



**ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN
MUGROSA EN EL SECTOR CENTRAL DEL CAMPO LLANITO, CUENCA DEL
VALLE MEDIO DEL MAGDALENA, SANTANDER – COLOMBIA**

ALLÁN ALFREDO CIFUENTES MUÑOZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2008**

**ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN
MUGROSA EN EL SECTOR CENTRAL DEL CAMPO LLANITO, CUENCA DEL
VALLE MEDIO DEL MAGDALENA, SANTANDER – COLOMBIA**

ALLÁN ALFREDO CIFUENTES MUÑOZ
Proyecto de Grado en modalidad Investigación presentado para
Optar por el título de Geólogo

DIRECTOR ECOPETROL -ICP
Msc. ANDRÉS REYES HARKER

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2008

*Lo que sabemos es una gota de agua,
Lo que ignoramos es el océano*

Isaac Newton.

A mis padres quienes han sido el foco de mi existencia...

AGRADECIMIENTOS

Le doy mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible que este proyecto fuese una realidad:

A **Andres Reyes Harker** por sus aportes y el tiempo dedicado a este proyecto.

A los excelentes profesores de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, y en especial a los profesores **Jorge Rubiano, Jairo Clavijo, Juan Diego Colegial, Ricardo Mier Umaña, Luis Carlos Mantilla, Hernando Mendoza, Eliecer Uribe, Carlos Garcia, Marco Alvarez, Victor Caballero y Jorge Pinto.**

A **Alberto Ortíz** y **Helga Güiza** quienes atendieron sin dudarlas las inquietudes generadas durante la realización del proyecto.

A **Segio Nuncira** por haberme apoyado en la etapa inicial de este proyecto.

Al **Grupo de Investigación en Estratigrafía** por haberme permitido ser parte de él.

A todos mis compañeros y amigos en especial a **Yvonne, Pepe, Johnma, Rene, Ñoño, Big, Carlos, William, Diego, Aldemar, Jersón, Rolando** con quienes se disfrutó la estancia en la Universidad.

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN MUGROSA EN EL SECTOR CENTRAL DEL CAMPO LLANITO, CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA, SANTANDER –COLOMBIA¹

Autor: ALLÁN ALFREDO CIFUENTES MUÑOZ*

Palabras clave: Formación Mugrosa, Campo Llanito, Relación de Acomodación y Suministro de Sedimento (A/S), Análisis sedimentológico-textural, Correlación Litoestratigráfica.

Este proyecto fue desarrollado como contribución a la renovación del modelo estratigráfico del área, y se llevo a cabo en el sector central del Campo Llanito en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia.

Muestras de Testigos de Pozo han sido analizadas luego de una discriminación en la que se tuvo en cuenta: lo representativo, continuo, preservación y presencia de perfiles Gamma Ray tanto en el corazón como en el pozo, lo último para lograr un buen amarre de Registro y Roca. El propósito de esta investigación, se concentró en el establecer asociaciones de facies significativas en las electróformas interpretadas en los perfiles eléctricos, con el fin de identificar zonas de prospección, teniendo en cuenta en el análisis estratigráfico, el espesor, continuidad y conectividad de los niveles de arenisca de la Fm. Mugrosa; adicionalmente se tuvo en cuenta una sección de afloramientos de la Formación Mugrosa presente en el caserío de Uribe –Uribe, en Lebrija, Santander, lo cual permitió constituir y relacionar con claridad las litofacies establecidas en los corazones de los pozos analizados. Las Muestras adquiridas en los afloramientos se llevaron a un análisis sedimentológico-textural para establecer las características ambientales y granulométricas que no fue posible analizar en corazones.

Los datos obtenidos fueron aplicados a los veinte (20) pozos del área de estudio, donde se analizó estratigráficamente la continuidad y distribución de los niveles de arenisca a través de correlaciones, basadas en el criterio asimetría de ciclos. Teniendo en cuenta las propiedades descritas en los pozos se plantearon once (11) zonas, que definieron tres fases de evolución geológica dentro de la Formación Mugrosa teniendo en cuenta la relación A/S. Dentro de la Formación Mugrosa los intervalos prospecto se ubicaron en la parte inferior-media, relacionándose así la parte central e inferior entre las tradicionales zonas B y C.

¹ Trabajo de Grado Modalidad Investigación.

* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, Grupo de Investigación en Estratigrafía de UIS – ECOPETROL-ICP, Director: Ms. C. Andrés Reyes Harker.

ABSTRACT

TITLE: SEDIMENTOLOGIC AND STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF MUGROSA FORMATION FROM LLANITO'S-FIELD CENTRAL AREA, MIDDLE MAGDALENA VALLEY BASIN, SANTANDER – COLOMBIA.²

Autor: ALLÁN ALFREDO CIFUENTES MUÑOZ**

Key words: Mugrosa Formation, Llanito-Field, Accommodation and Sedimentation Supply ratio (A/S), Sedimentologic-Textural analysis, Litostratigraphic correlation.

This project was developed as a contribution of the stratigraphic model of the area, and it was carried out in the central sector of the Llanito field in the Middle Magdalena Valley basin (MMVB), Colombia.

Well cores samples have been analyzed after discrimination, in which has been taking into account: the representative, continuity, preservation and presence of Gamma Ray logs, as much in the core as in the well, this last measure was took for getting the right link between log and rock. Purpose of this research was centered in establishing associations of meaningful facies in decoded electroforms of the electric logs. This was useful for identifying the prospecting zones. In Stratigraphic analysis was considered the thickness, continuity and connectivity of the sandstone levels in the Mugrosa Formation. Moreover it was considered one section of the outcrop of the Mugrosa Formation that is present in Uribe-Uribe sector, in Santander's Lebrija town's. Preceding measures made possible to built and relate in a visible way the litho-facies established in the cores of the analyzed wells. The acquired samples in the outcrops were analyzed texturally-sedimentologically for the sake of establishing environmental and granulometric features.

The obtained data were applied to the twenty(20) wells in the study area, where they were analyzed stratigraphically the continuity and distribution of the sandstone levels through stratigraphic correlations, based in the criterion of asymmetry of cycles (fining upward). Taking into account the properties described in the wells, eleven (11) zones were proposed, and those were used with A/S ratio to define three phases in geologic evolution of Mugrosa Formation. The more prospective among them were the inferior and the middle ones. The last aspect could be related with the central part of the Mugrosa Formation between the traditional zones B and C.

² Undergraduate Thesis. Research work.

** Physical-Chemistry Engineering School, Department of Geology, Universidad Industrial de Santander, Stratigraphy Research Group from ECOPETROL-ICP & UIS, Thesis Director: Ms. C. Andrés Reyes Harker.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA

RESUMEN

ABSTRACT

CONTENIDO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

1.OBJETIVOS	1
1.1OBJETIVO GENERAL	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
2. ESTADO DEL ARTE	2
2.1. GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA	2
2.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
2.2.1. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	5
2.2.2. RESEÑA HISTÓRICA DEL CAMPO	5
2.3. MARCO TEORICO GENERAL	6
2.3.1. EVOLUCIÓN TÉCTONO–ESTRATIGRÁFICA DE LA CVMM.	6
2.3.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA.....	8
2.3.2.1. Formación Mesa (Plioceno)	8
2.3.2.2. Formación Real (Mioceno Medio a Tardío)	9

2.3.2.3. Formación Colorado (Mioceno Temprano a Medio)	9
2.3.2.4. Formación Mugrosa (Oligoceno)	9

2.3.2.5 Formación Esmeraldas (Eoceno tardío – Oligoceno temprano).....	11
2.3.2.6 Formación La Paz (Eoceno medio a tardío).....	11
2.3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	12
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
3.1. SEDIMENTOLOGÍA	15
3.2. AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN	17
3.2.1. AMBIENTES DE DEPÓSITO CONTINENTALES	19
3.2.1.1. SISTEMAS FLUVIALES	19
3.2.2. AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN ACTUAL EN LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA	26
3.3. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y TEXTURAL	29
3.4. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA CORRELACIÓN	29
3.5. PERFILES DE POZO	31
3.5.1. Perfil de Rayos Gamma (GR)	32
3.5.2. Perfil de Potencial Espontaneó (SP)	33
3.5.3. Registros de Resistividad	34
4. MÉTODOLOGIA	36
4.1. PRIMERA ETAPA	36
4.2. SEGUNDA ETAPA	37
4.3. TERCERA ETAPA	41
5. RESULTADOS	42
5.1. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DEL POZO GALA 7	42
5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	42

5.2.1 Sección de la base de la Formación Mugrosa y su relación con el Horizonte Fosilífero de los Corros en Campo	42
5.2.1.1. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y TEXTURAL DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE CAMPO	48
5.2.2. Sección Formación Mugrosa en el Pozo Gala 7	56
5.3. LITOFACIES	69
5.3.1. Litofacies Arcillolitas, areniscas o limolitas intercaladas, compactas y con estructuras sedimentarias (FI).....	70
5.3.2. Litofacies Lodolitas, y areniscas macizas, bioturbadas (Fm)	71
5.3.3. Litofacies Areniscas de finas a gruesas con estructuras sedimentarias de bajo régimen (Sr)	71
5.3.4. Litofacies Areniscas de finas a gruesas sin estructuras sedimentarias de flujo (Srm)	72
5.3.5. Litofacies Areniscas medias o gruesas con clastos, masivas o con relictos de estatificación (Spm)	72
5.3.6. Litofacies Areniscas gruesas o conglomeráticas, con estructuras sedimentarias de alto régimen incipientes o masivas (Gm/Sm)	73
5.3.7. Atributo de Sustitución de las facies finas, generalmente; por características de Suelo (exposición subaérea, marcas de raíces, bioturbación intensa) (+P)	74
5.4. ANÁLISIS DE FACIES	74
5.4.1. FI	74
5.4.2. Fm	74
5.4.3. Srm	75
5.4.4. Spm	75
5.4.5. Gm/Sm	75
5.4.6. +P	75
5.5. ASOCIACIONES DE FACIES	75

5.5.1. Asociación de Canal	76
5.5.2. Asociaciones de Canal relleno	77
5.5.3. Asociaciones de llanura de inundación	78
5.6. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS LITOFACIES DE LA FORMACIÓN MUGROSA	80
6. PATRONES DE APILAMIENTO Y CILOS ESTRATIGRAFICOS	82
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	94
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Localización de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena	3
Figura 2. El Ubicación del área de estudio.	4
Figura 3. Columna generalizada del Valle Medio y Superior del Magdalena.	7
Figura 4. Modelo estructural, líneas sísmicas	12
Figura 5. Marco Geológico Estructural al tope del Horizonte Fosíles Mugrosa.	13
Figura 6. Aproximación elemental de cómo averiguar el modo de depósito de un sedimento.	15
Figura 7. Patrones desarrollados por los sistemas de Ríos dependiendo de su sinuosidad, carga de fondo y potencia de la corriente.	20
Figura 8. Estructuras de barras en Ríos trenzados.	22
Figura 9. Modelos generales idealizados, representando secuencias verticales, y perfiles de SP idealizados.	23
Figura 10. Patrones de flujo en una corriente meandriforme.	24
Figura 11. Bloque diagrama que muestra los principales elementos morfológicos presentes en un sistema de Río Meandriforme	25
Figura 12. Imagen Satelital del Río Magdalena	27
Figura 13. Comportamiento de los diferentes isotopos radioactivos y sus diferentes ventanas convencionales de energía	33
Figura 14. Curva de SP en una Serie de Arena y Arcilla.	34
Figura 15. Formato modificado para la descripción de núcleos a escala 1:10.	38

Figura 16. Formato para digitalización de Columnas estratigráficas a escala 1:100.	38
Figura 17. Afloramiento de donde se extrajeron las muestras tomadas en campo	39
Figura 18. Proceso al que se sometieron las muestras recolectadas en campo.	40
Figura 19. Ubicación del área de Uribe-Uribe y Afloramientos	44
Figura 20. Afloramiento mostrando los rasgos típicos de la Formación Esmeraldas	45
Figura 21. Afloramiento de la base de la Formación Mugrosa.	46
Figura 22. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M2	52
Figura 23. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M3	52
Figura 24. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M4.	52
Figura 25. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M6.	53
Figura 26. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M7	53
Figura 27. Distinción entre las arenas de playa y las arenas de río.	55
Figura 28. Intervalo del pozo Gala 7 desde 6652 ft a 6423 ft.	59
Figura 29. Intervalo del pozo Gala 7 desde 6164,8 ft a 6112 ft.	64
Figura 30. Intervalo del pozo Gala 7 desde 6065 ft a 6028 ft.	65
Figura 31. Intervalo del pozo Gala 7 desde 5935,5 ft a 5893 ft.	67
Figura 32. Litofacies representativas en el pozo Gala 7, Formación Mugrosa.....	70
Figura 33. Litofacies FI, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.	70
Figura 34. Litofacies Fm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.	71
Figura 35. Litofacies Sr, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.....	71
Figura 36. Litofacies Srm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.	72
Figura 37. Litofacies Spm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.	73
Figura 38. Litofacies Gm/Sm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.	73
Figura 39. Sucesión de Facies típica de la Asociación de Canal.	76

Figura 40. Sucesión de Facies típica de la Asociación de Canal Relleno en la izquierda y la asociación de Canal en la derecha.	77
Figura 41. Sucesión de Facies típica de la Asociación de Llanura de inundación.	79
Figura 42. Relación de espesor y porcentual de cada Facies descrita de la Fm. Mugrosa en el pozo Gala 7.	80
Figura 43. Notación de Ciclos, tomada de Núñez y Saavedra, 2006.	84
Figura 44. Transeptos de correlación y registros de pozo tenidos en cuenta en este estudio	84
Figura 45. Ciclos estratigráficos definidos en este estudio para la Fm. Mugrosa en el Pozo Gala 7	85
Figura 46. Patrones de estacado para la Fm. Mugrosa en el Pozo Gala 7 definidos en este estudio	86
Figura 47. Patrones de estacado para Afloramiento AC-109-M6 definidos en este estudio.	87
Figura 48. Correlación Estratigráfica del panel (C-D)	88

LISTA DE TABLAS

PÁGINA

TABLA 1. Clasificación simplificada de los ambientes de depositacionales según Boggs (2001)	18
TABLA 2. <i>Datos de las Muestras AC-109-(M3, M4, M6 y M7) normalizados a porcentaje obtenidos tras el proceso de peso y tamizaje en el laboratorio.</i>	51
TABLA 3. <i>Datos de las Muestras AC-109-M2 normalizados a porcentaje obtenidos tras el proceso de peso y tamizaje en el laboratorio.</i>	51
TABLA 4. <i>Datos de las muestras AC-109-M2 mostrando los diferentes parámetros estadísticos tenidos en cuenta</i>	51
TABLA 5. <i>Datos interpretados de las muestras AC-109-M2 a través del método de percentiles</i>	51
TABLA 6. <i>Datos de las muestras AC-109-(M3, M4, M6 y M7) mostrando los diferentes parámetros estadísticos tenidos en cuenta.</i>	51
TABLA 7. <i>Datos interpretados de las muestras AC-109-(M3, M4, M6 y M7) a través del método de percentiles</i>	51
TABLA 8. <i>Datos de las muestras AC-109-(M2 y M3) mostrando los diferentes parámetros estadísticos tenidos calculados a través del método de Momentos</i>	55
TABLA 9. <i>Datos de las muestras AC-109-(M4, M5, M6 y M7) mostrando los diferentes parámetros estadísticos calculados a través del método de Momentos</i>	55

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Columna estratigráfica compuesta de la base de la Formación Mugrosa en la sección de Uribe-Uribe

ANEXO 2. Columna estratigráfica de la Formación Mugrosa en el Pozo Gala 7.

ANEXO 3. Correlación A-A`

ANEXO 4. Correlación B-B`

ANEXO 5. Correlación C-C`

ANEXO 6. Correlación Panel C-D

ANEXO 7. Correlación D-D`

ANEXO 8. Correlación E-E`

INTRODUCCIÓN

En trabajos detallados como el de J. C. Ramón y T. Cross (1997), se plantean metodologías para establecer patrones de distribución y geometría a partir de los atributos geomorfológicos y arquitecturales de las rocas, relacionando los aspectos dinámicos que las formaron y su posición estratigráfica en el tiempo. La afinidad ambiental de las rocas que componen la Formación Mugrosa (Fm. Mugrosa) la identifican como depósitos continentales de Ríos Trenzados a Meandriiformes (Cross y Ramón 1997).

El propósito de este proyecto es contribuir al desarrollo del modelo geológico del Campo Llanito, caracterizando las respuestas indirectas (registros eléctricos, datos de análisis petrofísicos) a través de las respuestas directas en corazones de pozo y afloramientos; se busca precisar la heterogeneidad de las rocas de la Fm. Mugrosa, e interpretar su distribución espacial en los reservorios. Este aporte ayudará al desarrollo de la industria, explotando un mejor potencial del campo y del potencial de los Campos Maduros (Usman, A, 2003 en ECOPETROL – ICP, 2006) de la CVMM.

En el análisis sedimentológico y estratigráfico aplicado al sector central del Campo Llanito, se estudiaron los atributos sedimentológicos y estratigráficos del intervalo de la Fm. Mugrosa en campo y en alrededor de 300 ft Testigos entre los pozos Gala 7 y Casabe 1044 (dada la carencia de intervalos corazonados tanto en el área piloto, como en el Campo). Para lograrlo se establecieron asociaciones de facies (litofacies en roca), las que luego, fueron relacionadas a los registros

eléctricos (electróformas) mediante un amarre significativo, en el cual logró establecer tres electrofacies principales las cuales se tuvieron en cuenta en el análisis de los demás pozos. El trabajo de campo fue complementado con la realización de curvas de distribución Granulométrica, donde se observó su respuesta contra la columna estratigráfica. Los datos obtenidos fueron relacionados a los 20 pozos del área piloto y fueron calibrados con las mediciones Gamma Ray de los testigos del pozo descrito (Gala 7). Se establecieron zonas que presentaron las mejores características litológicas y que revelaron espacios potenciales para la producción de hidrocarburos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema identificado en la zona de estudio del Campo Llanito, y en general para la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (CVMM), se dispone en la incertidumbre presente en la interpretación de la continuidad lateral y vertical (distribución y dirección) de los niveles de areniscas (canales, cuerpos de arenosos, ...) de las rocas almacenadoras del Terciario, dada la complejidad en la determinación de la continuidad de dichos niveles y a las bajas respuestas resistivas presentes en algunas zonas productoras (ECOPETROL, 2006), lo cual, ocasiona una baja caracterización en las mismas.

Adicionalmente un tardío desarrollo del modelo estático del Campo Llanito, no permite aun, tener una idea precisa del comportamiento de los factores geológicos (estructurales o estratigráficos) que controlan la distribución de los reservorios de la Fm. Mugrosa, de la producción y por ende de las estrategias para el desarrollo del campo.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Como apoyo a los proyectos de desarrollo de los Campos Maduros del CVMM y en general, a los problemas de suficiencia petrolera del país y ante los problemas expuestos en la ausencia de un modelo estático, y ante la incertidumbre en la continuidad lateral y vertical, distribución y dirección de los niveles de areniscas de la Fm. Mugrosa, surge la necesidad, de realizar un estudio sedimentológico y estratigráfico en el sector central del Campo Llanito, a través de análisis de corazones de pozo, estudios de afloramiento, registros eléctricos (SP, ILD) y datos petrofísicos.

Este estudio busca establecer mediante correlaciones litoestratigráficas una descripción detallada que contribuya al modelo geológico actual del área, estableciendo las zonas que representen las mejores características litológicas que reflejen escenarios adecuados de producción, que sean tenidos en cuenta para el desarrollo del Campo Llanito y que ayuden en parte a la generación del modelo geológico del mismo, con una mayor confiabilidad y coherencia en los tópicos relacionados al ambiente de sedimentación para la Fm. Mugrosa.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Realizar un análisis sedimentológico y estratigráfico de la Formación Mugrosa aplicado al modelo del sector central del Campo Llanito.

1.2 Objetivos Específicos

- Analizar sedimentológica y estratigráficamente los testigos de los pozos estudiados a escala 1:10 (ft).
- Construir la columna estratigráfica del pozo Gala - 7 a escala 1:100 (ft).
- Levantar columnas estratigráficas a la base de la Formación Mugrosa a escala 1:100 (ft) en el sector de Uribe – Uribe.
- Realizar clasificación granulométrica para obtener indicadores geoestadísticos y plantear su significado medio ambiental.
- Establecer y describir patrones de facies, definiendo su disposición dentro de la columna de campo y del pozo analizado.
- Interpretar el ambiente de depositacional de las columnas descritas
- Calibrar la respuesta de los registros de pozo con los ambientes definidos en los testigos interpretados, teniendo en cuenta las electróformas caracterizadas en los perfiles SP, Gamma Ray e ILD.
- Correlacionar litoestratigráficamente la Fm. Mugrosa en los 20 pozos del sector central del Campo Llanito atravesando la estructura principal del Campo.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

Hasta principios de los años ochenta, la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (CVMM) aportó la mayor parte del petróleo producido en Colombia. La explotación comercial de la CVMM comienza a principios del siglo XX con el yacimiento del Campo La Cira Infantas, y desde entonces se han descubierto numerosos yacimientos, de menor proporción, pero que al igual que este poseen considerables reservas (Gerencia de Yacimientos – ECOPETROL, 2004 en Castro y Gordillo, 2005).

Los mayores volúmenes de aceite original en-sitio (OOIP) del país se encuentran en esta cuenca: 10.392 millones de barriles de petróleo (MMBO) que representan el 38% del OOIP del país (Gerencia de Yacimientos – ECOPETROL, 2004 en Castro y Gordillo, 2005).

El balance del volumen de petróleo en el país reveló que del total del OOIP del país, el 66% (18.872 MMBO), se encuentra almacenado en rocas de edad Terciaria y el 34% restante en (9701 MMBO), en rocas Cretáceas (Gerencia de Yacimientos – ECOPETROL, 2004 en Castro y Gordillo, 2005). Esta cuenca contiene más de la mitad del OOIP almacenado en el terciario del país (10.771 MMBO).

La CVMM contiene 50 campos petrolíferos (ECOPETROL – ICP, 2006), y actualmente, aunque se han abandonado algunos yacimientos por su escasa viabilidad económica, en la cuenca quedan numerosos yacimientos en explotación (Castro y Gordillo, 2005). La industria en este momento se enfoca en la búsqueda de nuevas estrategias que conlleven a la recuperación de reservas, ya que hoy por hoy la CVMM no posee una alta producción, debido al agotamiento natural de sus campos.

Con el antecedente de ser una zona petrolífera por excelencia, los potenciales petrolíferos residuales de la zona no se cuestionan, pues la cuenca posee aún muchas zonas y varios niveles sin explotar, que incluyen desde los reservorios de Areniscas del Terciario hasta los niveles naturalmente fracturados de Calizas del Cretácico. Una mejor

comprensión Geológica de la cuenca, logrará este cometido. La Cuenca del Valle Medio del Magdalena es una región alargada en sentido Norte-Sur, que se localiza entre las Cordilleras Oriental y Central de los Andes Colombianos, las cuales constituyen sus límites Oriental y Occidental respectivamente (Gerencia de Yacimientos – ECOPETROL, 2004 en Castro y Gordillo, 2005). Cuenta con una extensión aproximada es de 35.000 Km² (ver Figura 1).

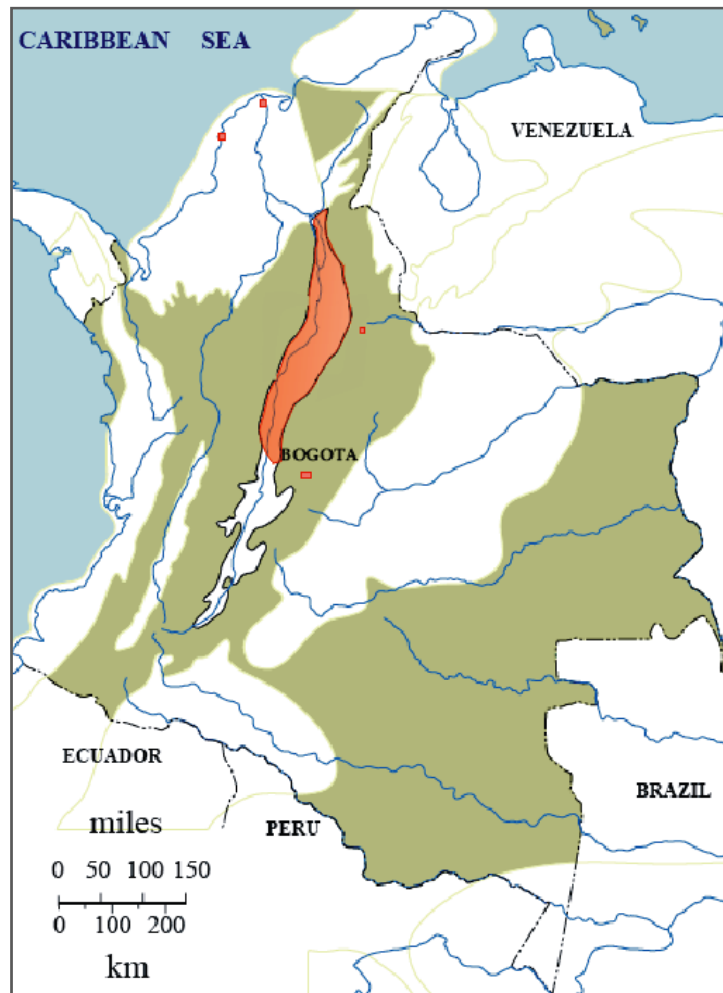


Figura 1. Localización de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (patrón encerrado en rojo), las demás áreas blancas corresponden a Cuencas sedimentarias y las áreas oscuras son zonas levantadas o basamento (modificado de Ramón et al, 1997), el área de estudio se encuentra con mayor detalle en la Figura 2.

Las zonas de cordillera se encuentran separadas del valle al Este por la Falla de La Salina el Sinclinal de Nuevo Mundo (Cordillera Oriental), al Oeste por la Falla de la Palestina (Cordillera Central), Al Sur por Falla de rumbo de Ibagué en cercanías a la

población de Honda en el Tolima; y una silla angosta formada por rocas ígneas de las Cordilleras Central y Oriental en las cercanías de Aguachica (Cesar) y/o del Banco Magdalena se considera como su límite Norte, en donde continua el Valle Inferior del Magdalena.

2.2 .Localización Del Área De Estudio

El Campo Llanito (ver Figura 2), se ubica en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (CVMM), en el Norte de la Concesión de Mares, del Departamento de Santander. Limita al Norte con el Río Sogamoso, al Sur con Barrancabermeja, al Occidente con la Ciénaga el Llanito y al Oriente con la Ciénaga de San Silvestre. El área Llanito abarca una extensión aproximada de 70 Km², y se encuentra comprendido entre las coordenadas geográficas (gauss):

N: 1'288'000 *hasta* 1'277.000 **E:** 1'022.00 *hasta* 1'030.000

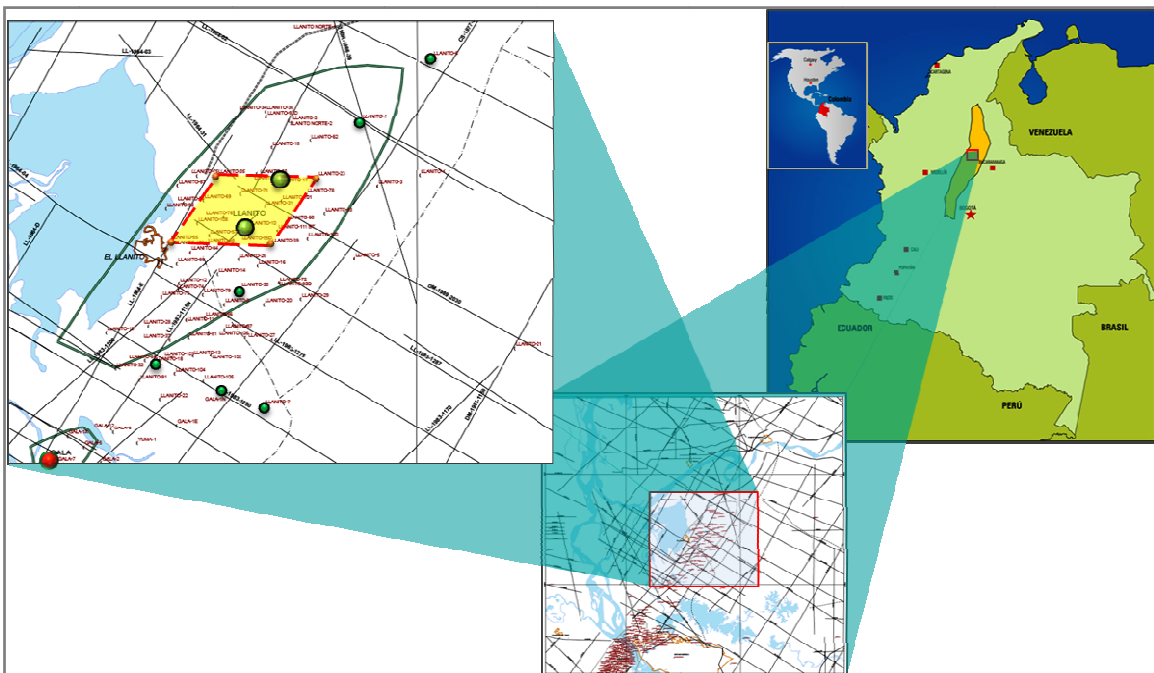


Figura 2. El polígono Rojo de la izquierda señala el área de estudio dentro del Campo Llanito, los puntos verdes resaltados en el mapa indican los pozos corazonados en el área y el punto rojo inferior indica el pozo Gala 7.

El sector central del Campo Llanito (ver Figura 2, izquierda), corresponde a un área poligonal limitada por los pozos: Llanito 35 (NW), Llanito 23 (NE), Llanito 55 (SW), Llanito 39 (SE); ésta fue definida como área de estudio por el Grupo de Investigación en

Estratigrafía, como parte de los compromisos adquiridos durante la creación del convenio 005 de 2007 entre la Universidad Industrial de Santander y ECOPETROL – ICP. Inicialmente fue nombrada como área piloto y después se concertó su nombre actual, debido fundamentalmente a su ubicación, cabe resaltar que este sector no representa concretamente uno de los bloques estructurales definidos para el Campo.

2.2.1. Generalidades del Área de Estudio

El área Llanito tiene una extensión aproximada de 70 Km², en donde se han perforado alrededor de 238 pozos entre productores e inyectores. El sector central tiene extensión de aproximadamente 1,1 Km² y tiene perforados unos 22 pozos, lo cual, en proporción con la extensión del campo es una buena densidad de pozos; la zona con mayor densidad de pozos en el área piloto, se encuentra hacia el SE. A 2006 el área Llanito contaba con una producción diaria promedio de 3225 BOPD (en ECOPETROL – ICP, 2006); actualmente, gracias a los programas de recobro mejorado y nuevas técnicas, el Ministerio de Minas y Energía reporta un promedio de 4518 BOPD aproximadamente para los Campos Llanito y Gala en el primer trimestre de 2008. La gravedad API promedio del crudo producido es de 20 °API (en ECOPETROL – ICP, 2006).

2.2.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL CAMPO

La exploración en el campo Llanito-Gala se inicia el 19 de febrero de 1955 con la perforación de Llanito 1, el cual se perforó hasta las formaciones del grupo calcáreo Basal, alcanzando una profundidad de 13561 ft, sin encontrar manifestaciones de Hidrocarburos (en ECOPETROL –ICP, 2006).

A partir de la perforación del pozo Llanito 1 y hasta octubre de 1960, se perforaron siete (7) pozos adicionales, teniendo como objetivo el terciario (normalmente las zonas C y B de la Formación Mugrosa), sin obtener producción comercial en ellos; dos de estos pozos (Llanito 6 y 8) fueron abandonados como acuíferos. En diciembre de 1960, se terminó el pozo Llanito 9, en zonas D y B, con una producción inicial de 580 BOPD en flujo natural (tomado de ECOPETROL – ICP, 2006).

Durante 1977 se termina el pozo Llanito 1 Norte, cuyo objeto fue delimitar el campo hacia el Norte (ECOPETROL – ICP, 2006). A partir de 1981 se inicia el segundo

desarrollo del Campo Llanito con la perforación de 8 pozos reduciendo el espaciamiento de 120 a 60 acres, durante este desarrollo se alcanzan a perforar 30 pozos, 28 de los cuales resultan productores. A finales de 1985 se descubre el campo Gala, ubicado al sur del campo Llanito y cuyo desarrollo se completa en 1987 con la perforación de 9 pozos (ECOPETROL – ICP, 2006). Actualmente a los tres primeros meses de este año el Campo Llanito reporta una producción de 3247 BOPD y el Campo Gala 1271 BOPD (fuente web del Ministerio d Minas y Energía 2008).

2.3 MARCO TEORICO GENERAL

2.3.1 EVOLUCIÓN TÉCTONO–ESTRATIGRÁFICA DE LA CVMM.

En la actualidad, se considera aceptable la hipótesis en la que se plantea inicialmente una tectónica de bloques que alcanza a afectar sedimentos Pre-Eocénicos, producto de un ciclo orogénico Cretáceo–Paleoceno y un segundo evento compresivo, representado por fallas inversas y estructuras anticlinales y sinclinales, producto de la Orogenia Andina de edad Mioceno Medio (Ecopetrol, 2002), en un esquema simplificado de Schamel (1991), ver Figura 2, se puede observar la evolución Téctono – Estratigráfica de la CVMM .

Geológicamente, la cuenca ha sufrido una serie de eventos téctono-sedimentarios. En un principio actuó como una zona de **Rift** (durante el Jurásico Tardío hasta comienzos del Cretáceo Temprano), con depositación principalmente molásica (Toussaint, 1995; Cediél et al 1997; Cediél, 2003), la cuenca de **Rift** evolucionó hasta el Cretácico Tardío en una cuenca **Back Arc** detrás de la zona de subducción Andina, con una sedimentación principalmente marina.

A finales del Cretáceo y comienzos del Terciario (aproximadamente en el intervalo Coniaciano-Paleoceno) la sedimentación tendió a ser más del tipo continental (fluvial, fluvio-paludal y/o fluvio-deltaica). Desde el Paleoceno Tardío al Eoceno Medio un fuerte período de erosión se extiende durante toda la CVMM, suprimiendo del registro estratigráfico en algunos sectores la totalidad de la Secuencia Cretácica. Este episodio se reconoce en la cuenca por una inconformidad regional denominada Inconformidad del Eoceno Medio (Suarez, 1996 en ECOPETROL – ICP, 2006; Ramón, 1997; Olaya, 1997, Gómez et al, 2005). Después de este episodio, se reinicia la sedimentación continental,

etapa tienen una dirección N-S. Durante esta etapa la cuenca se caracterizó por ser una cuenca Intramontana de una fase de **Foreland** Andino (Schamel, 1991; Gómez, et al, 2005).

Finalmente en el Mioceno Tardío-Plioceno, ocurrió un período de plegamiento y cabalgamiento en la Cordillera Oriental, simultáneo al levantamiento regional de dicha cadena montañosa (ECOPETROL y Schlumberger, 2003), limitando así la parte oriental de la CVMM e imprimiéndole las características estructurales presentes.

La CVMM se encuentra cubierta por una columna sedimentaria que sobrepasa los 16000 ft de sedimentos continentales y marinos, cuya edad va desde el Jura-Triásico hasta el reciente (Gómez, 2005).

2.3.2 ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

La columna estratigráfica generalizada de la CVMM (Figura 3), describe unas secuencias de Rocas Pre-Mesozoicas y Mesozoicas (fundamentalmente Jura-Triásicas de la Fm. Girón) que descansan discordantes a la secuencias Cretácicas que la suprayacen se pueden destacar las Formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja, Tablazo, Simití, Salto y La Luna particularmente de influencia marina, y la Fm. Umir que marcaría ya la sedimentación no marina característica del Cenozoico como la de la Fm. Lisama; en esta última y en parte de la secuencia Cretácica se desarrolla la discordancia del Eoceno-Paleoceno sobre la cual descansan las rocas del Terciario de las Formaciones Esmeraldas la Paz, Mugrosa, Colorado, Real y Mesa. A continuación se describirá parte de la secuencia Terciaria de techo a base haciendo un énfasis en la Fm. Mugrosa la cual es de interés especial en este estudio.

2.3.2.1 Formación Mesa (Plioceno)

Constituida por arenas (sedimento semiconsolidado) y tobas andesíticas, las cuales contienen arena de grano grueso, arcillas, limolitas, conglomerados y piroclastos (Santacruz, 2004) (ver Figura 3).

2.3.2.2 Formación Real (Mioceno Medio a Tardío)

Constituida por areniscas cuarzosas de grano medio de formas subangulares a subredondeadas, hasta conglomerados con intercalaciones arcillosas de color gris verdoso, rojo y violeta, parcialmente limosas, con pequeños lentes de carbón lignítico micropiritoso (Santacruz, 2004), y material volcanoclástico (Montgomery, 1992). Descansa discordante sobre la Fm. Colorado (ver Figura 3) y se estima alcanza un espesor de 3000 m (Toussaint, 1999), en el área Llanito se alcanza un espesor de 2660 ft aproximadamente.

2.3.2.3 Formación Colorado (Mioceno Temprano a Medio)

Constituida principalmente por de arcillolitas grises claras, amarillentas y violetas a moradas altamente masivas y a veces con inclusiones de cuarzo, intercaladas con cuarzoareniscas de grano fino a grueso bien seleccionadas. Su tope lo constituye el horizonte la Cira Shale, compuesto por lutita gris verdosa, sublaminar, micromicácea, con inclusiones carbonáceas y de pirita (Santacruz, 2004). Los intervalos arenosos son de grano medio a fino, de composición silíceo color gris verdoso y regular selección. La Fm. Colorado (ver Figura 3) es conocida como la Zona A, y esta difiere de la Fm. Mugrosa, en que los shales poseen mas hierro y sus arenas son mas gruesas y conglomeraticas (Santacruz, 2004); el espesor aproximado en el área Llanito es de 2500 pies.

2.3.2.4 Formación Mugrosa (Oligoceno)

En conjunto la Fm. Mugrosa (ver Figura 3) esta compuesta por areniscas de grano fino a medio, con granos subangulares a subredondeados y moderadamente bien sorteados estas arenas están erosionadas en su base y poseen estratificación cruzada a escalas variables, estas están intercaladas con lentes de caliches (?). Su tope lo constituye el horizonte fosilífero de Fosiles de Mugrosa, compuesto por ostrácodos, moluscos y reptiles de agua dulce. Jordán y Siemers (1989) (en Montgomery, 1992), interpretaron esto, como el resultado de ríos de alta sinuosidad. Otros autores describen la Fm. Mugrosa como una secuencia compuesta principalmente por areniscas gris verdosas de grano fino a medio y shales (INGEOMINAS, 2001). Ramón & Cross (1998), describen

el miembro superior (**Zona B**) de la Fm. Mugrosa como una secuencia compuesta por areniscas y lodolitas con una tendencia de adelgazamiento de los cuerpos de arena hacia el tope; en la secuencia se reporta buena preservación de las características sedimentológicas de pequeña escala y de facies de grano fino en la parte N del CVMM, fue interpretado como depósitos de acreción de barras puntuales a lo largo de las inflexiones interiores de los ríos meandriformes; posee un espesor promedio es de unos 1400 pies. Gutiérrez, M. (2001), en Gómez et al (2005) describe el miembro inferior (**Zona C**) de la Fm. Mugrosa, como una secuencia de areniscas de grano medio las cuales adelgazan hacia el tope, con cuerpos que presentan una tendencia S-N, y además se encuentran interestratificados con lodolitas de diferentes colores, lo que es interpretado como depósitos de canales trenzados

Como se mencionó La *Formación Mugrosa* que se analizó en este proyecto pertenece a una secuencia de rocas sedimentarias del Terciario, Julivert (1961c) en J de Porta 19, menciona que la sedimentación es favorecida durante el Terciario en la CVMM, debido a que existe una semifosa hacia el E, lo cual se traduce en un mayor aporte de sedimentos hacia el sector de la Salina. A la Fm. Mugrosa inicialmente se le asignó una edad Mioceno inferior (por Morales y otros 1958 – 196?, en INGEOMINAS, 1965), actualmente se le asigna un rango entre el Oligoceno temprano (Beggren et al, 1995 en Gómez, 2005; y se menciona en Santacruz, 2004; Ramón & Cross, 1997), esta forma parte del grupo Chuspas (ver Figura 3), descrito al sur de la (CVMM), hacia la parte central de la CVMM esta es incluida dentro del Grupo Chorro, ya que no es claramente identificable el otro grupo mencionado (comunicación oral de Olaya, 2007). Se ha correlacionado en tiempo con el Miembro Superior / Doima del grupo Gualanday en el Valle Superior del Magdalena. La secuencia de la Fm. Mugrosa se separa en dos miembros, un Miembro Inferior y otro Miembro Superior, en la industria son conocidos como Zona C y Zona B (Santacruz, 2004; modificado de Morales 1958; y mencionado en Ramón & Cross, 1997 y 199?).

En el Campo Llanito se ha reportado una producción del 56% proveniente de la Zona B, y en el Campo Gala de 59% en la Zona C, lo cual confirmaría en alguna medida la heterogeneidad de la sedimentación de estos niveles, la continuidad lateral y vertical y/o un control estructural del mismo. Se ha reportado un espesor petrolífero de 50 pies en la

Zona B con una gravedad del aceite de 21° API, mientras que en la Zona C un espesor petrolífero de 40 pies y una gravedad del aceite de 23° API (Lobo et al, 2002).

En el área de estudio la Fm. Mugrosa no aflora. En el subsuelo descansa sobre la formación Esmeraldas del Eoceno tardío y más hacia el NE de la Cuenca solapa discordante sobre la discordancia del Valle medio del Magdalena lo cual es relatado por Gómez et al (2005) como Estratos de Crecimiento. Es infrayacente y en contacto concordante (?) con la Fm. Colorado de edad Mioceno (Berggreen, 1995 en Gómez et al, 2005; Gómez et al 2005; Ramón, J. C. y Cross, T. 199?; Santacruz, R. 2004; y otros).

En el Campo Llanito se ha identificado que la acumulación de Hidrocarburos en la Fm. Mugrosa se encuentra fuertemente controlada por la posición estructural de las diferentes unidades, y son mencionados como mecanismo de entrapamiento de hidrocarburos tanto trampas controladas por un estilo estructural como estratigráfico (ver Figura 5).

2.3.2.5 Formación Esmeraldas (Eoceno tardío – Oligoceno temprano)

Ésta constituida por areniscas de grano grueso, con estratificación cruzada, en proporción presenta niveles de areniscas más delgadas que los de la Fm. La Paz (ver Figura 3). Es la porción superior del Grupo Chorro, y su tope lo conforma el Horizonte fosilífero de los Chorros, La Fm. Esmeraldas y La Paz son conocidas como la zona D. presenta intervalos de mudstone y siltstone, las cuales son indicativos de deposiciones de llanura aluvial cruzadas por agradación de ríos trenzados (Montgomery, 1992).

En el Campo Llanito – Gala, la Formación Esmeraldas (Zona D) se han probado algunas arenas dando como resultado petrolíferas de bajo potencial, caracterizado por una pobre respuesta del registro SP (Lobo et al, 2002).

2.3.2.6 Formación La Paz (Eoceno medio a tardío)

Es la porción basal del Grupo Choro, sus depósitos son predominantemente de río trenzado, con un espesor consistente, arenas y conglomerados lenticulares, con intercalaciones de calizas grises y moteadas (canales abandonados). El ancho, y la

distribución continua de estos depósitos a través de la Cuenca del Magdalena pueden indicar cierto grado de inclinación tectónica, causando migración lateral de sistemas individuales de ríos (Montgomery, 1992).

Según Lobo et al, 2002, La Formación La Paz en área de estudio, se ubica en un ambiente continental fluvial, con desarrollo de posibles canales y rellenos de canal, similar a lo que sucede en la Fm. Esmeraldas. Hacia la parte inferior presenta un intervalo de arenisca conglomerática, con importantes manifestaciones de Hidrocarburos.

2.3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La Agencia Nacional de Hidrocarburos (2006) propuso ciertos mecanismos principales de entrapamiento de Hidrocarburos para la CVMM los cuales se encuentran asociados fundamentalmente a Fallas Normales, Anticlinales fallados y Trampas estratigráficas asociadas a onlaps (Eoceno tárdeo Mioceno) de Canales incisos sobre truncaciones de facies pre-Eocénicas.

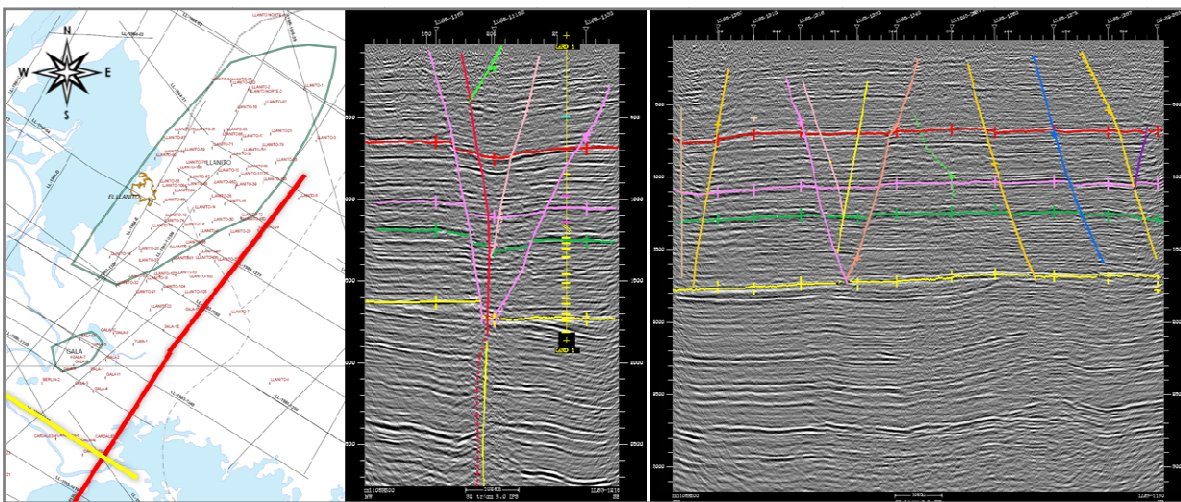


Figura 4. Línea de buzamiento LL-83-1218 mostrando la estructura en flor inversa (línea amarilla en el mapa) y Línea sísmica de Rumbo LL-83-1130 (línea roja en el mapa), Modificado de ECOPETROL – ICP, 2006.

El área Llanito, se localiza hacia el norte del Campo Casabe en la CCVM entre las fallas de Cimitarra y La Salina. Ésta, se encuentra sobre una estructura formada por un anticlinal asimétrico, alargado con su eje principal en dirección SW-NE. Su cierre en el norte de la estructura es erosivo (las capas se truncan contra la Discordancia de Eoceno) y hacia el sur es por buzamiento.

En detalle para el área Llanito, se describe una estructura controlada por un sistema de fallas de Rumbo de dirección SW - NE, que corresponde a la prolongación norte de la denominada falla de Casabe. ECOPETROL (2006), basado en información sísmica reprocesada interpreta ésta, como una falla reactivada que corta toda la secuencia Terciaria y Cretácica (ver Figura 4).

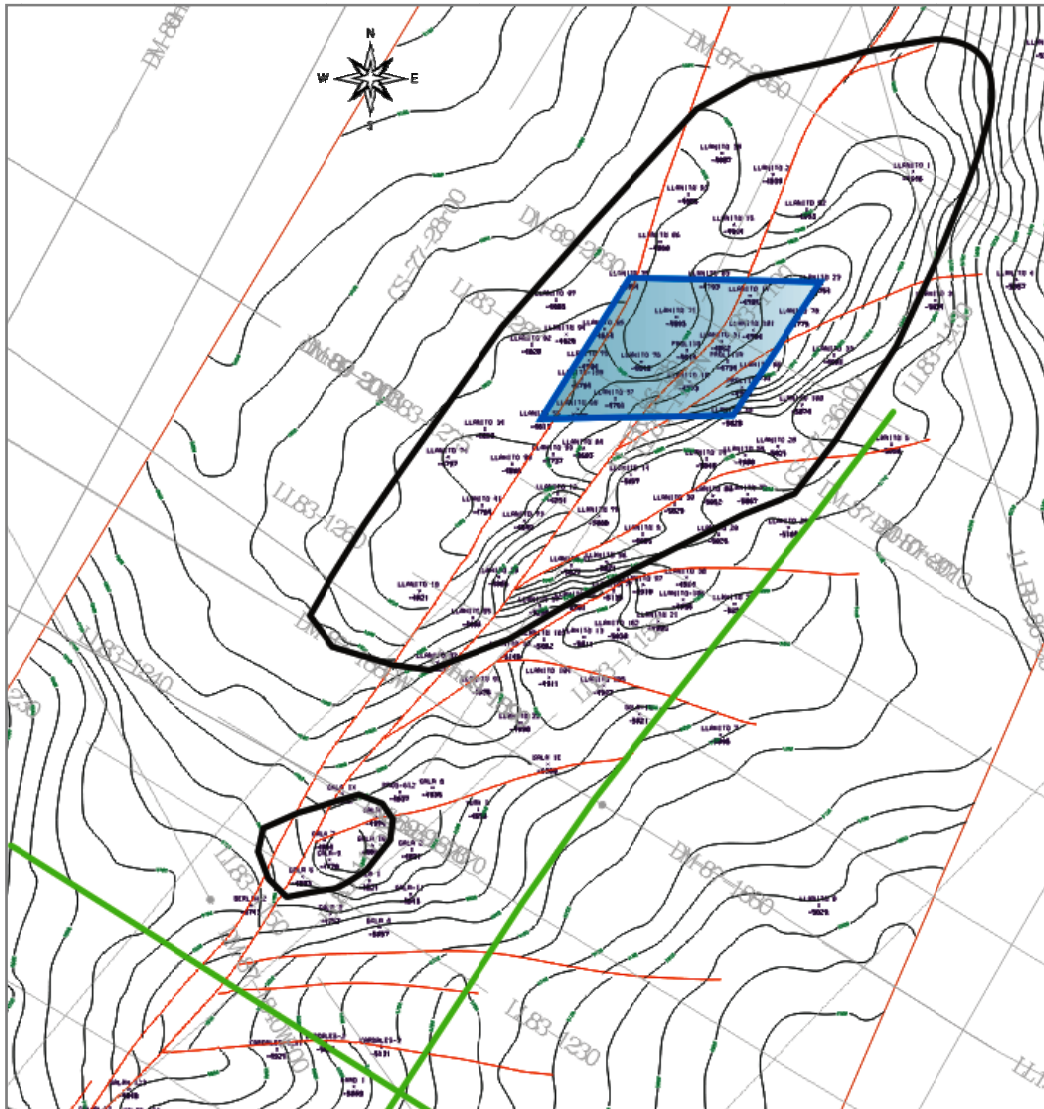


Figura 5. Marco Geológico Estructural al tope del Horizonte Fosiles Mugrosa, nótese que la deformación es mayor en el sector NE, Modificado de Santacruz, 2004.

Asociada a esta falla se desarrolla un anticlinal con rumbo NE y con pliegues menores de anticlinales y sinclinales alternos, con distribución de ejes en “echelon” y cabeceo preferencialmente al Norte controlados por fallas normales que conforman estructuras, en

algunos casos, en forma de flor negativa característico de esta tectónica (ver Figuras 4 y 5), esto secciona la estructura compartimentalizandola en bloques limitados al norte y al sur por fallas normales satélites a la Falla principal de Casabe. Se ha identificado que la acumulación está fuertemente controlada por la posición estructural de las diferentes unidades (ECOPETROL, 2006).

ECOPETROL (2003) en su estudio integrado de los Yacimientos de los Campo Llanito y Gala describen que *“El carácter sellante de las fallas depende de los tipos de depósito que se enfrenten a través del plano de falla y del salto relativo de las mismas”*, y resaltan de su interpretación las zonas más deformadas a lo largo Campo las cuales se presentan esencialmente hacia norte (ver Figura 5).

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 SEDIMENTOLOGIA

Las características y propiedades de los ambientes sedimentarios son generadas a través de la combinación de varios procesos (ver Figura 6), físicos, químicos y biológicos que caracterizan un ciclo sedimentario. Meteorización, erosión, transporte, depositación, y diagénesis, todo lleva su efecto en alguna forma, para crear como producto una roca sedimentaria. Los procesos sedimentarios y las condiciones que constituyen en conjunto el ambiente de sedimentación juegan un papel fundamental en la disposición de atributos tales como la textura, la estructura, las características de la estratificación, y las características estratigráficas de las rocas. La relación genética entre los procesos depositacionales y las propiedades de las rocas proveen potencialmente una poderosa herramienta para interpretar ambientes depositacionales antiguos (Boggs, 2001).

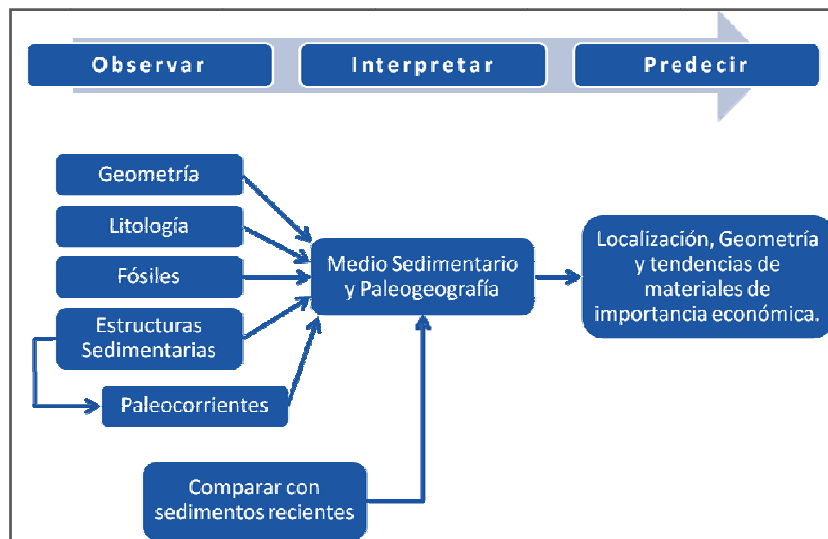


Figura 6. Ilustración de la aproximación elemental de cómo averiguar el modo de depósito de un sedimento, Tomado de Selley (1976).

Desafortunadamente, no podemos conocer la naturaleza exacta de los procesos depositacionales y las condiciones que operaron en el pasado (Selley, 1976; Galloway &

Hodbay, 1996; Boggs, 2001; y otras comunicaciones orales, 2007). Por eso estamos forzados a observar las rocas para encontrar las pistas de esos procesos que dejaron de operar. Sin embargo, relacionar los procesos depositacionales al producto depositado no es algo sencillo. Por eso usualmente los observadores tendremos que remitirnos al estudio de los sedimentos y de los procesos sedimentarios en ambientes modernos, para ayudarnos a entender el vínculo entre los procesos sedimentarios y las propiedades de las rocas sedimentarias (ver Figura 6). El conocimiento adquirido en este estudio, puede ser re-aplicado para la interpretación de los ambientes depositacionales de las rocas sedimentarias antiguas.

El procedimiento de aplicación del conocimiento adquirido a través de la observación de los ambientes sedimentarios modernos para la interpretación de procesos depositacionales antiguos en conjunto, es la esencia del análisis ambiental (Selley, 1976). Esto hace ocurrir inmediatamente un cierto número de limitaciones. Por ejemplo, la distribución de los continentes y los océanos que vemos hoy en día no es la misma que se presentó en el pasado, pues no debemos desconocer la naturaleza dinámica de nuestro planeta. Además, la intensidad de los procesos geológicos también ha sido en el pasado de una gama que en el presente claramente difiere. Asimismo, algunos de los eventos geológicos del pasado probablemente fueron únicos. A pesar de esto, podemos interpretar cuidadosamente los ambientes antiguos, sin seguir de manera estricta los modelos ambientales basados en las condiciones modernas (Selley, 1976; Boggs, 2001).

El estudio de los ambientes depositacionales antiguos es importante porque la percepción adquirida a través del análisis ambiental nos permite reconstruir la paleogeografía de periodos geológicos previos, lo cual es, la relación entre los continentes y océanos antiguos (Boggs, 2001). Esto también nos ayuda al desarrollo de una apropiada comprensión de los procesos sedimentarios en la historia de la Tierra y una mejor habilidad para interpretar las relaciones estratigráficas complejas tales como variaciones verticales y laterales en la litología y la textura.

Es importante resaltar, que un amplio entendimiento de los ambientes de sedimentación es un factor esencial en la determinación del significado económico de las rocas sedimentarias, como ejemplo, tomamos nuestra necesidad económica inmediata, en la

evaluación del potencial de los recursos energéticos en las rocas de la CVMM como rocas reservorio y como rocas fuente de hidrocarburos u otros recursos.

3.2 AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN

Un ambiente de sedimentación está caracterizado por un conjunto geomorfológico particular en el cual un grupo de procesos químicos físicos y biológicos opera para generar un cierto tipo de depósito sedimentario (Boggs, 2001).

El ambiente físico está caracterizado por elementos estáticos y dinámicos. Los elementos físicos estáticos incluyen la geometría de la cuenca; materiales siliciclásticos depositacionales como grava, arena y lodo; profundidad del agua; y temperatura. Los elementos físicos dinámicos incluyen factores como la energía y dirección de flujo del fluido (agua, viento, hielo, precipitaciones, nevadas) los cuales influyen las corrientes y olas. Las características químicas de los ambientes (salinidad, pH, Eh, y el contenido de dióxido de carbono y oxígeno) controlan los procesos químicos, como la precipitación de minerales. Las características biológicas se restringen a las actividades de los organismos (crecimiento de plantas, madrigueras, descanso, alimentación / ingestión de sedimento y extracción de sílice y carbonato de calcio para generar material esquelético) y la presencia de restos orgánicos como material depositacional.

A groso modo son reconocidos tres ambientes depositacionales principales: Continental, Marino Marginal y Marino. Cada uno de estos terrenos principales ha sido subdividido por diferentes autores dentro de variados y numerosos subambientes. De manera sencilla Boggs (2001), ilustra una clasificación que envuelve el conjunto depositacional primario, el ambiente principal y el subambiente, aunque advierte que no es una clasificación con todo el rigor del caso para un consenso geológico, pero útil como ejercicio preliminar Ver Tabla 1.

Pocas o solo algunas herramientas pueden ser usadas en la determinación de ambientes de depositación. En muchos casos el examinar una sola propiedad de las rocas sedimentarias no es diciente al momento de deducir un ambiente de depositación para esa roca. Para interpretar los ambientes de depositación antiguos, debemos interpretar diferentes propiedades de la roca y entonces comparar estas propiedades para crear un

cuadro mental (modelo) con las propiedades conocidas heredadas de un ambiente de depósito particular. Este cuadro mental constituye un modelo ambiental. Este modelo ambiental se nutre de nuestras experiencias en campo y frecuentemente de las experiencias de colegas, en sus publicaciones y en papers, en todo caso es importante resaltar que el obtener un buen modelo mental depende de cuan nutridos están nuestros datos, y de las ideas plantadas por otros geólogos en sus publicaciones, lo cual sirve como marco de referencia en la interpretación de los ambientes depositacionales antiguos (Selley, 1976).

Tabla 1. Clasificación simplificada de los ambientes de depositacionales según Boggs (2001); *Principalmente sedimentación de siliciclásticos; **Principalmente sedimentación de Carbonatos. Los ambientes que no se marcaron con el asterisco(s) pueden ser depositados como siliciclásticos, carbonatos, evaporitas, o una mezcla de sedimentos dependiendo de las condiciones.

Conjunto Deposicional Primario	Ambiente Principal	Subambiente
CONTINENTAL	*Fluvial	*Abanicos Aluviales
		*Corrientes Trenzadas
		*Corrientes Meandricos
	*Desertico	
	*Lacustre	
	*Glaciar	
MARINO MARGINAL	*Deltaico	*Planicie Deltaica
		*Frente Deltaico
		*Prodelta
	*Playa / Islas Barrera	
	*Estuario / Lagoonal	
	Plataforma mareal	
MARINO	Neritico	Plataforma Continental
		**Arrecife organico
	Oceanico	Talud Continental
		Piso oceánico profundo

Un modelo de facies es un resumen general dado por un sistema depositacional, escrito en términos que hacen el resumen capaz de usarse (Walker 1992, en Boggs 2001). Los modelos de facies pueden ser expresados como sucesiones de facies idealizadas, como bloque diagramas, o como gráficos o ecuaciones (Boggs 2001). Tales modelos sintetizados actúan como una regla que es usada en actividades de comparación y como un marco y guía para futuras observaciones. Estas también sirven para predecir nuevas situaciones geológicas, y deben actuar como una base integrada a los sistemas que representan. Así, los modelos de facies proveen un método para simplificar, ordenar, categorizar e interpretar datos que pueden ser de otra manera aleatorios o confusos.

3.2.1 AMBIENTES DE DEPÓSITO CONTINENTALES

En la práctica los geólogos reconocemos cuatro tipos principales de ambientes, medios o modelos depositacionales continentales: Fluvial (Abanicos aluviales, Ríos), Desérticos, Lacustres (Lagos) y Glaciales. En un sentido completamente estricto, la ocurrencia de cada depósito continental es compuesta, por ejemplo, el sedimento eólico puede ser depositado en ambiente desértico y en algunos sectores del ambiente glacial. El sedimento Lacustre se forma en los lagos, y estos se forman en casi cualquier parte, incluyendo los desiertos y glaciales. Los sedimentos Fluviales son depositados principalmente en sistemas de ríos de regiones húmedas, pero también se generan en ríos dentro de áreas desérticas y ambientes glaciales (Boggs, 2001).

La sedimentación de Facies en ambientes continentales se encuentra dominada por los sedimentos siliciclásticos, una escasez general de fósiles y ausencia completa de fósiles marinos. El sedimento no-siliciclástico como las carbonatos/calizas y evaporitas de agua fresca ocurren también en ambientes continentales, pero son distintivamente subordinados a los depósitos siliciclásticos. Las Rocas sedimentarias continentales son menos abundantes que los sedimentos marinos marginales y marinos, sin embargo estas forman un importante registro geológico en algunas áreas (ej. La secuencia de edad Terciaria de la CVMM)

3.2.1.1 SISTEMAS FLUVIALES

Los depósitos fluviales, se relacionan con un amplio espectro de sedimento generado por la actividad de los ríos, las corrientes y los flujos de gravedad de sedimentos asociados a

estos procesos. Tales depósitos ocurren en el presente bajo una variedad de condiciones climáticas y una variedad de escenarios que van desde áreas desérticas hasta regiones húmedas y glaciales, muchos ambientes fluviales antiguos pueden ser asignados a uno de los tres marcos ambientales generales: abanicos aluviales, ríos trenzados o ríos meándricos. Estos ambientes por lo general se encuentran interrelacionados o superpuestos. Por ejemplo, los ríos trenzados comúnmente ocurren en muchos abanicos aluviales y contribuyen a la depositación de los abanicos, algunos abanicos en regiones húmedas se mezclan cuesta abajo con sistemas de ríos trenzados; y algunos ríos trenzados son transformados río abajo en ríos meándricos (Boggs, 2001).

- **SISTEMAS DE RIOS**

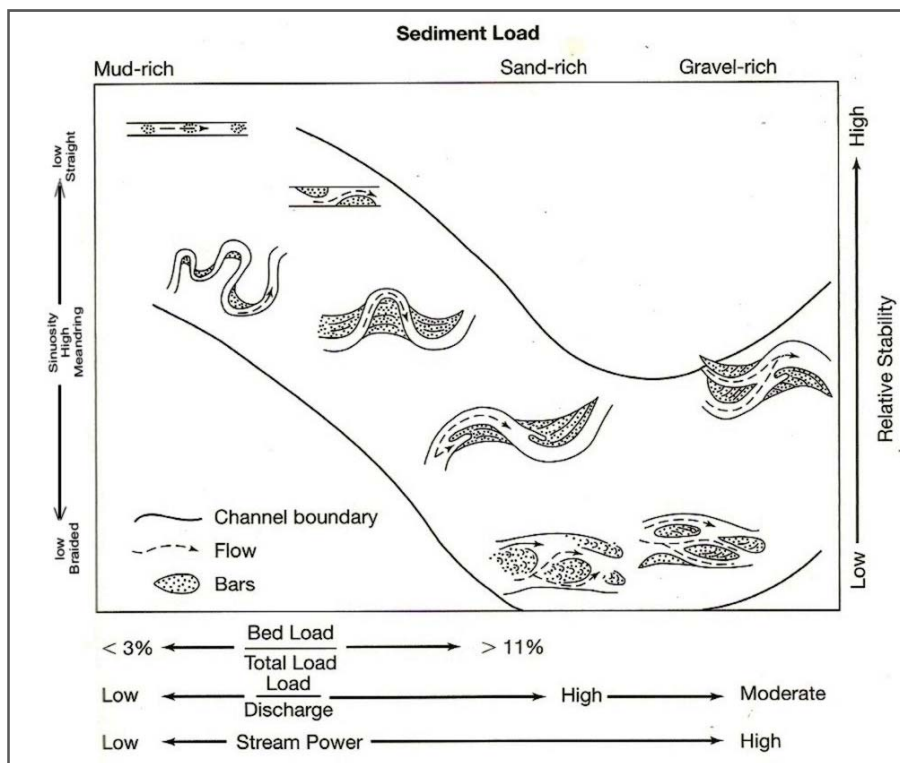


Figura 7. Patrones desarrollados por los sistemas de Ríos dependiendo de su sinuosidad, carga de fondo y potencia de la corriente, Tomado de Galloway & Hodbay, 1996.

Los sistemas de ríos a través del tiempo han sido los agentes más importantes como conductos transportadores de sedimento en lagos y océanos que como lugar de sedimentación. El sedimento depositado por los ríos bajo algunas condiciones llega a formar parte del registro sedimentario antiguo. En base a la morfología del canal, un

amplio espectro de los ríos es conocido en los ambientes modernos, en rangos dados por la baja sinuosidad o alta sinuosidad, y a la prioridad de transporte, por ejemplo: lodo y arena principalmente, o gravas y sedimento de grano grueso principalmente (Galloway & Hobday, 1996), ver Figura 7. La sinuosidad es definida como la relación entre la longitud de la corriente del canal y la longitud del valle que contiene el río, así una baja sinuosidad estará dada por ejemplo por una cuenca estrecha o restringida como la CVMM en la actualidad.

- **SISTEMAS DE RÍOS TRENZADOS**

Los Ríos Trenzados se distinguen de los Ríos Meándrico por tener baja sinuosidad y por la presencia de muchos canales separados por barras o por pequeñas islas (ver Figura 8). Los Ríos Trenzados gravosos ocurren en áreas de alto relieve y generalmente se encuentran limitados en su área. Comúnmente gradan río abajo, por una abrupta disminución del tamaño de grano, a Ríos Trenzados arenosos. Estos ríos son más comunes que los ríos trenzados gravosos, tanto en el registro antiguo como en el moderno (Boggs, 2001).

Los ríos trenzados muestran un mayor desarrollo en las partes distales de los abanicos aluviales, y en las proximidades a los sistemas de alta montaña. En estas áreas, el sedimento es abundante, la descarga de agua es alta y comúnmente esporádica. Bajo estas condiciones, los ríos alcanzan una sobrecarga de sedimento, importante en la rápida depositación de sedimento. El trenzamiento aparentemente se forma por rápidas e inmensas fluctuaciones en la descarga del río; una abundancia del sedimento grueso; una alta tasa de aporte de sedimentos; y facilidad de la erodabilidad en los bancos no cohesivos (Cant, 1982 en Boggs 2001). La depositación de gruesas cargas de fondo forma *mid channel bars*. Durante los periodos de inundación puede depositar todo tipo de tamaños de sedimento. Los ríos trenzados tienden a tener altos gradientes lo cual los hace característicos de los sistemas de ríos montañosos.

Los ríos trenzados están caracterizados por unas estratoformas llamadas barras, las cuales se agrupan en tres grupos básicos: 1) Barras longitudinales, 2) Linguoides y Barras trasversas y 3) Barras laterales incluyendo las Barras puntuales y las Side bars.

Dentro de condiciones de régimen de flujo alto, que prevalecen en los ríos trezados, la mayoría del sedimento depositado es arena y grava. Los sistemas de ríos trezados pueden ser dominado por gravas o dominados por arenas (Miall, 1996), el lodo se presentara como un elemento subordinado distintivo en los depósitos de corrientes trezadas; un río trezado por lo general tiene una relación gruesos sobre finos mayor que uno (1). Las barras longitudinales tienden a estar compuestas en gran parte de gravas o mezcla de arenas y gravas. Los Linguoides, las barras transversas y laterales son generalmente más arenosos. Las barras longitudinales de gravosas muestran estratificación plana incipiente y estratificación cruzada pobremente desarrollada. La estratificación cruzada es comúnmente mejor desarrollada en las unidades arenosas. Los Linguoides y las barras transversas muestran frecuentemente estratificación o plana, y son comunes los sets de estratificación cruzada en artesas. La dirección de buzamiento de los foreset de la estratificación cruzada son variables, pero todos están en la unidireccionados corriente abajo. Los ripple marks son comunes en la superficie de los depósitos de barras de arenas (Ver figura 8).

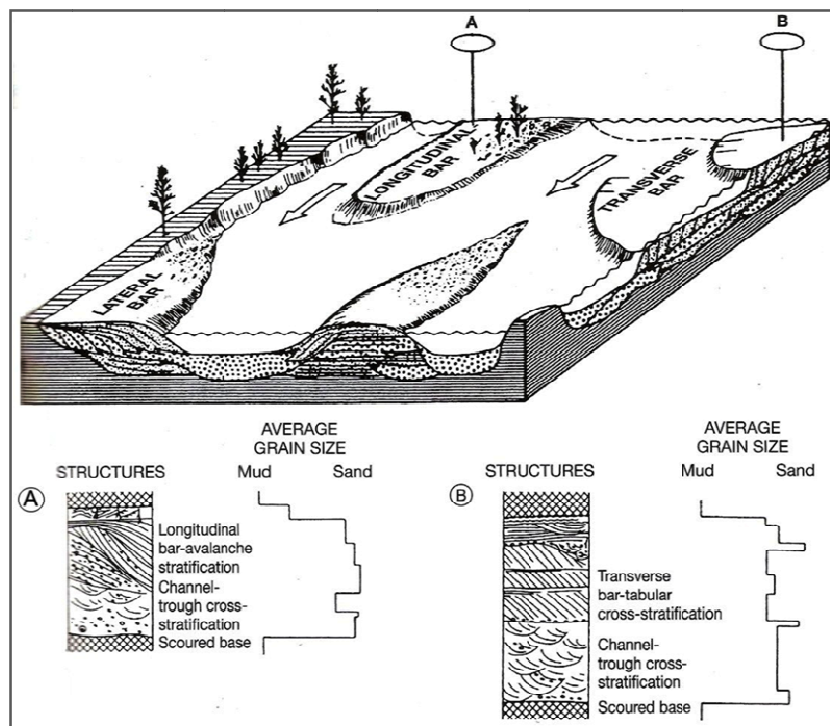


Figura 8. Estructuras de barras en Ríos trezados. La sucesión de facies A es dominada por migración de barras longitudinales de grava. La sucesión B registra la sedimentación de set sucesivos de estratificación cruzada sobre el relleno del canal trezado. (modificado por Boggs 2001, de Galloway & Hobday, 1983).

- **SISTEMAS DE RIOS MEÁNDRICOS**

Contrastando las redes de canales que caracterizan los ríos trenzados, los ríos meándricos tienden a ser confinados dentro de un canal principal (ver figura 9), caracterizados por bancos cohesivos difíciles de erosionar. Las corrientes de meandros se caracterizan por su gran sinuosidad, bajos gradientes y carga de sedimentos finos.

Los elementos morfológicos/arquitectónicos se muestran en la figura 9, estos elementos consisten fundamentalmente del canal del meandro principal, las barras puntuales que crecen hacia afuera de la parte interior de la curva del meandro, los bordes naturales o albardón natural, cuencas de inundación junto a los albardones, y los oxbow lakes y meandros abandonados. El sedimento se acumula en diferentes partes del sistema debido al flujo del canal y a las inundaciones periódicas o estacionarias.

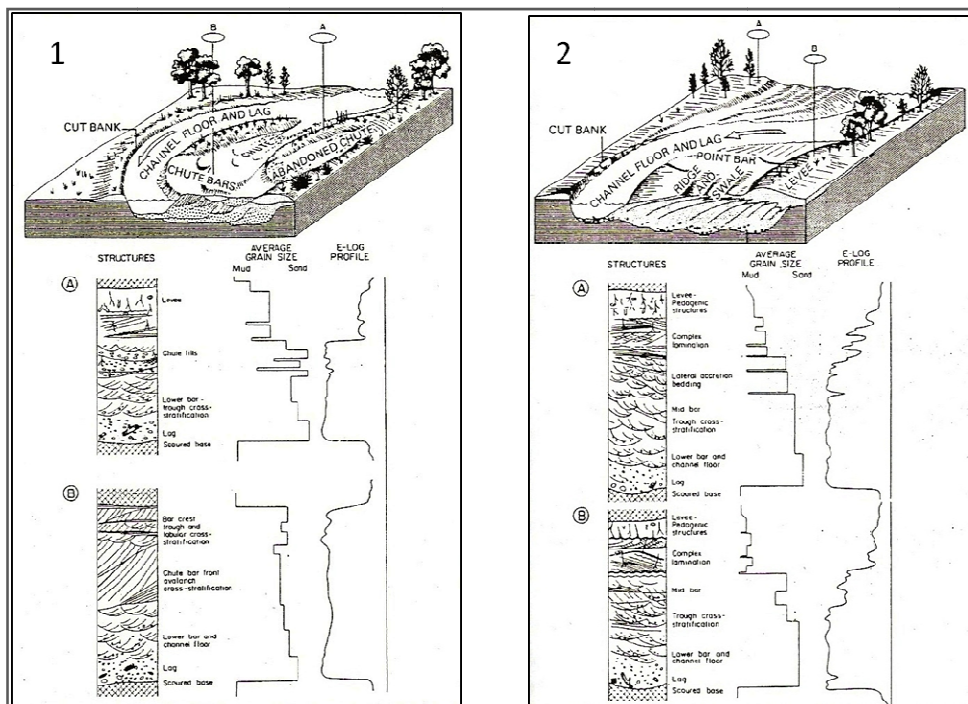


Figura 9. Modelos generales idealizados, representando secuencias verticales, y perfiles de SP idealizado 1A) Porciones del point bar, captados por el canal, 1B) Barras puntuales inferiores. 2A) Muestra un típico fining upward de un point bar. 2B) Muestra una secuencia vertical truncada, en la parte más lejana del canal. (de Galloway & Hobday, 1983 en Serra, 1984.)

Durante condiciones de régimen bajo de flujo, la velocidad máxima del canal se balancea y el flujo retrocede, y además recorre el canal, los bancos se vuelven enormes a lo largo

de la flexión cóncava del canal del meandro. Durante condiciones de flujo alto, la corriente toma un patrón recto. El movimiento lateral del conjunto de corrientes forma un fuerte flujo trasverso espiral o helical que tiende a deflactar el agua a lo largo del fondo de la corriente desde fuera del banco cóncavo hacia el interior del banco convexo del meandro. Debido a que la fuerza de la deflexión es más fuerte cerca a superficie, donde la velocidad de la corriente es más alta que cerca al fondo, el flujo espiral transversal mueve el agua superficial hacia el exterior del banco, y el agua del fondo hacia el interior del banco. Este componente del flujo helical lleva sedimento a través de la corriente del canal sobre la pendiente del banco adyacente a las barras puntuales (y probablemente a la barra más próxima río abajo), donde es depositado bajo condiciones de baja velocidad. Solo el sedimento más grueso se acumula como carga de fondo en el canal. El sedimento restante se erosiona del banco de la flexión cóncava meandro, que es transportada lateralmente cruzando la corriente, como la zona de máxima velocidad de corriente se desplaza hacia atrás, así de una flexión a la siguiente, y el sedimento grueso de la carga de fondo es depositado por acreción en la siguiente barra puntual río abajo (ver figura 10). Este proceso causa migración lateral aguas abajo de los meandros.

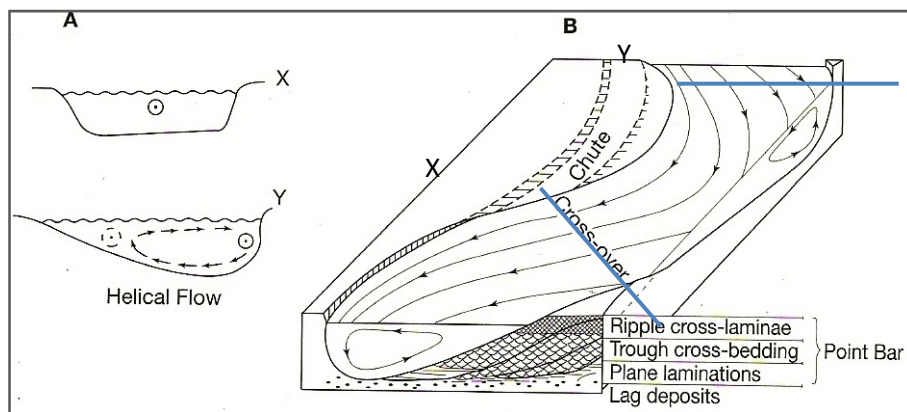


Figura 10. *Patrones de flujo en una corriente meandriforme. A, Patrón de paso de la máxima velocidad en un movimiento de un meandro al siguiente. Los perfiles X e Y indican diferencias en la potencia del flujo en diferentes posiciones de la corriente. B, Detalles del flujo helical y la naturaleza de las deposiciones formadas como resultado de tal flujo ((A), de Galloway & Hodbay, 1983 en Galloway and Hodbay, 1996; (B), Blatt et al, 1980).*

Durante las etapas de inundación, el río alcanza a cubrir la totalidad de los bancos, y una inundación sobre los bancos es formada. Las inundaciones sobre los bancos depositan limo fino y lodo sobre el banco cerca al borde de la corriente, causando construcción de

Los sedimentos de los canales son principalmente depósitos de fondo compuesto de material grueso, el cual solo puede mover durante de máximas velocidades de corriente en etapas de inundación. Estos depósitos incluyen gravas gruesas de la carga de fondo, junto con troncos y partes de plantas, lodo parcialmente consolidado erosionado de la pared del canal (Walker & Cant, 1979), la estratificación es indistinta en los materiales gruesos, pero la imbricación es común en guijas y guijarros. Los depósitos de fondo de canal son típicamente delgados y discontinuos y pueden estar ausentes completamente en corrientes arenosas que transportan gravas pequeñas.

En tazas bajas de descargas que las requeridas para mover las gruesas gravas del fondo, la arena es transportada sobre los depósitos del fondo del canal y se acreciona sobre la superficie pendiente de las barras puntuales río abajo. Cuando el banco esta lleno de agua, la corriente desarrolla un flujo helical (ver Figura 10 y 11); este flujo crea una celda de circulación vertical normal al banco de la corriente y lleva agua y carga de sedimento del fondo hacia la pendiente de la barra puntual. Los granos gruesos tienden a depositarse en la parte inferior de la barra puntual y los granos finos en su parte superior de la barra, formando una sucesión de barras puntuales con adelgazamiento hacia el tope, (Ver Figura 8). Grandes dunas son formadas en la parte inferior de la barra mientras, las ondulitas se forman en la parte superior de la barra. Dependiendo del grado de preservación de la barra podemos encontrar estratificación cruzada en artesa de gran escala en la base hasta esta misma de menor escala en el tope de las sucesiones o acompañadas por estratificación cruzada u otras estructuras de alto régimen de flujo. Las direcciones de buzamiento de las estratificaciones cruzadas muestran una tendencia variable, pero el buzamiento muestra una única dirección en el sentido de la corriente del río.

3.2.2 ACTUALES AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN EN LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

El dominio de ambientes depositacionales recientes durante el Valle del Río Magdalena (Ver Figura 12), muestra fundamentalmente el desarrollo de dos sistemas; uno de ambiente fluvial de sistemas de ríos trenzados y otro de ambiente fluvial de sistemas de ríos anastomosados, se observa además un pobre desarrollo de los sistemas de ríos meandriiformes los cuales se restringen a la margen derecha de la parte inicial del Valle

inferior del Río Magdalena. Como se menciona en secciones anteriores, la baja sinuosidad desarrollada sistemas de Ríos trenzados, en el Valle Medio del Río Magdalena está baja sinuosidad está dada por la restricción ocasionada por las Cordilleras Oriental y Central.

Como se puede observar en la Figura 12, el carácter de transición “normal” es leve de un sistema a otro, y por tanto definir la evolución del sistema análoga a los sistemas propuestas en por ejemplo Miall, 1996; Marennsi et al, 2005; entre otros, se hace complicado, y entonces el clasificar el Río en términos de un sistema en particular depende ya de otras condiciones ambientales (Gradiente, descarga, clima, ...).

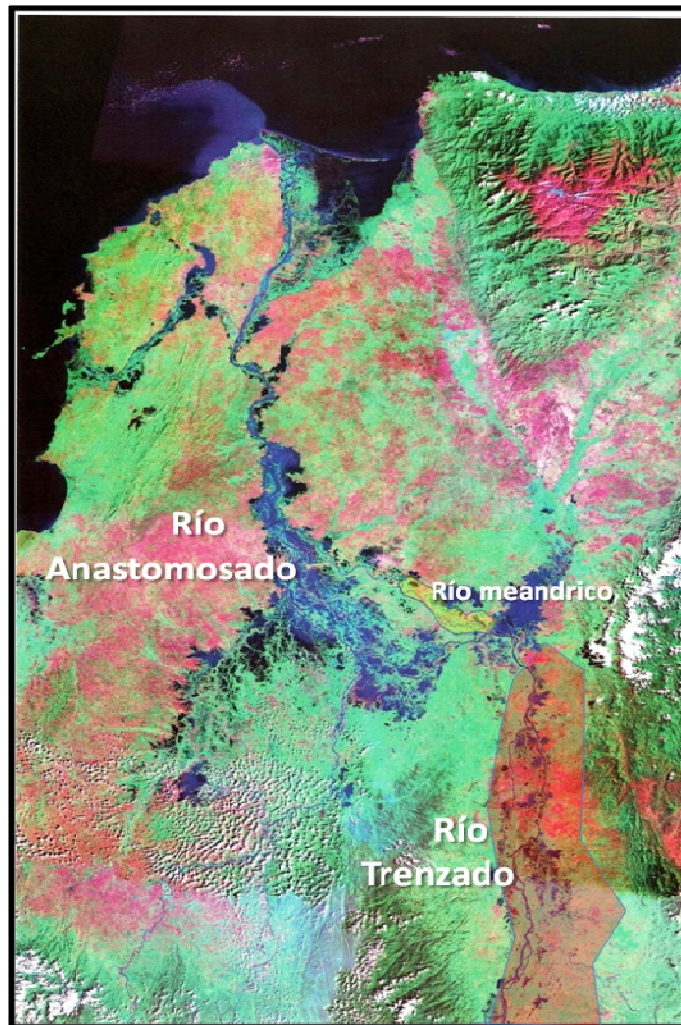


Figura 12. Imagen Satelital del Río Magdalena, se observa un pobre desarrollo del sistema de Río Meándrico, respecto al trenzado y anastomosado (Tomado de Imágenes NASA, ensamblada en el ICP, 2007).

Teniendo en cuenta las ideas antes expuestas surge la concepto que condiciones similares se pudieron generar en el pasado, y en ese desarrollo Sur Norte del Río Magdalena, áreas de aporte, paleogeografía, eventos tectónicos y un sinnúmero de procesos, como los citados en secciones anteriores (ej. Gómez, et al 2005; Cediell, et al 2003). Condiciones como las actualmente presentes en el desarrollo del Río Magdalena, aunque no son las mismas en magnitud que en el pasado, sirven en alguna medida en la interpretación de trenes de facies y por ejemplo: como sucede en la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena un alto espacio de acomodación debido a la subsidencia regional y un alto aporte de sedimentos preserva en el registro estratigráfico una gruesa columna de facies asociadas a sub-ambientes Paludales, y ambientes Marinos y Transicionales principalmente (comunicación Oral Andrés Reyes Harker 2008). En interpretaciones un constante control de la cuenca de inundación (ej.: Ciénaga desplazada por el desarrollo de canales), o de la acomodación pudo generar relaciones de finos contra gruesos o finos contra arenas, como las observadas en la Fm. Mugrosa en el área de estudio donde las paneles de correlación exhiben transición de los sistemas fluviales principalmente en la parte inferior, central superior y superior de la Formación.

3.3 ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y TEXTURAL

Para los geólogos del petróleo como para los hidrogeólogos es de gran importancia establecer el tamaño de grano de las rocas reservorio, las partículas que conforman el sedimento tienen diferentes tamaños, que van desde los grandes (generalmente cantos, guijas o guijarros), que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos muy finos, que solo se pueden apreciar a través de un microscopio electrónico. El análisis granulométrico al cuál se somete un sedimento es de gran ayuda, en diferentes áreas de estudio; como lo han demostrado numerosos estudios (Krumblein & Pettijhon 1938; Folk, 1957; Friedman & Sanders, 1967, en Boggs 2001; Blatt, Middleton & Murray, 1972; Selley, 1975, Cross; 1997) los tamaños de grano afectan las propiedades físicas derivadas de la porosidad, la permeabilidad y la cohesión (Boggs, 2001); la utilidad de los datos obtenidos del tamaño de grano ha sido usada en una variedad de formas ej. Syvitski, 1991 en Boggs, 2001: 1) Para interpretar fluctuaciones del nivel del mar en la costa, 2) Para localizar el transporte de sedimento Glacial y el ciclo del sedimento glacial desde los continentes hacia el océano, 3) En la Geoquímica marina para comprender los flujos, ciclos, movimiento, aporte y precipitación de los elementos químicos en la

naturaleza, 4) Para comprender las propiedades de la masa física obtenida de los sedimentos del piso oceánico, 5) en análisis geotécnicos y estudios de suelos.

La combinación de parámetros texturales como: tamaño y calibrado de los granos de sedimento puede reflejar los mecanismos y condiciones de sedimentación y sedimentación; teniendo en cuenta otras características sedimentológicas, como estratificación, geometría de los cuerpos, e incluso contenido fósil, se pueden interpretar antiguos ambientes de sedimentación.

La técnica de Análisis Granulométrico a través de Tamices estándar, se realiza mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferente enumeración, la cual depende de la separación de los cuadros de la malla del tamiz, estos cuadrados presentan una relación milimétrica y logarítmica equivalente a los Φ . Los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas, pero como se mencionó anteriormente los granos que quedan en un tamiz tienen la dimensión intermedia entre el tamiz superior e inferior. Para el ensayo o el análisis de granos gruesos, es recomendado el método del Tamiz (Boggs 2001, Blatt, Middleton y Murray 1972); cuando se trata de granos muy finos este no es muy preciso este método, debido a que le es más difícil a los granos finos pasar por una malla más estrecha, o recuperar una muestra hasta este calibre.

El origen de la distribución de los tamaños de grano en los sedimentos puede estar relacionado a la naturaleza del área de aporte de los materiales, los procesos de erosión actuantes; la abrasión y corrosión de los granos durante el transporte de los sedimentos y los procesos de selección que actúan durante el transporte y sedimentación de los sedimentos, además de los cambios postdeposicionales como la precipitación y deformación en los granos durante el enterramiento, producido por efectos diagénéticos y/o por la meteorización.

3.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CORRELACIÓN

El término correlación durante la historia de la estratigrafía ha tenido dos connotaciones importantes, uno de los puntos de vista inflexible sugiere que el significado de correlación se restringe a la demostración de equivalencias en tiempo, lo cual es usado, para establecer que dos cuerpos de roca fueron depositados al mismo tiempo (Dunbar y Rodges, 1957 y Rodges, 1959, en Boggs 2001). De este punto de vista se puede extraer,

que la equivalencia de dos unidades de roca similares no constituye una correlación. Un punto de vista más amplio establece que una correlación puede ser expresada en términos de litológicos, paleontológicos o cronológicos (Krumblein & Sloss 1963), en otras palabras se pueden correlacionar unidades litoestratigráficas, o Bioestratigráficas, similares, pero pueden eventualmente ser de diferentes edades. Es común para los geólogos del petróleo la rutina de correlación de superficies de formación en base a características litológicas, registradas a través de registros de pozo, o de reflexiones sísmicas.

El Código Estratigráfico Norteamericano, de 1983 (Apéndice B) reconoce tres tipos principales de correlación las cuales básicamente expresan:

LITOCORRELACIÓN, la cual relaciona unidades litológicas y estratigráficas de posiciones similares.

BIOCORRELACIÓN, la cual expresa similitud en el contenido fósil y en la posición bioestratigráfica.

CRONOCORRELACIÓN, la cual expresa correspondencia en edad y posición cronoestratigráfica.

Tearpock & Bischke (1991) proponen la correlación como un método sencillo para agrupar características estratigráficas. Sin embargo ellos sugieren que esta puede complicarse debido a varios factores estratigráficos o estructurales, como lo pueden ser: el adelgazamiento de niveles estratigráficos, el buzamiento de los estratos, fallas, inconformidades, cambios laterales de facies o por deficiencias en la calidad o resolución del registro a analizar.

Debido a estos factores Tearpock & Bischke (1991), introducen ciertas claves para lograr una correlación eficiente y minimizar los problemas al correlacionar, dichas claves se mencionarán a continuación:

- Para obtener una idea inicial y rápida de lo que sucede en el pozo, se recomienda identificar las arenas usando los perfiles de SP (Potencial Espontáneo) o el de Rayos Gamma.

- Para una correlación detallada, se deben primero identificar y correlacionar los shales, sino un carácter o electróforma claramente identificable en los demás perfiles
- El Datum debe definirse como un patrón correlacionable (rasgo o característica litológica) que sea fácilmente identificado los pozos a correlacionar.
- Es mejor usar una curva de resistividad corta normal, para obtener un mayor detalle al correlacionar shales.
- Se deben usar colores que permitan identificar puntos específicos en el registro.
- Siempre se debe empezar la correlación en el tope del registro.
- Por ningún motivo se debe forzar una correlación.
- En áreas altamente falladas primero se debe correlacionar lo más profundo y luego lo más somero.

Las correlaciones se inician identificando los shales ya que involucran una génesis de ambientes de baja energía, y comúnmente cubren grandes áreas geográficas; teniendo en cuenta lo anterior los estratos de arena no son buenos marcadores en una correlación debido a que frecuentemente exhiben variaciones significativas de espesor y por tanto de carácter de registro a registro y tienden a ser lateralmente discontinuas. En definitiva, las curvas de resistividad de unas mismas arenas en dos registros correlacionados pueden ser diferentes. Las variaciones en los estratos de arena debido a los diferentes sedimentos que transportan los fluidos pueden causar diferencias en la resistividad que a veces pueden muy pronunciadas, por ejemplo Agua vs. Gas (Tearpock & Bischke, 1991).

El uso de colores es una excelente forma para identificar y marcar los patrones correlacionables en los registros. Los patrones de correlación pueden ser picos o valles, que pueden ser reconocidos como deflexiones de correlación en correlación siempre y cuando conserve el carácter del nivel analizado (Tearpock & Bischke, 1991).

3.5 PERFILES DE POZO

La importancia de los perfiles de pozo y el tipo de perfil tomado en las diferentes etapas de exploración o desarrollo de un Campo petrolífero, involucran una característica u objetivo al cual la industria apunta, como lo puede ser, el establecer cuantitativamente la

cantidad de aceite que existe en la región, o la potencia de los niveles de arenisca almacenadoras y la cantidad de fluidos asociados a estos.

En la Industria hoy en día son usados una gamma de perfiles para interpretar las Rocas indirectamente, algunos registros miden propiedades, como las tazas de variación de Temperatura, Flujo de Gas y Petróleo, dirección de planos de fractura y hasta la calidad del revestimiento de la pared del pozo, en esta sección se describirán los perfiles tenidos en cuenta en el desarrollo del proyecto los cuales básicamente describen propiedades litológicas (SP, GR e ILD).

3.5.1 Perfil de Rayos Gamma (GR)

Este registro mide la radioactividad Gamma para determinar que tipo de rocas están presentes dentro del conjunto analizado. Generalmente se usa el criterio de la radioactividad en los Shales, puesto que normalmente estos contienen elementos radioactivos, que emiten radiación gamma (ejemplo en arcillas con K); por otra parte, las arenas limpias (cuarzo areniscas u otras arenas maduras con bajo porcentaje de líticos) emiten muy poca radiación gamma.

Entre los elementos de la corteza que emiten radiación gamma detectable por los instrumentos de medición se encuentran el K, U y Th con una abundancia relativa en la corteza terrestre de 2-2.5%, 2-3 ppm y 8-12 ppm respectivamente; de los cuales ^{40}K es el isotopo radioactivo con un 0, 012 % del K natural. Este isotopo decae a ^{40}Ar , con una emisión de partículas gamma de 1,46 MeV de energía. El U ocurre como los radio isotopos ^{238}U y ^{235}U los cuales alcanzan un decaimiento que termina en los isotopos estables de ^{206}Pb y ^{207}Pb respectivamente. El Th ocurre naturalmente como el isotopo radioactivo ^{232}Th el cual tiende a decaer hasta el isotopo estable ^{207}Pb (IAEA, 2003); estos isotopos poseen una concentración característica dentro del contenido natural de cada uno de sus elementos, por lo que además es posible establecer la concentración del elemento natural a través de sus medidas de radiación (Ver Figura 13).

Generalmente las medidas de radiación Gamma se toman en dos formas, medidas de Cuenta Total y de Cuenta Espectral, ver Figura 13 y tabla 2. Las medidas totales, comúnmente usadas, registran las Cuentas de la energía Gamma emitida. Estas miden

un amplio campo de la radiación Gamma y detectan la presencia de fuentes anómalas de radiación, pero no discriminan el elemento fuente de la misma, lo que no permite de manera cualitativa discriminar el mineral o minerales fuente de la misma. Por otro parte, la medida de Radiación Gamma Espectral establece la intensidad de la radiación y la energía de la radiación, permitiendo diagnosticar la fuente de radiación (IAEA, 2003).

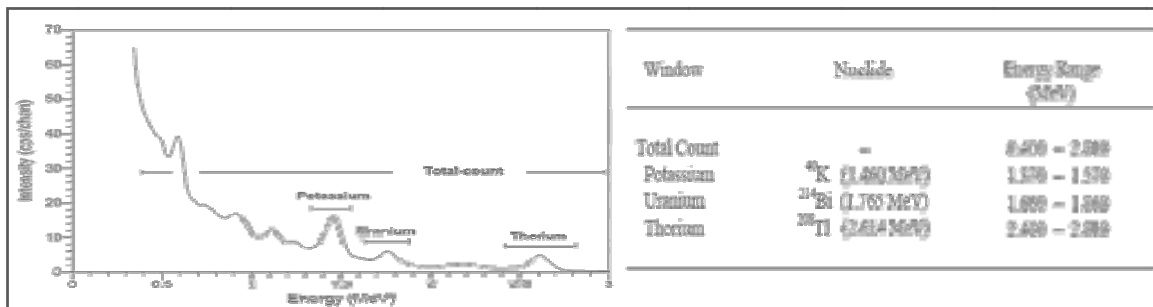


Figura 13. Se aprecia el comportamiento de los diferentes isotopos radioactivos (abajo) y sus diferentes ventanas convencionales de energía a demás del rango que se da a la cuenta total (arriba y derecha) Tomado de IAEA, 2003.

Es importante tener en cuenta el tipo de medición registrada, y la que se registro, para identificar las propiedades correctas, y no incurrir en un error, además es importante tener en cuenta que tipo de minerales constituyen la roca, a la cual se le realiza la medición, ya que existen ciertos minerales enriquecidos en estos isotopos, que pueden enmascarar la propiedad textural típica que se espera, a la hora de interpretar, por esto es aconsejable analizar la roca o en su defecto usar los informes de la sección a estudiar.

3.5.2 Perfil de Potencial Espontáneo (SP)

Estos registros indican la permeabilidad de las rocas en le pozo a través de la medida promedio de la corriente eléctrica generada entre el fluido de perforación y el agua de formación que se encuentra en los espacio porales de las rocas reservorios. Las Areniscas porosas (\emptyset) con altas permeabilidades (K) tienden a generar más electricidad que los Shale impermeables. De esta manera los registros SP son frecuentemente usados para discriminar Arenitas de Shales (ver Figura 14).

El registro de Potencial Espontáneo, aunque simple en su concepción es muy útil e informativo para:

Detectar capas permeables, ubicar sus límites y permitir la correlación entre capas; para determinar los valores de resistividad del agua de formación y dar valores cualitativos al contenido arcillas de una capa.

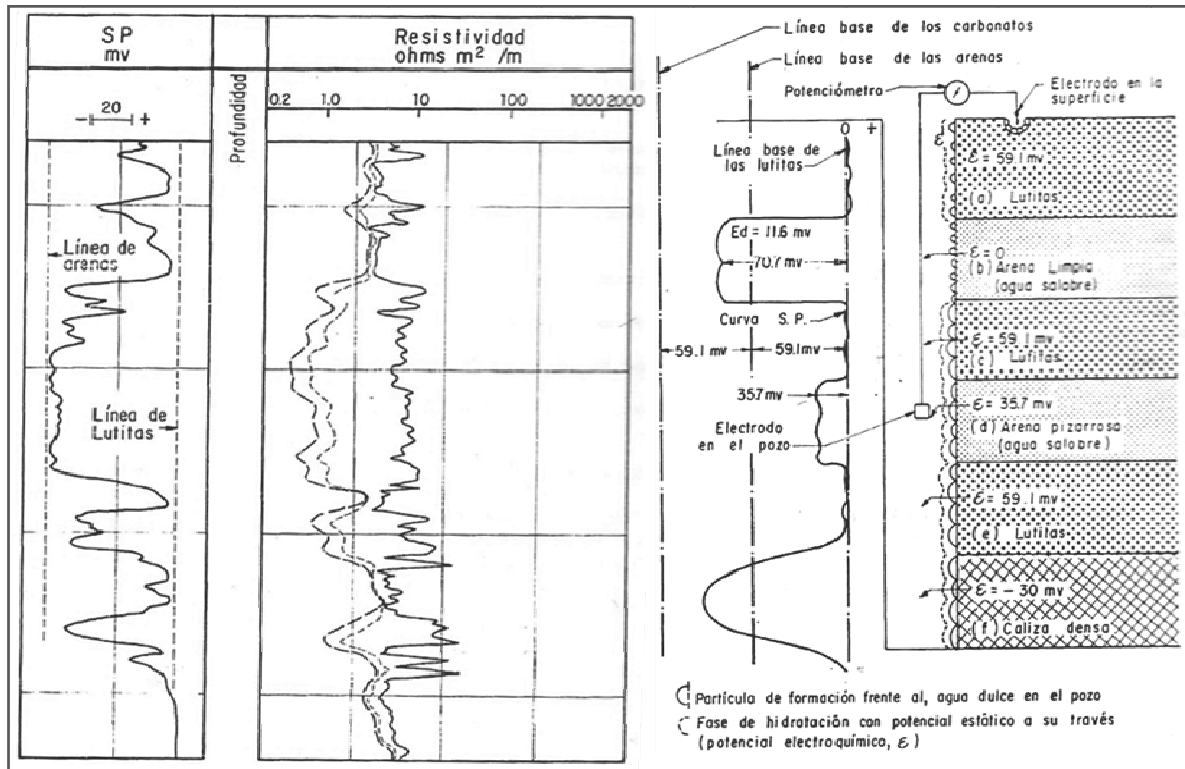


Figura 14. Izquierda, ejemplo de una curva de SP en una Serie de Arena y Arcilla, Tomado de Bendeck Olivella (1992). Derecha, Perfil Hipotético del SP basado en la existencia de diferentes potenciales electroquímicos, de Pirson en Bendeck Olivella (1992).

Corrección de SP, la curva del SP se ve afectada por el diámetro del pozo, el diámetro de invasión y el espesor de la capa, aunque es común el uso de cuadros de corrección estándar, la curva del SP se usa en general en intervalos donde no se necesitan correcciones; el SP, enfrenta algunos problemas comunes y variados los cuales pueden ser superados con un poco de cuidado en la calibración y el uso de la técnica.

3.5.3 Registros de Resistividad

Estos perfiles determinan los tipos de fluidos presentes en las rocas reservorio, por una medida de la conducción efectiva de la electricidad a través de las rocas. Esto sucede debido a que el agua fresca y el aceite son pobres conductores la electricidad, estos,

poseen unas altas mediadas de resistividad, por el contrario, la mayor parte de las aguas de formación son suficientemente saladas que conducen la electricidad con facilidad. Así, las aguas de formación generalmente presentan bajas resistividades.

4. METODOLOGÍA

En el desarrollo del Análisis sedimentológico y estratigráfico de la Fm. Mugrosa en el sector central del Campo Llanito se empleó una metodología consistente en tres etapas (ver Cronograma de Actividades PDF ANEXO): la primera etapa consistió en el análisis, evaluación y control de la información disponible; la segunda etapa comprendió el amarre de las respuestas indirectas y directas disponibles; y la tercera etapa se concentró en la evaluación y discusión de los resultados obtenidos en el análisis estratigráfico.

4.1 PRIMERA ETAPA

Esta etapa se empleó en la recolección y análisis de la información bibliográfica de diversas fuentes, tanto impresas como magnéticas, incluyendo fuentes primarias de información del estado del arte, y secundarias de aplicación en otros sectores del mundo, esta etapa también involucró un periodo de capacitación en descripción de testigos de pozo, siguiendo el estándar de ECOPETROL-ICP.

En esta etapa se identificó la información existente del área piloto como: cartografía, topografía y geológica, informes de estudios anteriores, publicaciones geológicas; se realizó la selección de los pozos y selección de los testigos de pozo a trabajar, se resalta que, las actividades de recolección de información y capacitación no han cesado durante el desarrollo del proyecto; en esta etapa se planteó un modelo conceptual, y se destaca la importancia de los trabajos anteriores, comprometidos en la descripción de la evolución y comprensión de la CVMM; el modelo conceptual se tuvo en cuenta en el periodo de campo. Un punto importante en esta etapa fue definir e identificar con claridad el problema a solucionar.

Como se mencionó la descripción de muestras se realizó siguiendo los parámetros técnicos establecidos por el ECOPETROL – ICP, y reforzado con los conceptos adquiridos en Sedimentología, Estratigrafía, Paleontología, Geología estructural

y Geología del Petróleo, además de otras metodologías como las de INTEQ (1996), y la de SHELL (1995), que enriquecieron la recolección de información.

4.2 SEGUNDA ETAPA

Luego de la recopilación, carga y depuración de información digital de los registros en la etapa I, se analizó e interpretó los 20 registros de pozo del área de estudio (ver Figura 2), se tuvo en cuenta los datos preliminares descritos en núcleos antes de realizar la columna y con los datos de amarre posteriormente. Se usó información petrofísica presente en pruebas hechas al pozo descrito posteriormente se amarro también a la información de la columna a manera de caracterización, esto con el fin de validar la hipótesis de extrapolación y correlación de los productos descritos en el pozo analizado.

En el análisis de núcleos de pozo Gala 7, cumplió el objetivo de identificar sucesiones de facies presentes en la Fm. Mugrosa, para la interpretación de ambientes de sedimentación, este análisis contribuyo también a la etapa de campo, donde, se observaron las mismas características texturales, y además observaron otras características como geometría y estructuras sedimentarias lo que ayudo a definir las mejor.

Los núcleos del pozo descrito se describieron inicialmente a escala 1:10 (ver Figura 15), con base en el formato de descripción de muestras de la Litoteca Nacional Bernardo Taborda Arango de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), posteriormente se construyeron los perfiles texturales a escala 1:100 y se hicieron las columnas estratigráficas a escala 1:100 teniendo como base un formato del ECOPETROL ICP, el cual fue modificado. Las columnas fueron digitalizadas en Corel Draw X3 (ver Figura 16) En este formato se consigno la información de facies, ambientes, sub-ambientes, ciclos estratigráficos y perfiles del pozo (SP, GR) y del núcleo (Core GR, y datos de Sw, So, Φ y k).

Por último, la construcción de la columna estratigráfica del pozo Gala 7 y su respectivo análisis permitió extrapolar las asociaciones de facies en los 20 registros del sector central del Campo Llanito.

POZO: XXXX ZZ		CORE: XXXX		CAJA: ????		PROF. ZZZZ- ZZZZ:		FECHA: Sep / 2007		ANALIZO: Allán Cifuentes	
Profundidad	Litología	Textura / Estructura						FACIE	CICLOS	OBSERVACIONES	
		Mud		Sand		Gravel					
		Clay	sl	vf	f	m	c	lv	C	B	
1ft											

Figura 15. Formato modificado para la descripción de núcleos a escala 1:10 de la Litoteca Nacional Bernardo Taborda Arango.

Profundidad	Litología	Texturas & Estructuras Sedimentarias										Impregnación de Aceite	Facies	Ambientes	Sub-ambiente	Frecuencia Ciclos		Descripción
		Lodo		Arena				Grava								Alta	Baja	
		Arcill	Li	mf	f	m	g	mg	Gn	Gu	Gj							
		M	W	P	G	B												
10 ft																		

Figura 16. Formato para digitalización de Columnas estratigráficas a escala 1:100, modificado de ECOPEPETROL – ICP (2007).

Para la descripción de las rocas siliciclásticas del pozo Gala 7 y de los afloramientos se uso la metodología de descripción de muestras de Baker Hughes INTEQ (1996), la cual fue muy útil en la descripción macroscópica de muestras, dicha metodología se resume en la sección 5.4.

La extracción de muestras representativas en los afloramiento se realizó en la base y tope de cada capa, cada una fue marcada posteriormente con una nomenclatura específica (ver Figura 17 y 18), el cuerpo arenoso (ver Figura 17) presentaba un ancho (visible) mayor de 20m, contra unos 5.5 m de alto aproximadamente, cabe resaltar que no se establece la relación ancho profundidad de este cuerpo de areniscas, porque (1) no es posible medir en su totalidad el ancho del cuerpo y (2) no se pudo establecer la máxima profundidad (thalweg) del cuerpo, porque existe incertidumbre debido a su inclinación y posición. De igual forma se estableció una relación aparente sugirió la siguiente proporción (4:1).

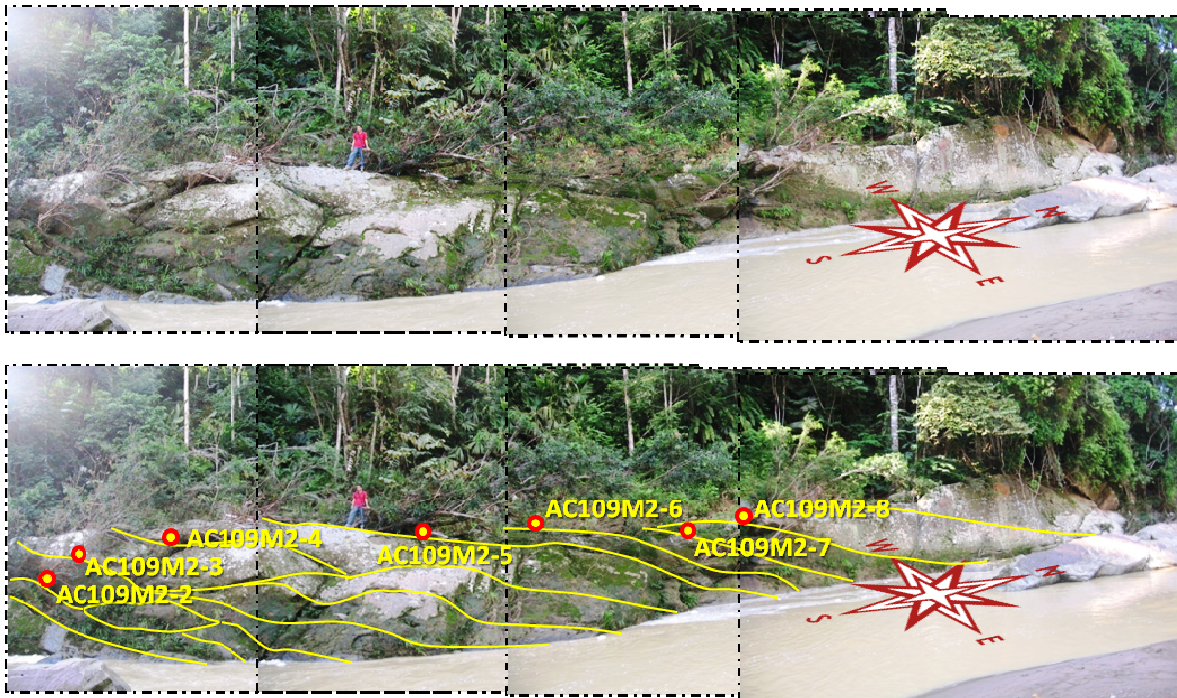


Figura 17: Arriba, afloramiento de donde se extrajeron las muestras tomadas en campo, Abajo, el mismo afloramiento mostrando la geometría de los lóbulos en cuerpos arenosos (barras y en mayor escala la geometría de un canal), los puntos rojos indican la metodología de muestreo aproximado.

Las muestras recolectadas en campo fueron tratadas de la siguiente manera para hacer el respectivo análisis granulométrico, los pasos seguidos se describirán a continuación (ver Figura 19):

Las muestras se desagregaron mediante un mortero de ágata o un rodillo de madera o goma. Se tuvo en cuenta que la presión ejercida sobre la muestra no alterara la

naturaleza de los gránulos. Además es de recalcar que no se deben usar artefactos metálicos para la desagregación, ya que sus fragmentos pueden incidir considerablemente en la medición

Las muestras resultantes fueron pesadas y secadas en una mufla para eliminar la humedad y la cohesión inducida por el agua.

Se realizó dos cuarteados a cada una de las muestras, hasta obtener los pesos entre 240 – 410 g

Para separar los tamaños de grano se usó un juego de tamices estándar en los que se dividió los tamaños representativos, a continuación se vertió la muestra en el tamiz superior y se ubicó en la máquina vibradora donde se realizó la separación.

Una vez separados los diferentes tamaños de grano obtenidos, fueron pesados y marcados.

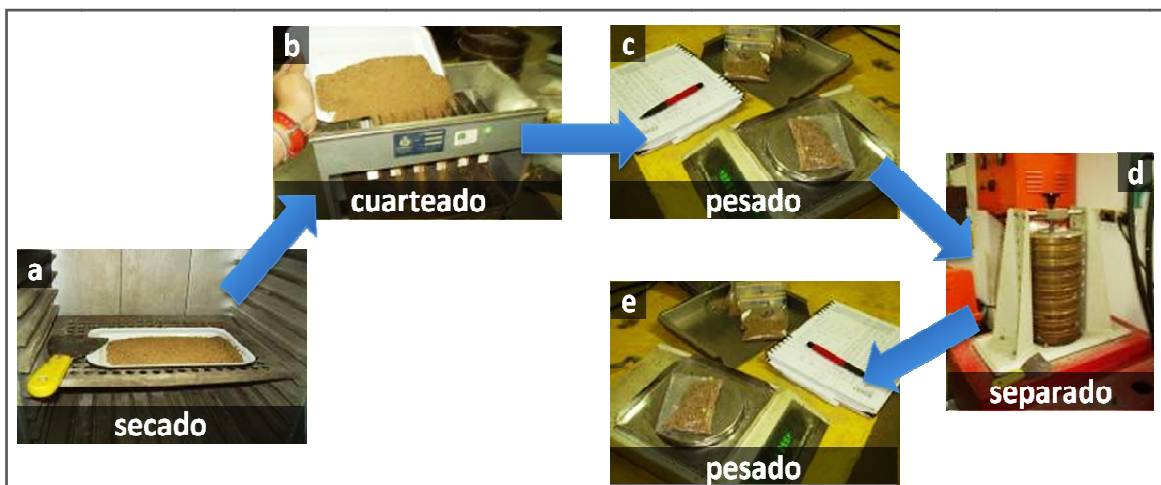


Figura 18. Proceso al que se sometieron las muestras recolectadas en campo a partir de la desagregación de los clastos de las areniscas, a) secado de la muestra en la mufla, b) cuarteado de muestras, c) peso de las muestras secas, d) separación con vibrador y el juego de tamices, e) pesa y marca de las muestras (modificado por Allán Cifuentes de fotografías del laboratorio de Wendy Caballero, 2007).

La nomenclatura de las muestras fue hecha siguiendo la metodología de INGEOMINAS, básicamente datándolas teniendo en cuenta los siguientes parámetros: (1) Iniciales del investigador, (2) Número de la Plancha 1:100.000 del Instituto Geográfico “Agustín

Codassi" (IGAC) en la que se desarrollo el estudio, (3) Código o Nomenclatura de la Sección analizada y (4) Número de Muestra, así, por ejemplo: la primera muestra de la sección uno descrita en campo en la plancha 109-IV-B del IGAC por el investigador Allán Cifuentes se nombraría, **AC-109-M1-001**.

4.3 TERCERA ETAPA

En esta etapa se digitalizaron los registros graficados en Grapher 1.3, luego se vectorizaron se importaron a Corel Draw X3, donde se ajustaron sus respectivas escalas (correlacionados a escala 1:2000 en la vertical), en los registros se tuvieron en cuenta solo los topes de fosiles de Mugrosa, y este mismo fue usado como Datum, en los demás topes propuestos no se encontró confiabilidad porque posiblemente no indican topes de ciclos estratigráficos, sino en cambio, topes de unidades hidráulicas u operacionales.

Se realizaron las correlaciones estratigráficas de los pozos del área de estudio, y se discutió los alcances en la resolución del problema planteado inicialmente.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DEL POZO GALA 7

Para el análisis del pozo Gala 7 se tuvo en cuenta la metodología para descripción de muestras de Wellside Geology de Backer Huges INTEQ, (1996), descrita en la sección anterior, de esta se extrajo: “cada litología debe ser descrita, y observada teniendo en cuenta el siguiente orden”:

(1) Tipo de Roca, (2) Clasificación, (3) Color, (4) Dureza o Grado de consolidación, (5) Tamaño de Grano, (6) Forma de Granos, (7) Calibrado, (8) Aspecto, (9) Accesorios e Inclusiones, (10) Impregnación.

Lo anterior se plantea de manera tal, que el obtener una clasificación básica sea logrado en el orden de observación, desde la característica más sencilla a la más compleja.

En la sección descrita de parte de la unidad estratigráfica B y C de la Fm. Mugrosa los parámetros mencionados (1) corresponden a Rocas Sedimentarias y 2) Clásticas o Terrígenas, como Areniscas, Limolitas y Arcillas y Shales, en diferentes combinaciones. A continuación se describen las demás características en los intervalos representativos descritos en la Columna estratigráfica construida en campo (PDF ANEXO) y Columna del pozo Gala 7 (PDF ANEXO).

5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

5.2.1 Sección de la base de la Formación Mugrosa y su relación con el Horizonte Fosilífero de los Corros en Campo

La Formación Mugrosa, fue catalogada como la Formación Reservorio más importante de la Concesión de Mares. Tal como se menciona con anterioridad se encuentra al interior de la CVMM, ha sido calibrada indirectamente en el Oligoceno (ej. Beggren et al, 1995

en Gómez, 2005; y mencionado en Santacruz, 2004 y Ramón & Cross, 1997) y se encuentra separada de las demás unidades sedimentarias de la secuencia Terciaria por dos importantes niveles fosilíferos. (1) El “nivel fosilífero de los Corros” (el cual es su límite inferior con la Formación Esmeraldas) y (2) el Nivel fosilífero de Mugrosa (límite superior con la Formación Colorado). El espesor de la Formación Mugrosa va desde los 800 metros y puede alcanzar los 1200 metros como se reporta en el Campo La Cira (ECOPETROL - ICP, 2006).

Aunque las mejores secciones descritas corresponden a la Shell (1938), con un espesor de 1230 m aproximados en la provincia de Venegas, y Elías Gómez (1998) reporta en los alrededores de la carretera Panamericana una sección de 300 m aproximadamente, en este estudio se prueba con la sección de Uribe-Uribe (ver Figura 19) , debido a la secuencia continua entre el Cretácico (carretera Girón – Lebrija – desvío de La Azufrada), hasta el Terciario (en el desvío de la carretera desde la Azufrada hasta el municipio de Sabana de Torres).

Tradicionalmente la Fm. Mugrosa ha sido dividida en dos niveles operacionales (B y C) siendo definido el nivel inferior (C) como un nivel mas arenoso y por tanto el mejor reservorio.

Partiendo de los antecedentes discutidos en secciones anteriores, se decidió concentrar el trabajo de campo en la base de la Formación Mugrosa con el fin de interpretar las principales condiciones de depositación que causan que en esta se presente (con respecto a las unidades adyacentes) una mayor conexión de los niveles arenosos. Siendo la caracterización sedimentológica (análisis granulométrico por tamices estándar) y la correspondiente comparación de esta con las condiciones estratigráficas la mejor forma de entender tales circunstancias (*Cifuentes y Fonseca, 2008*).

Estratigráficamente, se inició la descripción desde la Formación Esmeralda. La cual ésta constituida en este sector por algunas de las litofacies descritas en la Formación Mugrosa; aunque presentando una secuencia marcada por un ciclo de máxima inundación, “*horizonte fosilífero de los corros*”, proliferando las litofacies más finas las cuales están asociadas a depósitos de cuenca de inundación (ver figura 20), la base de la Fm. Mugrosa, se presenta como una superficie de reactivación, respecto al horizonte de Esmeraldas (*Cifuentes, A. y Fonseca C., 2008*). Por otro lado, tal como se observa en

la columna estratigráfica compuesta (PDF ANEXO) los depósitos de geometrías de canal observados hacia el tope de la Fm. Esmeraldas en el área de estudio, no solo se amalgaman menos, sino que también son de menor espesor, evidenciando condiciones con un mayor y constante espacio de acomodación. Llegando en ciertos niveles al desarrollo de mantos carbonosos superiores a los 80 centímetros de espesor (Cifuentes, A. y Fonseca C., 2008).

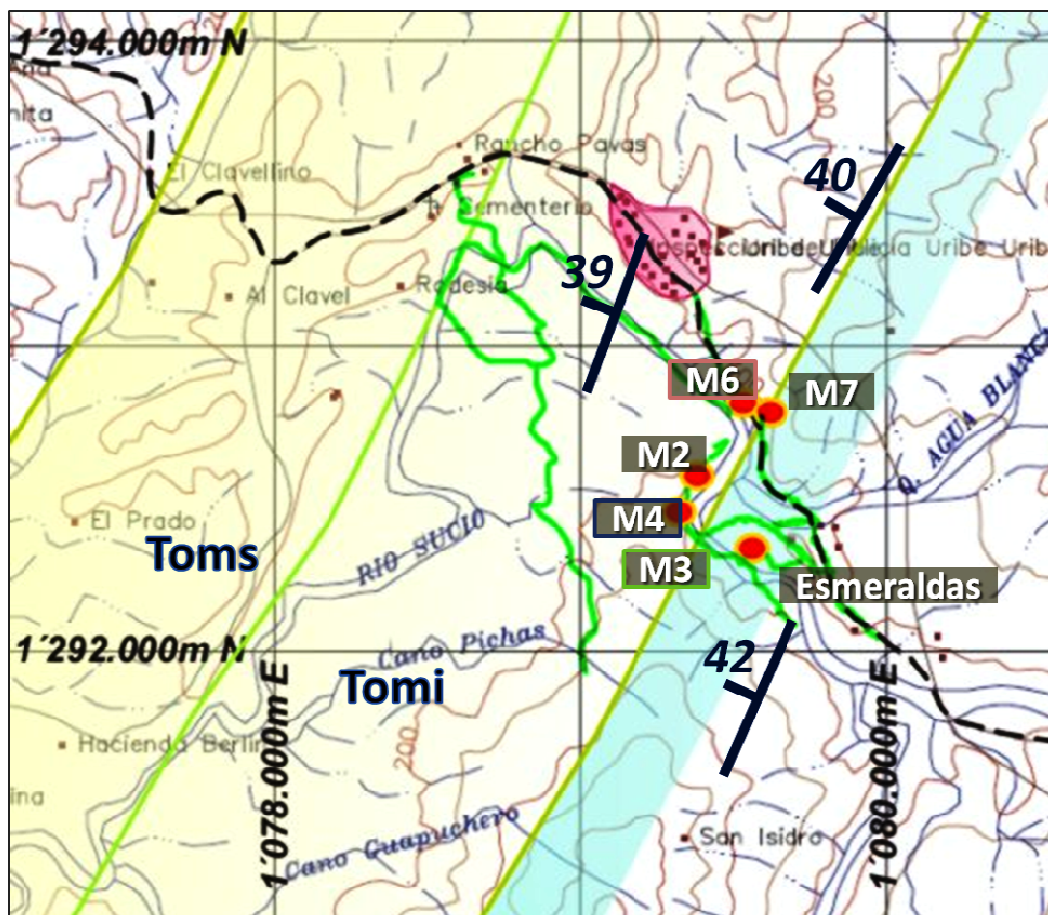


Figura 19. Localización del caserío de Uribe- Uribe, ubicado en el municipio de Lebrija-Santander. Los círculos rojos indican cada una de las secciones descritas y en la columna de estratigráfica compuesta de la zona de contacto entre la Formación Mugrosa y Esmeraldas. Modificado de plancha 109– II– B del IGAC

Dentro de la Formación Esmeraldas, se logró identificar el “Nivel Fosilífero de los Corros” y es este el dato más significativo para puntualizar las condiciones de acomodación que gozaba la Formación Esmeraldas en su Tope. Raíces, madrigueras horizontales, madrigueras verticales, tanto en las facies arcillosas, como en las areno - limosas, así como fósiles calcáreos fueron observadas. Siendo de importancia el mencionar que los

contactos entre las facies lodosas o de llanura de inundación son difusos en su totalidad, señalando, de esta manera una continuidad bastante marcada de las condiciones de alta acomodación (Cifuentes, A. y Fonseca C., 2008).

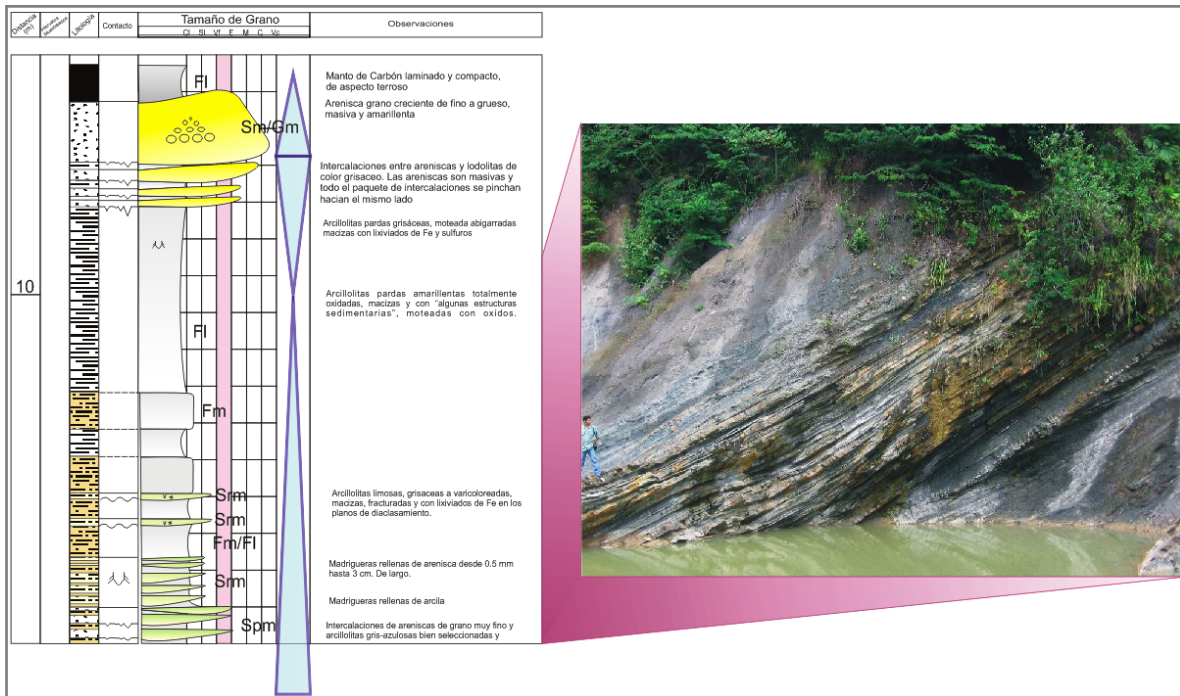


Figura 20. Afloramiento mostrando los rasgos típicos de la Formación Esmeraldas, gran cantidad de depósitos de llanura de inundación e intercalaciones entre Areniscas y Lodolitas, ambas de poco espesor.

Por otra parte la Formación Mugrosa en su base (posición estratigráfica objeto de este estudio) muestra tal como se mencionó en la sección dos (2), no solo el desarrollo de un mayor amalgamamiento en los depósitos de canal sino también un aumento de espesor de los mismos (ver figura 21).

Al comparar el ambiente de depositación de la zona de contacto entre la Fm. Mugrosa y Esmeraldas, se observó un contacto entre ellas discordante (Cifuentes, A. y Fonseca C., 2008; ver columnas generalizadas de la CVMM Figura 3 y secciones 2.3.2.3. a 2.3.2.5), en la bibliografía analizada no se ha llevado a detalle el estudio de las condiciones de acomodación a nivel de formación, lo que nos lleva a considerar la existencia de un tiempo de erosión y no depositación. En la base de la Fm. Mugrosa éste Hiato Estratigráfico estaría representado por el avance (erosión o avulsión) de canales a través de la cuenca de inundación, con un bajo a moderado espacio de acomodación

permitiendo que el espesor promedio de sus depósitos fuesen superiores a los dos metros de espesor en su parte más gruesa.



Figura 21. Afloramiento que muestra el espesor y gran amalgamamiento entre los depósitos de canal en la base de la Formación Mugrosa.

Es importante mencionar también, que en toda la Cuenca del Valle Medio del Magdalena la Fm. Mugrosa muestra canibalismo (erosión o bajo potencial de generación de las características geomorfológicas de alto espacio de acomodación) sobre el contacto con la Formación Esmeraldas, lo que sugiere que el sistema del río en esta sección de la Fm. Mugrosa corta la topografía de su valle y borró gran parte del registro estratigráfico preexistente (Cifuentes, A. y Fonseca C., 2008).

Al hacer el análisis sedimentológico de las areniscas de la Fm. Mugrosa, se encontró un gran contenido de Feldespato Potásico (40%), de granos subangulares hacia la base de los depósitos de canal, este contenido de Feldespato y la inmadurez textural de las rocas analizadas podrían coincidir con un aumento en el gradiente del río y una cercanía significativa a una cordillera en desarrollo, y por tanto, un aumento en la actividad tectónica, pasando a un estado de poca o nula subsidencia en la cuenca como lo sugieren otros autores como Cediell, et al (2003) para este periodo Eoceno –Oligoceno temprano, con un desarrollo inicial de la Cordillera Central y un traslado/vergencia de la deformación de W a E; cabe mencionar que las condiciones vuelven a cambiar en el llamado intervalo operacional B, donde las facies de llanura de inundación vuelven a protagonizar al registro estratigráfico y por su coloración verdosa señalan la existencia de condiciones significativamente reductoras (poca circulación, alto espacio de acomodación y suministro de sedimento).

De igual forma, fueron encontradas hacia la base areniscas cuarzosas, feldespáticas y líticas negras; una textura de granos medios a finos, subredondeados, que varían de moderado a bien seleccionados que presentan estratificación artesa y poca bioturbación. Como se mencionó, estos depósitos se encuentran frecuentemente asociada a las bases, indicando así superficies de reactivación o depósitos de fondo, caracterizados por la presencia esporádica de areniscas conglomeráticas, intraclastos lodosos y algunas veces carbonosa.

En un nivel estratigráfico superior, se observaron también areniscas cuarzosas y subfeldespáticas, intercaladas con arcillolita de color gris verdoso, así como, con areniscas lodosas con laminación ondulosa y artesas incipientes, señalando la transición entre un subambiente restringido y otro activo (ej. Canal abandonado).

Además se observaron limolitas arcillosas verdes, limolitas arenosas y areniscas lodosas bien seleccionadas que contenían estructuras sedimentarias (ichnofósiles) orgánicas tipo Skoyenia, como:

Planolites: madrigueras con paredes irregulares que varían desde circulares a elípticas en sección cruzada, usualmente horizontales y de dimensiones altamente variables (Pemberton, 1992; Basan, et al 1978), pueden presentarse desde los ambientes fluviales hasta los marinos.

Techichnious (?) estructuras verticales tabulares originadas por anélidos u otra serie de gusanos las cuales son constituidos por una serie de paquetes o láminas herméticas concéntricas, cóncavas hacia arriba y raramente cóncavas hacia abajo por donde migra el animal que en él vive (Pemberton, 1992). Estas trazas se desarrollan en sectores de pantanos y lagos que ocupan la parte abandonada por las aguas de un río, como antiguos meandros, lechos antes muy anchos y luego reducidos por alguna causa que haya afectado al caudal del río.

Beconites: Comprende un gran número de madrigueras segmentadas, teniendo una superficie similar al esqueleto de una serpiente y probablemente creada por un organismo como un gusano, que empuja el sustrato. Algunos terminan en formas elípticas de alrededor de 1.5cm en de diámetro, representan actividad en la madriguera.

El productor de la traza se cree entierra a una profundidad de no más de unas pocas decenas de centímetros (Gevers, T.W et al 1971).

Root marks / Dikaka son las trazas dejadas por las raíces de las plantas en antiguas zonas de suelos (paleosuelos). Las marcas de raíz típicamente muestra un patrón ramificaciones hacia abajo en. Las marcas de Raíz se encuentran algunas veces como marcas grises o verdosas con un patrón dendrítico penetrando paleosuelos rojizos o marronaceos. Este contraste de colores permite identificarlas (Gore, P 2006)

También se identificaron otras madrigueras que no pudieron ser diferenciadas, pero que sugerían clara evidencia de la exposición subaérea representada como paleosuelos y otras trazas.

5.2.1.1 ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y TEXTURAL DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE CAMPO

Como complemento de la descripción textural de la columna se realizó una clasificación usando la técnica granulométrica de tamices estándar sobre las muestras de areniscas recolectadas en campo (ver la sección 4. Metodología numeral 4.2 y fotografías en CD anexo sección Descripción_ Muestras) con el fin de obtener indicadores geoestadísticos que permitan plantear un significado medio ambiental; la descripción del proceso realizado se describe a continuación según dos métodos:

- **MÉTODO DE PERCENTILES**

De las graficas de las Figuras 22 a la 26 y aplicando la metodología para el cálculo estadístico de tamaños de grano sugerido por Folk, R. L. & Ward, W.C (1957), se desprenden los datos que se describirán a continuación. Las muestras fueron nombradas teniendo en cuenta la nomenclatura descrita en la sección 4.2, y la ubicación de cada sección analizada en la columna puede apreciarse en la Figura 19 y en el numeral 5.2.1 de la sección anterior .

Es de resaltar que los resultados obtenidos, fueron descritos en términos de sedimento inconsolidado, debido a que las muestras fueron sometidas a un proceso de desagregación física.

Media Grafica (ver Tabla 3 a 8)

$$Mz = \frac{\emptyset 16 + \emptyset 50 + \emptyset 84}{3}$$

La media aritmética en el conjunto total de datos fue cercana a 1,5 Φ , indicando valores de tamaño de grano entre arena gruesa (**Sd u**) y arena media (**Sd m**), el rango de valores estuvo entre 0,55 Φ y 2,2 Φ , arena media-gruesa y arena muy fina-fina respectivamente. Siendo el grupo de muestras de la sección AC-109-M2 las arenas más gruesas y las muestras de las secciones AC-109-M3, AC-109-M4, AC-109-M6 y AC-109-M7 las de tendencia de arenas más finas, hacia el tope de las capas (ver Tablas 2 a 7, y Figuras 22 a la 26).

Mediana

$$Md = \emptyset 50$$

Las graficas de frecuencia simple muestran unas tendencias bimodales en el conjunto de muestras de la sección AC-109-M2, las cuales tienen tamaños de grano entre arena media y gruesa, con modas aproximadas a 0,65 Φ y 2,32 Φ ; en las muestras de la sección AC-109-M3 la moda de tamaños de grano se sitúa en la arena media con 1,8 Φ ; en las muestras de la sección AC-109-M4 se presenta una moda de arenas gruesas a la base y luego una moda de arenas medias al final del afloramiento, el valor promedio se ubico en 1,8 Φ ; en las muestras de la sección AC-109-M6, la moda se estableció en los tamaños arena media a fina con un valor promedio de 1.67 Φ , en las muestras de la sección AC-109-M7 se encontró una moda de arenas finas, con un valor 2,2 Φ (más detalles ver Tablas 2 a 7, y Figuras 22 a la 26).

Desviación estándar Φ global

$$\sigma i = \frac{\emptyset 84 - \emptyset 16}{4} + \frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{6,6}$$

Las muestras analizadas exhiben de manera general un pobre a moderado calibrado, con una desviación estándar en promedio de σi 1,21 en AC-109-M2 y AC-109-M3; σi 0,97 en AC-109-M4 indicando una moderada a pobre selección; σi 1,23 en AC-109-M6 y 1,29 AC-109-M7 indicando una pobre selección. El rango de valores entre σi 0,96 a σi 1,74 ubica a estas muestras como arenas pobre a moderadamente calibradas (ver Tablas 2 a 7, y Figuras 22 a la 26).

Asimetría Global

$$SKi = \frac{(\phi 84 + \phi 16 - 2 * \phi 50)}{2 * (\phi 84 - \phi 16)} + \frac{(\phi 95 + \phi 5 - 2 * \phi 50)}{2 * (\phi 95 - \phi 5)}$$

En los afloramientos de las secciones analizadas en campo, se observó que las asimetrías se conservaron con una tendencia aproximadamente Negativa a Simétrica indicando un predominio de partículas de tamaños fino. En las muestras analizadas de las secciones AC-109-M3, AC-109-M4 la asimetría fue básicamente Gruesa a Rigurosamente Gruesa; en las muestras de la sección AC-109-M6 las Asimetrías fueron básicamente Gruesas a Simétricas; en las muestras de las sección AC-109-M7 una Asimetría Gruesa, y en las muestras AC-109-M2 gráficamente la asimetría no fue clara debido a su carácter bimodal, pero cuantitativamente se estableció una tendencia cercana a la simétrica (ver Tablas 3 a 8, y Figuras 22 a la 26).

Kurtosis

$$KG = \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{2,44 * (\phi 75 - \phi 25)}$$

El grado de apuntamiento o empinamiento de una curva se conoce como Kurtosis, este parámetro suele ser calculado de mano a otros parámetros de tamaño de grano, pero su significancia geológica es desconocida (Boggs, 2001; Blatt, 1972), por lo tanto aunque no parece tener ningún valor interpretativo, algunos la suelen usarla en la determinación de ambientes a través del calibrado de la muestra.

Folk & Ward (1957) encontraron que en las muestras analizadas del Río Brazos, la agudeza y la asimetría se debían a una mezcla de dos poblaciones en distintas proporciones. La predominancia de una población arenosa (fina), asociada a otra (gravosa) subordinada, origina una asimetría negativa, mientras que el predominio de grava asociada a arena, da una asimetría positiva. La mezcla de las dos poblaciones en proporciones iguales, origina distribuciones muy platikúrticas (suaves o aproximadamente homogéneas) mientras que cuando predomina una de ellas, la distribución es leptokúrtica o excesivamente agudas en el centro.

TABLA 2. *Datos de las Muestras AC-109-(M3, M4, M6 y M7) normalizados a porcentaje obtenidos tras el proceso de peso y tamizaje en el laboratorio.*

Φ	AC109M3-01	AC109M3-02	AC109M4-02	AC109M4-03	AC109M6-01	AC109M6-02	AC109M6-03	AC109M6-04	AC109M6-05	AC109M7-01
-0.75	2.7	1.6	5.5	2.1	2.0	4.0	2.9	4.3	3.6	1.8
0	5.5	3.7	6.8	6.0	4.7	8.9	4.2	14.9	8.9	6.0
1	14.9	7.1	25.9	2.8	8.4	17.2	12.5	13.2	27.5	9.9
2	44.6	41.2	44.8	19.5	37.7	28.4	30.5	41.6	36.5	25.9
3	19.0	30.1	13.2	58.8	32.5	29.6	42.4	13.4	15.4	37.7
3.25	2.0	2.1	0.5	3.1	4.3	4.1	1.6	3.6	1.3	2.9
4	6.1	7.1	1.7	6.4	4.3	5.4	2.7	5.7	4.0	7.7
4.25	5.2	7.1	1.6	1.2	5.9	2.6	3.3	3.4	2.9	8.2

TABLA 3. Datos de las Muestras AC-109-M2 normalizados a porcentaje obtenidos tras el proceso de peso y tamizaje en el laboratorio.

Φ	AC109M2-02	AC109M2-03	AC109M2-04	AC109M2-05	AC109M2-06	AC109M2-07	AC109M2-08
-0.68	2.9	2.2	2.2	2.3	5.9	0.5	12
0	6.5	5	8.5	8	12.5	4.3	23.8
0.66	15.2	18	22.1	18	16	18.2	27.4
1	7.7	9.2	11	8.5	5.8	10.1	8
1.32	14.9	16	15.8	15.3	9.1	11	5.3
1.64	11.5	13.6	13.8	10.4	10.7	15	9.6
2.32	27.3	23.5	17.1	18.5	22	22.3	9.7
3.31	6.9	4.9	3.5	8	0.8	3.1	0.5
4	7.1	5.9	3.3	7.4	16.2	8.1	6.8

TABLA 4. Datos de las muestras AC-109-M2 mostrando los diferentes parámetros estadísticos tenidos en cuenta.

Percentiles	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5	M2-6	M2-7	M2-8
Mz	1.37	1.20	1.05	1.22	1.48	1.20	0.55
Mδ	1.45	1.25	1.10	1.20	1.30	1.25	0.45
σ_i	1.09	1.04	0.93	1.20	1.74	1.27	1.23
Kg_i	1.16	1.35	1.07	1.15	1.28	1.46	1.23
Sk_i	-0.05	0.00	-0.08	0.06	0.20	0.01	0.29

TABLA 5. Datos interpretados de las muestras AC-109-M2.

Percentiles	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5	M2-6	M2-7	M2-8
Mz	Sd m	Sd m	Sd mu	Sd m	Sd m	Sd m	Sd C
σ_i	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado moderadamente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido
Sk_i	Cerca a la simetria	Cerca a la simetria	Cerca a la simetria	Cerca a la simetria	Asimetria fina	Cerca a la simetria	Asimetria fina
Mz promedio	1.15 Sd mu						

TABLA 6. Datos de las muestras AC-109-(M3, M4, M6 y M7) mostrando los diferentes parámetros estadísticos tenidos en cuenta.

Percentiles	M3-1	M3-2	M4-1	M4-2	M6-1	M6-2	M6-3	M6-4	M6-5	M7
Mz	2.02	1.65	1.18	2.22	1.97	1.58	1.85	1.43	1.12	2.08
Mδ	1.90	1.65	1.25	2.35	1.90	1.70	2.00	1.50	1.25	2.20
σ_i	1.19	1.22	0.98	0.96	1.14	1.32	1.10	1.28	1.28	1.29
Kg_i	1.64	1.66	1.25	2.07	1.44	0.89	1.13	1.15	1.49	1.26
Sk_i	0.08	0.03	-0.14	-0.35	0.05	-0.12	-0.22	-0.03	-0.04	-0.14

TABLA 7. Datos interpretados de las muestras AC-109-(M3, M4, M6 y M7)

Percentiles	M3-1	M3-2	M4-1	M4-2	M6-1	M6-2	M6-3	M6-4	M6-5	M7
Mz	Sd f	Sd m	Sd m	Sd f	Sd m - f	Sd m	Sd m - f	Sd m	Sd m	Sd f
σ_i	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado moderadamente distribuido	Calibrado moderadamente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido	Calibrado pobremente distribuido
Sk_i	Cerca a la simetria	Cerca a la simetria	Asimetria Gruesa	Asimetria rigurosamente Gruesa	Cerca a la simetria	Asimetria Gruesa	Asimetria Gruesa	Cerca a la simetria	Cerca a la simetria	Asimetria Gruesa
Mz promedio	1.83		1.70		1.59					2.08
	Sd m - f		Sd m - f		Sd m					Sd f

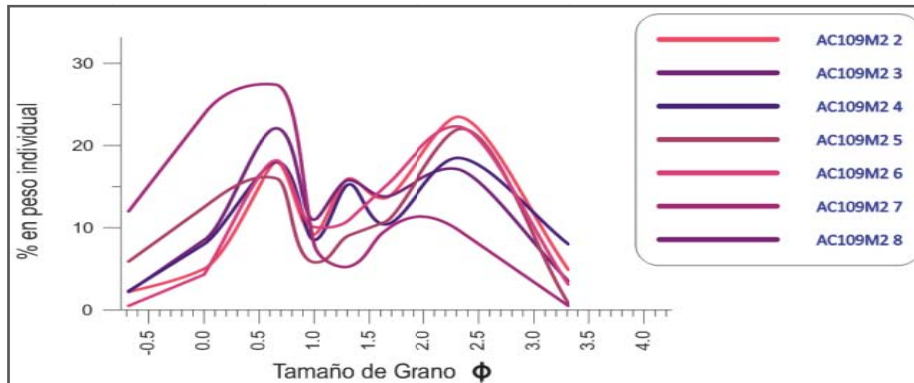


Figura 22. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M2, mostrando una tendencia bi-modal, conservada en todas las muestras, un calibrado medianamente distribuido, y una forma sí se interpola Mesokúrtica o Platokúrtica.

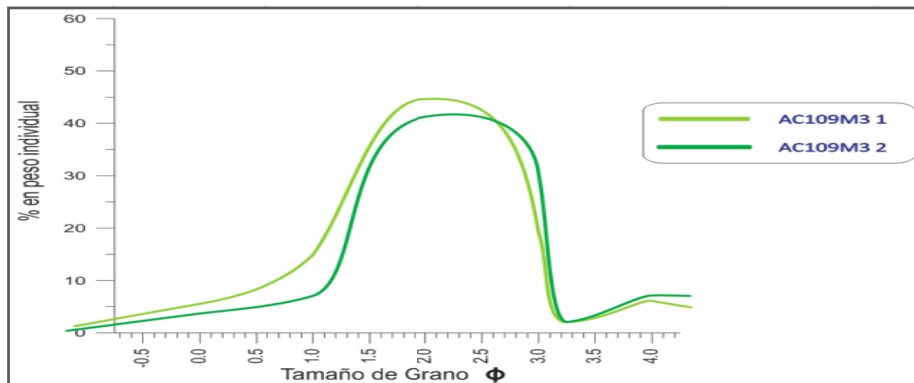


Figura 23. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M3. Mostrando una asimetría gruesa a simétrica y un calibrado moderado a bueno, su forma es leptokurtica a Mesokurtica.

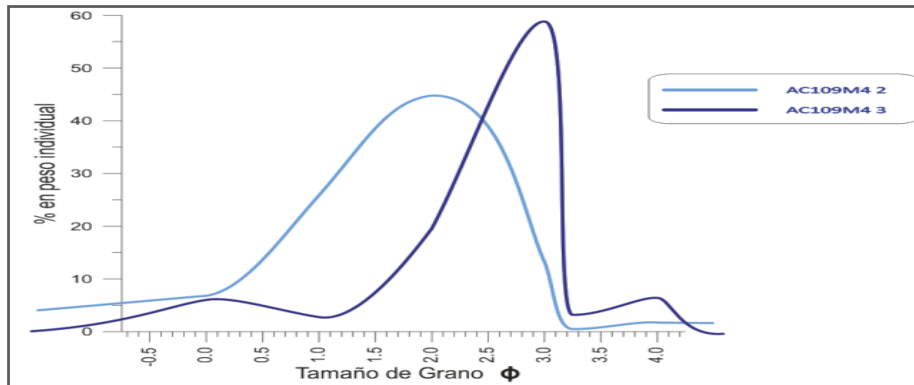


Figura 24. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M4. Mostrando una asimetría gruesa a simétrica y un calibrado bueno a moderado se puede apreciar una forma Mesokurtica en AC-109-M4-02 Y leptokurtica EN AC-109-M4-03.

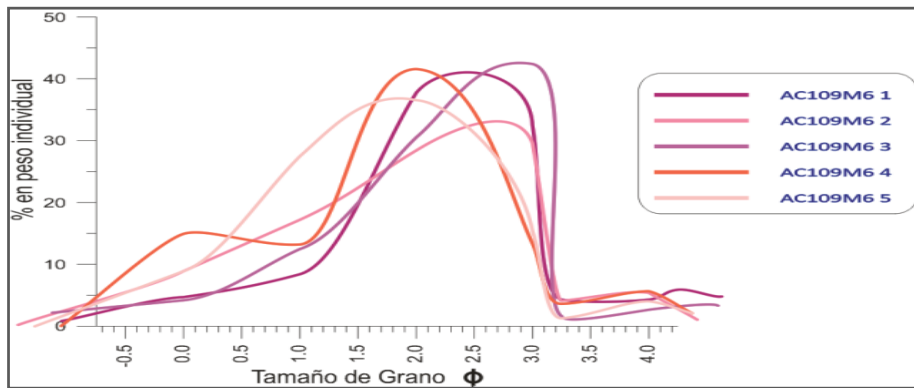


Figura 25. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M6. Mostrando una asimetría gruesa un calibrado moderado se puede apreciar formas Mesokurtica a Platokurtica en AC-109-M6-02.

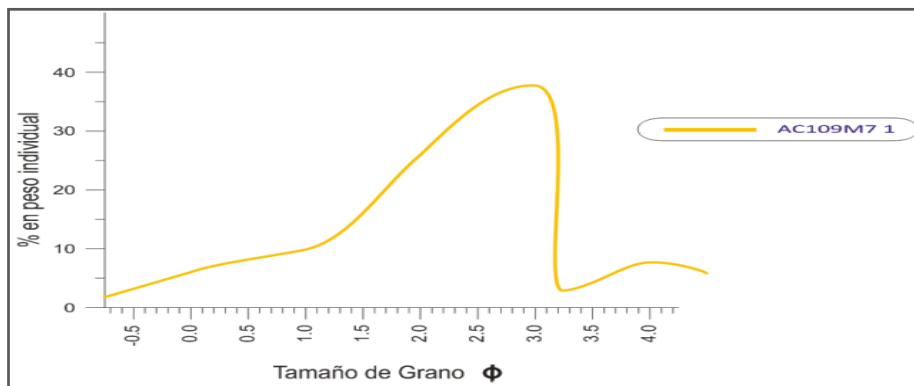


Figura 26. Curvas de frecuencia simple del afloramiento AC-109-M7. Con una asimetría gruesa, pobre calibrado y una forma Mesokurtica a Leptokurtica.

- **MÉTODO DE MOMENTOS**

El método de momentos es propuesto por Krumblein & Pettijohn (1938); este método aunque un poco tedioso, presenta una serie de resoluciones aplicadas a problemas geológicos ya que ha sido empleado de múltiples maneras en la descripción de ambientes de sedimentación reciente (ej. Friedman 1961, 1967)

Para efectuar el método se partió de los datos iniciales descritos en la sección anterior (ver Tablas 2 y 3) de las muestras de areniscas recolectadas durante el trabajo de campo. El objeto de este análisis es demostrar la importancia de los datos obtenidos a partir del análisis granulométrico, en las interpretaciones ambientales.

Algunas de las formulas para calcular los parámetros del tamaño de grano por el método de momentos son:

Media (primer Momento)

$$\bar{X}\phi = \frac{\sum fm}{n} \quad (1)$$

Desviación estándar (segundo Momento)

$$\sigma\phi = \sqrt{\frac{\sum f(m - \bar{X}\phi)^2}{100}} \quad (2)$$

Asimetría (tercer Momento)

$$Sk\phi = \frac{\sum f(m - \bar{X}\phi)^3}{100 * \sigma\phi^3} \quad (3)$$

Kurtosis (cuarto Momento)

$$K\phi = \frac{\sum f(m - \bar{X}\phi)^4}{100 * \sigma\phi^4} \quad (4)$$

Donde, f=Porcentaje en peso en cada grado de tamaños de grano presentes.

m=Punto medio de cada tamaño de granos en valores de ϕ .

n=Total de muestras; 100 cuando f es en porcentaje.

Friedman (1961, 1967), en un intento de relacionar la distribución de los tamaños de grano, observó directamente los ambientes de sedimentación en sedimentos recientes, en el estudio tuvo en cuenta muestras de arena de grano relativamente fino (arenas y limos), unimodales, tomadas de diferentes partes del mundo, representando los ambientes de playas y ríos; para esto se basó en el método de momentos, graficando los parámetros asociados a la selección de los granos/calibrado (Desviación Estándar) y la variación de Gruesos respecto a finos (Asimetría). En un ejercicio de comparación se obtuvieron estos datos y se graficaron para establecer la *afinidad ambiental aparente* de nuestras muestras (ver Figura 27 y tabla 8 y 9).

TABLA 8. Datos de las muestras AC-109-(M2 y M3) mostrando los diferentes parámetros estadísticos tenidos calculados a través del método de Momentos.

ESTADISTICA	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5	M2-6	M2-7	M2-8	M3-1	M3-2
$X\phi$	1.39	1.31	1.06	1.31	1.33	1.36	0.62	1.67	1.99
$\delta\phi$	1.07	0.99	0.93	1.09	1.35	1.00	1.17	1.16	1.10
$Sk\phi$	0.20	0.39	0.54	0.41	0.35	0.64	1.06	0.15	-0.07
$K\phi$	2.83	3.21	3.49	2.74	2.24	3.18	3.76	2.96	3.16

TABLA 9. Datos de las muestras AC-109-(M4, M5, M6 y M7) mostrando los diferentes parámetros estadísticos calculados a través del método de Momentos.

ESTADISTICA	M4-1	M4-2	M6-1	M6-2	M6-3	M6-4	M6-5	M7
$X\phi$	1.20	2.12	1.92	1.61	1.82	1.39	1.31	2.05
$\delta\phi$	1.03	1.01	1.11	1.23	1.07	1.27	1.15	1.21
$Sk\phi$	0.13	-1.23	-0.22	-0.18	-0.47	0.15	0.35	-0.34
$K\phi$	3.36	4.60	3.18	2.37	3.23	2.53	2.91	2.77

“Las arenas de playas son claramente distinguidas de las arenas de río por presentar una combinación entre Asimetría negativa (gruesa) y buen calibrado (baja desviación estándar). Las arenas de Río tienden a poseer una asimetría positiva, y un calibrado en menor proporción; sin embargo los ríos de arenas gruesas pueden tener una asimetría negativa” Friedman (1961, 1967).

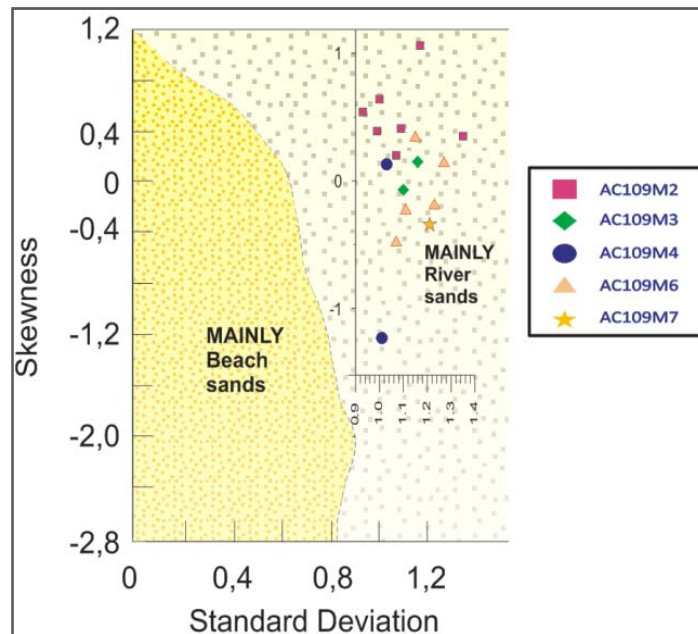


Figura 27. Distinción entre las arenas de playa y las arenas de río, en base a la asimetría y desviación estándar calculadas por el método de momentos (Friedman 1961), aquí se graficaron los datos obtenidos con el método de momentos.

“Las asimetrías positivas/finas de los ríos se deben a la presencia de materiales finos suspendidos como arcillas y limos en muy alta concentración. En las playas esta situación no se presenta, porque existen dos agentes principales que se encargan de removerlos y transportarlos a otros lugares, estos agentes son la acción de las olas y el viento” Boggs (2001).

5.2.2 Sección Formación Mugrosa en el Pozo Gala 7

La descripción de la sección intermedia de la Fm. Mugrosa se realizó a partir de núcleos del pozo Gala 7 (ver Figuras 28 - 31; y PDF en CD ANEXO Col_Gala 7), situado en el Campo Gala, entre las coordenadas N: 1280211.00; E: 1023600.00. El pozo fue descrito de base a tope, con el fin de seguir la secuencia real en que se depositaron los sedimentos. Inicialmente se analizó el intervalo a una escala 1:10, y luego de realizar las asociaciones de facies se digitalizó a escala 1:100.

Los resultados obtenidos se describirán a continuación:

En el intervalo que va desde **6652** hasta **6640** se observó una Arenisca lodosa de color gris marronaceo el cual varía de 10YR 5/2 a 10YR 6.5/3, en la base del intervalo los colores varían de 5Y 8/1 hasta 5Y 7/1, la roca es friable, los granos varían de subangulares a subredondeados, y se encuentran moderadamente seleccionados. En algunos sectores se observaron cristales de 3 mm de Mica Biotita y granos flotantes de Cuarzo de 2 mm y 6 mm. La impregnación varía de incipiente – leve a moderada. Se observaron intraclástos a todo lo largo del intervalo. En algunos sectores se observaron relictos de estratificación (?).

En el intervalo que va desde **6633** hasta **6638'5** se describió una Arenisca lodosa de color gris marronaceo 10 YR 5/2, la roca es friable, posee granos que varían de subangulares a subredondeados, que se encuentran moderadamente calibrados. En algunos sectores se observaron granos flotantes de cuarzo que varían de 2 mm a 10 mm. En la base de núcleo se encuentra una arenisca muy gruesa. La roca de este intervalo posee una impregnación leve. Se observaron intraclástos y fracturas abiertas en algunos sectores.

En el intervalo que va desde **6630'6** hasta **6624'5** se observó una Arenisca lodosa de color gris marronaceo 10YR 5/2, friable, hacia el tope del intervalo la roca se encuentra pulverizada. Posee granos subredondeados. En la base del intervalo se observó una intercalación de granos gruesos y finos a manera de foresets lo cual indicó la estratificación de la roca. Se observaron intraclástos, fracturas inducidas y relictos de estratificación cruzada. La roca presenta una leve impregnación de aceite.

En el intervalo que va desde **6624** hasta **6612'5** se describió una Arenisca lodosa de color gris marronaceo que varía desde 10YR 5/2 hasta 10YR 6.5/3. La roca se encuentra empobrecida en cemento, posee granos que varían de subangulares a subredondeados y posee una selección que varía de moderada a buena. Se observaron granos flotantes durante todo el intervalo. La saturación de aceite varía de incipiente a leve, además se observaron madrigueras no identificadas e intraclástos. En algunos sectores se observaron pequeños lentes de cuarzo.

El intervalo que va desde **6612'5** hasta **6606'8** se observó una Arenisca Conglomerática, color marrón que varía de 10YR 6.5/3 a 10YR 5/2. Posee granos subredondeados a redondeados y presenta granos flotantes de cuarzo que alcanzan un diámetro de hasta 10 mm. La roca presenta también intraclastos de arcilla y fracturas abiertas.

Del intervalo **6606'11** a **6603** se encontró una Arenisca Lodosa, color marrón 10YR 6.5/3, su granulometría varía de subredondeada a redondeada y se encuentra moderadamente calibrada. Presenta granos flotantes de hasta 10 mm hacia la base del intervalo, en donde la arenisca es más conglomerática. Además se observaron intraclastos de arcilla y fracturas rellenas. Hacia el tope del intervalo la roca se encuentra bioturbada, presenta relictos de estratificación cruzada y pequeños lentes de arena media – fina.

El intervalo de **6594'9** a **6592'3** se describió una Arcillolita de color gris 5Y 7/1. En algunos sectores se observaron fracturas rellenas de material calcáreo e intraclastos. La roca se encuentra bioturbada y presenta estrías por compresión.

El intervalo de **6592'3** a **6587'10** se observó una Limolita arenosa de color gris que varía de 5Y 7/1 a 5G 4/1. La roca es físil hacia el tope. Posee intraclastos y fracturas rellenas de arcilla y en algunos sectores con material calcáreo. Se observaron hacia la base del intervalo una intercalación de arena fina y arena muy fina que nos está indicando la estratificación de la roca, la estratificación es plano paralela, se observaron granos flotantes que varían de 1 a 4 mm de diámetro. La impregnación de aceite de las rocas en este intervalo es nula. Hacia el tope del intervalo se observaron trazas de raíces.

En el intervalo que va desde **6587'10** hasta **6586** se observó una Arenisca Conglomerática, color marrón que varía de 5Y 7/2 a 10 YR 5/2, posee granos subangulares, moderadamente seleccionados. Se observaron granos flotantes de hasta 3 mm. Se observaron intraclastos de lodo y fracturas rellenas con arena de grano fino.

En el intervalo que va desde **6586** hasta **6584'9** se describió una Limolita arenosa, friable, con gran contenido de minerales máficos, además se observaron fracturas abiertas.

En el intervalo que va desde **6584'9** hasta **6583** se observó una Arenisca Conglomerática hacia el tope del intervalo y hacia la base su tamaño de grano disminuye a fino, su color es marrón 10YR 4/4, posee granos subangulares, de moderados a bien seleccionados. Gran contenido de mica biotita. Se observa estratificación plana paralela y fracturas rellenas de arena fina.

El intervalo de **6583** a **6578** se observó Arenisca lodosa, color marrón 5Y 5/2, granos subangulares a subredondeados mal calibrados. Se observaron zonas de oxidación y granos flotantes de cuarzo de hasta 4 mm e intraclastos de hasta mm. Hacia el tope del intervalo se observó estratificación plano paralela discontinua y fracturas. La impregnación de aceite es leve; sin embargo hacia la base del intervalo se observó una impregnación de aceite mayor.

En el intervalo que va desde **6677** hasta **6573** se observó una Limolita arenosa, color gris claro que varía de 5GY 6/2 a 10Y 6/2, con alta compactación. Presenta granos flotantes de cuarzo de hasta 4 mm. Sus granos son subredondeados y mal seleccionados. Se observa una laminación lenticular plana, posee también fracturas rellenas con granos de cuarzo, intraclastos, bioturbación y en algunos sectores se alcanzan a diferenciar conchillas posiblemente de bivalvos (?), trazas de raíces y estrías por compresión.

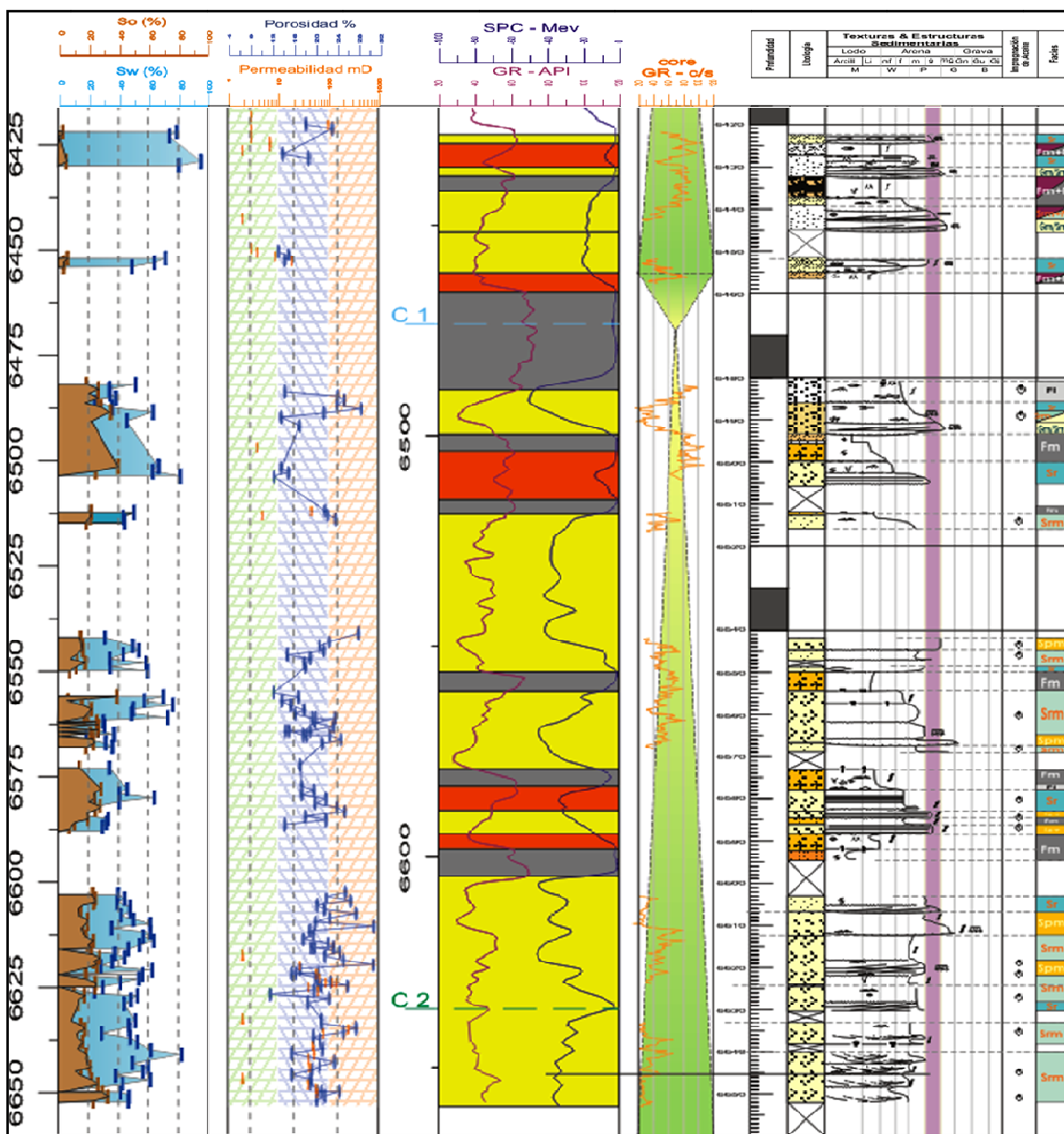


Figura 28. Intervalo del pozo Gala 7 desde 6652 ft a 6423 ft.

En el intervalo que va desde **6569** hasta **6567'3** se observó una Arenisca lodosa, color marrón 5Y 5/2, posee granos subangulares mal seleccionados. En este intervalo se observa una secuencia grano decreciente al tope. La impregnación de aceite es leve.

En el intervalo que va desde **6566'6** hasta **6554'9** se observó una Arenisca lodosa color marrón 5Y 5/2, con granos subangulares a subredondeados, moderadamente calibrados,

y friable. Hacia la base se observó un cambio brusco en la litología la cual es más Conglomerática, no se observó el contacto entre las dos litologías ya que la roca se encuentra muy fracturada. La impregnación de aceite varía de leve a incipiente; sin embargo hacia la base del intervalo la impregnación es moderada. En algunos sectores se observó bioturbación y en el intervalo comprendido entre 6556 y 6557 la roca se encuentra en muy mal estado.

En el intervalo que va desde **6554'9** hasta **6550** se observó una Limolita arenosa, color gris 5Y 8/1, friable. Los granos se encuentran bien calibrados. Además presenta fracturas rellenas. Los núcleos en este intervalo se encuentran en mal estado.

En el intervalo que va desde **6550** hasta **6548'7** se observó una Arenisca Lodosa, color marrón 5Y 5/2, con granos subangulares, bien sorteados. Se observó estratificación lenticular hacia el tope del intervalo. La impregnación de aceite es leve.

En el intervalo que va desde **6547** hasta **6544'9** se observó una Arenisca lodosa, con granos subredondeados, bien calibrada. Se encuentra gran cantidad de minerales máficos.

En el intervalo que va desde **6544'9** hasta **6542** se observó una Arenisca Conglomerática, con granos subangulares, moderadamente calibrada. Intercaladas con areniscas gruesas y areniscas finas.

En el intervalo que va desde **6516** hasta **6512** se observó una Arenisca Lodosa, color marrón 10 YR 5/2, con granos redondeados que varían de bien a moderadamente calibrados. Hacia el tope del intervalo desde 6512 hasta 6512'4 se observó una litología más lodosa, en este sector el núcleo se encuentra mal preservado.

En el intervalo que va desde **6506** hasta **6500** se observó una Arenisca Lodosa, color gris 5Y 8/1 a marrón 10 YR 5/2. Posee granos que varían de subredondeados a subangulares. Se observó una tendencia grano decreciente al tope a partir de 6504, en esta profundidad se observó un aumento en el espesor de las arenas las cuales alcanzaron hasta un tamaño de grano grueso. Además también se observó estratificación

plana hacia la base del intervalo y una estratificación plana ondulosa hacia el tope en donde también se encontraron pequeñas fracturas rellenas con granos de tamaño fino.

En el intervalo que va desde **6500** hasta **6496** se observó una Limolita arenosa, color gris 5Y 8/1, bien calibrada, hacia el tope disminuye el tamaño de grano. Altamente bioturbadas, se observó madrigueras que no se diferenciaron y fracturas rellenas.

En el intervalo que va desde **6496** hasta **6495** se observó una Arcillolita, color gris verdoso.

En el intervalo que va desde **6495,2** hasta **6493** se observó una Limolita Arcillosa de color Gris verdosa (5GY 4/1) con intraclastos y unas estructuras que semejan venillas.

En el intervalo que va desde **6493** hasta **6486** se observó una secuencia normal (gradada) de Areniscas ligeramente Conglomeráticas de tonos pardos a marrones (10Y 6/2 a 5Y 5/2), compacta y de granos muy gruesos, redondeados a subredondeados y esféricos; presenta un calibrado de moderado a bueno; se encuentra levemente impregnada y entre su composición se destaca la presencia de Glauconita (?); los granos más gruesos (gránulos y gravas) se encuentran imbricados en la base, en donde se puede destacar un contacto neto que se encuentra limitado por sucesivas superficies de reactivación, que podrían marcar una estratificación del tipo plana de alto régimen.

En el intervalo que va desde **6486** hasta **6481** se observó unas Areniscas de color (10Y 6/2), continua la tendencia grano decreciente hacia el tope, es maciza, de granos finos, redondeados y esféricos, con buen calibrado, bien seleccionada; se observó laminación plana discontinua y ondulitas de corriente hacia la base; presenta una baja impregnación, y se encuentra bioturbada hacia el tope donde pueden apreciarse Planolites, Dikaka (trazas de raíces) y otras trazas no diferenciadas.

En el intervalo que va desde **6457** hasta **6455** se observó una Limolita Arcillosa de tonos abigarrados, friable, con un aspecto terroso; se encuentran bioturbadas y pueden apreciarse trazas Dikaka; se observaron óxidos entre su composición y claras señales de fracturamiento inducido, este intervalo podría marcar la etapa final de una secuencia grano decreciente que viene desde **6493**.

En el intervalo que va desde **6455** hasta **6452** se observó una Arenisca lodosa de color Gris verdoso (5Y 3/2), maciza, de granos medios a gruesos, subredondeados y esféricos, con una moderada selección, localmente bioturbada (no diferenciada), se observaron algunos intraclastos dispersos en la base, presenta insipiencia de estratificación plana discontinua; algunas de las fracturas presentes en el intervalo se encuentra rellenas de arcilla.

En el intervalo que va desde **6445** hasta **6441** Areniscas de color gris verdoso (5Y 7/2), macizas, de granos gruesos a medios, subangulares a subredondeados, esféricos, bien seleccionados; localmente presenta cemento calcáreo, el cual reduce significativamente la porosidad y sugiere exposición subaérea; el intervalo presenta una serie de superficies de reactivación, cada una de las cuales limita capas con disminución del tamaño de grano hacia el tope; se encuentran algunos cristales de Pirita, y granos de otros óxidos; hacia el tope se encuentra bioturbada, en donde se pueden reconocer las trazas fosiles de Planolites; el intervalo se encuentra bastante fracturado y en la parte central se desarrolla una estructura que semeja una brecha lo cual hace pensar que este se encuentra en una zona de falla.

En el intervalo que va desde **6441** hasta **6437,5** se observó unas Areniscas Lodosas de color amarillento (10Y 7/2), masivas, de granos finos, subredondeados y esféricos, presenta fracturas rellenas de arcilla, y bioturbación (no diferenciada).

En el intervalo que va desde **6437,5** hasta **6432,5** se observó unas limolitas arcillosas de tono abigarrado, friables, hacia la base presenta algunos gránulos de hasta 2,5 mm de Plagioclasas, Cuarzo, y Fragmentos de Roca (esquistos o micas) dispuestos al azar; hacia el tope se identificaron trazas Dikaka y madrigueras (no diferenciadas); se encuentra fracturado y sus fracturas están rellenas de arcilla.

En el intervalo que va desde **6432,5** hasta **6427,2** se observó una secuencia de Areniscas de color gris verdoso (5Y 7/2), macizas, de granos gruesos, subredondeados y subesféricos, presenta una tendencia de adelgazamiento del tamaño de grano hasta la mitad del intervalo, de aquí en adelante presenta una secuencia de engrosamiento

desde Areniscas de granos muy finos hasta medios, presentan bioturbación hacia el tope distinguiéndose Dikaka y Planolites (?), todo el intervalo muestra estratificación desde plana en la base, seguida por laminación en ondulitas, hasta la laminación plana; presenta fracturas.

En el intervalo que va desde **6427,2** hasta **6425,8** se observó Limolitas abigarradas, friables; en algunos sectores se pudieron observar gránulos de hasta 5 mm; presentan bioturbación diferenciada como Planolites y hacia el tope del intervalo tiende a ser mas maciza.

En el intervalo que va desde **6425,8** hasta **6423** se observó unas Areniscas arcillosas, de color gris verdoso (5Y 7/2), maciza, de granos gruesos a medios, subangulares y esféricos, moderadamente seleccionada, con una tendencia grano decreciente hacia el tope, es de matriz grano soportada, y estratificación plana en la base.

En el intervalo que va desde **6164,8** hasta **6160,5** se observó unas Areniscas arcillosas de color gris verdoso (5Y 7/2), compactas, de granos medios a finos, redondeados y esféricos; gradada hacia el tope; con presencia de micas, las cuales aumentan su contenido hacia el tope de la capa; poseen una matriz arcillosa, están algo bioturbadas con madrigueras que no fueron diferenciadas.

En el intervalo que va desde **6160,5** hasta **6158** se observó una capa de Limolitas varicoloreadas, con tonos verdosos (10YR 4/2 a 5YR 5/2), compactas; con bioturbación, con trazas fosíles de Planolites y otras trazas no diferenciadas; localmente se encuentra oxidada.

En el intervalo que va desde **6158** hasta **6148** se observó una sucesión de de varias capas de Arenisca de tonos pardos (5Y 7/2 a 5Y 5/2), gradadas normalmente hacia el tope de cada una. Los granos oscilan entre los tamaños medio a fino, son redondeados a subredondeados, bien seleccionados; se observaron laminaciones planas, ondulitas ripples, en laminas de mas o menos 2 mm, intraclástos; se encuentran grano soportadas y presenta algunos intervalos impregnados.

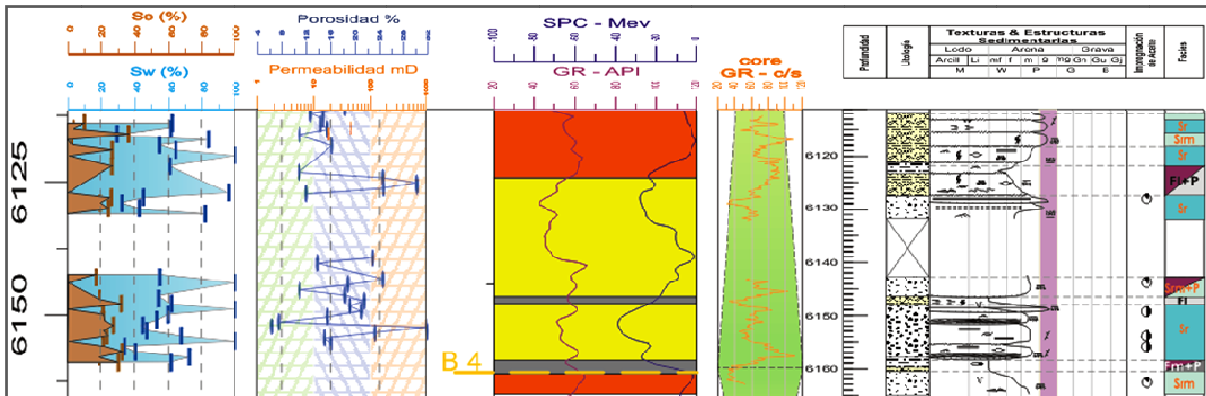


Figura 29. Intervalo del pozo Gala 7 desde 6164,8 ft a 6112 ft.

En el intervalo que va desde **6148** hasta **6146** se observó una intercalación de Areniscas de granos finos, redondeados y esféricos, bien seleccionadas y Limolitas, de tonos varicoloreados, con presencia de bioturbación hacia el tope, con madrigueras de hasta 3 cm de diámetro, rellenas de arena de grano medio y arcilla.

En el intervalo que va desde **6146** hasta **6143** se observó unas Areniscas de tonos pardos oscuros (5Y 5/2), masivas y levemente friables, de granos subangulares a subredondeados y esféricos, moderadamente calibrados con una matriz grano soportada, y moderadamente impregnada.

En el intervalo que va desde **6132** hasta **6127** se observó una intercalación de Areniscas de grano fino y medio; en general de color pardo (10 YR 6/2), con unos tonos mas claros hacia la base (donde el tamaño de grano es más fino); son compactas a la base y friables hacia el tope, los granos son subredondeados y esféricos, moderadamente calibrados; se encuentran impregnadas en el tope y limpios en la base. Presentan una variedad de estructuras sedimentarias que de base a tope varían desde ripples, laminación ondulosa, laminación plana, hasta estratificación plana de bajo ángulo en el tope. Se puede resaltar que hacia la base la tendencia es de engrosamiento del tamaño de grano al tope de las capas y en la parte superior a partir de una superficie de reactivación, es de adelgazamiento del tamaño de grano al tope de las capas.

En el intervalo que va desde **6127** hasta **6122** se observó Areniscas de grano muy fino, que tienden a ser lodosas hacia el tope, son varicoloreadas, predominando los tonos verdosos (5Y 5/2) y localmente moteados rojizos (5R 2/3); son friables hacia la base y

mas compactas hacia el tope del intervalo, se observaron de base a tope: laminación plana, intraclástos, laminación ondulosa, laminación lenticular, ripples, laminación convoluta, laminación ondulosa en asimétrica; la bioturbación se concentró en el tope del intervalo donde se reconocieron trazas fosiles de Planolites y otras trazas no diferenciadas.

En el intervalo que va desde **6122** hasta **6118** se observó Areniscas varicoloreadas; macizas, de granos finos a medios (indicando una secuencia de engrosamiento hacia el tope), de granos redondeados y esféricos, bien seleccionados; lodo-soportada; presenta estructuras sedimentarias de escape de fluidos, laminación convoluta, ondulitas y laminación plana con algo de bioturbación no diferenciada, localmente se encuentra oxidada y su impregnación es moderada.

En el intervalo que va desde **6118** hasta **6112** se observó Areniscas de color grisáceo (5Y 7/4), de granos gruesos a medios, subangulares y esféricos, bien seleccionados, con estratificación plana discontinua (?) y baja impregnación.

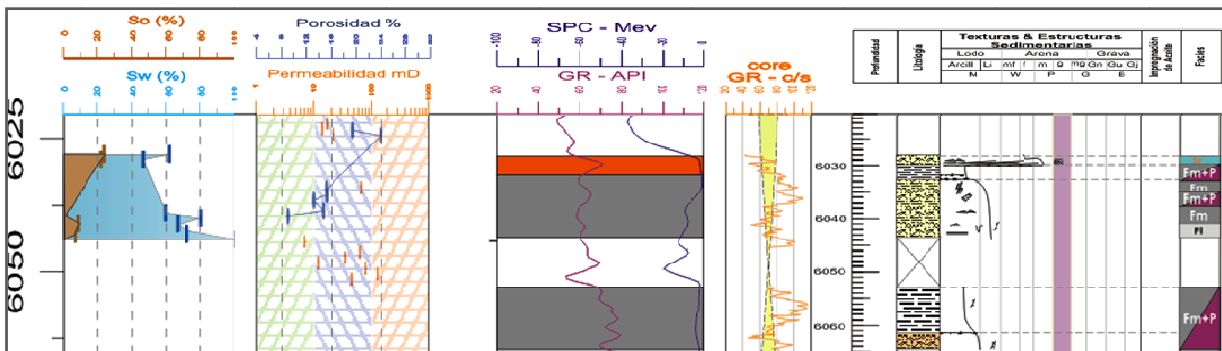


Figura 30. Intervalo del pozo Gala 7 desde 6065 ft a 6028 ft.

En el intervalo que va desde **6065** hasta **6061,5** se observó Limolitas arcillosas de color rojo grisáceo (5YR 5/2), muy fracturadas, se observaron señales de deformación (planos con lustre o estrías). Hacia la base del intervalo la deformación es más fuerte lo que podría indicar leves cambios en la composición mineralógica o en la textura del intervalo.

En el intervalo que va desde **6061,5** hasta **6053** se observó Arcillolitas limosas (?) de color rojo grisáceo (5YR 5/2), friables con un aspecto “revuelto”, con fracturas inducidas, se observa bioturbación del tipo *Scoyenia*, localmente se encuentran algunos gránulos.

En el intervalo que va desde **6045** hasta **6032'4** se observó una Limolita arenosa, color gris verdoso 5Y 7/2 a gris 5Y 6/2. Granos bien seleccionados, subredondeados. Se observaron pequeños lentes de arena y en el tope se observó una intercalación de arcillas y lodo y arena lodo. Hacia el tope se encuentra varicoloreado 5R 4/2, 5Y 6/2 y 5Y 7/2, oxidado y moteado. Se observaron trazas fósiles como *Beaconites* (?) con un tamaño de hasta 2 cm, *Cylindrichums* (?) con un tamaño de hasta 2.5 cm, madrigueras no diferenciadas y bioturbación. Además se observaron relictos de estratificación plana, ondulitas y gran cantidad de fracturas rellenas.

En el intervalo que va desde **6032'4** hasta **6030** se observó una Arcillolita, varicoloreada, los colores allí presentes son 5R 4/2, 5Y 6/2 y 5Y 7/2, bioturbada y con granos flotantes de hasta 4 mm.

En el intervalo que va desde **6030** hasta **6028** se observó una Arenisca lodosa, color marrón 10YR 5/2, moderadamente seleccionada, granos subredondeados. Se observaron intercalaciones de arena fina y arena media gruesa lo que nos indica la estratificación. La estratificación es cruzada discontinua. Además se encuentran granos flotantes de 4 mm e intraclastos.

En el intervalo que va desde **5935'5** hasta **5928'9** se observó una Arenisca lodosa, color gris verdoso 10Y 6/2, bien seleccionadas, granos subredondeados. En algunos sectores se observaron intercalaciones de lodo - arena. Se observaron intraclastos de arcilla, granos flotantes de cuarzo de hasta 5 cm, fracturas rellenas con sedimentos de grano fino, madrigueras no diferenciadas, bioturbación, conchillas posiblemente bivalvos. Se observó estratificación plano paralela a lo largo de todo el intervalo.

En el intervalo que va desde **5928'9** hasta **5927'10** se observó una Limolita arenosa, color gris verdoso 10Y 7/2, granos subangulares, bien calibrada. Además se observaron fracturas rellenas con granos arena fina. Se observaron trazas de raíces.

dispone engrosándose hacia el tope; se destaca una alta presencia de Biotita, y lúlicos limitando planos de estratificación; presenta una baja impregnación.

En el intervalo que va desde **5903,2** hasta **5897** se observó Areniscas Conglomeráticas de color gris verdoso (5Y 7/2), de granos subangulares y esféricos, moderadamente seleccionados; presentan una tendencia de disminución del tamaño de grano hacia tope, hacia este último se concentra una buena impregnación de aceite y se encuentra algo fracturada en su parte central.

En el intervalo que va desde **5897** hasta **5893** se observó Areniscas de color gris claro (5Y 5R), masiva; de granos redondeados y esféricos, moderadamente seleccionados; de matriz arcillosa; se observó de manera incipiente una estratificación plana; presenta una tendencia de disminución del tamaño de grano hacia tope, se encuentra levemente impregnada.

En resumen la columna (ver PDF Col_Gala7 en CD ANEXO y las imágenes 28 – 31) presenta en su base Areniscas de color pardo grisáceo a grisáceos amarillentos, raramente conglomeráticas, con estructuras sedimentarias de alto régimen como estratificación cruzada, cruzada en artesa, plana o masiva, con un predominio de estas últimas, estas presentan gránulos imbricados e intraclastos sobre superficies de reactivación y tendencias de adelgazamiento hacia el tope que pueden presentar variaciones de los tamaños de grano (desde areniscas gruesas a muy finas) en espacios de hasta 26 ft. Se identificaron varios tipos de lodolitas. Entre las destacadas se pueden mencionar las que poseen una gama de estructuras sedimentarias de bajo régimen o de suspensión como ripples, ondulitas asimétricas, laminación plana continua y además bioturbación, presentaban como atributo destacado planos limitados por arenisca de grano muy fino o intercalaciones de arcilla y limo, estas se presentan en tonos grises verdosos a azulosos; otras de las lodolitas identificadas carecen de estructuras sedimentarias físicas, y en cambio presentan una gama de estructuras orgánicas como bioturbación, marcas de raíz y esporádicamente “granos flotantes” de cualquier material (detritus) y sus tonos son abigarrados.

Hacia la parte central se describieron buenos espesores de areniscas con características similares a las de la base, pero con una presencia disminuida de los tamaños de granos más gruesos.

En la parte superior de la columna (ver Figura 31) se observó una conservación de las tendencias grano-decrecientes hacia el tope, pero con una presencia mayor de sedimento fino, aquí los paquetes de arenisca no sobrepasan los 15ft y se observa una conservación de los atributos geomorfológicos estratificación y laminación y muy pocas lodolitas abigarradas.

5.3 LITOFACIES

Las litofacies descritas en Campo y en el pozo Gala 7 se resumen en 6 facies sedimentarias las cuales fueron nombradas teniendo en cuenta sus principales atributos faciales (Geometría, Litología, Estructuras sedimentarias, Paleocorrientes, Fosíles) que definen una facies. Las litofacies descritas aquí, se basan en la clasificación de Facies modificada de Miall (1978c, en Miall, 1996); se utiliza un criterio similar para su distinción y se establecen 6 abreviaturas que simplifican la descripción de los principales rasgos de las mismas.

Las litofacies definidas son las siguientes: **(FI)** Arcillolitas, areniscas o limolitas intercaladas, compactas y con estructuras sedimentarias; **(Fm)** Lodolitas, y areniscas macizas, bioturbadas; **(Sr)** Areniscas de finas a gruesas con estructuras sedimentarias de bajo régimen; **(Srm)** Areniscas de finas a gruesas sin estructuras sedimentarias de flujo; **(Spm)** Areniscas medias o gruesas con clastos, masivas o con relictos de estratificación; **(Gm/Sm)**, Areniscas gruesas o conglomeráticas, con estructuras sedimentarias de alto régimen incipientes o masivas; y **(+P)**, que no es propiamente una facies, sino ocurre como sustitución principalmente en facies finas, generalmente, por características de suelo (exposición subaérea y oxidación, marcas de raíces, bioturbación intensa).

Una descripción detallada de estas litofacies se muestra a continuación (ver Figura 32):

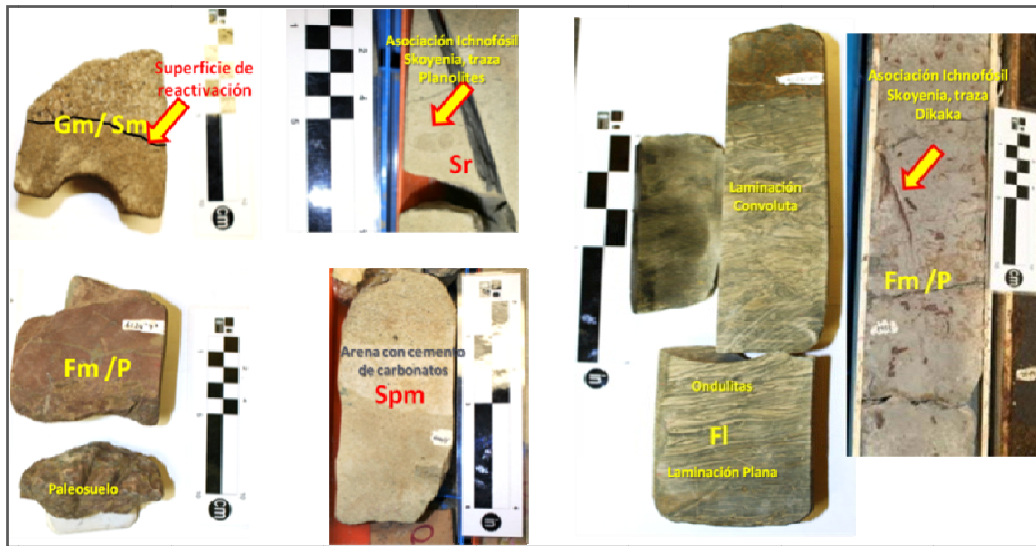


Figura 32. Litofacies representativas en el pozo Gala 7, para la Formación Mugrosa.

5.3.1 Litofacies Arcillolitas, areniscas o limolitas intercaladas, compactas y con estructuras sedimentarias. (FI)

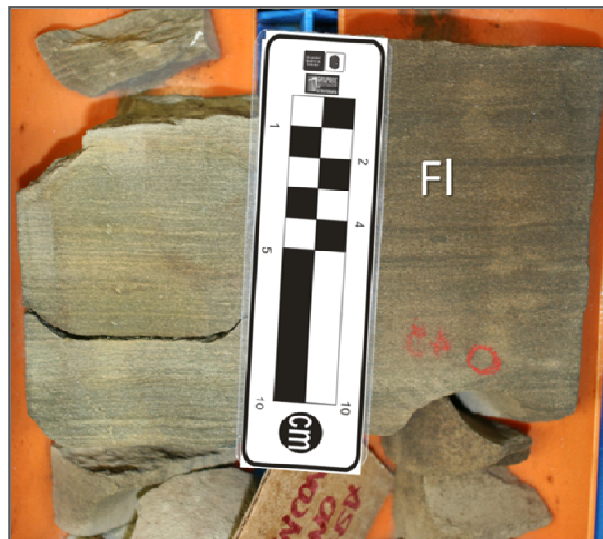


Figura 33. Litofacies FI, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.

Arenisca, Limolita o Arcillolita, intercaladas, generalmente de color (10Y 6/2) y con algunos moteados (5Y 3/2), son macizas, las arenas presentes son bien seleccionadas, con granos redondeados esféricos, se presentan en laminas muy delgadas y en las superficies de ondulitas muy pequeñas.

5.3.2 Litofacies Lodolitas, y areniscas macizas, bioturbadas. (Fm)

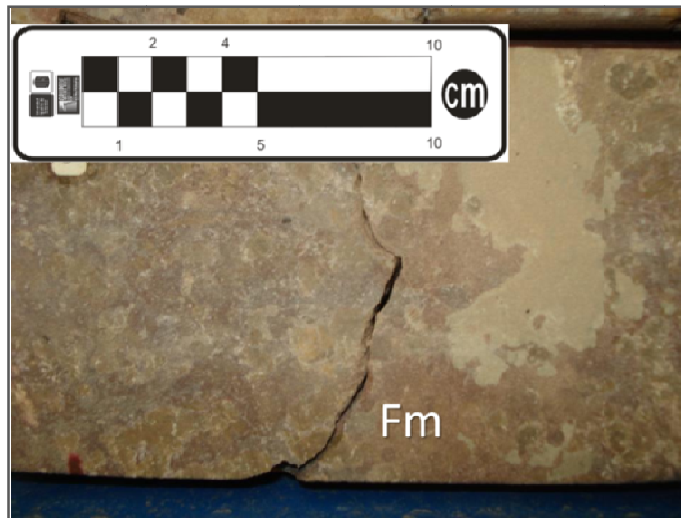


Figura 34. Litofacies Fm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.

Lodolitas arenosas, Arcillolitas limosas o Areniscas limosas, intercaladas, de color gris verdoso (5Y 7/2 a 5Y 6/2)), generalmente, intercaladas con arenas de granos muy finos bien seleccionados, subredondeados y esféricos, a veces se presentan delgados lentes de arena hacia los topes, donde existen señales de exposición subaérea dados los tonos varicoloreados o por la bioturbación generalmente planolites o teichichnus(?).

5.3.3 Litofacies Areniscas de finas a gruesas con estructuras sedimentarias de bajo régimen. (Sr)

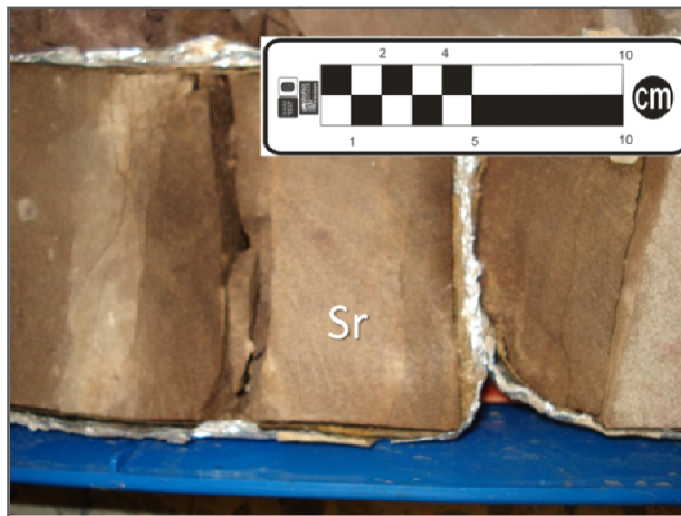


Figura 35. Litofacies Sr, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.

Areniscas desde muy finas a medias gruesas o gruesas, de color gris claro (5Y 5R), con una selección moderada, y granos esféricos, subredondeados a subangulares, friables a veces compactas, muy localmente granos de grava, presentan laminación ondulosa, o incipiente plana y ondulitas de corriente.

5.3.4 Litofacies Areniscas de finas a gruesas sin estructuras sedimentarias de flujo. (Srm)

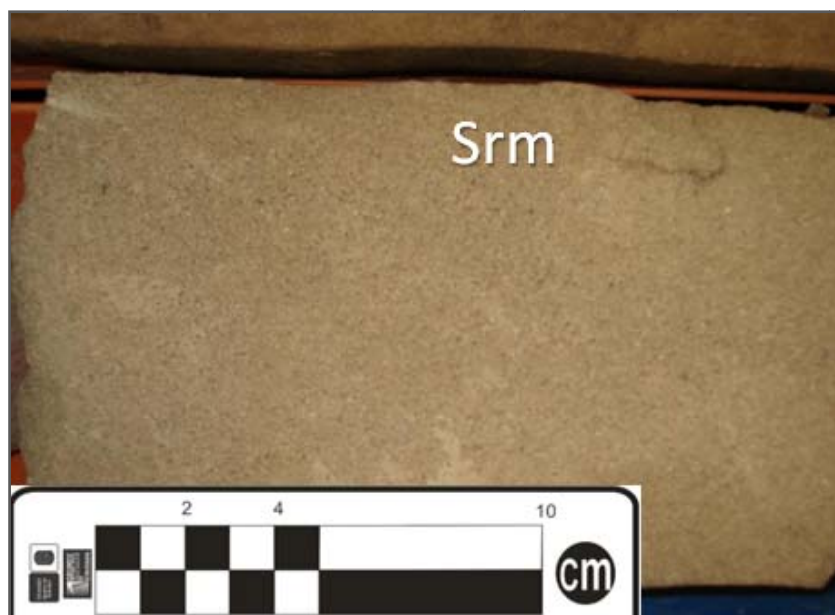


Figura 36. Litofacies Srm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.

Areniscas de granos muy finos a muy gruesos generalmente de colores grisáceos a amarillentos (5Y 5R). El tamaño de grano de estas areniscas varía de subangular a subredondeado y su calibrado varía de bien a moderadamente calibrados. Se presentan algunas capas de arcilla de hasta 7 cm. Algunos niveles impregnados de hidrocarburos. Esporádicamente se encuentran trazas de bioturbación no diferenciada e intraclastos.

5.3.5 Litofacies Areniscas medias o gruesas con clastos, masivas o con relictos de estatificación. (Spm)

Areniscas de media a gruesa, pueden contener gravas, algunas ligeramente conglomeráticas, de color gris amarillento (5Y 5/2), moderadamente calibradas, de granos subangulares, esféricos, de matriz arcillosa, son masivas o con relictos de estratificación cruzada. + P cuando presentan bioturbación local.

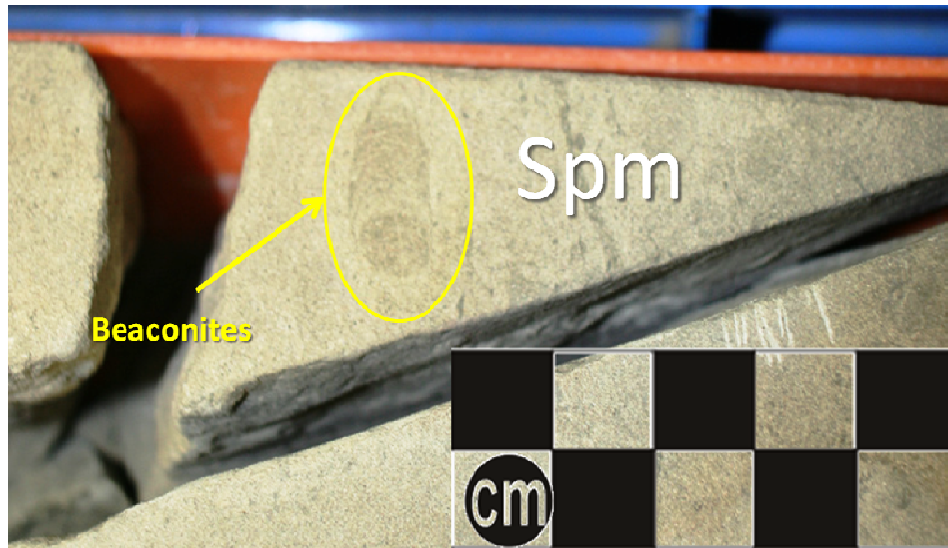


Figura 37. *Litofacies Spm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.*

5.3.6 Litofacies Areniscas gruesas o conglomeraticas, con estructuras sedimentarias de alto régimen incipientes o masivas. (Gm/Sm)

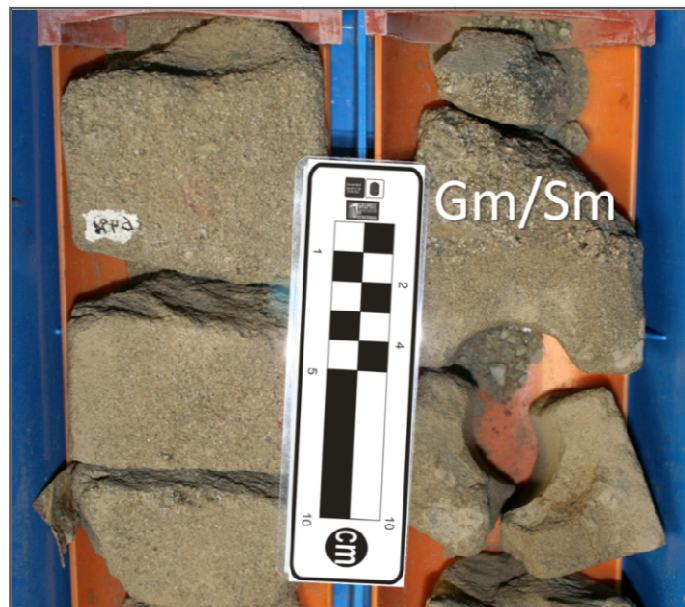


Figura 38. *Litofacies Gm/Sm, de la Formación Mugrosa en el pozo Gala 7.*

Arenisca de grano grueso o Conglomeráticas, o interestratificada con niveles de gravas; masiva o con estratificación de alto régimen incipiente. De colores pardos (10Y 6/2 – 5Y 5/2), compacta, con una matriz arcillosa y de aspectos terrosos, presentan glauconita (?), y son comunes las superficies erosivas o de reactivación.

5.3.7 Atributo de Sustitución de las facies finas, generalmente; por características de Suelo (exposición subaérea, marcas de raíces, bioturbación intensa) (+P)

Se presenta como una sustitución principalmente en las facies de grano fino, aunque a las de grano grueso se restringe solo a las partes mas superiores de las secuencias, se caracteriza por presentar características típicas de paleosuelo (exposición, marcas de raíces, bioturbación)

Para examinar a fondo las asociaciones y las litofacies descritas se recomienda ver los PDF CoI_Gala7 y CoI_Campo en el CD ANEXO, en el que encontrará las secciones descrita en la Columna Estratigráfica a escala 1:100 ft.

Las Litofacies fueron interpretadas de la siguiente manera, usando la experiencia y con ayuda de las colecciones clásicas de Miall (1996 – citando 1988), y Galloway & Hobday (1996). En su interpretación cada una las Litofacies fue llevada a las posiciones estratigráficas que presentaron mayor coherencia, es decir, a aquellas posiciones que contaron con las características necesarias para que sus atributos (Geometría, Litología, Textura, Estructuras sedimentarias, Paleocorrientes, Fósiles...) se desarrollasen. En la asociación de litofacies se llevan las litofacies a posiciones específicas que hipotéticamente garantizarían características litológicas correlacionables.

5.4 ANÁLISIS DE FACIES

5.4.1 FI: Depósitos de llanura de inundación, canales abandonados rellenos, u overbank caracterizado por estructuras sedimentarias en suspensión y sedimentos muy finos, que imprimen como característico de este ambiente la pasividad, esto puede indicar etapas de abandono de canal por la alta estabilidad y por un alto potencial de inundación (Galloway & Hobday, 1996).

5.4.2 Fm: Depósitos de desbordamiento o de llanura de inundación caracterizados por una persistente bioturbación u exposición subaérea (Miall, 1988).

5.4.3 Srm: Restringido a los Bordes naturales del canal, desbordes de canal o canales abandonados, donde hay un régimen de flujo bajo, pero todavía se forman ondulitas de corriente.

5.4.4 Spm: Barras transversales lingüoides y estructuras sedimentarias de régimen de flujo alto, que indica baja estabilidad de las corrientes y un predominio de los gruesos sobre los finos (modificado de Miall, 1988).

5.4.5 Gm/Sm: es interpretado como barras longitudinales, depósitos de fondo de canal y barras de grava (incluyendo las barras puntuales); no todas las veces se presenta como depósito de gruesos, ya que es sabido que estos en promedio tienen un bajo potencial de preservación (Galloway & Hobday, 1996).

5.4.6 +P, Es un producto postdeposicional, asociado a la exposición y alteración intensa biológica física o química, que imprime aspectos moteados, varicoloreados, abigarrados, retrabajados, o precipitación de cemento carbonático, óxidos u otros; con una mayor intensidad en facies finas que en las gruesas.

5.5 ASOCIACIONES DE FACIES

Diferentes sucesiones de facies fueron descritas e interpretadas a partir de los productos obtenidos del amarre de Roca y Registro realizado en el pozo Gala 7; fundamentalmente como producto práctico se discriminaron tres elementos principales caracterizados como electroformas, dichas electroformas servirán como elementos de correlación (electrofacies), y se encuentran ajustadas por ciclos estratigráficos que representan además del conjunto de procesos expuestos por una sucesión de facies, unas agrupaciones que describen diferentes posiciones estratigráficas en un perfil depositacional.

Las sucesiones verticales de facies son generadas debido a un reemplazamiento dinámico (sustitución) de elementos geomorfológicos durante los ciclos de nivel base (Wheeler, 1964; Cross, 1993; Ramón & Cross, 1997).

Las sucesiones verticales de facies pueden ser diferentes para el mismo ambiente deposicional ya que los elementos geomorfológicos pueden migrar desaparecer o formarse durante la progradación o agradación (Álvarez, 2002), provocando en un mismo ambiente, la ocurrencia de diferentes sucesiones de facies en posiciones específicas variando a largo del rumbo y buzamiento deposicional (Álvarez, 2002).

5.5.1 Asociación de Canal

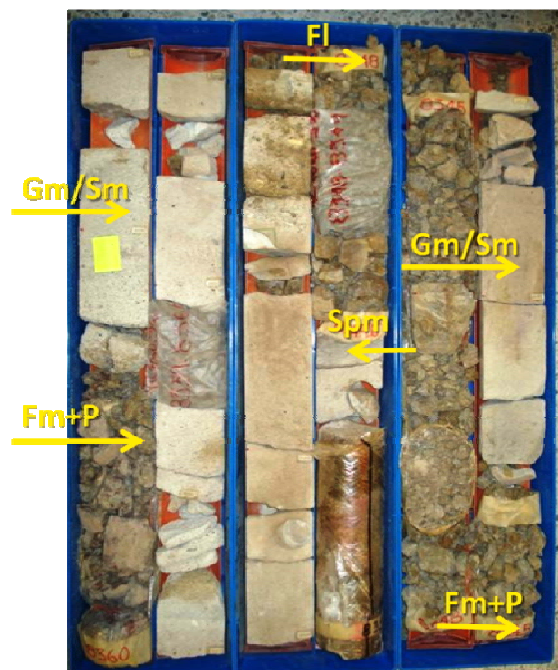


Figura 39. Sucesión de Facies típica de la Asociación de Canal.

Estas asociaciones de litofacies se caracterizan por presentar cuerpos de areniscas gruesas a veces conglomeráticos, con granos imbricados o intraclastos hacia la base. Las características de la estratificación varían desde estratificación cruzada, estratificación cruzada en artesa, estratificación plana y masiva con geometrías cuneiformes. Las tendencias generales de las capas son grano-decrecientes, y además se observaron ciclos de adelgazamiento hacia el tope, que se evidencia en los estratos con pérdida de potencia gradual, característica de dichos ciclos. Esta asociación es caracterizada teniendo en cuenta los estadios de energía que se desarrollan a medida que varían los depósitos en la columna y que muestran, erosión y canibalismo hacia la base (en condiciones de baja acomodación) debida a la alta energía de las corrientes de fondo, posteriormente una acreción lateral y finalizando con la acreción vertical

característica de las etapas de avulsión y abandono de margen. Aquí pueden desarrollarse diferentes elementos arquitecturales como cuerpos de arena, barras puntuales, Linguoides, barras longitudinales, y depósitos de fondo de canal. En condiciones de alta acomodación se pueden encontrar márgenes de llanura de inundación y una amplia sucesión que muestre evidencias de exposición subaérea por presencia de trazas fosíles y paleosuelos.

Las sucesión vertical de litofacies que caracterizan las Asociaciones de Canal (ver Figuras 32, 33 y 38) consisten de las litofacies, de base a techo, Gm/Sm, Spm, Sr y Srm, con una proporción considerable de las facies Sr, Srm y Spm, interpretados de el análisis del pozo Gala 7 y de afloramientos de la base de la Fm. Mugrosa. Las Electrofacies pueden ser definidas como las diagráfías de forma cilíndrica o de campana o como las electroformas de mayor resistividad en el registro de SPC o menor radiación en el de Gamma Ray (este puede en algunos sectores diferenciar niveles de arenisca con baja resistividad).

5.5.2 Asociaciones de Canal relleno

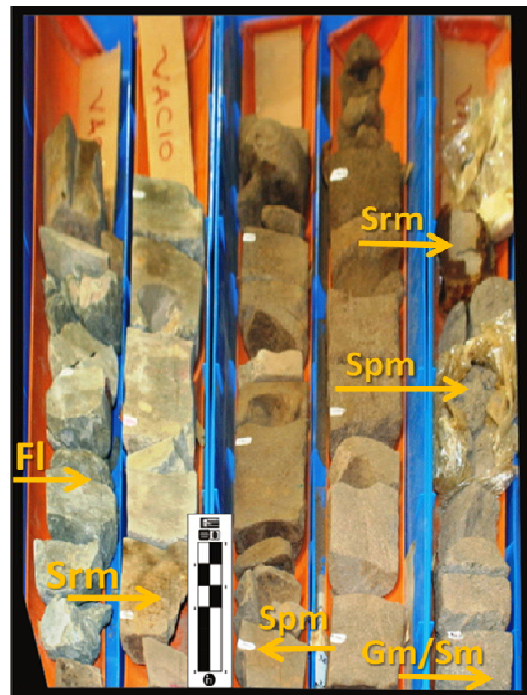


Figura 40. Sucesión de Facies típica de la Asociación de Canal Relleno en la izquierda y la asociación de Canal en la derecha.

Estas asociaciones de litofacies se caracterizan por presentar litologías variadas pero con tendencia fina como: areniscas de grano fino a medio, limolitas, arcillolitas limosas; con estructuras sedimentarias de régimen bajo como ondulitas de corriente, laminación plana, ripple marks, laminación convoluta entre otras; frecuentemente bioturbadas, con marcas de raíces, tonos varicoloreados, niveles oxidados o reducidos y trazas fosíles claramente identificables como *Teichichnus*, *Planolites*, *Beaconites* y *Paleophicus* en menor proporción. Representan las posiciones de canal relleno, desborde de canal, albardón natural, o canal natural, presentan tendencias de gradación normal o inversa esta última en muy baja proporción y asociada al albardón.

Están presentes las litofacies de base a techo: **Srm**, **FI**, **Fm** ó **FI**, **Fm + P** y **Srm**; las sustituciones + **P** pueden estar asociadas al desarrollo caracterizando por la exposición subaérea y de suelos, con caliches, o con niveles bioturbados, los depósitos de esta asociación pueden representar todos los elementos desarrollados sobre la cuenca de inundación. Las Electrífacies pueden ser definidas como las diagráfias en forma de embudo como las electroformas de resistividad intermedia en el registro de SPC o una mayor radiación en el de Gamma Ray.

5.5.3 Asociaciones de llanura de inundación

Estas asociaciones de litofacies se caracterizan por presentar litologías muy finas como: arcillolitas limosas y limolitas; se encuentran bioturbadas en su mayoría o frecuentemente alteradas; los sectores mas abigarrados presentan mas bioturbación, presenta sets intercalados algunas veces alcanzando tamaños de arena fina y formando estructuras como laminación plana o cruzada.

La sucesión vertical de litofacies agrupo las más características de la cuenca de inundación, caracterizadas de base a techo por: **FI** y **Fm + P**. El desarrollo de **P** se encuentra marginado a la exposición subaerea, aunque su presencia se puede extender hasta secciones abandonadas donde las litofacies **FI** son desarrolladas. Las litofacies **FI** evidencian poca circulación, sedimento en suspensión y condiciones reductoras que favorecieron la presencia de cristales de pirita. Las Electrífacies pueden ser definidas como las diagráfias de forma tubular con electroformas de baja resistividad en el registro

de SPC y una mayor radiación en el de Gamma Ray debido a los componentes radioactivos presentes en las arcillolitas.

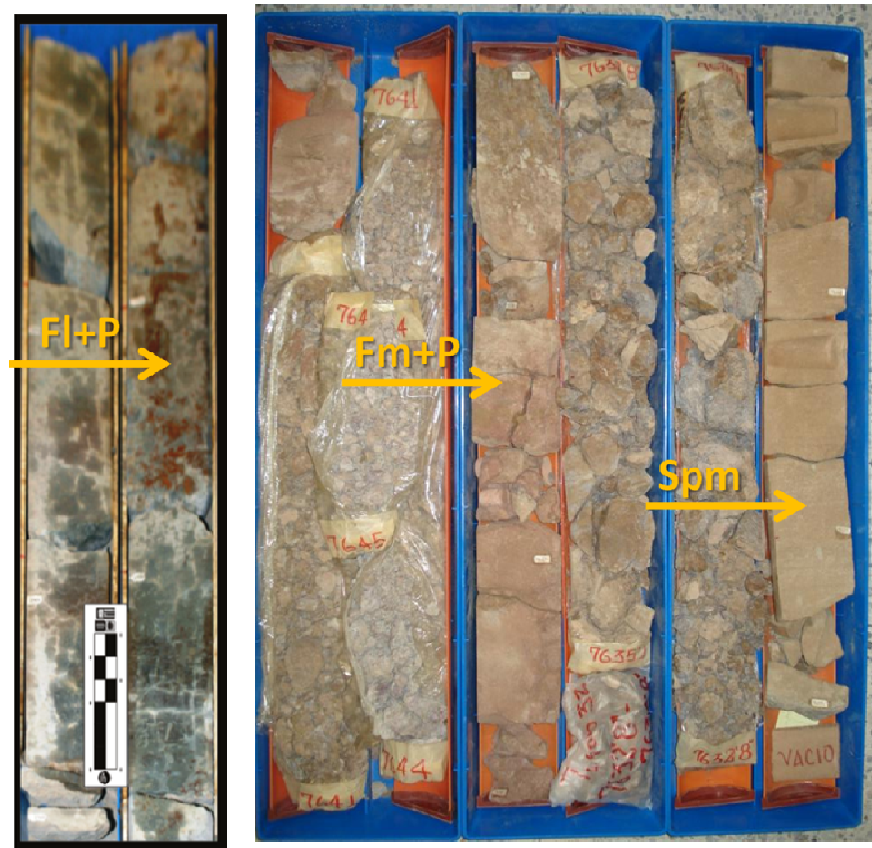


Figura 41. *Sucesión de Facies típica de la Asociación de Llanura de inundación.*

En las asociaciones de canal se agruparon un grupo de litofacies descritas en corazones y afloramientos, se observó que dicha asociación en los registros no presentaba el espesor caracterizado en las geometrías cuneiformes vistas en campo. Las litologías descritas a través del análisis textural demostraron una presencia considerable de finos, las areniscas descritas en Gala 7 en cambio mostraron una presencia de gruesos considerable en las bases de dichos niveles de arenisca (particularmente entre las zonas productoras B4 y C1 –C2). Entonces el ambiente en la base podría ser interpretado como depósitos de ríos meándricos en los que un predominio de las modas finas a medias sobre las gruesas y una sinuosidad intermedia y moderadamente estable. Hacia la parte intermedia como un depósito de ríos trenzados con una relación de finos contra gruesos mayor que uno (Galloway & Hobday, 1996), hacia el tope un desarrollo de ríos

anastomosados con un alto porcentaje de finos, baja continuidad de los canales de arena y caracterizado por su alta sinuosidad y estabilidad.

Es importante mencionar que estas asociaciones de facies se realizan para lograr una interpretación de registros de pozo más práctica, se ha tenido en cuenta, que estas asociaciones se encuentran genéticamente relacionadas; por lo tanto se han agrupado características en la roca y comportamientos en los registros con similitud, que hacen el trabajo de correlación, no solo basado en respuestas típicas, o de libro sino con un vínculo de peso entre registro y roca. Esta practicidad adquirida nos servirá en un trabajo de correlación de mayor resolución.

5.6 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS LITOFACIES DE LA FORMACIÓN MUGROSA

Basados en la descripción del pozo Gala 7 para la Fm. Mugrosa, se genera la siguiente relación porcentual establecida con el volumen de litofacies obtenidas durante la descripción de los pozos descritos.

Las litofacies más frecuentes aparentemente son las Srm, con un espesor aproximado de 49,7 ft de columna, con un tamaño de grano de rango variable, caracterizados por tamaños desde finos hasta gruesos y masivas; en menor proporción aparecen facies mas gruesas como Spm con 15, 7 ft de columna y Sr con 29,8 ft descritos.

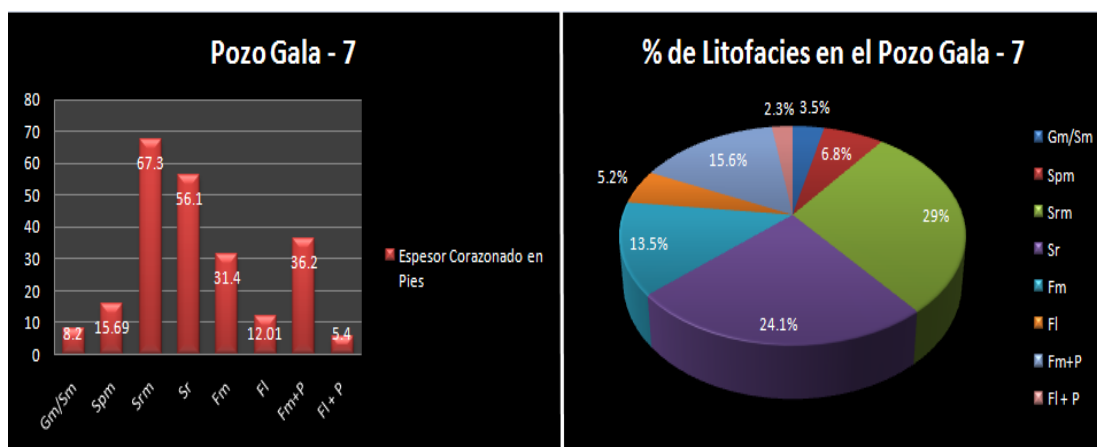


Figura 42. Relación de espesor y porcentual de cada Facies descrita de la Fm. Mugrosa en el pozo Gala 7.

Las litofacies de granos finos como son arcillas y limolitas Fm representan el 34% del total de la sección de pozo corazonado descrito para la Formación Mugrosa, si son consideradas sus porciones alteradas por exposición subaérea. Las litofacies finas FI se presentan en mínima proporción lo que hace suponer que el diferenciarla en los perfiles amarrados con roca no pueda lograrse dada su proporción de tan solo el 5,2% de lo analizado en el pozo Gala 7

Las litofacies finas que han sido sometidas a exposición subaérea Fm + P representan una fracción considerable del total de pies descritos en el pozo y corresponde al 31.4 %.

6. PATRONES DE APILAMIENTO Y CICLOS ESTRATIGRÁFICOS

Muchas de las Sucesiones Estratigráficas despliegan repeticiones de unidades (estratos, litosomas, formaciones...) que reflejan una sucesión de procesos y condiciones que son repetidos en el mismo orden. Tales eventos de repetición son referidos como sedimentación cíclica o sedimentación rítmica. La sedimentación cíclica conduce a la formación de sucesiones verticales de estratos que despliegan arreglos repetidamente ordenados de diferentes tipos de sedimento (Boggs, 2001). La sedimentación cíclica ocurre esencialmente en todos los sistemas estratigráficos, y es producida por una gamma de procesos en un ámbito geográfico desde muy local, eventos de corta duración –tal como el cambio climático estacional en las descargas que provocando la inundación de cauces –a cambios globales en el nivel del mar que pueden envolver todo un periodo geológico. La sedimentación cíclica ha sido usada para describir una variedad de procesos como la migración de ambientes depositacionales en el tiempo.

La manera como los patrones de apilamiento y los ciclos estratigráficos fueron trabajados en este estudio sigue las pautas de la escuela de estratigrafía genética y la fundamentación teórica presentada a continuación esta basada en Álvarez, 2002 (en Núñez y Saavedra, 2006).

La definición de ciclos estratigráficos requiere del reconocimiento de las asociaciones laterales de facies repetidas en sucesiones verticales de facies. Tales sucesiones pueden obedecer o apartarse de la ley de Walther. La descripción de múltiples capas a través de una sección permite reconocer movimientos a través del perfil de las facies y de las facies tracts. Los faciest tracts corresponden al registro estratigráfico de un sistema depositacional preservado como ensambles tridimensionales de sucesiones de facies, los cuales son temporalmente equivalentes. Un ciclo estratigráfico, se considera que registra la respuesta sedimentaria de un ciclo de nivel base (Wheeler, 1964). Un ciclo de nivel

base consiste de un hem ciclo de subida y un hem ciclo de caída de nivel base. Un hem ciclo de subida describe una condición el espacio de acomodación se incrementa a partir del perfil depositacional y nueva acomodación es creada en posiciones pendiente arriba y el suministro de sedimento y la energía de transporte en posiciones pendiente abajo disminuye. Un hem ciclo de caída describe condiciones donde el espacio de acomodación decrece a través del perfil depositacional y la acomodación se reduce en posiciones pendiente arriba, y el suministro de sedimento y la energía de transporte en posiciones pendiente abajo aumentan. De esta manera un hem ciclo de subida y un hem ciclo de caída forman un ciclo estratigráfico de nivel base el cual es equivalente a una secuencia genética (en Núñez y Saavedra, 2006).

Los límites de los hem ciclos son posiciones de “par inverso” del hem ciclo de subida de nivel base a hem ciclo de caída de nivel base y de hem ciclo de caída de nivel base a hem ciclo de subida de nivel base. Los pares inversos registran la culminación de trenes unidireccionales de aumento o disminución de condiciones de Acomodación / Suministro de sedimento (A/S). Los pares inversos son puntos de referencia para correlacionar de una posición geográfica a otra a través de diferente facies tracts y a través de la extensión espacial de cada ciclo estratigráfico. Así para obtener correlaciones cronoestratigráficas valederas, es necesario escoger consistentemente puntos de iniciación de los pares inversos en las mismas posiciones estratigráficas (en Núñez y Saavedra, 2006).

Los ciclos de nivel base son caracterizados con base en patrones de apilamiento de los estratos y/o atributos de sucesiones verticales de facies, los cuales aparecen en diferentes posiciones estratigráficas y a diferente escalas a través de las secciones estratigráficas. Los patrones de apilamiento son la descripción geométrica de cambios geográficos de los facies tracts y la dirección de desplazamiento dentro de secuencias genéticas sucesivas (Cross, 1988, en Núñez y Saavedra, 2006).

Los triángulos se usan convencionalmente para describir una jerarquía de los ciclos estratigráficos, el tiempo geológico y las condiciones de A/S que acompañaron los ciclos de nivel base.

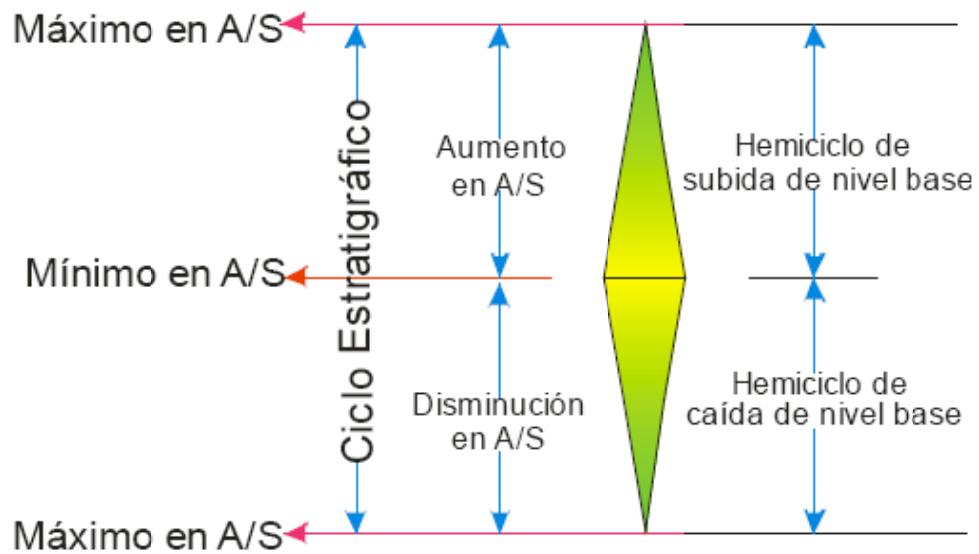


Figura 43. Notación de Ciclos, tomada de Núñez y Saavedra, 2006.

Convencionalmente la notación de triángulos es usada para describir los ciclos y los hemiciclos de nivel base. Un hemiciclo de subida es designado como un triángulo con su ápice hacia arriba y un hemiciclo de caída es representado con un triángulo con su ápice hacia abajo (Figura 43). Un ciclo simétrico es representado por un hemiciclo de subida y por un hemiciclo de caída de iguales dimensiones; un ciclo ligeramente asimétrico es representado por un hemiciclo de subida y un hemiciclo de caída de dimensiones diferentes; finalmente un ciclo asimétrico es representado solo por un hemiciclo de subida o un hemiciclo de caída (en Núñez y Saavedra, 2006).

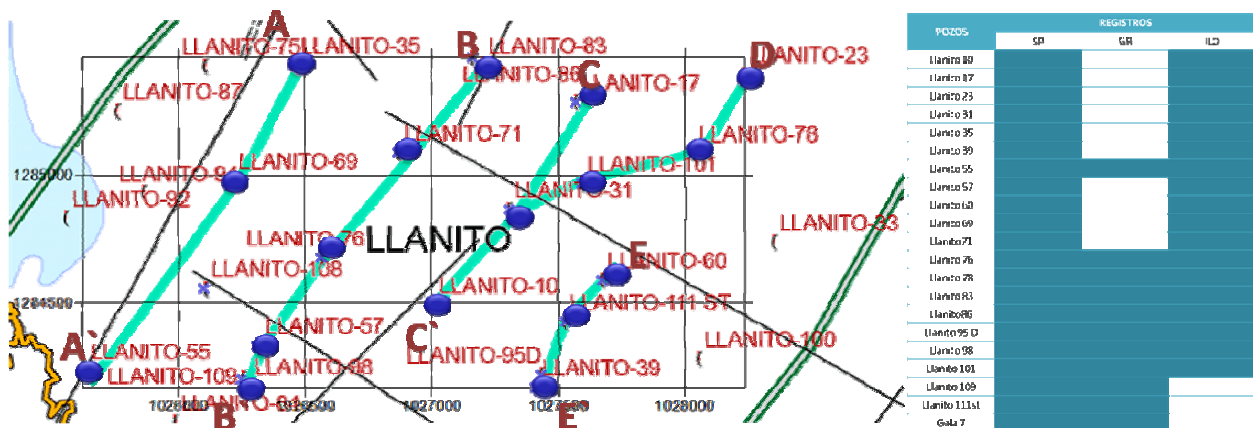


Figura 44. Transeptos de correlación y registros de pozo tenidos en cuenta (patrón relleno) en este estudio.

Siguiendo el objetivo planteado se realizaron las correlaciones litoestratigráficas atravesando la estructura principal del campo (anticlinal) (ver Figuras 4 y 5) teniendo en cuenta los postulados antes descritos, y la totalidad de los datos aprehendidos en el análisis de afloramientos, de corazones y de su amarre a los registros, se construyeron seis correlaciones (ver Ubicación en la Figura 44) en dirección NE-SW nombradas de W a E de la siguiente manera A-A' (en los pozos LL-65, LL-69 y LL-55), B-B' (en los pozos LL-83, LL-86, LL-71, LL-76, LL-57 y LL-98), C-C' (en los pozos LL-17, LL-31 y LL-10), D-D' (en los pozos LL-23, LL-78, LL-101, LL-31 y LL-10), E-E (LL-60, LL-111ST y LL-39) y el panel C-D (en los pozos LL-17, LL- 31, LL-101, LL-78 y LL-23). Estas se pueden observar en los PDF de la sección Correlaciones en el CD ANEXO el panel C-D se describe de manera sencilla en la Figura 48.

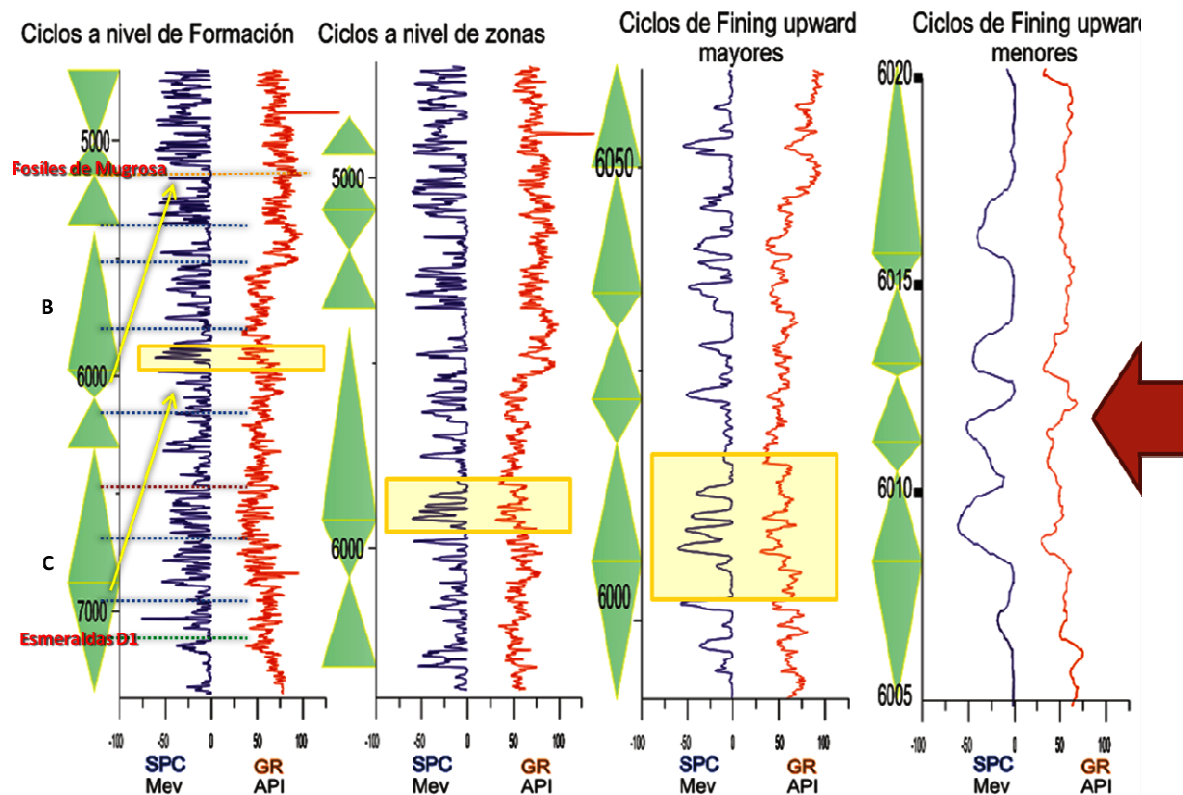


Figura 45. Ciclos estratigráficos definidos en este estudio para la Fm. Mugrosa en el Pozo Gala 7, los cuadros amarillos indican los cambios de escala de izquierda a derecha de un fining upward de alta relación A/S a medida que disminuye la resolución. Las flechas amarillas representan los patrones de apilado a nivel de formación que separan dos zonas principales dentro de la Fm. Mugrosa. Nótese la claridad de la respuesta de las curvas del registro SPC.

En el intervalo analizado de la Fm. Mugrosa, presente en el sector central del Campo Llanito se identificaron doce (12) zonas a partir del análisis de registros eléctricos de potencial espontáneo y de rayos gamma (ver Figura 44 y 48), identificando las respuestas sedimentológicas indirectas obtenidas en registros como ciclos de adelgazamiento hacia el tope (fining upward), dichas respuestas son definidas como asimetrías de ciclo/pares inversos asimétricos (teniendo en cuenta una definición formal), y estas se conservan como patrones claramente identificables a través la Fm. Mugrosa en el área de estudio, ya que se definieron por medio de patrones de estacado, los cuales registran a través de un tren de facies un correspondiente registro estratigráfico de un sistema depositacional el cual debería tener una equivalencia en tiempo.

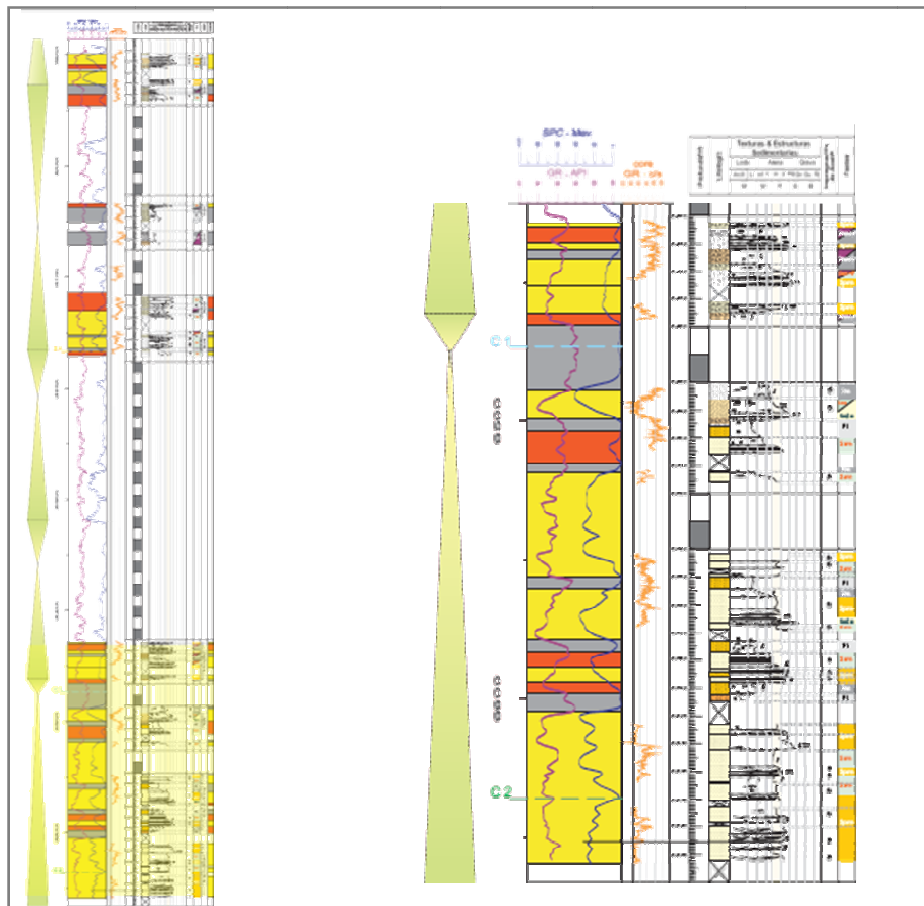


Figura 46. Se observa un patrón de estacado a nivel de zona operacional, con atributos internos de menor escala. El amarre Roca registro permite extrapolar a las respuestas indirectas (registros) los atributos descritos directamente sobre la roca permitiendo un análisis significativo del mismo.

Aunque en este estudio no se hizo una calibración cronoestratigráfica, con biozonas, el argumento de los ciclos asimétricos / patrones de estacado, se expresa en cambios que son correlacionables a nivel del sistema deposicional analizado (ver Figura 45), así los atributos sedimentológicos y estratigráficos descritos en el Pozo Gala 7 y en Afloramientos, muestran que los patrones de estacado se presentan a escalas variables a través de la cuenca (ver Figura 46 y 47). Además muestra que durante la evolución del sistema, ocurren sucesivas migraciones del ambiente que se ven reflejadas en las litofacies, en las geometrías de las electróformas y en las electrófacies, dando como resultado secciones donde las electrófacies predominantes son tubulares (asociadas a ambientes de Llanura de Inundación) y las cuales se restringen principalmente a las zonas de la parte inferior de la base y a las zonas más cercanas al tope (ver Figura 48).

Los ciclos de adelgazamiento hacia el tope, se identificaron a varias escalas dentro de la formación como se muestra en las Figuras 45 – 47. Para la construcción de la correlación (Ver Figura 45 – 48) se utilizaron los ciclos representativos de baja frecuencia (horizontes) que fuesen lateralmente continuos, (ver PDF Col_Gala 7 y PDF de la sección Correlaciones en CD ANEXO).



Figura 47. Afloramiento descrito en la sección de campo donde se observa un patrón de adelgazamiento hacia el tope en las areniscas de la base de la Fm. Mugrosa en donde gradualmente el espesor de las capas tiende a disminuir y la reología de las estructuras sedimentarias disminuye en energía.

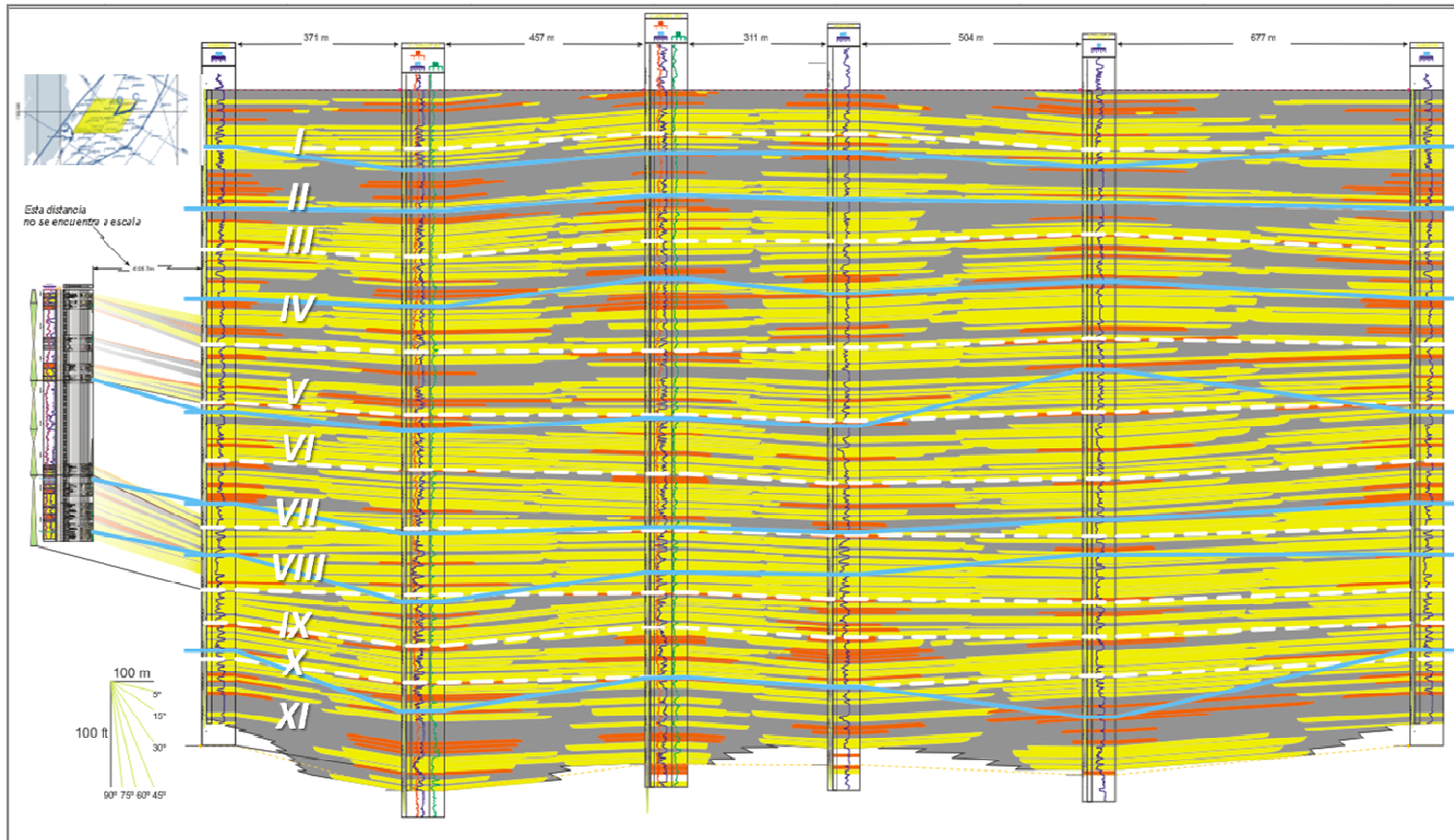


Figura 48. La imagen muestra la línea de correlación de alta resolución(C-D) basada en ciclos estratigráficos, establecidos a partir de corazones y perfiles de pozo. Los patrones amarillos indican las Asociaciones de canal, los patrones Naranja, las Asociaciones de desborde de Canal y el patrón gris del fondo indica las Asociaciones de la Cuenca de inundación. Las líneas azules muestran los topos de las unidades operacionales, las cuales no corresponden en la mayoría de los casos a los límites establecidos por ciclos estratigráficos. La línea blanca punteada muestra los topos establecidos en esta correlación y cada división sugiere horizontes estratigráficos definidos durante esta investigación.

Al comparar los ciclos estratigráficos definidos para la Fm. Mugrosa en el sector central del Campo Llanito se observó que los topes operacionales suministrados por la base de datos de ECOPETROL-ICP (2007), no necesariamente coinciden con horizontes estratigráficos (ver Figura 48) ya que estos topes operacionales involucran mucho más que las facies geológicas en un sistema depositacional y por lo tanto no coinciden necesariamente con los límites de estas. Según Saavedra (2006) un tope operacional puede incluir varios tipos de facies y tipos de roca dependiendo de la combinación de las propiedades geológicas (mineralogía y textura), que determinan los atributos de geometría de poro, y por ende facilitan o afectan el flujo de fluidos.

En resumen se puede decir que la Fm. Mugrosa en el área de estudio presenta tres fases principales, caracterizadas por las relaciones gruesos/finos o gruesos/arena y que por consiguiente se encuentran relacionadas con las condiciones de A/S del periodo. La fase inicial mostraría el desarrollo de un sistema fluvial de ríos actuando sobre el Nivel fosilífero de los Corros (?) depositado bajo altas condiciones A/S, lo cual muestra una aparente discordancia ver Figura 48, en la base de XI (posiblemente provocada por la erosión del nivel y la incisión de los niveles de arenisca sobre el mismo), este sistema posee una relación de gruesos sobre finos menor que uno (<1) lo que indicaría bajo gradiente, alta sinuosidad, baja potencia de la corriente y una estabilidad moderada. La segunda fase se caracteriza por un dominio de la gruesos/finos (ver Figura 48 zonas X a la VI) con una relación mayor que uno (>1) lo sugirió el desarrollo de sistemas de ríos trezados (mas detalles ver Galloway & Hobday, 1996), con una alta porcentaje de avulsión de los canales, alta conectividad y continuidad lateral y vertical, que es congruente con la interpretación de Gómez (2005), Cediell (2003), Olaya (1997) para este periodo, en el que se sugiere una transferencia de esfuerzos de W a E lo cual se tradujo en deformación y levantamiento inicial del relieve. Una etapa final de moderada estabilidad y en la que las relaciones gruesos/finos menor que uno (<1), y que fueron interpretados como sistemas desarrollados en altas relaciones A/S en las que los finos aumentan gradualmente hacia el tope, sugiriendo un control tectónico (ej. Subsistencia) como el presente actualmente en la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena, desarrollando sistemas de ríos meandriformes y ciénagas, con alta sinuosidad y el predominio de las arcillolitas sobre las areniscas.

CONCLUSIONES

En el área de estudio se definieron 6 litofacies las cuales fueron nombradas teniendo en cuenta los principales atributos sedimentológicos presentes; de las mas finas a las mas gruesas fueron definidas como: **(FI)** Arcillolitas, areniscas o limolitas intercaladas, con estructuras sedimentarias; **(Fm)** Lodolitas, y areniscas macizas, bioturbadas; **(Sr)** Areniscas de finas a gruesas con estructuras sedimentarias; **(Srm)** Areniscas de finas a gruesas sin estructuras sedimentarias de flujo; **(Spm)** Areniscas medias o gruesas con clástos, masivas o con relictos de estratificación; **(Gm/Sm)**, Areniscas gruesas o Conglomeráticas, con estructuras sedimentarias; **(+P)** Paleosuelos

En el área de estudio se establecieron (3) asociaciones de litofacies características para la Formación Mugrosa, las cuales fueron usadas para definir elementos dentro de las correlaciones litoestratigráficas del área de estudio teniendo en cuenta el amarre hecho entre la información litofacial y los registros de pozo. Estas asociaciones de facies son descritas como:

- a) **Asociaciones de canal**, a las que se les asocio una electrófacies de Campana o de Cilindro con una Resistividad entre -60 a -80 meV y una Radiación entre 30 y 60 c/s
- b) **Asociaciones de canal relleno**, a las que se les asocio una electrófacies de cilindro pero con un espesor moderado que no sobrepasa los 15 ft, medidas de resistividad entre -60 y -20 meV y Radiación entre 70 y 95 c/s.

- c) **Asociaciones de Llanura de Inundación**, a las que se les asocio las electrófacies de tubo o de Embudo con medidas ascendentes o constantes de Resistividad entre -20 y 0 mV y Radiación cercana a las 110 c/s.

La Formación Mugrosa en el área de estudio presenta tres fases principales (observadas en las correlaciones) caracterizadas por las relaciones gruesos/finos o gruesos/arena que describen un comportamiento en términos de la relación entre Acomodación y Suministro de Sedimento (A/S) como:

- a) Fase inicial de erosión que se evidencia como una discordancia sobre un nivel que representa máxima inundación (discordancia entre Mugrosa y Esmeraldas sobre el Nivel Fosilífero de los Corros).
- b) La segunda fase se caracteriza por un dominio de sedimentos gruesos/finos que sugiere el desarrollo de sistemas de ríos trenzados, con perfiles que muestran claros signos de avulsión de canales, como un gran espesor de los niveles de arenisca (entre 26 y 42 ft), alta conectividad y continuidad lateral y vertical, y baja relación A/S, representado por el canibalismo y los niveles amalgamados observados en corazones y afloramiento.
- c) La fase final se interpretó como sistemas de ríos meandriiformes con alta sinuosidad hacia el tope en donde predominan los niveles de arcillolitas sobre las areniscas, desarrollados bajo altas relaciones A/S, sugiriendo una baja estabilidad lo cual propone un control tectónico, posiblemente con similitud al presente hoy en el Valle Inferior del Magdalena. .

Se observó que los ciclos estratigráficos definidos en el proyecto Análisis sedimentológico y Estratigráfico de la Formación Mugrosa en el sector central del Campo Llanito, no coinciden con los topes operacionales establecidos por ECOPETROL – ICP (2007), ya que estos no necesariamente coinciden con horizontes estratigráficos, debido a que dichas unidades relacionan diferentes niveles dentro de la Formación Mugrosa que poseen características petrofísicas similares, mas no las estratigráficas descritas.

Finalmente en un intento de relacionar los niveles descritos en el proyecto y las zonas propuestas tradicionalmente para la cuenca se encontró que en las correlaciones realizadas en el área de estudio, las mejores continuidades de los niveles de arenisca de la Formación Mugrosa se encuentran hacia la parte central-inferior de la Formación, en lo que se conoce tradicionalmente como las zonas operacionales B4, C1 y C2.

RECOMENDACIONES

Se propone continuar el trabajo de análisis sedimentológico textural en el resto de la cuenca para tener un mejor control geoestadístico del ambiente de sedimentación, y de la evolución del Río Magdalena desde el Oligoceno hasta el Cuaternario. A la par se sugiere realizar una clasificación taxonómica aprovechando las muestras recolectadas a la base de la Fm. Mugrosa en horizonte fosilífero de los Corros para redefinir/calibrar la edad de la Formación teniendo en cuenta nuevos criterios Paleontológicos.

Se recomienda a la industria invertir en programas sísmicos con mayor resolución no solo para el Campo Llanito sino para toda la cuenca ya que la resolución mínima de 80ft con la que se cuenta no permite hacer interpretaciones ambientales de buena resolución, lo que se traduce en pérdidas de buenos yacimientos.

Se propone emplear los topes de las unidades litoestratigráficas determinadas a partir de las correlaciones llevadas a en el sector central del campo Llanito, para genera mapas de facies, si es posible calibrar las respuestas en tiempo, se podrían genera los mapas para un tiempo dado, y comparándolos se podría establecer la evolución de los canales en el área de Campo Llanito.

Finalmente debemos resaltar la importancia de la integración de información del subsuelo con la de superficie para obtener un mejor entendimiento de la estratigrafía y sedimentación de los potenciales reservorios en una cuenca, y de esa manera reducir el riesgo en la exploración de hidrocarburos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bendeck Olivela Jorge, 1992, Perfiles Electricos “Una Herramienta para la Evaluación de Formaciones”, ACGGP, Bogotá, Colombia.

Baker Hughes INTEQ Training & Development, 80825 Rev. B April 1996, Wellsite Geology Reference Guide Chapter 2, Baker Hughes INTEQ , Houston, TX United States of America.

Boggs, Jr. Sam, 2001, Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Third Edition, Prentice hall, New Jersey.

Castro, R y Gordillo, G, 2005; Tesis: “Historia y criterios empíricos en la Aplicación de Inyección de Agua en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena”; Tesis de grado, Universidad de las Américas.

Cifuentes, A. y Fonseca C., 2008; Informe de Campo III “Análisis sedimentológico y textural de la base de la Fm. Mugrosa”, Grupo de Investigación en Estratigrafía, no publicado.

ECOPETROL y Schlumberger, 2003; Análisis Conjunto de Viabilidad Técnica de Estructurar un Proyecto de Aplicación Tecnológica en el Campo Casabe, Gerencia Centro Oriente, Centro, Santander, Colombia.

ECOPETROL – ICP, 2006; Modelamiento para Optimizar el Factor de Recobro en Campos Maduros de las Cuencas del Valle Medio del Magdalena y Catatumbo – Campo Llanito, INFORME TECNICO DE PROYECTOS 2006, Unidad de Investigación ECOPETROL – ICP, Piedecuesta-Santander, Colombia.

ECOPETROL – ICP, 2006; Modelamiento para Optimizar el Factor de Recobro en Campos Maduros de las Cuencas del Valle Medio del Magdalena y Catatumbo – Campo Lisama,

INFORME TECNICO DE PROYECTOS 2006, Unidad de Investigación ECOPETROL – ICP, Piedecuesta-Santander, Colombia.

Folk, R. L., 1974, Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill, Austin, Texas, USA.

Folk, R. L., W. C. Ward, 1957, "Brazos River Bar: A Study in the significance of grain size parameters", Jour. Sed. Pet.

Friedman, G. M., 1961, Distinction between Dune, Beach and River Sands from their textural characteristics, Jour. Sed. Pet.

Galloway, W. D. & Hobday D. K., 1996, Terrigenous clastic depositional systems, 2nd Edition, Springer – Verlag.

Gevers, T.W.; Frakes, L.A.; Edwards, L.N.; Marzolf, J.E., 1971; Trace Fossils in the Lower Beacon Sediments (Devonian), Darwin Mountains, Southern Victoria Land, Antarctica". Journal of Paleontology 45 (1): 81-94.

Gore, Pamela. 2006; Sedimentary Structures Laboratory; Department of Geology, Georgia Perimeter College, Clarkston. USA

Gómez, E.; Jordan, T.; Allmendinger, R.; Hegarty, K.; Kelley, S.;2005, Syntectonic Cenozoic Sedimentation in the Northern Middle Magdalena Valley Basin of Colombia and Implication for exhumation of the Northern Andes., Geological Society of American Bulletin, May/June 2005.

INGEOMINAS, 1967, GEOLOGÍA DEL CUADRÁNGULO H.11 BARRANCABERMEJA y Memoria explicativa del Cuadrángulo H11.

INGEOMINAS, 1978, GEOLOGIA DEL CUADRANGULO H12 BUCARAMANGA – PAMPLONA y Memoria explicativa del Cuadrángulo H12.

Lobo, A., Rojas, C., Calderón, E., Gonzáles, M., Olaya, I. Mayo 16-17, 2002. Segunda convención Técnica de la ACGGP, Bogotá, Colombia.

Miall, A. D.; 1996, *The Geology of Fluvial Deposits*; Springer-Verlag; Berlin.

Marenssi, S; Limairo, C.; Tripaldi, A.; Net, L.; February of 2005; *Fluvial systems variations in the Leona Formation: Tectonic and eustatic control on the Oligocene evolution of the Austral (Magallanes) Basin, southernmost Argentina*; *Journal of South American Earth Sciences*, ELSEVIER

Montgomery, S.; 1992, *Petroleum Potential of Upper and Middle Magdalena Basins, Colombia*; *Petroleum Information Corporation*.

North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 2005; *NORTH AMERICAN STRATIGRAPHIC CODE.*; *AAPG Bulletin*, v. 89, no. 11 (November 2005), pp. 1547–1591
Núñez y Saavedra, 2006. *Definición de un Modelo Estático para las Formaciones Barco y Catatumbo, Campo Sardinata, Cuenca Catatumbo, Colombia. Trabajo Inédito. Universidad Industrial de Santander.*

Ramon, J. C.; & Cross T. A.; 1997, *Characterization and prediction of reservoir in fluvial channel sandstones, Middle Magdalena Basin, Colombia. Revista CT&F Vol 1 N° 3 Diciembre de 1997.*

Ramon, J. C.; & Cross T. A.; *Correlation Strategies and Methods in Continental Strata, Middle Magdalena Basin, Colombia, Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines (No dates).*

Ramon, J. C.; & Cross T. A.; 1997, *Estratigrafía Secuencial en Estratos Continentales.*, VI Simposio Bolivariano “Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas”, *Memorias Tomo II, Cartagena de Indias, Colombia, Septiembre 14 – 17 de 1997.*

Royero, Jose y Clavijo, Jairo, 2001, *Memoria Explicativa del Mapa de Santander escala 1:400000, INGEOMINAS 2001.*

Saavedra, N. et al, 2006. *Modelamiento para Optimizar el Factor de Recobro en Campos Maduros de las Cuencas del Valle Medio del Magdalena y Catatumbo. ECOPETROL - ICP*

Santacruz, Ricardo y otros; 2004, Actualizacion del Modelo Geológico del Campo Llanito – Gala, ECOPETROL.

Selley, Richard C, 1976, Medios Sedimentarios Antiguos, Primera edicion Española, Hermann Blume Ediciones, Madrid-España.

Serra, O., 1985, Stratigraphy, Tectonics and Multi-Well Studies Using Wireline Logs, Schlumberger Well Services, Houston, Texas.

Serra, O., 1985, Sedimentary environments from Wireline Logs, Schlumberger Well Services, Houston, Texas.

Schlumberger, 1985, Resistivity Measurement Tools, Schlumberger Well Services, Houston, Texas

Tearpock, D. & Bischke, R.; 1991, Applied Subsurface Geological Mapping., Prentice Hall PTR.

Timothy A. Cross, Peter W. Homewood, 1997, Amanz Gressly's role in founding modern stratigraphy, GSA.

Taborda, B.; 1982, The Geology of the Mares Concesion. Geological Field – Trips, 1959 – 1978. Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists (ACPGG).

Vera, J. A., 1994, Estratigrafía: Principios y Métodos, Ediciones Rueda, España.

Walker, R. C., James, N. P., 1992, Facies Models/Alluvial Deposits by Miall Andrew, Chapter 7., Geological Association of Canada, Love printing LTDA.

Web:

www.epis.com.co

www.mines.edu/research/gsrp/Pubs/MiddleMagdalena.pdf

Otros

1) *PDF, Líneas Sísmicas y pozos del Campo Llanito, Base de datos suministrada por el Convenio de cooperación tecnológica UIS - Ecopetrol 05/07.*

2) *Tablas XLS, Topes de las Unidades Operacionales en el Campo Llanito, Base de datos suministrada por el Convenio de cooperación tecnológica UIS - Ecopetrol 05/07.*