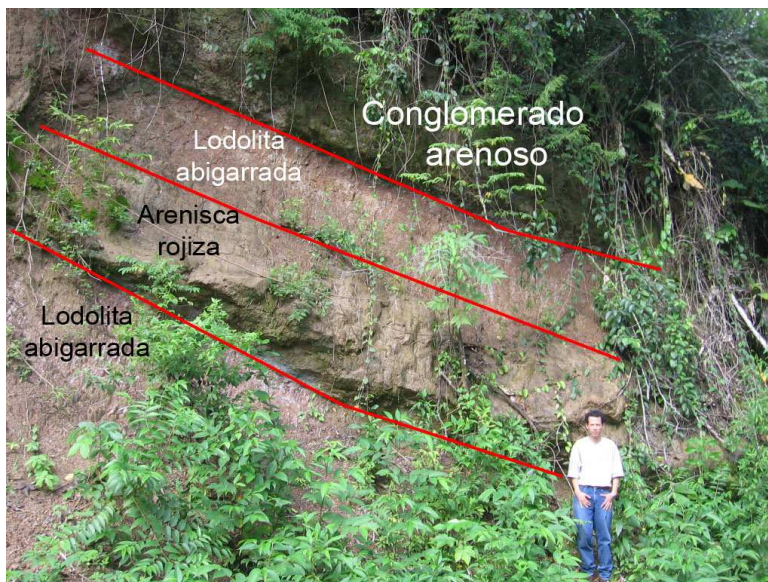


Siempre se han separado las Formaciones Colorado-Mugrosa-Esmeralda por fosiles de agua dulce, (Santacruz, 2004), que vivian en lagos formados al final de la depositación de la Formación Mugrosa, estos lagos no estaban extendidos en

toda la cuenca, debido a que en la zona donde se describieron los afloramientos no se encontraron expuestos estos fosiles, se describio un afloramiento de la base de la Formación Colorado para conocer la diferencias sedimentarias con la Formación Mugrosa.

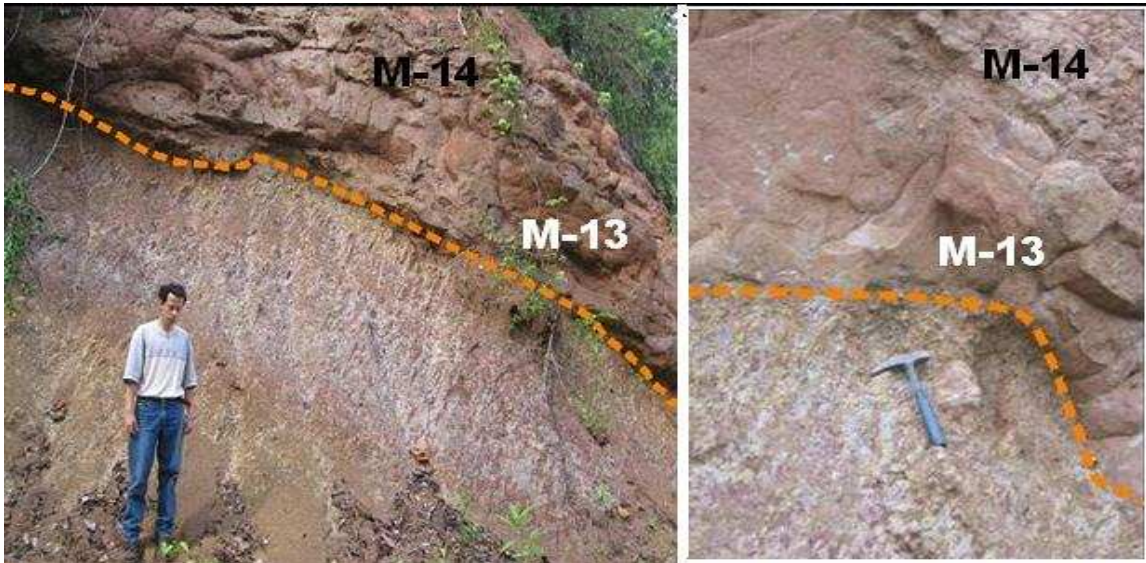
Los afloramientos de la Formación Colorado se observaron sobre la via Uribe Uribe-Sabana de Torres un kilometro arriba de la foto anterior, presentan unas areniscas rojizas de 1 a 2 m, intercaladas con lodolitas abigarradas. Los canales presentan en su base conglomerados redondeados de 5 a 7 cm con imbricación (figura 23). Las capas tienen un rumbo de N35E y un buzamiento de 47NW.

**Figura 23** Areniscas rojizas y lodolitas abigarradas de la Formación Colorado.



En las fotos de abajo se observa un deposito de crevasse splay, donde las areniscas rojizas de matriz arcillosa, presentan grano medio a grueso, muy mala selección e en contacto ondulado con lodolitas abigarradas. La muestra M-13 presenta un mayor tamaño de los granos que la muestra M-14, (figura 23a).

**Figura 23 a.** Depósito de crevasse splay en la Formación Colorado



## 6.2. ANÁLISIS EN MUESTRAS DE MANO.

Se analizaron un total de 18 muestras recolectadas en la Formación Mugrosa y Colorado, enfatizándose en las características mineralógicas, texturales y estructurales en la tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Rasgos texturales, estructurales y mineralógicos en muestra de mano Formación Mugrosa.

MUESTRA	TIPO DE ROCA	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA	COMPOSICIÓN	CLASIFICACIÓN (Folk, 1974)
EO-02-001	Sedimentaria	Parda	De grano fino a medio	masiva	Cuarzo 75%, Feld 20%, FR 5%	Subarcosa
EO-04-002	sedimentaria	Parda	De grano grueso a medio, mala selección.	Artesa cruzada	Cuarzo 80%, Feld 18%, FR 2%	Subarcosa
EO-05-003	Sedimentaria	Parda meteorizada	De grano medio	Artesa cruzada conglomeratica	Cuarzo 75%, Feld 23%, FR 2%	Subarcosa
EO-06-004	Sedimentaria	Parda oscura	De grano fino	Estratificación plano paralela	Cuarzo 70%, Feld 25%, FR 5%	Arcosa
EO-06-005	Sedimentaria	Gris oscura	Limosa	Estratificación ondulosa		Limolita

EO-06-006	Sedimentaria	Parda oscura	Grano fino, buena selección.	Laminación cruzada	Cuarzo 70%, Feld 25%, FR 5%	Arcosa
EO-06-007	Sedimentaria	Parda	De grano medio, mala selección.	Estratificación cruzada conglomerática.	Cuarzo 80%, Feld 18%, FR 2%	Subarcosa
EO-06-008	Sedimentaria	Blanco con un Gris ligero N8	Arenisca conglomerática.	Interclastos lodosos	Cuarzo 95%, Feld 4%, FR 1%	Cuarzo arenita
EO-010-018	Sedimentaria	Blanco con un gris ligero N8	Arenisca buen calibre, grano medio	Masiva	Cuarzo 90%, Feld 6%, FR 4%	Cuarzo arenita

**Tabla 2.** Rasgos texturales, estructurales y mineralógicos en muestra de mano Formación Colorado.

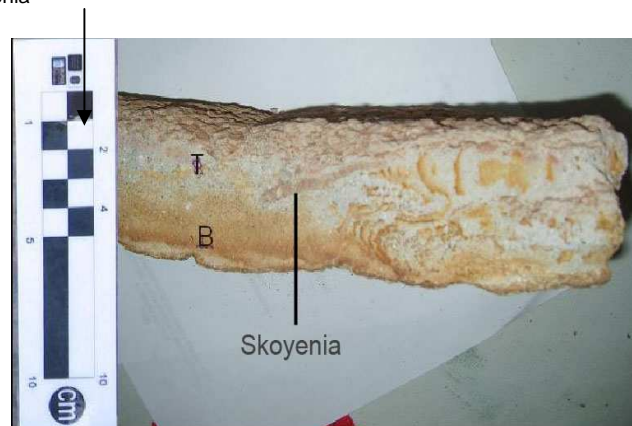
MUESTRA	TIPO DE ROCA	COLOR	TEXTURA (Folk, 1974)	ESTRUCTURA	COMPOSICIÓN	CLASIFICACIÓN (Folk, 1974)
EO-08-009	Sedimentaria	Rojiza	Arenisca mal calibreada	Masiva	Cuarzo 65%, Feld 30%, FR 5%	Arcosa
EO-08-010	sedimentaria	Rojiza	Arenisca lodosa	Masiva	Cuarzo 65%, Feld 30%, FR 5%	Arcosa
EO-08-011	Sedimentaria	Rojiza Meteorizada	Arenisca lodosa	Masiva	Cuarzo 75%, Feld 20%, FR 5%	Arcosa
EO-08-012	Sedimentaria	Rojiza meteorizada	Conglomerado areno lodoso	Masiva	Cuarzo 75%, Feld 10%, FR 15%	Sublitoconglomerado
EO-09-013	Sedimentaria	Rojiza	Arenisca lodosa	Masiva	Cuarzo 75%, Feld 20%, FR 5%	Arcosa
EO-09-014	Sedimentaria	Rojiza	Arenisca lodosa, de grano fino	Masiva	Cuarzo 75%, Feld 23%, FR 2%	Subarcosa
EO-09-015	Sedimentaria	Rojiza	Arenisca lodosa, de grano medio	Masiva	Cuarzo 75%, Feld 23%, FR 2%	Subarcosa
EO-09-016	Sedimentaria	Rojiza y abigarrada	Arenisca de grano grueso mala selección	Masiva	Cuarzo 75%, Feld 23%, FR 2%	Subarcosa
EO-09-017	Sedimentaria	Rojiza	Arenisca mal	Masiva	Cuarzo 75%,	Arcosa

			calibrado		Feld 20%, FR 5%	
--	--	--	-----------	--	--------------------	--

Macroscopicamente en muestras de mano las rocas de la Formación Mugrosa presentan colores pardos con buen a moderado calibraje, de grano medio a fino, según Miall, 1996 y Allen 1970, son depositos de canal tipo mandriforme, mientras la Formación Colorado presenta areniscas de color rojizo y abigarrado, el tamaño de los conglomerados es de 5 a 7 cm con imbricación, siendo mas depositos de canal tipo trenzado.

En la muestra EO-04-002 se observa una traza fosil de skoyenia rellena de grano fino (según Pemberton 1991 y Miall 1990) son fosiles no marinos que se depositan en lagos efimeros y overbank, (figura 24).

**Figura 24.** Traza de Skoyenia



Se levanto la columna 1 en la base de Zona C de la Formación Mugrosa, areniscas pardas de grano medio a fino hacia la base de mala selección con conglomerados de 2mm, de matriz arenosa, en el tope se observa madrigueras rellenas de grano fino. Las areniscas de geometria tabular se encuentran intercaladas con lodolitas grises fisiles (Anexo 5).

La columna 2 se encuentran areniscas cuarzosas pardas de grano fino a muy finos subredondeados suprayaciendo en contacto neto e infrayaciendo unas lodolitas grises oscuras en contacto ondular de estratificación ondulosa con paleocorrientes N274W , estas lodolitas infrayacen unas areniscas de grano fino de estratificación cruzada planar en la base. En el tope del afloramiento se

observa unas lodolitas gris oscuro no fisiles con fosiles de ostracodos segun (Pemberton 1991) (Anexo 6).

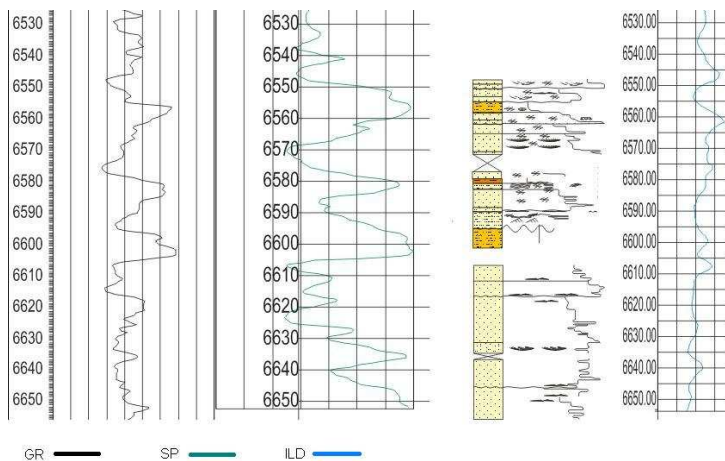
En columna 3 se observan una serie de canales amalgamados con lodolitas grises fisiles que se acuñan, en la base se encuentra una arenisca de grano medio conglomeratica de estratificación cruzada. En la base de los canales que canibalisan se observa interclastos de lodos grisaseos con conglomerados de 2mm a 1 cm (Anexo 7).

### 6.3. ANÁLISIS DE NUCLEOS

Se describieron dos corazones ECE-7 y CS-1045 dentro del intervalo de la Formación Mugrosa, donde se enfatizo en las fracturas, estructuras y texturas sedimentarias, litologias, impregnación y facies, posteriormente se calibraron los corazones con los registros de pozo (figura 25).

#### 6.3.1. ECE-7

Figura 25. Calibración del corazón ECE-7 con registros GR, SP y ILD.



El análisis sedimentológico de estos núcleos fue basado en Folk., 1974, el cual ayudara a tener una mejor idea de los cambios que se dieron durante la depositación de sedimento en el Valle Medio del Magdalena en el Terciario.

Esta descripción se realizó de base a tope tomando en cuenta el tipo de litología, tamaño del grano, composición mineralógica, estructuras sedimentarias físicas y biogénicas, contenido fósil, y a su vez la evolución vertical de la secuencia sedimentaria. El intervalo de 6652 ft a 6605 ft se caracteriza por tener arenisca cuarzosa, feldespática y líticas negras, una granulometría de granos medio a fino, granos subredondeados, bien calibrado, de color gris verdoso, poca bioturbación, presenta estratificación artesana con conglomerado, tanto en la base como el techo de este intervalo se observan interclastos.

Del intervalo de 6595 ft hasta 6422 ft se observa arenisca cuarzosa y subfeldespática, intercalaciones con arcillolita de color gris verdoso, fragmentado, en las intercalaciones de areniscas lodosas se observa paleosuelos, laminación ondulosa y en las areniscas se ven interclastos y artesas poco notables. Una alta bioturbación en arenas finas y lodosas.

En el intervalo 6589' a 6586' se observa gradación granocreciente, y en la base grietas de relleno. El intervalo 6592' presenta paleosuelos y madrigueras, junto con limolita fósil con materia orgánica, lo que indica un posible depósito por inundación con pirita y azufre.

En el intervalo de 6165 ft a 6082 ft se observa arenisca cuarzosa y lodosa moderadamente calibrada, de color gris verdoso y pardo. Presenta estructuras sedimentarias como laminación ondulosa, ondulitas y artesas, alta bioturbación.

El intervalo de 6065 ft a 5886 ft se caracteriza por presentar limonitas arcillosas verdes, limonita arenosa, arenisca cuarzosa y feldespática intercala con arenisca lodosa, bien seleccionada. Se observaron estructuras sedimentarias orgánicas como Skoyenia, Gryolithes, Rhizocorallium, paleophycus, Skolithos, madrigueras no identificadas y paleosuelos, además de artesas, laminación ondulosa e interclastos (Anexo 8).

### **6.3.2. CS-1045**

En el corazón CS-1045 se analizaron 163 ft, del intervalo de la Formación Mugrosa.

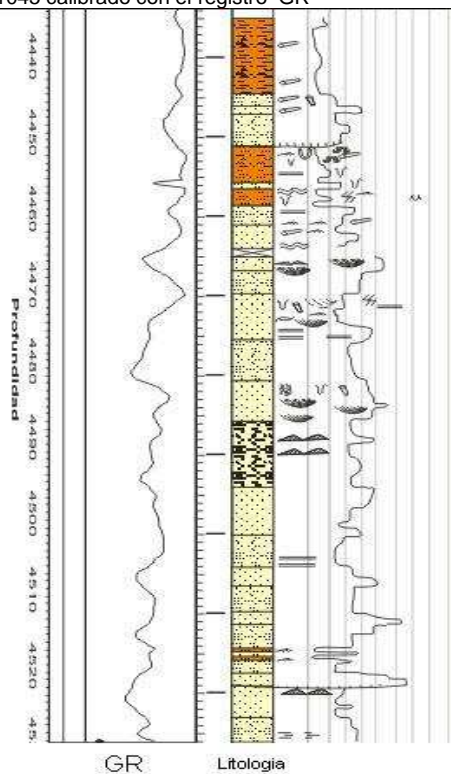
El intervalo de profundidad de 4756 ft al 4720 ft, se caracteriza por presentar areniscas cuarzosas intercaladas con lodolitas abigarradas y arenosas, se observan pocas estructuras sedimentarias por el moderado contenido de impregnación, las areniscas son de matriz lodosa con moderada a mala selección, (figura 26).

En el intervalo de 4526 ft al 4458.5 tf, se caracteriza por presentar areniscas cuarzosas de mala selección y impregnación de moderada a buena, intercaladas con areniscas lodosas cuarzosas de mala selección con moderada impregnación. En la base de los canales se observa estructuras estratigráficas de reactivación de canal interclastos lodosos.

A profundidad de 4485 ft, se observa estratificación cruzada suprayacida por trazas de paleosuelo como madrigueras.

En el intervalo de 4458.5 ft a 4435 ft se encuentran lodolitas grisáceas un alto porcentaje de trazas de paleosuelo acompañado de estratificación planar, ondulitas, icnofosiles de arenicolites, skolitos y paleoficus, intercalado con lodolita grisacea en algunos casos fracturada. Del intervalo 4310 ft a 4227 ft encuentra areniscas de grano fino bien calibrado con impregnación moderada intercalada con lodolitas (Anexo 9).

Figura 26 Intervalo del corazón de CS-1045 calibrado con el registro GR



#### 6.4. Facies, Sucesión de facies y ambiente deposicional en la Formación Mugrosa, Campo Llanito y Casabe.

Para clasificar o caracterizar estas litofacies se tuvo en cuenta la estructura sedimentaria dominante, así como en el momento de la descripción se determinó el tamaño del grano, la clasificación de (Folk, 1974), y la presencia de componentes accesorios como intraclastos y las gravas.

El tope de las unidades litológicas en la Formación Mugrosa es para la Zona B e intervalo (5886'-6480'), en el tope de esta zona predomina las arcillolitas gris claras, gris verdosa, gris oscuras, pardo amarilla y pardo rojizas, con intercalaciones de arenisca arcillosa gris verdosa de grano fino a muy fino.

La Zona C (6480'-6652'), se caracteriza por estar conformada de areniscas gris claras, gris verdosas, de grano fino a medio, subredondeado, buena selección, arcillosa, ligeramente calcárea, con inclusiones de materia orgánica carbonosa, con intercalaciones arcillosas de color gris claro, pardo amarillo,

parcialmente limosa, blandas. En los corazones del pozo ECE-7 se pueden encontrar las siguientes facies Miall, 1996:

**Facies de crevasse splay:** Tendencia granocreciente hacia el tope con contactos concordantes hacia la base.

**Facies de llanura de inundación:** Lodolitas, lodolitas arenosas, interlaminaciones arenosas de tonalidad gris verdosa a gris azulosa, con ondulitas, laminación plano paralela, intensamente bioturbada y grietas de desecación.

**Facies de paleosuelos:** Arcillolitas y limolitas varicoloreadas con paleosuelos y bioturbación no determinada.

**Facies de canal:** Tendencia granodecreciente hacia el tope, superficie erosiva con estratificación cruzada a gran escala y localmente planar

**Facies de lago:** Lodolitas gris a negra con gran contenido de materia orgánica con acumulaciones de pirita y grietas de desecación.

El intervalo 6652' a 5886' en el pozo ECE-7 y el intervalo 4744' a 4227' en el pozo CS-1045 corresponden a un ambiente fluvial meandriforme, caracterizado por una variación lateral y vertical en el que se observa los distintos depósitos y cambios de granulometría tanto crecientes como decrecientes, en algunos casos se observan cambios bruscos en la litología. La heterogeneidad vertical de la litología de los corazones es un buen criterio para la caracterización petrográfica de la zona B y C de la Formación Mugrosa.

#### **6.4.1. Sucesión de facies de canal**

Compuesta por areniscas de cuarzo con buena a moderada selección, granos subredondeados a veces subangulares sobre todo en la base del canal donde aparecen los conglomerados, granosoportada, estratificación cruzada

planar y masiva, en algunos casos estratificación cruzada en artesa con conglomerados en el caso del intervalo 6652' a 6605', de ECE-7, en este intervalo se observan buenas impregnaciones de aceite. Igualmente en el intervalo 6570' a 6512'6 que a una profundidad de 6550' es intercalo por facies de llanura de inundación de ECE-7.

#### 6.4.1.1. A-x (Arenisca con Estratificación Cruzada)

Esta facie esta asociada a la migración de los canales, ocurren en arenas finas a muy gruesas, areniscas curzosas y arcosas de color gris amarillento y pardo donde se pueden encontrar interclastos de lodos y conglomerados de granulos y guijas de 2mm a 1 cm, en la figura n (Tabla de descripción resumida de Facies, Anexo 1). Se observa trazas curvadas de estratificación cruzada, que en afloramientos tienen un espesor promedio de 2cm y varios metros de largo, (figura 27 y 28).

**Figura 27.** Arenisca en estratificación Cruzada en artesa **Figura 28** Interclastos lodosos en la base de los canales.



#### 6.4.1.2. A-px (Arenisca de Estratificación Cruzada Planar)

Esta integrada por areniscas cuarzosas y arcosas, de color gris amarillento y pardo, de grano muy fino a grueso, con limite inferior de los sets entre 0.2 a 1.5 m observado en afloramientos y en corazones. Los sets tienen un longitud de 0.1 a varios metros paralelos a la estratificación. Subangulares a subredondeadas, moderada selección, (fig. 29), se observa en depósitos de baja energía y velocidad.

**Figura 29** M-006. Arenisca cuarzosa de grano muy fino con estratificación cruzada, abundantes líticos esquistosos, matriz lodosa.



#### **6.4.1.3. A-ab (Arenisca de Angulo Bajo)**

Esta conformado por areniscas subfeldespáticas y cuarzosas de color gris amarillento, de grano fino a grueso, con moderada a buena selección, granos subredondeados a subangulares, con moderados líticos negros, su principal distinción es la presencia de estratificación cruzada de ángulo bajo, con inclinación menor de  $10^\circ$ . La estratificación cruzada se presenta en manera sintética con referencia a las superficies limítrofes de la estructura, (Miall, 1997).

#### **6.4.2. Sucesión de facies de llanura de inundación y crevasse splay**

Las facies de llanura de inundación constituida por lodolitas, lodolitas arenosas arcillolitas lodosas verdes interlaminaciones arenosa abigarrada. Estas facies presentan alta bioturbación, este ambiente se observa a 6495', 6552' y 6060' de profundidad en el pozo ECE-7.

Las facies de crevasse splay esta conformada por areniscas lodosas hacia la base de selección media a buena, con matriz mixta, reliptos de estratificación planar, granocreciente o granodecreciente hacia el tope y nódulos, este tipo de facie se observa a en el intervalo 6165' a 6148', a la profundidad de 6160' se observa la facie 'CC' y a 6156' la facie 'CCB' (crevasse con bioturbación) en el pozo ECE-7.

#### **6.4.2.1. Fa/Fg (Limonitas abigarradas/grises)**

Limonitas grises a veces abigarradas, en algunos casos acompañada con bioturbación, se caracteriza por la ausencia de capas arenosas. Puede ser el depósito en áreas más distante de la planicie de inundación con respecto al aporte de detríticos.

#### **6.4.2.2. AL (Arenisca Lodosa)**

Areniscas cuarzosas y subarcosa de gris oliva claro, de matriz arenolodosa, mala selección, granos subangulares a subredondeados con líticos negros micaceos, se observa en algunos casos con laminación de lodo gris. Esta facie es común en áreas de overbank y depositada por una carga de suspensión o tracción débil.

#### **6.4.2.3. AL-p-r (Arenisca Lodosa con Estratificación Planar y ondulitas)**

Arenisca cuarzosa lodosa gris clara, de buena selección, granos subangulares a subredondeados, buena bioturbación y buena impregnación. Esta litofacie se caracteriza por una gran variedad de rizaduras asimétricas (**A-r**), con rengo de granos entre fino a medio. Dependiendo de la velocidad del flujo y de la tasa de

aporte de sedimentos se puede formar una variedad amplia de estructuras internas, (Allen, 1984), las rizaduras tienen una altura entre 2cm a 6 cm.

La facie **A-p** ocurre bajo condiciones de baja energía, donde se encuentran areniscas de grano muy fino a medio a velocidades cercanas a 1 m/s y profundidades de agua entre 0.25 y 0.5 m. Aunque muy raro la presencia de granos más gruesos, incluyendo gravas, a veces son transportados por tracción mediante el rodamiento junto con la fracción arenosa. Las unidades de A-p que presentan arriba de varios metros de espesor pueden ser depositadas durante eventos dinámicos individuales, tales como los flujos relámpago (flash flows), cuando las condiciones de flujo pueden permanecer en estado crítico por períodos de muchas horas (Miall, 1997).

#### **6.4.2.4. Am (Arenisca Masiva)**

Areniscas cuarzosas, de grano fino a medio, en los afloramientos tiene un espesor de 30 cm a metros. Estos sedimentos se depositan por flujos de gravedad y una ocurrencia característica de esta litofacie se da en los canales pequeños que resultan de los desbordes de canal o crevasse splay (Miall, 1997).

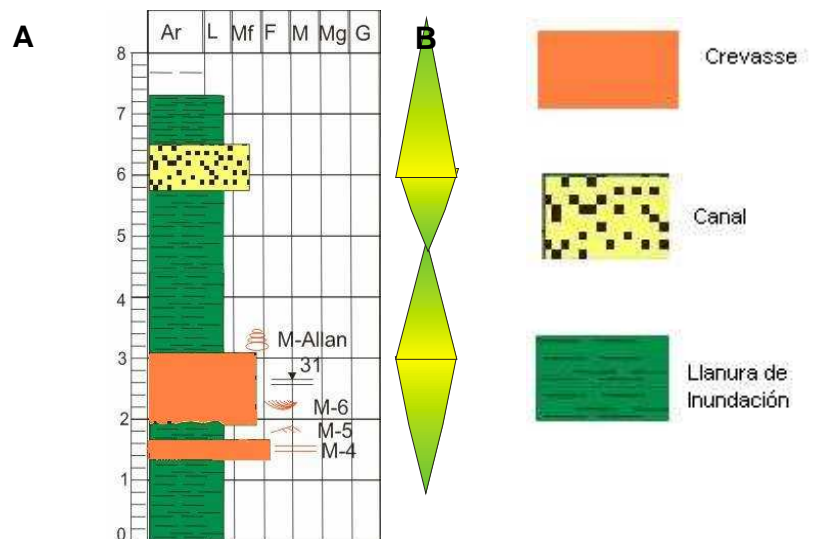
### **6.5. CICLOS Y ARQUITECTURA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN MUGROSA**

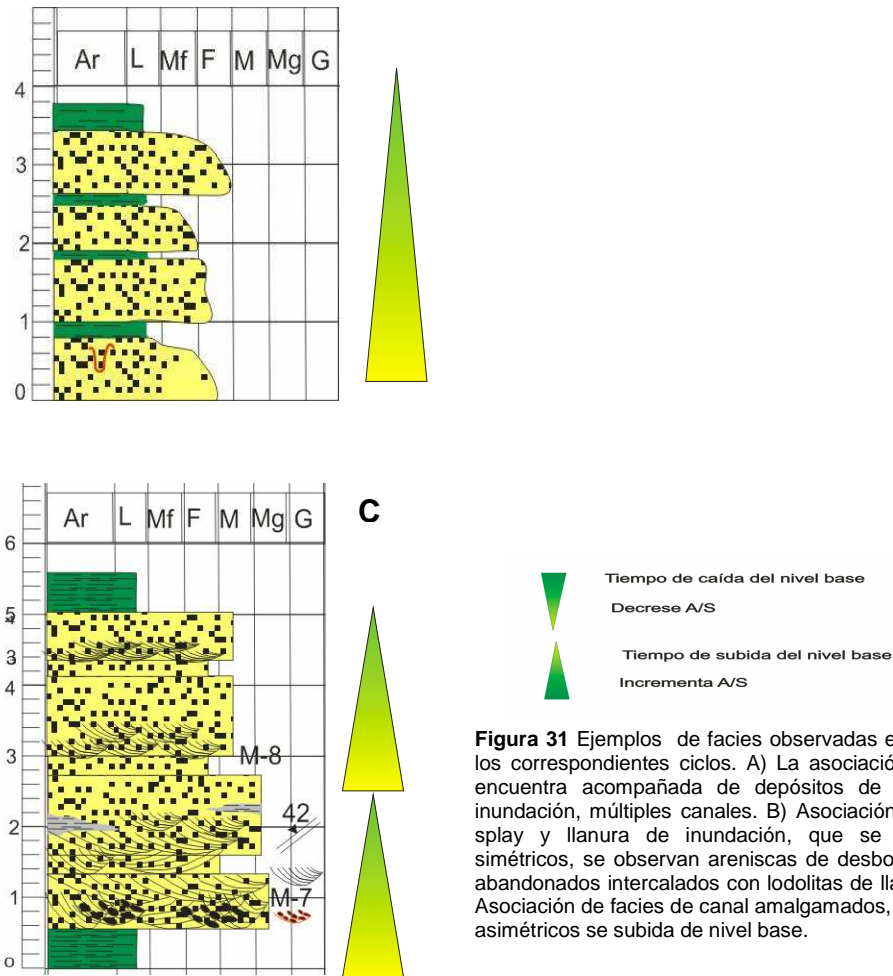
Los ciclos ayudan a tener una mejor visión del cambio en la relación del espacio de acomodación y el suministro de sedimento, que estos casos es típico de cada ambiente. Es así como durante el proceso de depositación cada cambio en la relación A/S se va reflejar en las estructuras y texturas sedimentarias del respectivo depósito (fig. 30). Las facies en ambientes fluviales varían lateral y verticalmente sin ocupar grandes extensiones la misma facie, en algunos casos siendo solo local.

Seguendo el comportamiento de los ciclos de relación A/S, podemos reconocer un patrón de cambio hacia un ambiente de canales más amalgamados y con mayor continuidad o un ambiente con canales aislados sin mucha continuidad y con una mayor aparición de facies de llanura de inundación y crevasse splay (Ramón et al, 1997).



### 6.5.1. Ciclos estratigráficos de bajo termino.





**Figura 31** Ejemplos de facies observadas en los afloramientos con los correspondientes ciclos. A) La asociación de facie de canal se encuentra acompañada de depósitos de lodolita de llanura de inundación, múltiples canales. B) Asociación de facies de crevasse splay y llanura de inundación, que se caracteriza por ciclos simétricos, se observan areniscas de desborde de canal o canales abandonados intercalados con lodolitas de llanura de inundación. C) Asociación de facies de canal amalgamados, caracterizado por ciclos asimétricos se subida de nivel base.

En la figura 31, se observan ciclos estratigráficos de bajo término de 2 a 5m de espesor, suficiente para reconocer las asociaciones de facies.

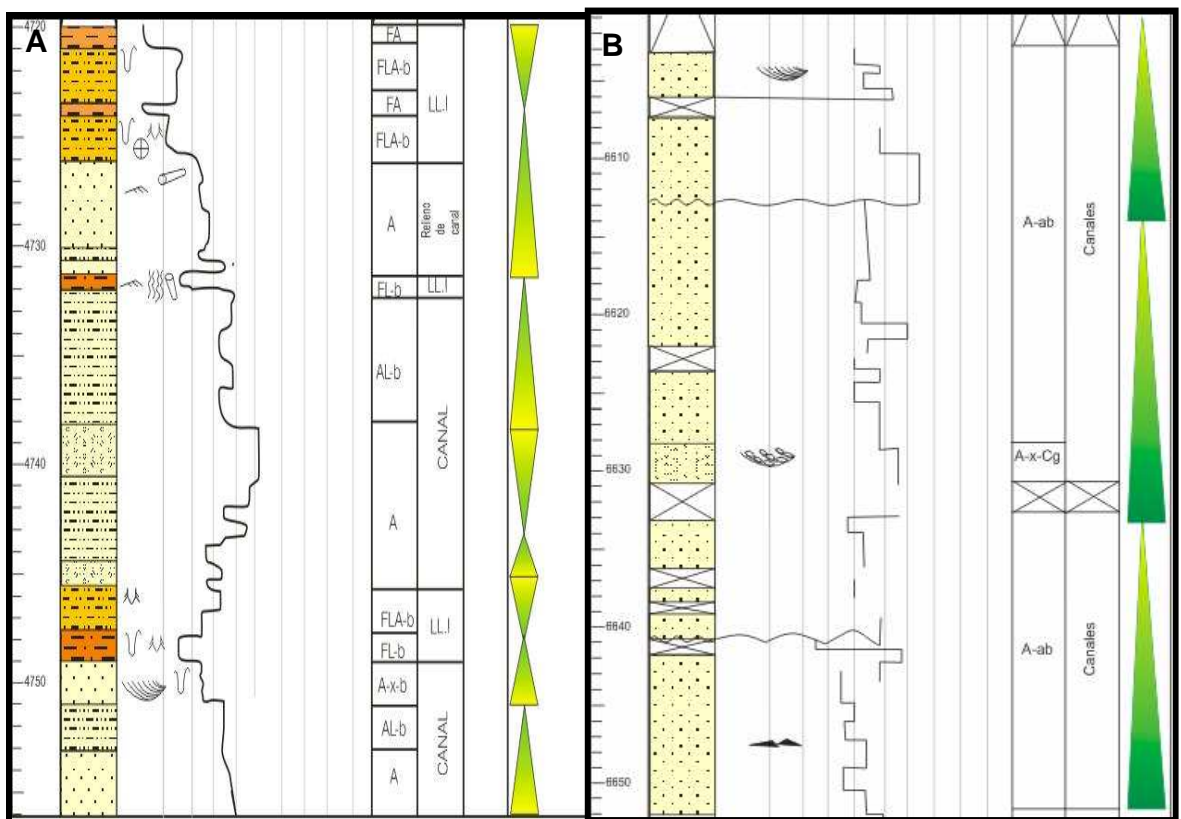
### 6.5.1.1. Ciclos de bajo termino en sucesión de facies de canal

En alto espacio de acomodación se pueden encontrar canales aislados donde están mejor preservados las facies de los topes y se puede seguir la sucesión completa de las facies, se caracteriza por ciclos asimétricos de subida de nivel base, estos ciclos pueden tener un espesor entre 1 a 3m (Ver figura 31A). Los canales siempre estarán aislados por facies de llanura de inundación y/o crevasse splay.

Si hay bajo espacio de acomodación hay unas mínimas condiciones A/S (Ramón, 1997), en estas condiciones se puede encontrar ciclos asimétricos donde hay un alto gradiente de facies tract (canales amalgamados, donde se observa el

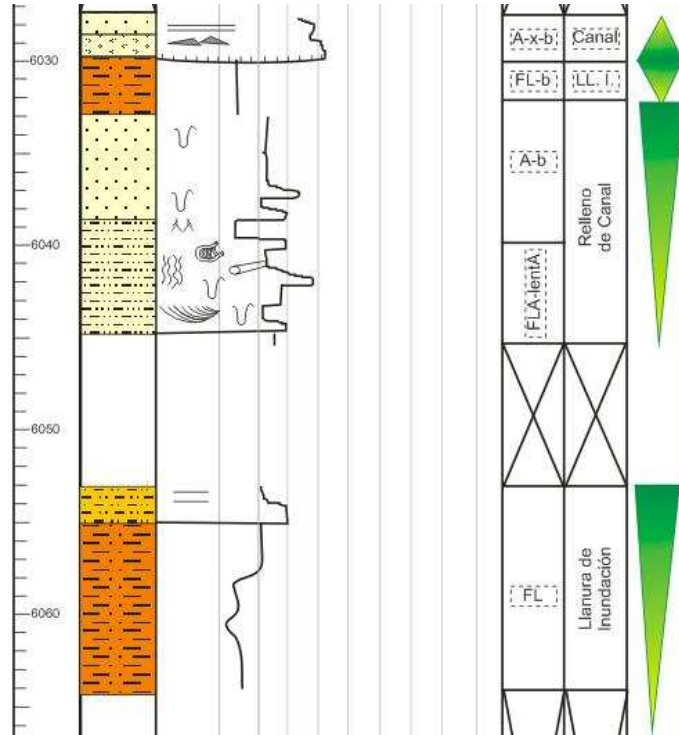
canibalismo de los canales) y en un desplazamiento hacia arriba a condiciones de bajo gradiente las facies de canal pueden estar acompañadas de facies de llanura de inundación y lago (Fig. 31C y 32A). Estos canales se caracterizan por superficies de reactivación de canal acompañadas de interclastos lodosos, estratificación cruzada en artesa, canales superpuestos y en algunos casos se hubo un pequeño periodo de estabilidad también se encuentran lentes de lodolitas (figura 31C y 28). Estos ciclos se caracterizan por que la granulometría es granodecreciente, en la agradación de los canales. El espesor de estos ciclos puede estar entre 4 a más metros.

**Figura 32** Ciclos de bajo termino de crevasse y llanura de inundación, A, CS-1045 Mugrosa inferior. Ciclos de bajo termino de arenas de canal, B, ECE-7 Mugrosa inferior.



### 6.5.1.2. Ciclos de termino corto en sucesión de facies de crevasse splay y llanura de inundación

**Figura 33** Ciclos de bajo termino de facies de llanura de inundación y crevasse splay o relleno de canal, ECE-7, Mugrosa superior.



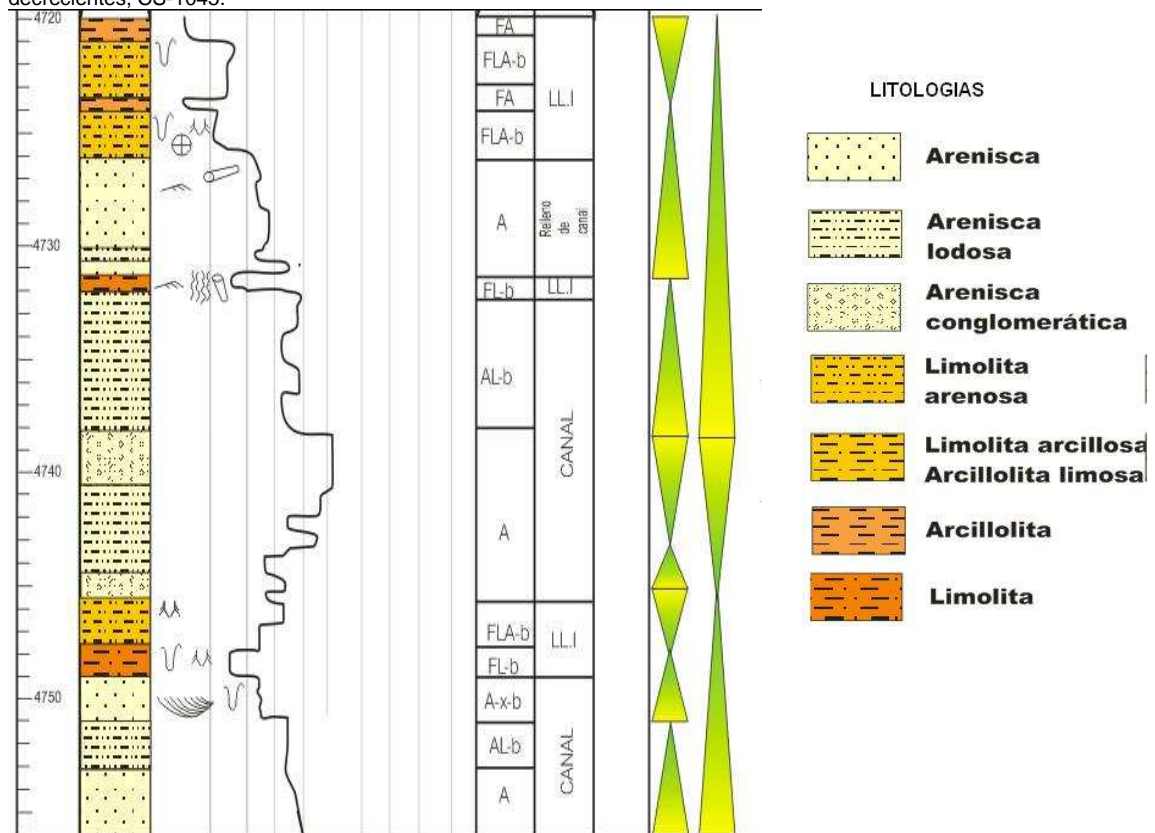
Los ciclos de bajo término de facies de llanura de inundación tienen una mayor aparición en altos espacios de acomodación, donde son ciclos asimétricos de escala alta en subida de nivel base. Donde se presentan cambios a ciclos simétricos también suceden cambios en la asociación de facies y sucesión como se observa en la figura 33, donde podemos pasar de un depósito de llanura de inundación a la gradación de canales. Los ciclos de términos cortos muestran la granulometría granocreciente de los depósitos sedimentarios. Si hay un periodo alto de subida de nivel base se pueden encontrar espesor de ciclos de bajo término desde unos centímetros hasta varios metros (figura 32B).

En bajos espacios de acomodación suceden menos eventos de crevasse splay y las facies de llanura de inundación no son totalmente conservadas debido al canibalismo de los canales.

### 6.5.2. Ciclos estratigráficos de termino intermedio

Los ciclos estratigráficos de término intermedio agrupa ciclos de termino corto de areniscas de canal, llanura de inundación y crevasse splay que tienen una secuencia creciente o decreciente, los ciclos de termino intermedio pueden mostrar la asociación de facies de subida de nivel base o caída de nivel base, (figura 34).

**Figura 34** Ciclos estratigráficos de término intermedio, agrupa areniscas y lodolitas en secuencias crecientes o decrecientes, CS-1045.



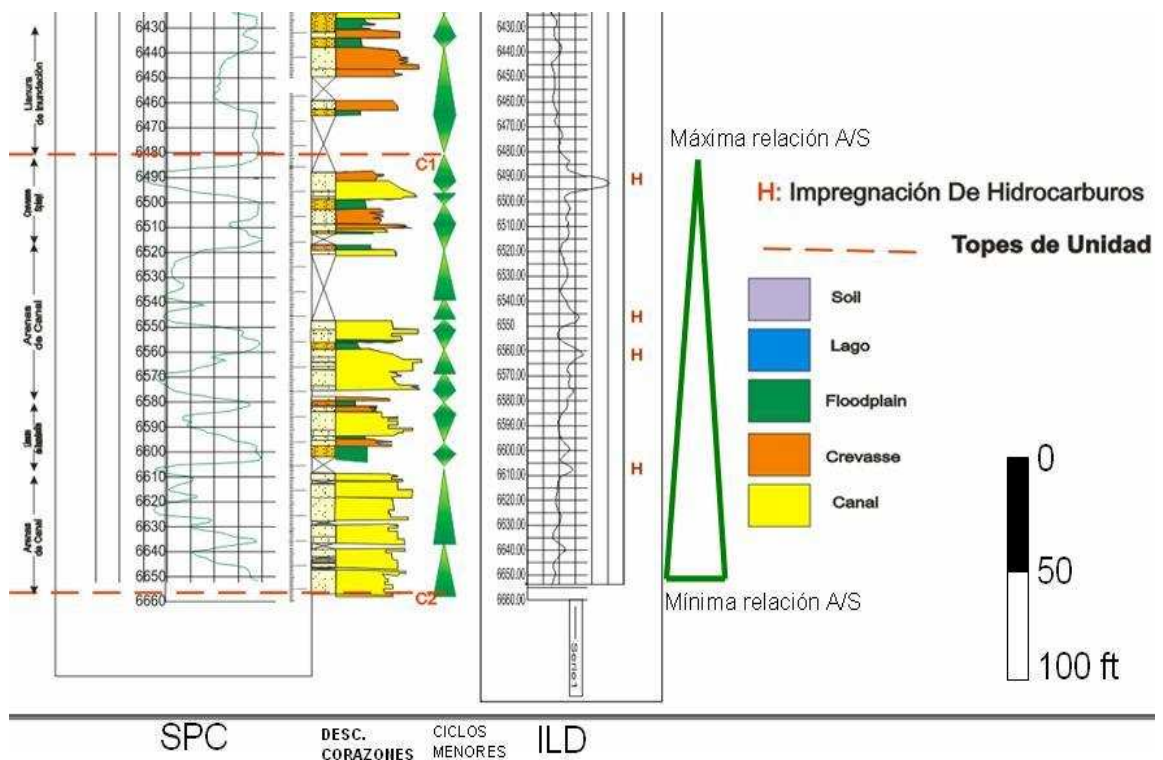
En los ciclos de término medio se pueden asociar facies, para bajos espacios de acomodación la asociación de facies es: Canal-Llanura de inundación-Canal, menos frecuente Canal-Llanura de inundación-Crevasse splay-Llanura de inundación-Canal. Para altos espacios de acomodación la asociación de facies es: Llanura de inundación-Crevasse splay o Complejos de crevasse-Llanura de inundación-Canal (si los canales estuvieron expuestos durante un periodo de tiempo pueden presentar paleosuelo).

### 6.5.3. Ciclos estratigráficos de termino alto

En los ciclos de término alto se reconocen los espacios de baja acomodación y de alta acomodación que posteriormente serán correlacionables.

## 6.6. ELECTROFACIES Y CARACTERIZACIÓN DE HORIZONTES ESTRATIGRÁFICOS

**Figura 35.** Ciclos de corto término y asociación de facies, Calibración de registro de pozo y descripción de sucesiones de facies en corazón. Int. 6425'-6652', ECE-7



El registro SP, GR e ILD fueron visualmente comparados y calibrados aproximadamente con 278'68 de corazón de Gala. Los registros SP son los más comunes en la cuenca y se usa por que no es afectado como el registro GR por el contenido de potasio, figura 35. Se comparo la respuesta del registro SP, GR con ILD por que permiten identificar el tipo de material en función de su resistividad característica. Las propiedades físicas de las rocas y minerales

medidas en un registro eléctrico, en una superficie de trabajo, son la conductividad eléctrica y el potencial espontáneo.

Con los registros de pozo se puede correlacionar las sucesiones de facies conciclos de pequeña escala reconocida en los corazones (Ramón. J, 1998). En algunos casos, los registros de pozo responden a facies específicas. Se pueden asociar 4 facies, canales de arena, crevasse splay, llanuras de inundación, lago y lodolita de suelo. Con estas 4 facies se puede resolver ciclos estratigráficos en 5 a 15 metros de espesor. En la figura 3 y 4 se compara los registros de pozo con la descripción de corazón.

En el corazón ECE-7 se pueden caracterizar 3 horizontes estratigráficos pertenecientes a la Formación Mugrosa. El horizonte C1 se caracteriza por un valor GR de medio a alto (entre 30 y 70 API), en la base del corazón se observan facies de canal, con una resistividad SP alta e ILD alto, la facie tiene un espesor de aproximadamente 45', se diferencia de la facie de crevasse splay que tiene una resistividad SP de media a alta y ILD bajo.

La facie de llanura de inundación es de baja resistividad SP y ILD bajo. Después del intervalo 6600' se observan intercalaciones de facies de arena de canal con facies crevasse splay y de llanura de inundación.

Los intervalos de facies de crevasse splay y llanura de inundación se vuelven más seguido hacia el tope, y disminuye la facie de arenas de canal.

El horizonte B4 se patrono con electrofacies debido a la ausencia de corazones, en la base del horizonte se observan electrofacies de crevasse splay y llanura de inundación, con pequeños pulsos de subida de nivel base en el centro del horizonte, con facies de arenas de canal. El horizonte B4 se caracteriza por un valor GR de (30 a 75 API), el horizonte B3 presenta facies de crevasse splay en la base intercalada con facies de llanura de inundación, hacia el tope se observan pulsos de facies de arenas de canal.

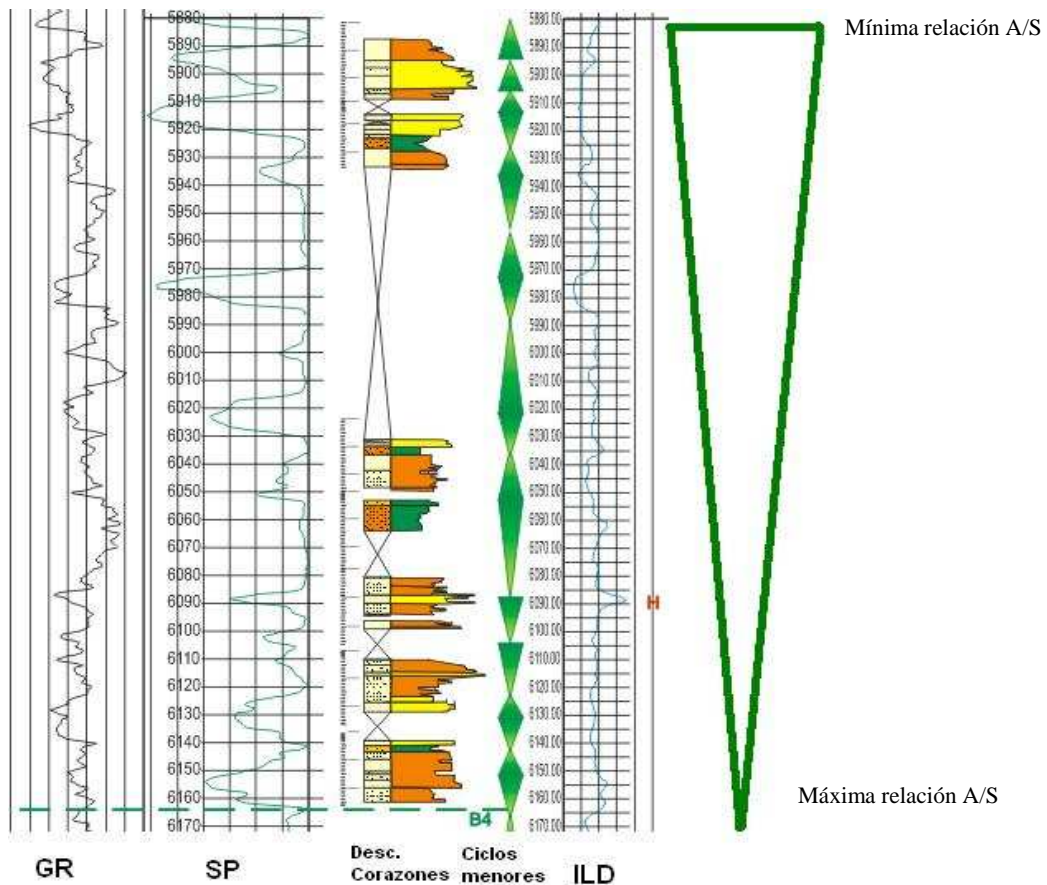
En la profundidad de 6146' se observa un intervalo de 15' de espesor de facie de crevasse splay. En la profundidad de 6053' se encontró un intervalo

de llanura de inundación de 11' de espesor, este intervalo posiblemente es más grueso pero falta información del corazón fig.36.

Para la Zona B3, B4 y C1 de la Formación Mugrosa se definieron tres parámetros para los valores de registro de pozo:

- Si  $GR > 50$  API y  $ILD < 3$  V = electrofacies de arcilla
- Si  $GR < 45$  API y  $3.5 < ILD < 10$  V = electrofacies de arena
- Si  $20 < GR < 80$  y  $ILD > 5$  V = electrofacies conglomeratica

**Figura 36** Calibración de registro de pozo y descripción de sucesiones de facies en corazón. Int. 5886'-6162', ECE-7



### 6.6.1. Ambientes de depositación de la Formación Mugrosa

En base a la integración de las descripciones microscópicas del corazón ECE-7, la identificación de litofacies, electrofacies; se determinaron los parámetros

básicos indicativos de ambientes tales como: granulometría, arcillosidad, mineralogía, estructuras sedimentarias e icnofacies. De esta forma se logro determinar que el ambiente depositacional de la Formación Mugrosa en la zona B de la Formación Mugrosa pertenece de igual forma a un ambiente no marino, de sistema meandriforme de canales amalgamados, que representan periodos sujetos a una caída de la relación A/S y nivel base regresivo con leves pulsos transgresivos. Fig.36. la zona C es continental, de sistema meandriforme el cual estuvo sujeto a un aumento de la relación A/S y subida del nivel base, buena preservación del desarrollo fluvial, por esta razón se evidencia una sucesión cíclica que conserva un orden depositacional, es decir después de una depositación de arenas de canal debe encontrarse depositación de llanura de inundación. Se evidencian leves pulsos de disminución de la relación A/S y del nivel base. fig.35.

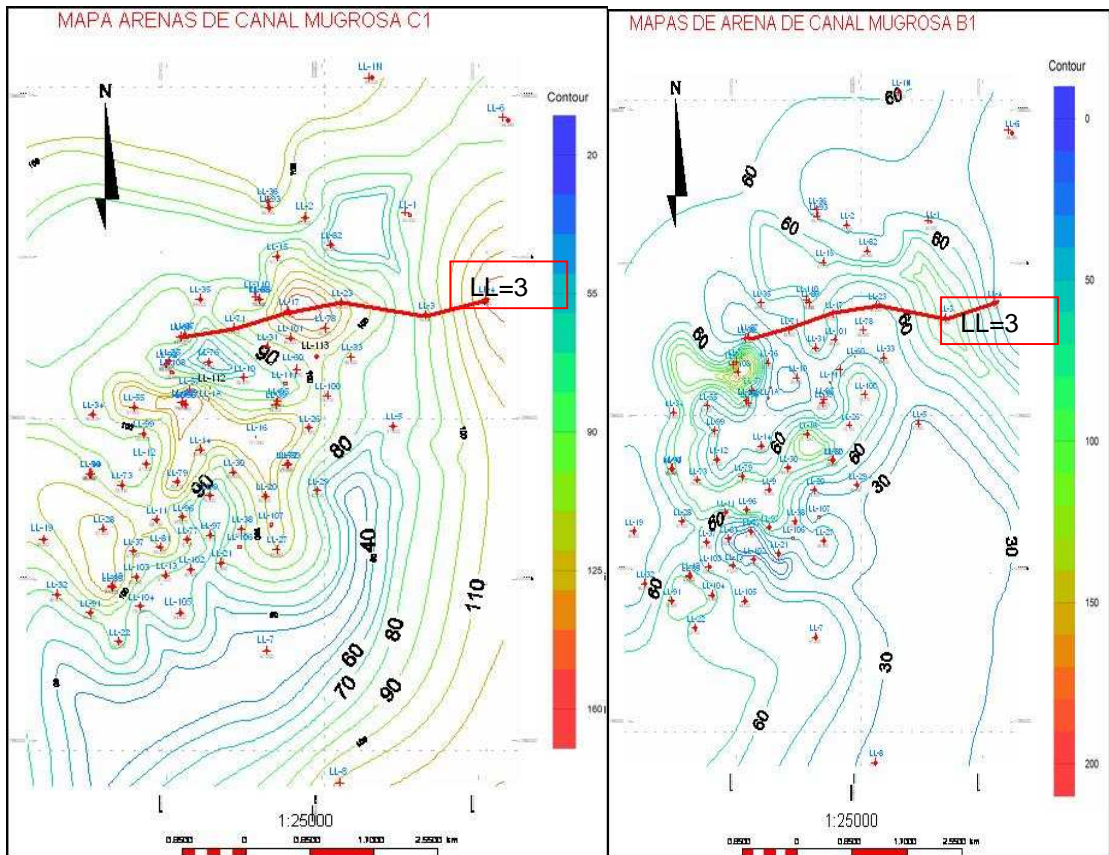
## **6.7. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA**

Al comparar las correlaciones realizadas con los datos de la modificación hecha por David Gomez de Le Roux, J.P, 1991 de la Corrección por Basculamiento para Paleocorrientes y Diaclasas (figura 39 y 40), y los datos dados por los mapas de Arenas del Modelo Estratigráfico 2007 de Sergio Nuncira (figura 37 y 38).

Los datos de paelocorriente son promedios que se obtienen por Dipmeter en pozos, estos datos no son exactos debido a que no es posible darle a todo un intervalo sedimentologico de un horizonte una misma dirección de paleocorriente cuando esta pueda variar de un momento a otro, se utilizaron estos datos para obtener una idea como era en promedio la paleocorriente en el oligoceno inferior y al compararlo con los mapas de espesores de arena que son el promedio de los intervalos de arena en determinado horizonte.

**Figura 37.** Mapa de arenas de canal B1 (Ecopetrol, 2007)

**Figura 38.** Mapa de arenas de canal C1 (Ecopetrol, 2007)



En la grafica de mapas de arenas de canal de la Formación Mugrosa en el horizonte B1 y C1 los contornos azules son los espesores mas delgados de arenas canal y los contornos rojos son los espesores mas gruesos de arenas de canal.

Figura 39 Paleócorrientes promedio horizonte B1, (Ecopetrol, 2007)

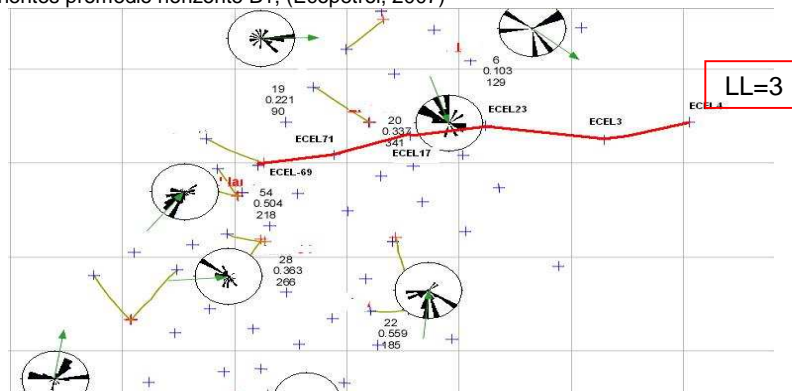
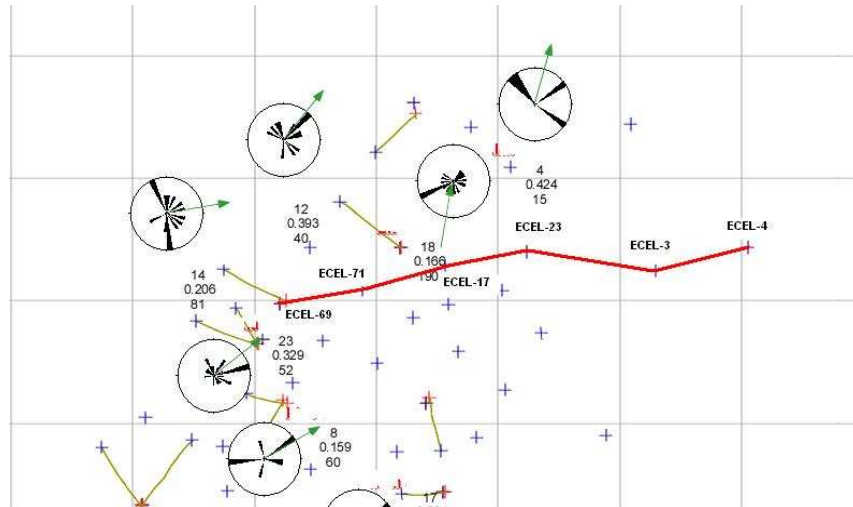


Figura 40 Paleócorrientes promedio horizonte C1, (Ecopetrol, 2007)



### 6.7.1. Correlación estratigráfica al norte del Campo Llanito, LL=3

El horizonte D-1 en la correlación LL=3 muestra como fue la depositación del tope de la Formación Esmeraldas en un tiempo de disminución de la relación A/S donde hay conservación de las facies de llanura de inundación y de crevasse splay y las arenas de canal no tienen continuidad lateral. Los sedimentos en el horizonte C3 se depositaron en un tiempo de disminución de la relación A/S donde la continuidad de los canales lateralmente es poca y conservación de facies de llanura de inundación y crevasse splay, al este del horizonte hay un mayor espesor de facies de canal, que se observan en la correlación y en el mapa de espesores de arena. El horizonte C2 hay bajas condiciones de A/S donde se presentan canales amalgamados y arealmente continuos desde el este al oeste de la correlación LL=3. El horizonte C1 y B4 prosiguen las bajas condiciones de la relación A/S donde los canales son continuos lateralmente en todo el intervalo del horizonte, y hacia el oeste y centro de la correlación se presenta mayor amalgamamiento de los canales. En el tope del horizonte B4 hay un aumento en el espacio de acomodación, donde se empiezan a preservar más las facies de llanura de inundación y de crevasse splay al este de la correlación (Anexo 10). En el horizonte B3 los canales no se extienden hacia el oeste y el amalgamamiento disminuye, preservándose las facies de llanura de inundación y de crevasse splay que refleja el ciclo de término intermedio de caída de nivel base. En el horizonte B2 el espesor de las facies de canal es de 4 a 5 metros

disminuyendo el amalgamamiento de los canales y la extensión lateral de los canales es muy poca al oeste (Figura 41).

Figura 41 Correlación de la transversa LL=3, Formación Mugrosa.

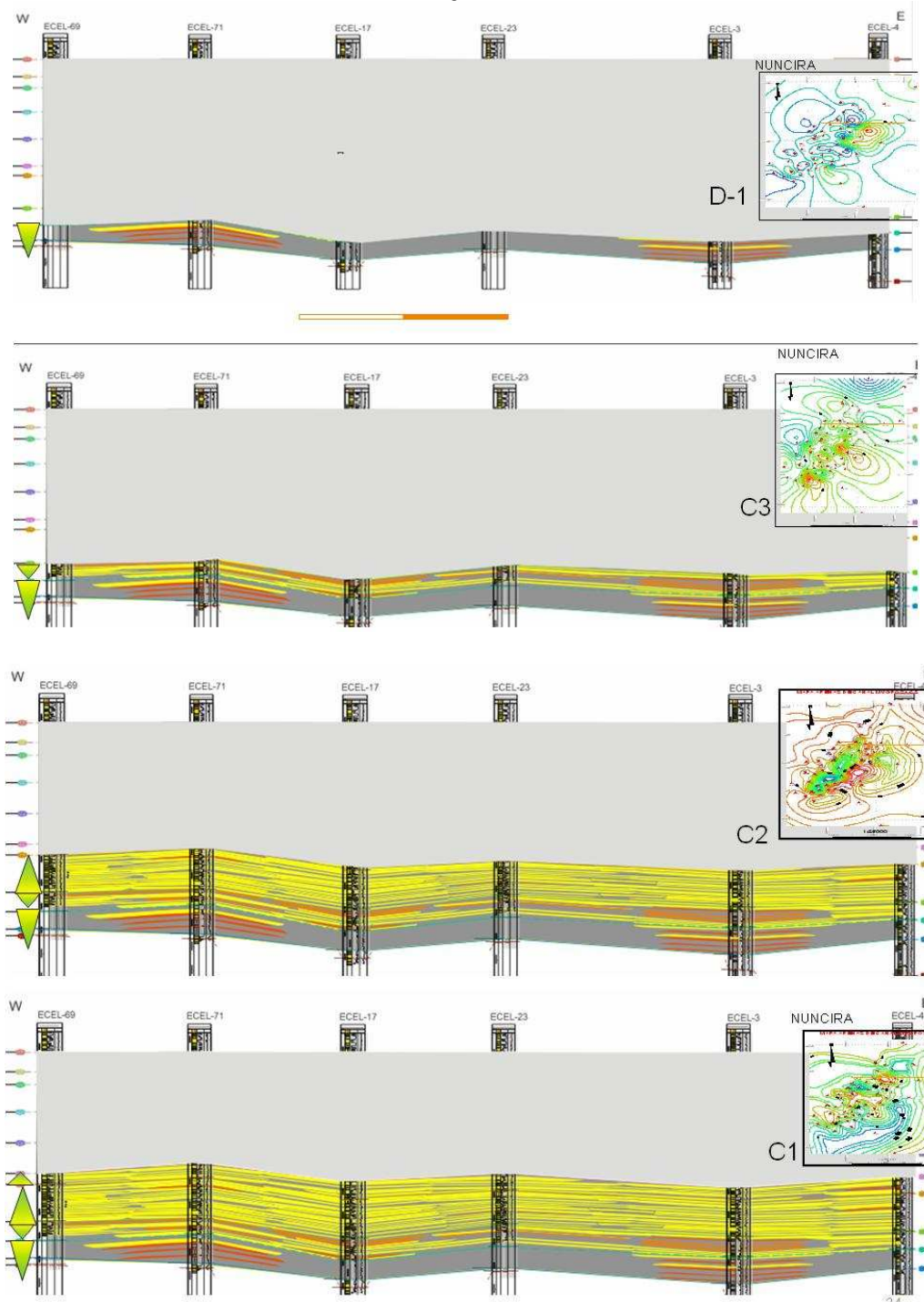
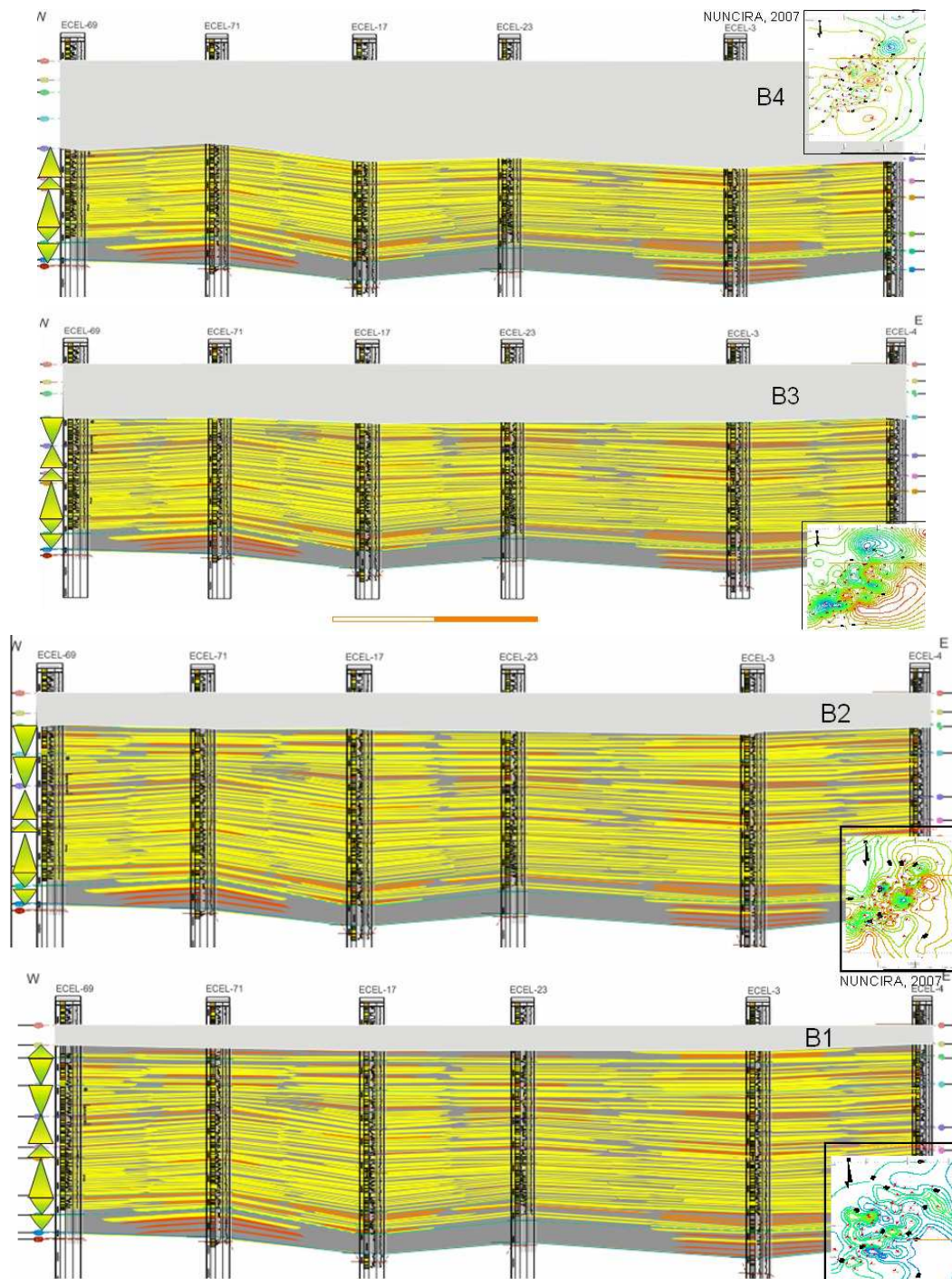


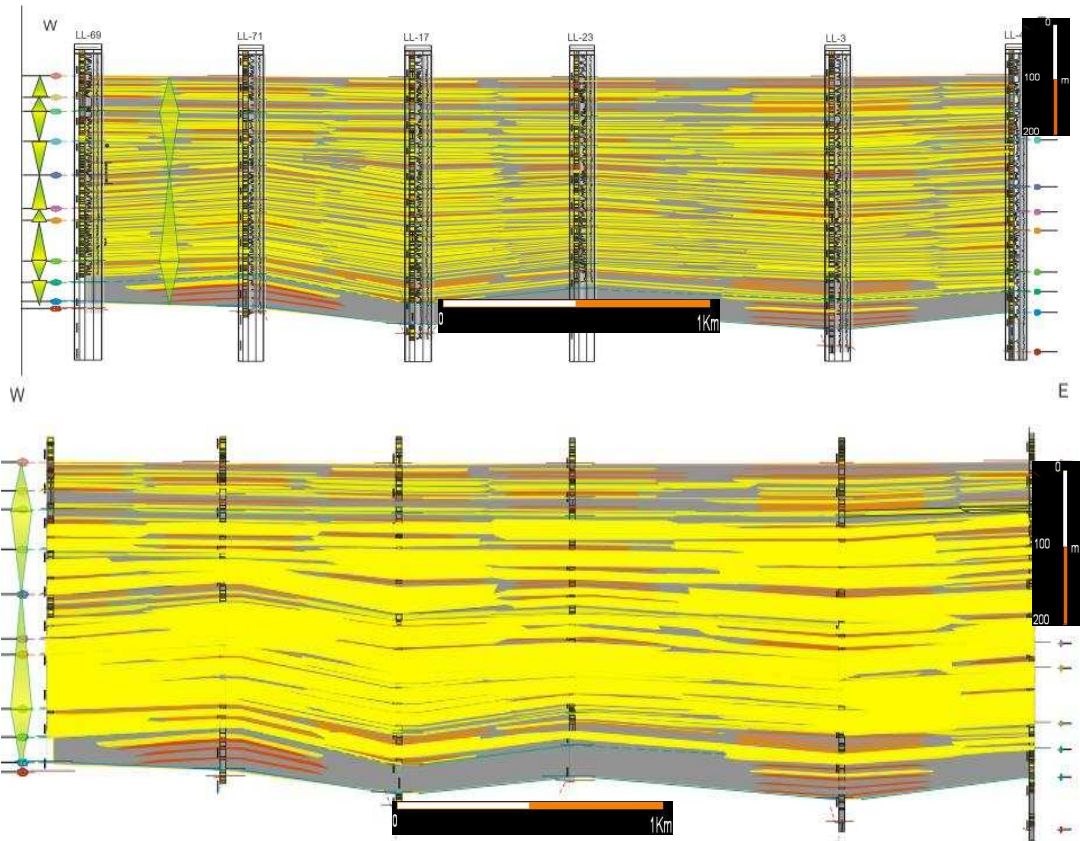
Figura 41. Correlación de la transversa LL=3, Formación Mugrosa.



En el horizonte B1 y Fósiles de Mugrosa se presenta altas condiciones A/S que da como resultado un bajo grado de amalgamamiento y canibalismo de depósitos de canales y un incremento en la preservación en sedimentos de llanura de inundación y de crevasse splay, los depósitos de arena de canal tienden a encontrarse aislados envuelto por los depósitos de llanura de inundación. La figura

n muestra que los horizontes C2, C1, B4 y B3 son los que presenta mas canales amalgamados y oralmente continuos, figura 42.

**Figura 42.** Ciclos de termino intermedio y alto en la correlación LL=3, Formación Mugrosa.



Según la ubicación de ECE-7, se tomaron pozos adyacentes que tuvieran registros de pozo de la Formación Mugrosa, ECE-2, ECE-1E, ECEG-123, ECEG-81, ECEG-64 y ECES-1 y ECEL-8, figura 44.

Tomando como datum de referencia La Cira Shale, para la correlación, se usaron los ciclos de mayor escala para reconocer el contacto de la Formación Colorado con la Formación Mugrosa, y las unidades superiores e inferiores, figura 43. La Formación Mugrosa se encuentra dividida en dos unidades superior (B) e inferior (C), la zona C de caracteriza en ciclos de termino largo de subida de la relación A/S y la zona B ciclos de termino largo de caída de la relación A/S

**Figura 43.** Correlación estructural de pozos a partir del datum de referencia de la Cira Shale, entre el pozo ECEG-123 y ECEG-81 hay una posible falla normal que hace perder secuencia del registro SP.

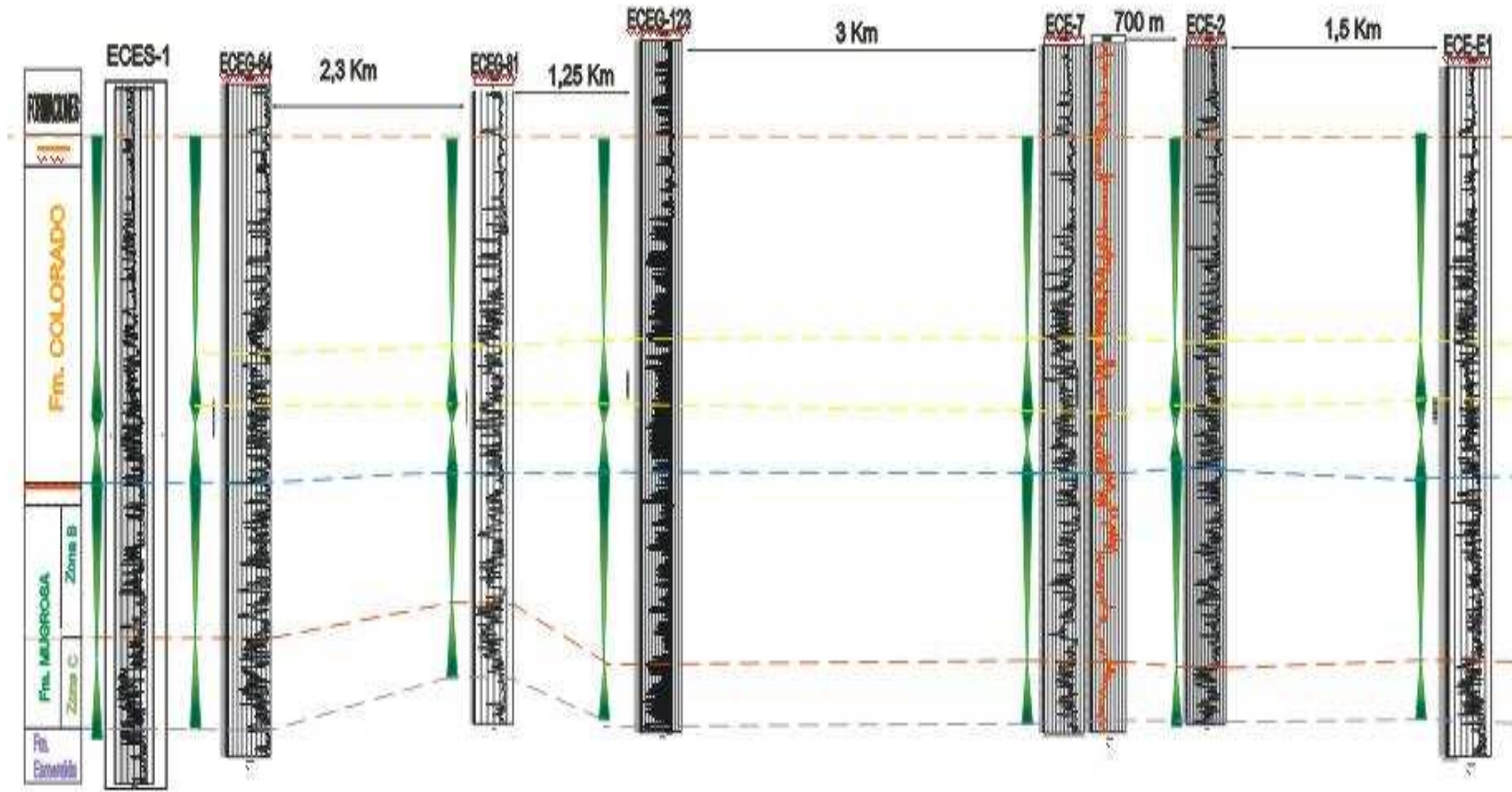
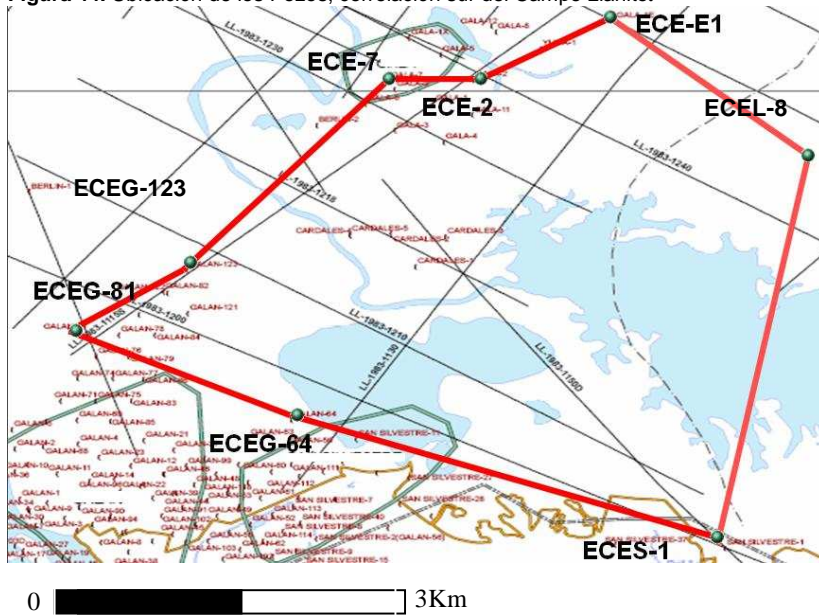


Figura 44. Ubicación de los Pozos, correlación sur del Campo Llanito.



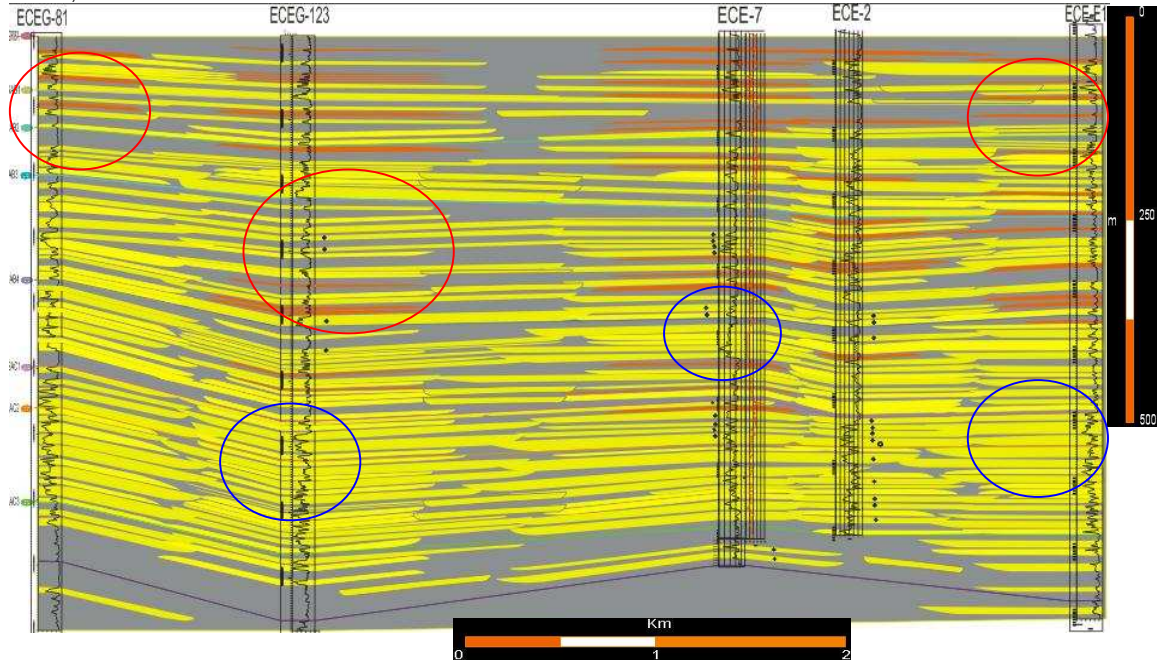
### 6.7.2. Correlación estratigráfica al sur del Campo Llanito

En el análisis de las facies se observa que en el corazón ECE-7, las facies de canal de arena más ancha y amalgamada se encuentra a 6652' de profundidad con espesor aproximado de 14 m, la asociación de facies es: canal-llanura de inundación-crevasse splay-llanura de inundación. Las facies de canal presentan ciclos cortos de incremento de relación A/S, mientras la llanura de inundación y crevasse splay están interpretados por ciclos cortos de decremento de relación A/S. La descripción del corazón ECE-7 solo abarca la zona C1 y B3 de la Formación Mugrosa, al calibrar la descripción del corazón con los registros GR, SP e ILD se obtuvo una idea del comportamiento de las curvas del registro en cada facie (Anexo 11,12 y 13).

Se identificaron patrones de los registros calibrados y no calibrados con la descripción de corazón ECE-7, se plantearon asociación, sucesión de facies y ambientes depositacionales. Para cada pozo se identificaron patrones y se propusieron electrofacies que se compararon con las facies obtenidas de la descripción de corazón. La comparación de la correlación de canales con los

datos de fluidos obtenidos durante la historia del pozo, nos muestran que si hay continuidad de los canales, y conexión de fluido entre pozos, figura 45.

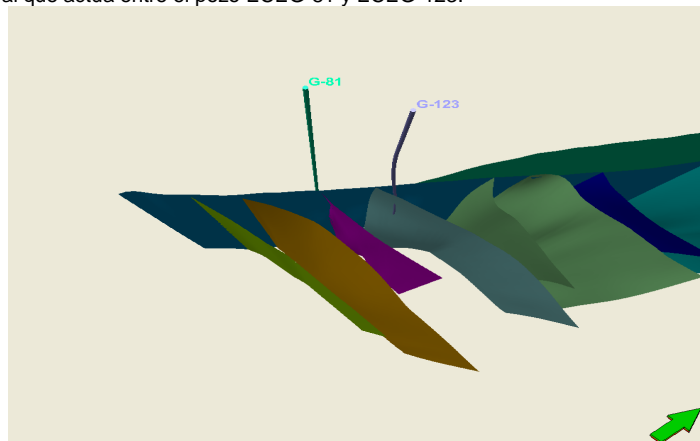
**Figura 45** Correlación ECE=1 al sur del Campo Llanito, Formación Mugrosa Pozos ECEG-81, ECEG-123, ECE-7, ECE-7, ECE-2, ECE-E1.



CONVENCIONES	
AMALGAMADO	
ESPACIO	

● Aceite      ○ Agua

**Figura 45a.** Falla normal que actúa entre el pozo ECEG-81 y ECEG-123.



En la figura 45 y 45a podemos ver una correlación estructural que es afectada por una falla del oligoceno inferior al oeste del Campo Llanito, esta falla hace que se

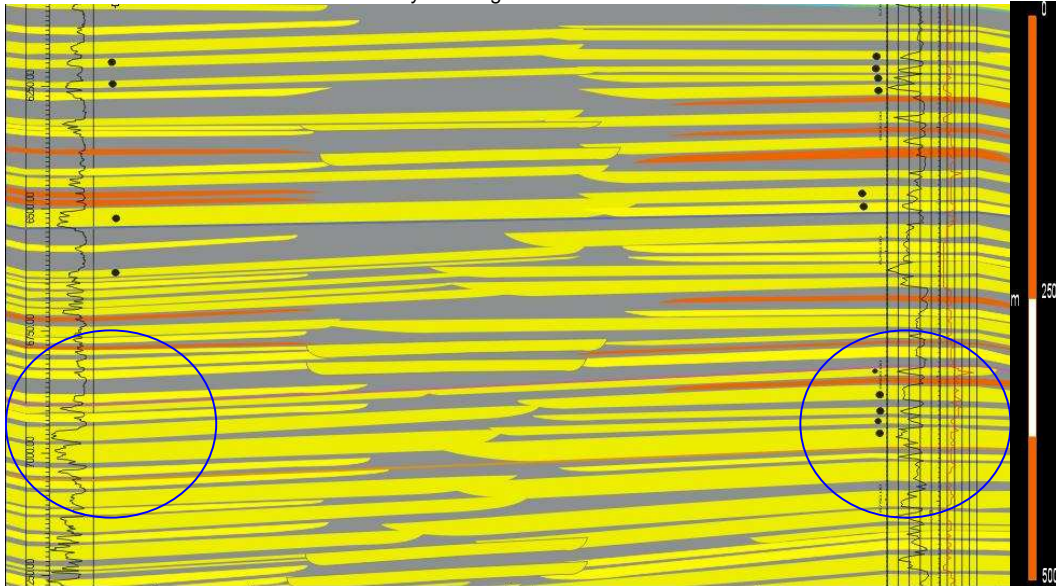
pierda continuidad en el tope de la Formación Mugrosa, y actúa como un probable entrapamiento de hidrocarburo (Anexo 11).

Los ciclos de frecuencia intermedia en la zona B, muestran que donde crece la relación A/S hay menos continuidad lateral de las arenas de canal, disminuye el amalgamamiento, hay canales aislados donde se preservan más completó las facies de canal y se encuentran más facies de llanura de inundación y crevasse splay. Hacia el tope de la zona B3 aparecen de nuevo las facies de canal intercaladas con facies de llanura de inundación, y de crevasse splay. La zona C1 tiene 12 ciclos de pequeña escala donde los ciclos simétricos están conformados por llanura de inundación, los ciclos asimétricos de incremento de relación A/S son de Arenas de canal y asimétricos de decremento de A/S son de crevasse splay. La zona B4 tiene 15 ciclos de pequeña escala, conformado en su mayoría por ciclos de decremento de relación A/S. Los canales se amalgaman más en el oeste de la cuenca y en la zona C1, donde se pueden encontrar buenas trampas estructurales debido a la falla que corta la Formación Mugrosa. En la correlación ECE=1 las zonas encerradas por los círculos rojos representan los canales aislados y con menor continuidad, y mayor aparición de facies de llanura de inundación y de crevasse splay, esta zona se presenta en los horizontes B3 al sur de la correlación, hacia el centro de esta correlación siguiendo el mismo horizonte hay un mayor número de depósitos de altas condiciones A/S con facies de llanura de inundación, crevasse splay y canales abandonados. Los horizontes B2, B1 y Fósiles de Mugrosa presentan depósitos de alta relación A/S, donde se encuentran canales aislados por facies de llanura de inundación y crevasse splay con muy poca continuidad lateral.

Las zonas encerradas con los círculos azules encierran las zonas donde se presentan depósitos con baja relación A/S, con facies de canal donde se observa mayor amalgamamiento de los canales y poca preservación de facies de llanura de inundación y de crevasse splay. La conexión de los canales probablemente sea continua al norte de la correlación en el horizonte B4 y durante todos los

horizontes C1 y C2, sin mucha continuidad al sur del horizonte C3 en la correlación ECE=1, (figura 45 y 46).

**Figura 46.** Continuidad de canales en zonas de mayor amalgamamiento correlación ECE=1



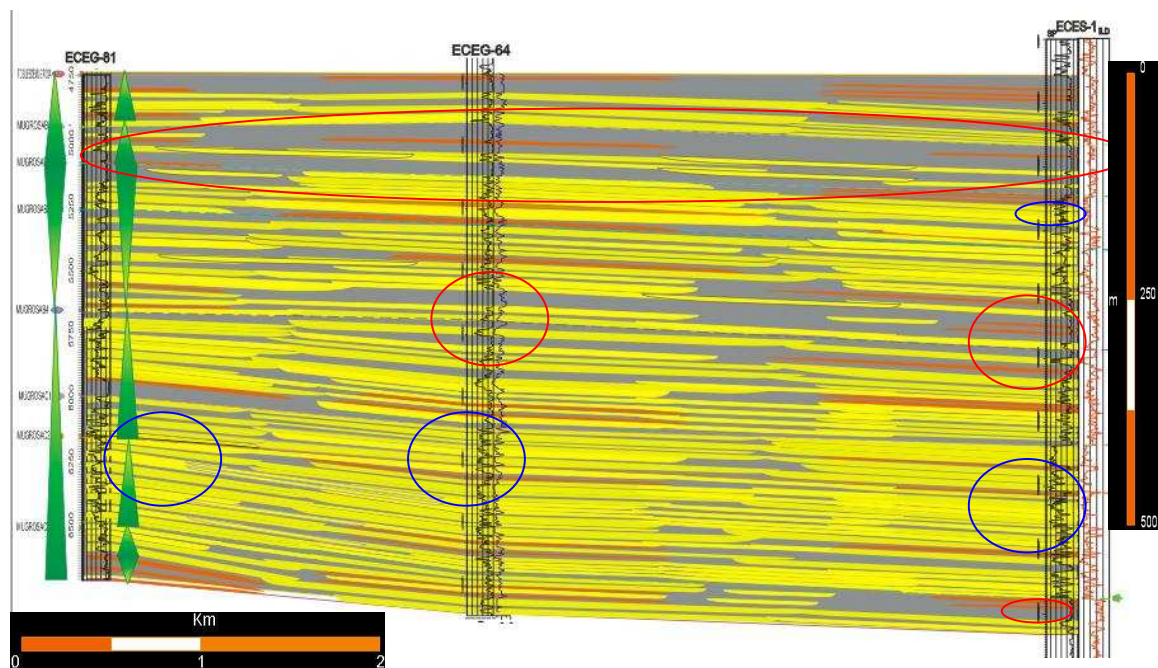
La correlación ECE=2 es transversa a la dirección NE-SW de paleocorriente promedio de los canales, donde se observan los canales mas discretos y menos alongados, debido a la falta de pozos con registros de la Formación Mugrosa, la distancia entre pozos esta entre 2 a 3 Km, lo cual da una distancia amplia sin explorar que con la correlación realizada podría disminuir la incertidumbre sobre la continuidad de algunos canales.

La zona C y B presentan ciclos asimétricos, la zona C muestra un incremento en la relación A/S lo que infiere que durante la depositación de estos sedimentos había alto espacio de acomodación que permitió que el aporte de sedimento formara canales de 21 m a 5 m de espesor. Fig.6. El ancho de la zona C1 es de 55 m aproximadamente y de la zona B1 122 m aproximadamente, con anchos de canal de 15 m a 5 m. En el horizonte B3 hacia el centro de la correlación de los pozos ECEG-81, ECEG-64 y ECES-1, aumenta el ambiente de llanura de inundación.

Al incrementar la relación A/S, disminuye la continuidad de los canales de arena, asía el este de la cuenca, figura 47, y aumenta la aparición de facies de crevasse splay y llanura de inundación. Al disminuir la relación A/S son más continuas las facies de arena de canal. Los ciclos donde decrece la relación A/S presentan acreción lateral de las arena de canal. Las zonas encerradas por el círculo rojo donde hay mayor presencia de facies de llanura de inundación y crevasse splay se encuentran al este de la correlación, en el tope del horizonte B4 y la base del horizonte B3, además de los horizontes B1 y el tope de Fósiles de Mugrosa en la correlación ECE=2. Al este del horizonte C3 hay espesor de 80 ft de alta relación A/S donde no hay continuidad de canales y hay depósitos de Crevasse splay y llanura de inundación.

Las zonas donde se observan canales con mayor continuidad en la correlación ECE=2 se encuentran en los horizontes C2, C1, base del horizonte B4 y tope del horizonte B3 (Anexo 12).

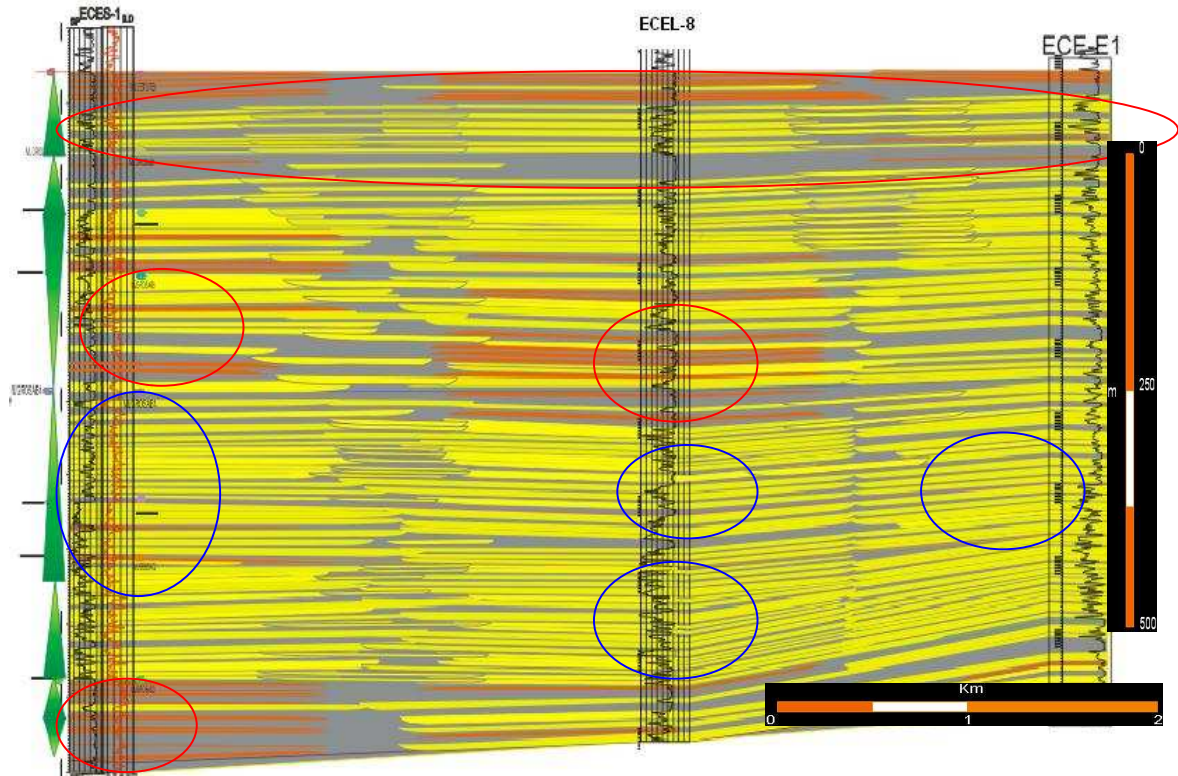
**Figura 47.** Correlación ECE=2 al sur del Campo Llanito, Formación Mugrosa Pozos ECEG-81, ECEG-64, ECES-1.



En dirección Nor-este de la correlación ECE=3 se observa mayor continuidad de los canales. La zona C presenta canales con mayor continuidad y canales amalgamados, la zona B presenta canales espaciados con menor continuidad

pero importante por las facies de llanura de inundación que sirven como trampas estratigráficas.

**Figura 48.** Correlación ECE=3 al sur del Campo Llanito, Formación Mugrosa Pozos ECE-E1, ECEL-8 y ECES-1.



La correlación ECE=3 es longitudinal a la dirección de paleocorriente promedio (modificación hecha por David Gomez de Le Roux, J.P, 1991) de algunos horizontes. Entre el pozo ECES-1 y ECEL-8 hay una distancia aproximada de 3Km, en la cual no se han perforado hasta el momento más pozos que den un mayor detalle de la continuidad de los canales de la Formación Mugrosa en esa zona (Anexo 13).

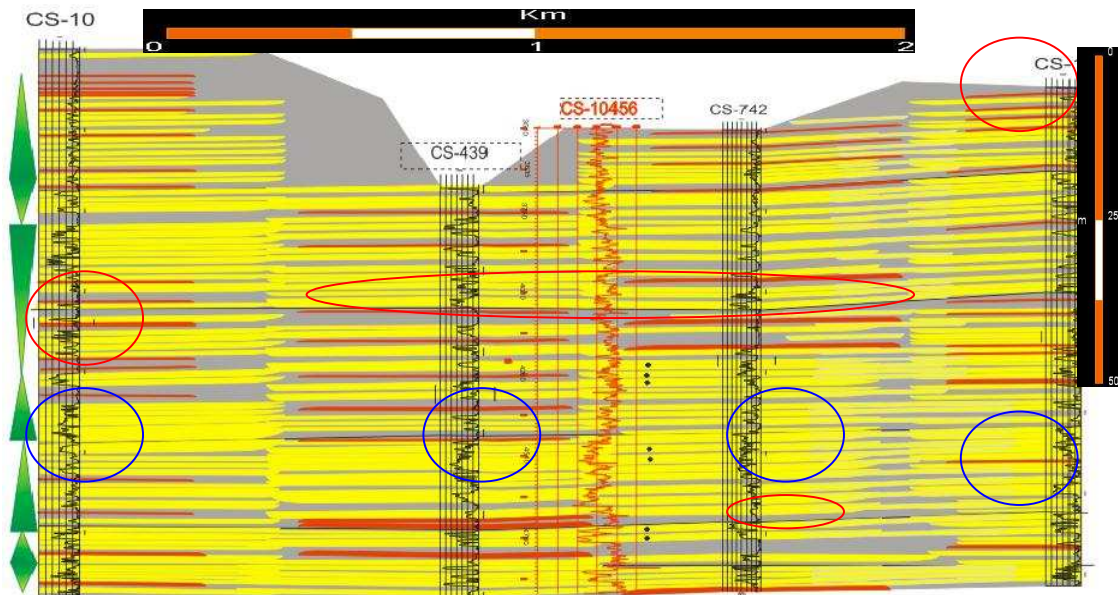
En la correlación se puede observar que entre el tope del horizonte B4 y la base del horizonte B3 (figura 48), hay un hem ciclo simétrico de termino intermedio donde las principales facies son de llanura de inundación, complejo de crevasse splay hacia el centro de la correlación y canales abandonados, en los horizontes B2, B1 y Fósiles de Mugrosa hay poca continuidad de los canales, igualmente al

sur de la correlación en el horizonte C1 la continuidad de los canales es nula y los principales depósitos son de llanura de inundación y crevasse splay.

Las zonas donde se observan canales con mayor continuidad en la correlación ECE=3 se encuentran en los horizontes C2, C1 donde los canales son alargados, base del horizonte B4 y tope del horizonte B3 donde los canales son continuos pero hay preservación de facies de llanura de inundación y crevasse splay.

### 6.7.3. Correlación Estratigráfica al Sur del Campo Casabe, CS=2

Figura 49 Correlación CS=2 al sur del Campo Colorado, Formación Mugrosa Pozos CS-10, CS-439, CS-742 y CS-1.



La correlación CS=2 es transversa a la dirección NE-SW de la paleocorriente promedio de los canales, donde se observan los canales mas discretos y menos alargados. Las zonas encerradas por el círculo rojo donde hay mayor presencia de facies de llanura de inundación y crevasse splay se encuentran al tope de la Formación Mugrosa, en el tope del horizonte B4 y la base del horizonte B3, además de los horizontes B1 y el tope de Fósiles de Mugrosa en la correlación CS=2. Al este del horizonte C3 hay depósitos de alta relación A/S donde no hay continuidad de canales y hay depósitos de Crevasse splay y llanura de inundación.

Las zonas donde se observan canales con mayor continuidad en la correlación CS=2 se encuentran en los horizontes C2, C1, base del horizonte B4, figura 49.

Esta correlación se encuentra entre el bloque III, donde actúa una falla normal que hace perder secuencia del registro eléctrico en el pozo CS-439, (Anexo 14).

## 7. ESPESORES DE ARENAS

Al comparar la correlación LL=3 al norte del Campo Llanito con la correlación de ECE=2 en el centro del Campo Llanito se observa que en la primera correlación hay un mayor porcentaje de arenas de canal y una mayor continuidad lateral de los canales. Fig. 48.

Se calcularon el total de arenas de canal, de crevasse y de llanura de inundación por horizontes, para obtener un promedio porcentual de arenas buenas, intermedias y malas para transportar y almacenar el hidrocarburo. Las arenas buenas están constituidas por arenas de canal, las arenas intermedias son arenas depositadas en los crevasse splay y las arenas malas están constituidas por arenas de llanura de inundación. El horizonte C1 presenta un mayor porcentaje de ambiente de canal, seguido del horizonte C2 y B4. Figura 50. La suma total promedio de los espesores de las arenas de ambiente de canal es de aproximadamente 232.25 ft en el horizonte C2, seguido del horizonte B3 con 164.58 ft y el horizonte B4 con 146.75 ft. Figura 51.

Figura 50. Porcentaje de arenas Formación Mugrosa correlación LL=3

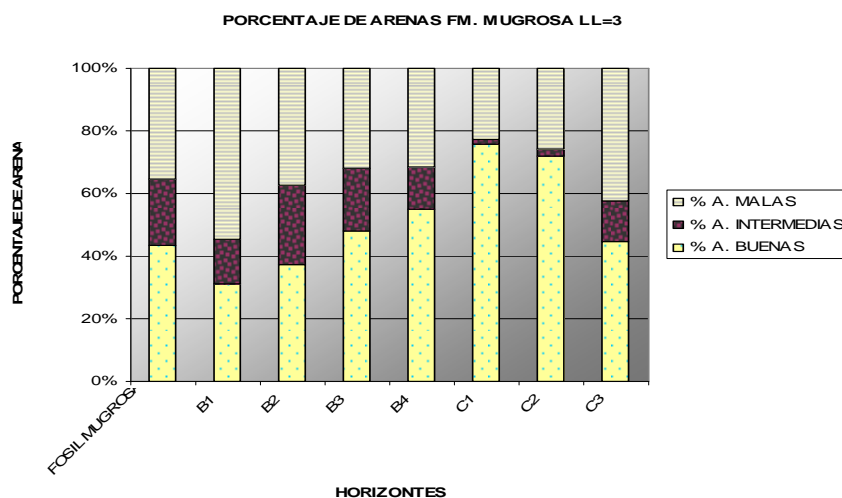
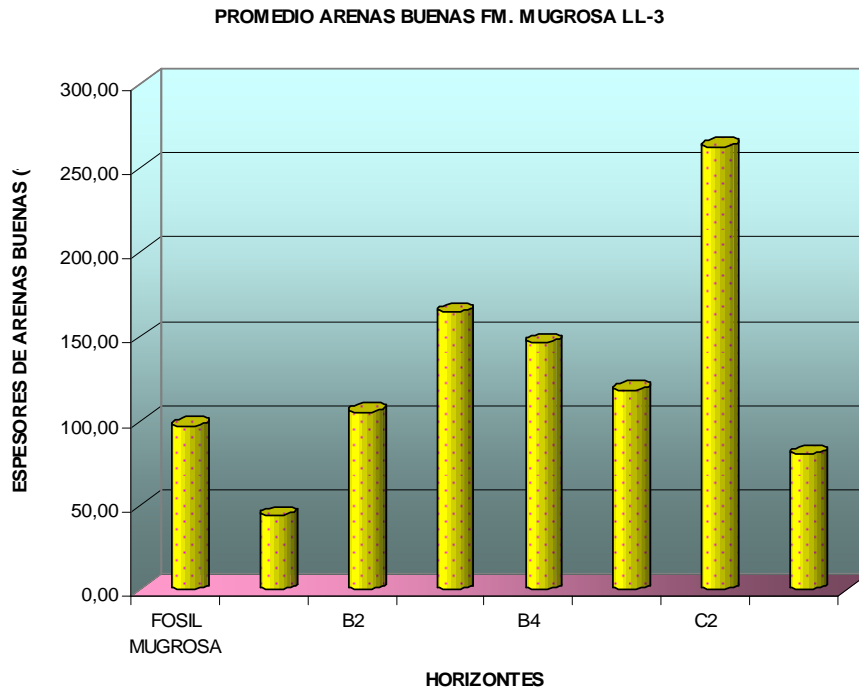


Figura 51. Promedio total de los espesores de arena al Norte del Campo Llanito



## 8. ARENICAS CON IMPREGNACIÓN DE HIDROCARBUROS

En la correlación obtenida se observa que los espesores de las arenas de canal en los horizontes de Fósiles de Mugrosa, B1y B3 hacia el centro son de 10 ft aproximadamente, estos espesores no son tan buenos como trampa de hidrocarburo. Los horizontes B4, C1 y C2 presentan espesores en su mayoría 20 a 35 ft, continuo durante todo el horizonte correlacionado.

Según la información de eventos del 2007 donde se muestra a que profundidad algunos pozos han producido aceite, agua o gas, pozos como ECEL-69 a profundidades de 6434' a 6440' produjeron aceite, estas profundidades concuerdan con los horizontes B4 y C2, confirmándolos como buenas trampas de hidrocarburo.

## 9. CONCLUSIONES

En las correlaciones solo se trabajo con registros Sp vs resistividad profunda para mejor correlación eléctrica, debido que los registros GR dan respuestas semejantes a las lutitas en areniscas arcillosas o con alto contenido de minerales radioactivos (micas, glauconita, feldespatos potásico). El análisis sedimentológico y estratigráfico de los corazones y el registro SP, GR e ILD demuestran que la sucesión de facies representa un ambiente continental. Donde se muestra un aumento y disminución de la relación A/S acompañado de los ciclos de nivel base estratigráfico. En este estudio se puede determinar la sucesión de facies y la variación vertical de las mismas.

Se pudieron conocer las estructuras estratigráficas y la diversidad de ciclos de pequeña y gran escala. Se pudieron determinar los espesores de los ciclos y la simetría. Con el uso de estos criterios se puede representar el ambiente del campo. Se observaron que los canales de la zona C tienen una mayor continuidad debido al amalgamamiento de los mismos, conformada en gran parte por facies de canal y de llanura de inundación, la zona B a nivel general esta conformada en su mayoría por facies de crevasse splay y de llanura de inundación.

Mediante el análisis de ciclos estratigráficos se pueden establecer zonas de alta relación A/S que presentan un mayor contenido de ambientes de crevasse splay y de llanura de inundación, mientras zonas de baja relación A/S presenta más ambientes de canal y amalgamamiento. Los canales amalgamados correspondientes a baja relación A/S están compuestos principalmente de facies de estratificación cruzada, areniscas conglomeráticas y areniscas masivas, las cuales son facies que ocupan la base del canal.

En areniscas de canal de alta relación A/S se preservan más la totalidad de las facies, sobre todo en canales aislados en contacto por depósitos de llanura de inundación y crevasse splay. Los horizontes C2 y B4 presentan canales con

espesores adecuados para el entrapamiento y una historia de producción de hidrocarburo.

Las areniscas de canal del horizonte B3 tienen poca continuidad lateral y el ancho de los canales hacia el tope no es muy bueno para ser roca almacenadora de hidrocarburo, preservándose las lodolitas y areniscas de la llanura de inundación. El inferior del horizonte B3, el horizonte B4, C1 y C2 presentan areniscas de canal de bajas condiciones A/S amalgamadas de espesores de hasta 15 metros que podrían ser buenos almacenadores de hidrocarburo y canales continuos arealmente, incrementando su extensión hacia el este y manteniéndose continua de sur a norte. En la correlación LL=3 se observa que el mayor amalgamamiento de canales en el horizonte B4 y inferior de B3 se presenta al centro y oeste de la correlación, pero hacia el sur del Campo Llanito el amalgamamiento de los canales en el horizonte B3 es muy poco, preservándose las facies de llanura de inundación al este, el mayor amalgamamiento de canales y extensión areal se observa aproximadamente a una profundidad de 5500' a 6500'. En los horizontes C1 y C2 este amalgamamiento es continuo en toda la correlación, tanto al norte, sur del Campo Llanito y en al sur del Campo Casabe. Las correlaciones LL=3 y ECE=1 son afectadas por fallas normales al oeste del Campo Llanito, figura 10 que podrían ser trampas estructurales de hidrocarburo.

Aunque no se encontró los Fósiles de Mugrosa, que marcan el límite y contacto entre Fm. Colorado y Fm. Mugrosa, se puede observar que los canales de la Fm. Colorado tienen conglomerados de 5 a 7cm con imbricación, característicos de canales trenzados, mientras los sedimentos de la Formación Mugrosa son areniscas de grano muy fino a muy grueso, depósitos de baja energía característicos de canales meandricos con transición a anastomosados.

## 10. RECOMENDACIONES

- ◆ Es importante comparar estas correlaciones con otras de la Formación Mugrosa al norte del Campo Llanito, al norte y sur del Campo Casabe, y en otros campos al este del Campo Llanito para poder obtener un modelo estratigráfico de la continuidad de los canales.
- ◆ Buscar afloramientos como el observado en el río Sucio que corta la Formación Mugrosa para levantar una columna que caractericé la formación.
- ◆ Comparar las pruebas de Interferencia elaboradas por ECOPETROL para conocer la conexión entre pozos y poder hacer un mejor análisis de la continuidad de los canales en las correlaciones.

## 11. REFERENCIAS

Allen. Jr. L, 1980 Sand wanes a model of origin and internal structures. *Sedimentary Geology* 26, 281-328.

Allen, J. R. L. 1983, "Studies in fluvial sedimentation: bars, bar complexes and sandstone sheets (low sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders". *Sedimentary Geology*, 33, 237-293.

Beaubouef, R.T., C.R. Rossen, F.B. Zelt, M.D. Sullivan, D.C. Mohrig, D.C. Jennette, J.A. Bellian, S.J. Friedman, R.W. Lovell, and D.S. Shannon, 1999, Deepwater sandstones, Brushy Canyon Formation, West Texas: AAPG Continuing Education Course Note Series, v. 40, pp.48.

Bourquin, S., Peron, S., Durand, M., 2006, Lower Triassic sequence stratigraphy of the western part of the Germanic Basin (west of Black Forest): Fluvial System evolution through time and space: *Sedimentary Geology*, v. 186, pp.187-211.

Badillo R, Rubén Darío, Estudio petrológico de las formaciones Mugrosa y Colorado del Campo La Cira, Valle Medio del Magdalena. [Patrocinado por ECOPETROL, Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Programa de Formación Científica en el País -PFC-] Bucaramanga, UIS, 1996. ca.140p. Tesis (Geólogo) Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología

Campbell, C.J., 1968, The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting, in Fourth Caribbean Geological Conference, 1965: Port of Spain, Trinidad, p. 247–261.

Capuzzo, N., 2004, Facies and basin architecture: *Sedimentology*, v.51, pp. 675-697

Estratigrafía del terciario del Valle Medio del Magdalena, División de Exploración y Producción., Laboratorio de Estratigrafía, Por Laboratorio de Estratigrafía ICP, Piedecuesta, ECOPETROL. ICP. EXE; ECOPETROL. AEX, 1996.

Fajardo, A. A., 1995." 4-D stratigraphic architecture and 3-D reservoir fluid flow model of the Mirador Fm., Cusiana Field, Foothills area in the Cordillera Oriental, Colombia", Unpublished M.Sc., Thesis, Colorado School of Mines, Golden.

Folk, R.L. Petrology of sedimentary rocks 1974, Hemphill Publications Co., 182 p. Austin Texas

Galloway, D.K. Terrigenous Clastic Depositional Systems. Springer.1987, Pag 23-42.

Galloway, D.K. Hobday. Terrigenous Clastic Depositional Systems., Springer, 1996, Pag 60-90.

Gardner M.H. and J.M. Borer, 2000, Submarine Channel Architecture Along a Slope to Basin Profile, Brushy Canyon Formation, West Texas, in Fine-Grained Turbidite Systems/edited by A. H. Bouma and C. G. Stone. AAPG Memoir 72, SEPM Special Publication No. 68, p195-214

Gomez, E., 2005, Syntectonic Cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena Valley Basin of Colombia and implications for exhumation of the Northern Andes. Geological Society America Bulletin; May/June 2005; Vol. 117; no 5/6: p. 547-569.

Guy Plint. Sedimentology and paleogeomorphology of four large Valley Systems Incising delta plains. Sedimentology, Vol 50, Decem 2003, pag 1147-1182.

Olaya, I., Fajardo, A., (1998). Evaluación de la secuencia terciaria del Valle Medio del Magdalena Vicepresidencia Adjunta de Exploración. Gerencia de Estudios Regionales: informe final,. ECOPETROL. ICP. División de Exploración y Producción. Área Estratigrafía; Piedecuesta. Vicepresidencia Adjunta de Exploración.

Olaya, I, (2003). Evaluación regional de las tectonosecuencias terciarias en la cuenca del VMM sector entre el Río Sogamoso y Cascajales. ECOPETROL. ICP. División de Exploración y Producción. Área Estratigrafía; Piedecuesta. Vicepresidencia Adjunta de Exploración.

Maldonado, Lorena. (2001) Modelo Sedimentológico de los Yacimientos “O” Y “P” de la Formación Escandalosa, Trampa Bejucal–2e, Cuenca Barinas – Apure, Universidad de Los Andes.

MIALL, A., 1985. The Geology of the Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin analysis and Petroleum Geology: Berlin, Springer-Verlag.

MIALL, A., 1996. The Geology of the Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin analysis and Petroleum Geology: Berlin, Springer-Verlag, p. 1-582

Mountney, N.P., 2004, stratigraphy evolution: Sedimentology, v. 51, pp. 713-743

ORTIZ, A. ECOPETROL. 2001. Caracterización Sedimentológica – Estratigráfica Del Campo Llanito - Gala. División De Exploración Y Producción Litóteca Nacional-Estratigrafía. ICP, Piedecuesta.

Posamentier, H.W., Allen, G.P., 1999,. Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology no. 7, 210 p.

Posamentier, H.W., and Allen, G.P., 1999, Siliciclastic sequence stratigraphy— Concepts and applications: SEPM (Society for Sedimentary Geology) Concepts in Sedimentology and Paleontology Series, v. 7, 210 p

RAMON, J, CROSS, T. 1997. Characterization and prediction of reservoir architecture and petrophysical properties in fluvial channel sandstones, Middle Magdalena Basin, Colombia. CT&F, Vol 1, Num 3, Dic, pag 19-46.

RAMON, J, CROSS, T. 1998. Correlation strategies and methods in continental strata, middle Magdalena basin, Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines, Golden,.

RUGE, P. y DUEÑAS, E. ECOPETROL. 1987. Departamento de Operaciones Geológicas. Informe geológico final pozo Gala 1X. Centro de información archivo técnico.

ROJAS. S.C.A. (2000), Instituto Colombiano Del Petróleo, Informe de la División De Exploración Y Producción, Litoteca Nacional-Estratigrafía

SANTACRUZ, R. ECOPETROL. 1987. Departamento de Operaciones Geológicas. Informe geológico final pozo gala 7. Centro de información archivo técnico.

SANTACRUZ, R. ECOPETROL. 2004. Informe Geológico Campo Llanito - Gala. Actualización Del modelo Geológico Campo Llanito Gala. Líder Yacimientos - GRM

D. Emery y K.J Myers. 1997. Sequence stratigraphy, BP Exproation, STOCKLEY PARK. Uxbridge, London.

PEMBERTON, S., Ichnological Concepts and Selected Core Studies. Trace Fossil, v 2

## ANEXOS

### Anexo 1. Descripción resumida de facies; Error! No se encontraron elementos de tabla de contenido.

CONVENCIONES	LITOFACIES
A-ab	Subarcosa-cuarzosa lítica color gris amarillento, subangular-subredondeada, grano fino a grueso, buena selección.
AL	Subarcosa-cuarzosa lítica de color gris oliva claro, subangular-subredondeada, matriz arenolodosa, laminación lodo gris.
AL-p-r	Cuarzosa, lodo gris claro, subangular-subredondeada, buena bioturbación, con granos entre fino a medio.
Am	Subarcosa-arcosa lítica color gris amarillento, subangular-subredondeada, moderadamente friable a friable.
A-px	Cuarzosa-arcosa de color gris amarillento y pardo, grano muy fino a grueso, , subangular-subredondeada, buena selección
A-x	Cuarzosa-arcosa de color gris amarillento y pardo, interclastos lodosos, gránulos y guijas de 2 mm a 1cm, , subangular-subredondeada, mala selección
Fa	Limonitas abigarradas a rojizas
Fg	Limonitas grises claras físilas.

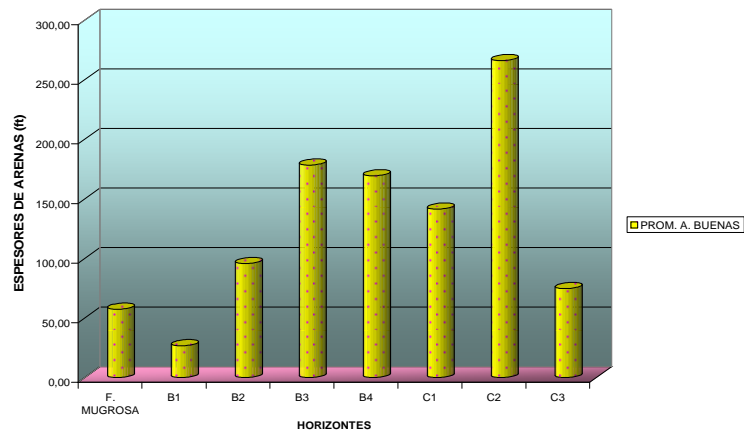
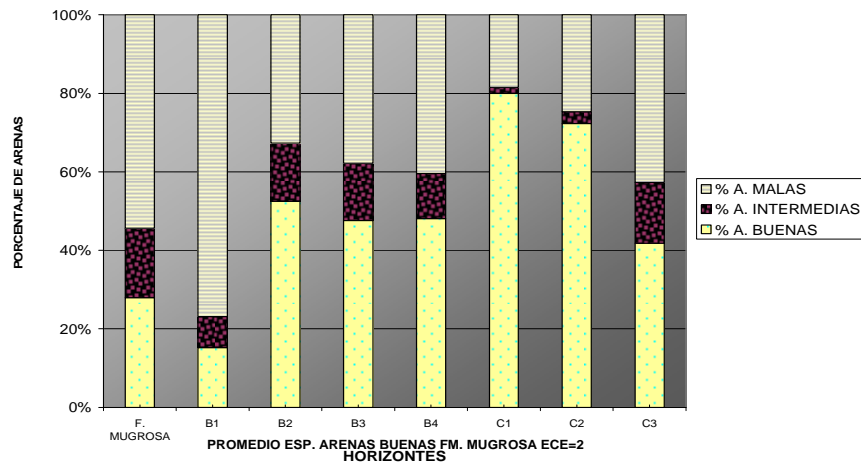
### Anexo 2. Espesor de arenas correlación ECE=2

POZO	ZONA	A.BUENAS ft	A, INTERMEDIAS ft	A, MALAS ft	ESPESOR TOTAL	% A.BUENAS	% A.INTERMEDIAS	% A.MALAS
ECEG-81	F. MUGROSA	30	47	93	170	17,65	27,65	54,71
ECEG-81	B1	28	16	98	142	19,72	11,27	69,01
ECEG-81	B2	56	20	93	169	33,14	11,83	55,03
ECEG-81	B3	104	113	151	368	28,26	30,71	41,03
ECEG-81	B4	118	50	114	282	41,84	17,73	40,43
ECEG-81	C1	142	0	41	183	77,60	0,00	22,40
ECEG-81	C2	256	0	84	340	75,29	0,00	24,71
ECEG-81	C3	79	38	142	259	30,50	14,67	54,83
ECEG-64	F. MUGROSA	77	20	88	185	41,62	10,81	47,57
ECEG-64	B1	30	15	163	208	14,42	7,21	78,37
ECEG-64	B2	117	30	38	185	63,24	16,22	20,54
ECEG-64	B3	229	18	140	387	59,17	4,65	36,18
ECEG-64	B4	207	20	170	397	52,14	5,04	42,82
ECEG-64	C1	133	0	35	168	79,17	0,00	20,83
ECEG-64	C2	269	19	100	388	69,33	4,90	25,77
ECEG-64	C3	103	16	35	154	66,88	10,39	22,73

ECES-1	F. MUGROSA	65	39	162	266	24,44	14,66	60,90
ECES-1	B1	22	10	160	192	11,46	5,21	83,33
ECES-1	B2	114	31	42	187	60,96	16,58	22,46
ECES-1	B3	202	31	132	365	55,34	8,49	36,16
ECES-1	B4	183	43	139	365	50,14	11,78	38,08
ECES-1	C1	149	8	22	179	83,24	4,47	12,29
ECES-1	C2	273	16	89	378	72,22	4,23	23,54
ECES-1	C3	42	32	76	150	28,00	21,33	50,67

ZONAS	PROMEDIO % A. BUENAS	PROMEDIO % A. INTERMEDIAS	PROMEDIO % A. MALAS	PROMEDIO ESP. A. BUENAS
F. MUGROSA	27,90	17,71	54,39	57,33
B1	15,20	7,90	76,90	26,67
B2	52,45	14,88	32,68	95,67
B3	47,59	14,62	37,79	178,33
B4	48,04	11,52	40,44	169,33
C1	80,00	1,49	18,51	141,33
C2	72,28	3,04	24,67	266,00
C3	41,80	15,46	42,74	74,67

**ARENAS FM. MUGROSA ECE=2**



### Anexo 3. Espesor de arenas correlación LL=3

POZO	ZONA	A.BUENAS ft	A. INTERMEDIAS ft	A. MALAS ft	ESPESOR TOTAL	% A. BUENAS	% A. INTERMEDIAS	% A.MALAS
LL-69	F. MUGROSA	109,50	47,50	45,50	202,50	54,07	23,46	22,47
LL-69	B1	30,00	12,50	80,00	122,50	24,49	10,20	65,31
LL-69	B2	86,00	71,50	106,50	264,00	32,58	27,08	40,34
LL-69	B3	142,50	51,00	105,00	298,50	47,74	17,09	35,18
LL-69	B4	142,50	54,50	92,00	289,00	49,31	18,86	31,83
LL-69	C1	99,00	0,00	13,00	112,00	88,39	0,00	11,61
LL-69	C2	255,00	0,00	69,00	324,00	78,70	0,00	21,30
LL-69	C3	76,00	12,00	46,00	134,00	56,72	8,96	34,33
LL-71	F. MUGROSA	89,00	62,00	89,50	240,50	37,01	25,78	37,21
LL-71	B1	50,00	18,00	90,00	158,00	31,65	11,39	56,96
LL-71	B2	125,00	58,00	102,00	285,00	43,86	20,35	35,79
LL-71	B3	115,00	30,00	47,00	192,00	59,90	15,63	24,48
LL-71	B4	137,50	30,00	84,00	251,50	54,67	11,93	33,40
LL-71	C1	123,00	0,00	28,00	151,00	81,46	0,00	18,54
LL-71	C2	286,50	20,00	70,00	376,50	76,10	5,31	18,59
LL-71	C3	88,00	25,00	47,00	160,00	55,00	15,63	29,38
LL-17	F. MUGROSA	113,00	52,50	47,00	212,50	53,18	24,71	22,12
LL-17	B1	44,00	18,00	74,00	136,00	32,35	13,24	54,41
LL-17	B2	149,00	55,50	92,00	296,50	50,25	18,72	31,03
LL-17	B3	165,50	112,00	110,00	387,50	42,71	28,90	28,39
LL-17	B4	172,50	22,50	51,50	246,50	69,98	9,13	20,89
LL-17	C1	122,00	0,00	42,00	164,00	74,39	0,00	25,61
LL-17	C2	318,00	0,00	102,00	420,00	75,71	0,00	24,29
LL-17	C3	110,00	50,00	79,00	239,00	46,03	20,92	33,05
LL-23	F. MUGROSA	107,00	56,00	78,00	241,00	44,40	23,24	32,37
LL-23	B1	45,00	15,00	74,50	134,50	33,46	11,15	55,39
LL-23	B2	125,00	78,00	105,00	308,00	40,58	25,32	34,09
LL-23	B3	128,00	80,00	110,00	318,00	40,25	25,16	34,59
LL-23	B4	150,00	30,00	101,00	281,00	53,38	10,68	35,94
LL-23	C1	129,00	0,00	32,50	161,50	79,88	0,00	20,12
LL-23	C2	222,50	20,00	108,00	350,50	63,48	5,71	30,81
LL-23	C3	68,00	20,00	110,00	198,00	34,34	10,10	55,56
LL-3	F. MUGROSA	82,00	51,00	123,00	256,00	32,03	19,92	48,05
LL-3	B1	65,50	32,00	42,00	139,50	46,95	22,94	30,11
LL-3	B2	91,50	98,00	88,00	277,50	32,97	35,32	31,71
LL-3	B3	216,50	62,00	118,00	396,50	54,60	15,64	29,76
LL-3	B4	169,00	40,00	72,00	281,00	60,14	14,23	25,62
LL-3	C1	109,50	0,00	70,00	179,50	61,00	0,00	39,00
LL-3	C2	244,00	0,00	93,00	337,00	72,40	0,00	27,60
LL-3	C3	41,00	47,50	110,00	198,50	20,65	23,93	55,42
LL-4	F. MUGROSA	82,00	24,00	103,00	209,00	39,23	11,48	49,28
LL-4	B1	29,00	27,00	108,00	164,00	17,68	16,46	65,85
LL-4	B2	55,00	59,00	113,50	227,50	24,18	25,93	49,89
LL-4	B3	220,00	86,00	191,50	497,50	44,22	17,29	38,49

LL-4	B4	109,00	38,00	109,50	256,50	42,50	14,81	42,69
LL-4	C1	128,00	17,00	39,00	184,00	69,57	9,24	21,20
LL-4	C2	251,50	18,00	120,50	390,00	64,49	4,62	30,90
LL-4	C3	98,50	0,00	83,50	182,00	54,12	0,00	45,88

ZONAS	PROMEDIO % A. BUENAS	PROMEDIO % A. INTERMEDIAS	PROMEDIO % A. MALAS	PROMEDIO ESP. A. BUENAS
FOSIL MUGROSA	43,32	21,43	35,25	97,08
B1	31,10	14,23	54,67	43,92
B2	37,40	25,45	37,14	105,25
B3	48,24	19,95	31,81	164,58
B4	55,00	13,27	31,73	146,75
C1	75,78	1,54	22,68	118,42
C2	71,81	2,61	25,58	262,92
C3	44,48	13,26	42,27	80,25

#### Anexo 4. Coordenada de Muestras.

Muestra	Coordenada E	Coordenada N
EO-02-001	1079587	1292264
EO-04-002	1079539	1292637
EO-05-003	1079492	1292648
EO-06-004	1079420	1292852
EO-06-005	1079420	1292852
EO-06-006	1079419	1292853
EO-07-007	1079360	1293112
EO-07-008	1079358	1293114
EO-08-009	1077600	1293828
EO-08-010	1077605	1293826
EO-08-011	1077591	1293832
EO-08-012	1077694	1293830
EO-09-013	1077640	1293855
EO-09-014	1077641	1293852
EO-09-015	1077600	1293853
EO-09-016	1077662	1293846
EO-09-017	1077640	1293856
EO-10-018	1077852	1292930

CD Anexo