

**MODELO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN
MUGROSA EN EL CAMPO ESCUELA – COLORADO.**

**JERSON ANDRÉS GARCÍA MANTILLA
CRISPÍN AURELIO FONSECA SALAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2009**

**MODELO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN
MUGROSA EN EL CAMPO ESCUELA – COLORADO.**

**JERSON ANDRÉS GARCÍA MANTILLA
CRISPÍN AURELIO FONSECA SALAS**

Trabajo de grado parcial presentado para optar el título como Geólogo

DIRECTORES

**Geol. JOSÉ RICARDO SANDOVAL.
ECOPETROL – ICP**

**Geol. HELGA NAYIBE NIÑO
ECOPETROL – ICP**

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

2009

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de la manera más sincera y sentida a:

La Universidad Industrial de Santander, nuestra alma mater.

El Instituto Colombiano Del Petróleo (Ecopetrol), nuestro patrocinador.

El Grupo de Investigación De Campos Maduros, nuestro centro de desarrollo y al Frente de Investigación de Modelamiento Estático de Yacimiento, desde donde desarrollamos nuestra área de especialización.

A los ingenieros Rubén Castro, Sergio Orozco y Laura Amaya quienes siempre estuvieron gestionando y defendiendo la ejecución de este trabajo.

A los profesores Jorge Pinto, Jairo Clavijo, Fernando Muñoz y Germán Meza, consultores expertos permanentes a este trabajo.

A José Ricardo Sandoval, por sus innumerables enseñanzas y asesorías para la realización de este proyecto, mostrándonos un norte a seguir de la manera más humilde y desinteresada.

A nuestros amigos Rolando Ramírez, Paola Orejuela, Oscar Vera, José Galán, Henry Ochoa, Aldemar Castillo, Allan Cifuentes, Karl Leonard, Alejandro Velasquez y a Jhon Ballesteros.

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	2
1.3 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE CAMPO COLORADO	3
1.4 PROBLEMÁTICA, PROPUESTA Y JUSTIFICACIÓN	4
1.5 METODOLOGÍA	5
2. MARCO GEOLÓGICO DE LA FORMACIÓN MUGROSA	12
3. MODELO SEDIMENTOLÓGICO	14
3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS	14
3.1.1 Descripción General de la Formación Mugrosa	15
3.2 DESCRIPCIÓN DE FACIES	17
3.2.1 Litofacies Gci, Gmm, Gmg	17
3.2.2 Litofacies St	18
3.2.3 Litofacies Sp	20
3.2.4 Litofacies Sr	21
3.2.5 Litofacies Sm	22
3.2.6 Litofacies Fl	24
3.2.7 Litofacies Fsm	26
3.2.7 Litofacies Fr	26
3.3 ASOCIACIÓN DE FACIES	28
3.3.1 Asociación Grava-Sm	29
3.3.2 Asociación Sm-St	31
3.3.3 Asociación Sr-St	33
3.3.4 Asociación Sr – Sp	34

3.3.5 Asociación Sm – Sr	36
3.3.6 Asociación Finos de Inundación	38
3.4 PATRONES FLUVIALES	39
3.4.1 Los Depósitos Acreción Lateral (LA)	40
3.4.2 Los Depósitos de Acreción Corriente Abajo (DA)	41
3.4.3 Depósitos de Corte y Relleno (SB)	42
3.4.4 Depósitos de Relleno de Canal (CH)	44
3.4.5 Depósitos de Desborde y Llanura de Inundación (FF)	45
3.5. MODELO DE DEPOSITACIÓN	47
3.6 ANÁLISIS DE REGISTROS ELÉCTRICOS	49
3.6.1 Ajuste a Profundidad	50
3.6.2 Electrofacies de la Formación Mugrosa	50
3.6.2.1 Electroformas de Canal	51
3.6.2.2 Electroformas de llanura de inundación	54
3.6.3 ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS	55
3.6.3.1 Histogramas de Litofacies Vs Registros Eléctricos	55
3.6.3.2 Histogramas de litofacies Vs Tipos de Depósito	61
4. MODELO ESTRATIGRÁFICO	
4.1 TOPES Y SUBZONAS DE LA FORMACIÓN MUGROSA	65
4.1.1 Horizonte Fosilífero de Mugrosa	65
4.1.2 Base de la Formación Mugrosa	67
4.1.3 Subzonas de la Formación Mugrosa	69
4.2 ANÁLISIS DE ESPESOR	74
4.2.1 Comportamiento del Espesor de Canal Para la Zona B	76
4.2.2 Comportamiento del Espesor de Canal Para la Zona C	77
4.2.3 Análisis de Frecuencia Acumulada	79
4.3 RELACIÓN ANCHO/ESPESOR	80
4.4 CORRELACIONES ESTRATIGRÁFICAS	81
4.4.1 Correlación C19-C23-C77	83
4.4.2 Correlación C31-C52-C12	84
4.4.3 Correlación C43-C40-C32	85
4.5 MAPAS DE ESPESOR DE ARENA	87
4.5.1 Mapas de Arena Zona B0	88
4.5.2 Mapas de Arena Zona B ₁	90

4.5.3 Mapas de Arena Zona B ₂	92
4.5.4 Mapas de Arena Zona B ₃	94
4.5.5 Mapas de Arena Zona C ₁	96
4.5.6 Mapas de Arena Zona C ₂	98
4.5.7 Mapas de Arena Zona C ₃	100
5. CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Pozos con intervalos corazonados en Campo Colorado.	7
Tabla 2. Este Formato de descripción de núcleos. Modificado de Ecopetrol (2003) e Ingeominas (1985).	11
Tabla 3. Este formato de presentación de columnas estratigráficas. Modificación de Ingeominas (1985).	12
Tabla 4. Se muestran los pozos descritos del Campo Colorado y al frente el número de cajas y la cantidad de pies disponibles.	15
Tabla 5. Litofacies encontradas en la Formación Mugrosa, Modificado del código litofacial de Miall, 1996.	18
Tabla 6: Cálculos de espesor realizados en la zona C2 del campo Escuela – Colorado.	76
Tabla 7. Indica los valores de ancho, espesor, Relación T/W, fracción e interconectividad de las arenas del campo colorado.	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa simplificado del Valle Medio del Magdalena	2
Figura 2. Ubicación de los pozos del Campo Escuela-Colorado.	3
Figura 3. A y D son canales simples, B, E y F son complejos de canal generados por migración lateral y C son canales apilados.	8
Figura 4. Columna generalizada Integrada del Valle Medio del Magdalena	24
Figura 5. Recorte de la columna de núcleos de perforación del pozo C27.	15
Figura 6. Se muestra un “lag deposit”.	19
Figura 7. Se muestra una típica arenisca con estratificación cruzada en artesa, facies St.	19
Figura 8. Se muestra una típica artesa en afloramiento, facies St.	20
Figura 9. Se muestra una serie de artesas de alto régimen.	20
Figura 10. Se muestra de manera esquemática como una duna 2D es transformada en “ <i>macroripples</i> ”.	21
Figura 11. Muestra la forma como aparece la estratificación cruzada paralela en núcleos.	22
Figura 12. Se muestran relictos de “ <i>ripples</i> ” que se intercalan con las ondulitas.	23
Figura 13. Típico ejemplo de “ <i>sets</i> ” de ondulitas en afloramiento. facies Sr.	23
Figura 14. Se muestra la ocurrencia de calcos de carga.	25
Figura 15. Se muestran las típicas intercalaciones entre las facies Sm y Fl.	26
Figura 16. A: Arcillolita varicoloreada, B: Arenisca de grano muy fina cuya estratificación ha sido perturbada por la bioturbación.	27
Figura 17. Ichnofacies <i>Escoyenia</i> , aparece en todas las litologías.	27
Figura 18. Comportamiento de un río ante los cambios en el poder de la corriente y el suministro de sedimento.	28
Figura 19. Tendencia general en que ocurre la asociación entre facies de grava y areniscas conglomeraticas.	29
Figura 20. Corte transversal de una barra longitudinal.	30
Figura 21. Se muestra la asociación St – Sm.	31
Figura 22. Esquema en el que se muestra la configuración de una duna 3D subacuosa.	32
Figura 23. Se muestra la asociación Sr – St.	33

Figura 24. Asociaciones Sr – Sp.	34
Figura 25. Se muestra un esquema de la generación de las dunas 2D.	35
Figura 26. Se muestra la configuración tridimensional de las dunas 2D.	36
Figura 27. Se muestra la asociación Sm – Sr.	36
Figura 28. Afloramiento con facies clásticas de grano fino (limolitas, arcillolitas).	39
Figura 29. Se muestra el comportamiento arquitectural del elemento arquitectural LA.	41
Figura 30. Se observa la relación vertical entre los elementos CH y DA con los elementos CS y FF.	42
Figura 31. Se muestra la relación entre el elemento arquitectural SB y CH.	43
Figura 32. Se muestra la relación vertical entre los elementos arquitecturales CH, CS y FF.	44
Figura 33. Se muestra la fuerte relación vertical entre los elementos arquitecturales de canal (CH), de desborde (CS) y los de llanura de inundación (FF).	45
Figura 34. Se muestra un amalgamamiento entre los elementos arquitecturales CS, CR, FF y su relación con el elemento CH.	47
Figura 35. Se muestra la correspondencia de cada asociación de facies al interior de cada subambiente del sistema de ríos.	48
Figura 36. Se muestra la asociación de gravas y areniscas conglomeráticas con su electroforma en cilindro y en campana.	52
Figura 37. Se muestra la asociación Sm-St y la electroforma en campana que la caracteriza.	52
Figura 38. Se muestra la asociación Sr-St y la electroforma en campana que lo caracteriza.	52
Figura 39. Se muestra la asociación Sr-Sp y la electroforma en campana que lo caracteriza.	53
Figura 40. A) Electrofacies de amalgamamiento de canales con electroforma cilíndricas en CI 21. B) Combinación entre una electroforma de campana y una electroforma en campana del pozo C27.	53
Figura 41. Se muestra una electroforma en campana en una de las asociaciones de facies del “overbank.”	54
Figura 42. Histograma del registro gamma ray contra las litofacies.	56

Figura 43. Se muestra el histograma del registro SP y las litofacies de pozo T32.	57
Figura 44. Se muestra el histograma del registro SP frente a las litofacies del pozo C27.	57
Figura 45. Se muestra el histograma del registro SP frente a las litofacies del pozo C21.	58
Figura 46. Se muestra el histograma del registro resistivo profundo frente a las litofacies del pozo T32.	58
Figura 47. Se muestra el histograma del registro resistivo profundo frente a las litofacies del pozo C27.	59
Figura 48. Se muestra el histograma del registro resistivo profundo frente a las litofacies del pozo C21.	59
Figura 49. Se muestra el histograma de las fases de yacimiento frente al porcentaje de litofacies en cada fase.	62
Figura 50. Se muestra el histograma de las fases del yacimiento frente al número de veces que se encontró cada litofacies en los núcleos de perforación.	62
Figura 51. Se muestra el histograma de las fases del yacimiento frente a los rangos de valores del registro GR.	63
Figura 52. Se muestra el comportamiento de cada fase del reservorio para los registros SP (A) y RESD (B) en los pozos T32, C21 y C27.	64
Figura 53. Interpretación de los datos de “Dipmeter” del Pozo C23.	66
Figura 54. Interpretación de los datos de “Dipmeter” del Pozo C24.	67
Figura 55. Interpretación de los datos de Dipmeter del Pozo Colorado 3.	68
Figura 56. Interpretación de los datos de “Dipmeter” del Pozo C28.	69
Figura 57. Se muestra la división en subzonas para la Formación Mugrosa en los pozos C33 y C27 .	71
Figura 58. Correlación entre los topes de los topes de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado entre los pozos C22, C19, C23 y C77.	72
Figura 59. Representación tridimensional del tope y la base de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.	72
Figura 60. Representación tridimensional de las subzonas de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.	73

Figura 61. Representación tridimensional de las electrofacies identificadas en los pozos del Campo Colorado.	74
Figura 62. Explicación del (A) cálculo de espesor de arena neto; (B) calculo de porcentaje de arena; (C) calculo de espesor promedio.	76
Figura 63. Se muestra la Frecuencia vs. Espesor de los cuerpos de arena en los intervalos de la zona B del Campo Escuela–Colorado.	77
Figura 64. Se muestra la Frecuencia vs. Espesor de los cuerpos de arena en los intervalos de la zona C del campo Escuela –Colorado.	78
Figura 65. Grafico de frecuencia acumulada con los espesores de los cuerpos de arena en cada dentro intervalo de la formación Mugrosa en el campo Escuela – Colorado.	79
Figura 66. A) Relación ancho espesor de canales; B) número de canales interconectados vs. Fracción de arenas. Campo Escuela – Colorado.	80
Figura 67. Mapa de los pozos, las fallas y la posición de las correlaciones estratigráficas realizadas en este trabajo.	82
Figura 68. Correlación C19-C23-C77 de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.	83
Figura 69. Correlación C31-C52-C12 de la formación Mugrosa en el Campo Colorado.	85
Figura 70. Correlación C43-C40-C32 de la Formación en el Campo Colorado.	87
Figura 71. Mapas de arena de la subzona B ₀	89
Figura 72. Mapas de arena de la subzona B ₁	91
Figura 73. Mapas de arena de la subzona B ₂	93
Figura 74. Mapas de arena de la subzona B ₃	95
Figura 75. Mapas de arena de la subzona C ₁	97
Figura 76. Mapas de arena de la subzona C ₂	99
Figura 77. Mapas de arena de la subzona C ₃	102

RESUMEN

TITULO: Modelo Sedimentológico y Estratigráfico de la Formación Mugrosa en el Campo Escuela-Colorado.*

AUTORES: Jerson Andrés García Mantilla – Crispin Aurelio Fonseca Salas.**

Palabras Claves: Sedimentológico, Estratigráfico, Formación Mugrosa, Campo Colorado, Facies, Elementos Arquitecturales, Fluvial.

En el análisis macropetrográfico de las propiedades sedimentológicas y estratigráficas de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado. Se describió la sección estratigráfica Campo 23-Oponcito y los pozos C21, C27 y T32, se encontraron siete litofacies (St, Sp, Sr, Sm, Fl, Fr, Gravas), organizadas en seis asociaciones genéticas (Sr-St, Sr-Sp, Sr-Sm, Sm-St, Fl-Fr y Sm-Gravas), se identificaron los elementos arquitecturales LA, DA, CH, FF, CS, CR y SB. La Formación Mugrosa para el Campo Colorado corresponde a depósitos de sistemas de ríos meándricos de mediana sinuosidad (1.2-1.5), con marcada migración lateral del cauce y desarrollo de barras alternantes subacuosas (lóbulos).

Se identificaron las electroformas para cada asociación de facies y se hizo un análisis estadístico básico de los registros.

Se redefinió la posición del tope y la base de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado con los archivos de perforación, la descripción de muestras de zanja y registros Dipmeter; se definieron los segmentos estratigráficos B₀, B₁, B₂, B₃, C₁, C₂ y C₃; se realizaron las correlaciones estratigráficas C19-C23-C77, C31-C52-C12, y C43-C40-C32; se realizaron mapas de espesor neto, espesor promedio, porcentaje de arena y factor de calidad para cada uno de los segmentos estratigráficos y finalmente se definieron las áreas con mejor continuidad lateral y espesor de los cuerpos arenosos en el Campo Colorado.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Geología, Director. Helga Nayibe Niño, Codirector, José Ricardo Sandoval

SUMARY

TITULO: Sedimentologic and Stratigraphic Model of The Mugrosa Formation in the Escuela-Colorado Field.

AUTHORS: Jerson Andrés García Mantilla - Crispin Aurelio Fonseca Salas.**

KEY WORDS: Sedimentológico, Stratigraphic, Mugrosa Formation, Colorado Field, Facies, Architectural Elements, Thickness Map.

The macro-petrographic analysis of the sedimentologic and stratigraphic properties of the Mugrosa Formation in the Colorado Field. Was described stratigraphic column Field 23-Oponcito and the wells C21, C27 and T32, seven lithofacies encountered (St, Sp, Mr., Sm, Fl, Fr, Gravels facies), organized in six genetic associations (Sr-St, Sr-Sp, Sr-Sm, Sm-St, Fl-Fr and Gravels-Sm), the architectural elements identified are LA, DA, CH, FF, CS, CR and SB. The Mugrosa Formation for the Colorado Field correspond to fluvial system deposits of meandering rivers with sinuosity meddle (1.2-1.5), lateral migration hard and development of alternant bars.

The electroform identified of every facies associations and statistical basic analysis of the well logs. There was redefined the position of the top and base of the Mugrosa Formation in the Colorado Field with the perforation files, description of trench samples and records Dipmeter; the stratigranic members for Mugrosa Formation are B0, B1, B2, B3, C1, C2 and C3 wells; the correlations estratigráficas C19-C23-C77, C31-C52-C12, and C43-C40-C32; there were realized maps of clear thickness, thickness I mediate, percentage of sand and quality factor for each of the segments estratigráficos and finally the areas were defined with better lateral continuity and thickness of the sandy bodies in the Field Colorado.

* Project of degree

** Facultad de Ingenierias Fisico químicas, Escuela de geología, Director Helga Nayibe Niño, Codirector José Ricardo Sandoval

INTRODUCCIÓN

La existencia de este proyecto es un primer paso para llegar a conocer la distribución de las areniscas productoras del Campo Escuela–Colorado. El Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) por medio del Grupo de Investigación en Campos Maduros y la Universidad Industrial de Santander ha venido planteando proyectos de grado con el fin de desarrollar metodologías que conduzcan a un eficaz entendimiento de campos petrolíferos maduros como este, donde la caracterización sedimentológica y estratigráfica debe ser robusta.

Este trabajo comprende (1) la determinación del ambiente de depositación de la Formación Mugrosa, (2) el reconocimiento de las electroformas mostradas por los registros eléctricos ante cada asociación de facies, (3) la forma en que se distribuyen estas en el subsuelo y (4) se identifican las zonas que poseen mayor espesor y mejor continuidad lateral en el Campo Escuela-Colorado. Esto ha sido realizado por medio del levantamiento de columnas estratigráficas en campo, la descripción de núcleos de perforación, la historias de recuperación de pozo y registros eléctricos.

El Campo Colorado está localizado en la Cuenca Valle Medio del Magdalena (VMM), al sureste del municipio de Barrancabermeja, Santander. Su estructura geológica está conformada por un anticlinal elongado de dirección norte-sur, limitado al Este por La Falla de Colorado, la cual es inversa (Ecopetro-Ansall, 2003); Este anticlinal se encuentra dividido en siete bloques separados por 6 fallas de tipo inverso y una normal , que van en sentido SW-NE (Ecopetrol-Ansall, 2003). En este campo se extraen hidrocarburos principalmente de las Formaciones Mugrosa (Zonas B y C) y Esmeraldas (Zona D).

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

GENERAL

Realizar un modelo macropetrográfico de las propiedades sedimentológicas y estratigráficas de la Formación Mugrosa en el Campo Escuela-Colorado.

ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de la Sección Campo 23–Oponcito a escala 1:100 y describir los corazones de los pozos C21 y C27 del Campo Colorado y los del pozo T32 del Campo Lisama a escala 1:10.
- Interpretar el ambiente de depositación de la Formación Mugrosa para el Campo Colorado por medio de un análisis macropetrográfico de facies.
- Desarrollar el amarre roca-registro para la Formación Mugrosa en el Campo Colorado por medio de la caracterización de las electroformas de los registros de Potencial Espontáneo, Gamma Ray y Registros Resistivos en los intervalos corazonados de los pozos C-21, C-26, C27 de Campo Colorado y T-32 de Campo Lisama.
- Construir diagramas de correlación estratigráfica, partiendo del Nivel Fosilífero de Mugrosa como “*datum*” y utilizando las electrofacies de la Formación Mugrosa para el Campo Colorado
- Generar mapas de espesor neto, espesor promedio, porcentaje de arena y Factor de Calidad para la Formación Mugrosa en el Campo Colorado, con el fin de definir las áreas con mayor continuidad y espesor.

1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El Campo Escuela–Colorado se encuentra ubicado en la Provincia Estructural del Piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental en el Departamento de Santander, en jurisdicción del municipio de San Vicente de Chucuri, en inmediaciones del corregimiento de Yarima; Mas exactamente entre los campos Aguas Blancas y San Luis y al Sureste del Campo La Cira – Infantas, Entre las coordenadas X=1.036.000–1.040.500 Este y Y=1.238.000–1.247.500 Norte con origen en Bogotá (ver Figura 1 y 2).

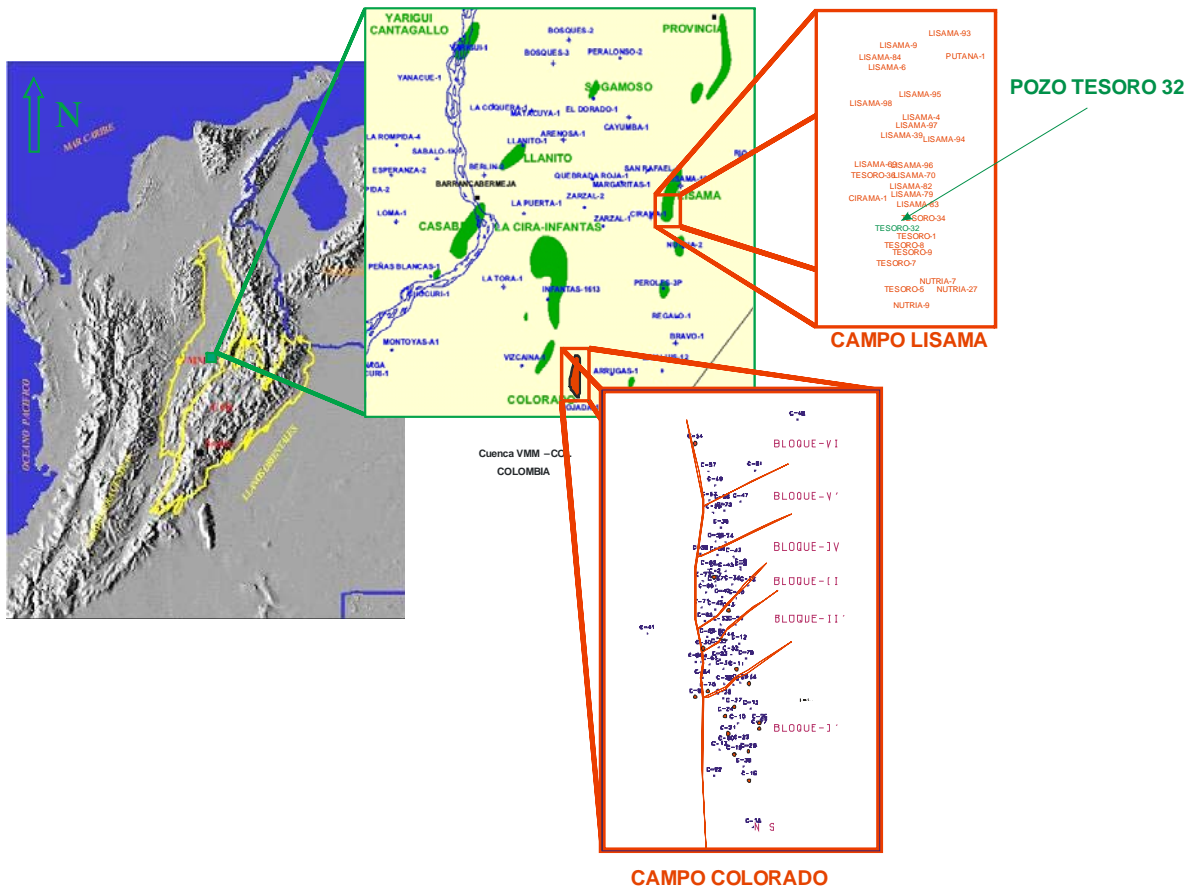


Figura 1. Mapa simplificado del Valle Medio del Magdalena en el que se muestra la ubicación del Campo Colorado y del pozo Tesoro 32.

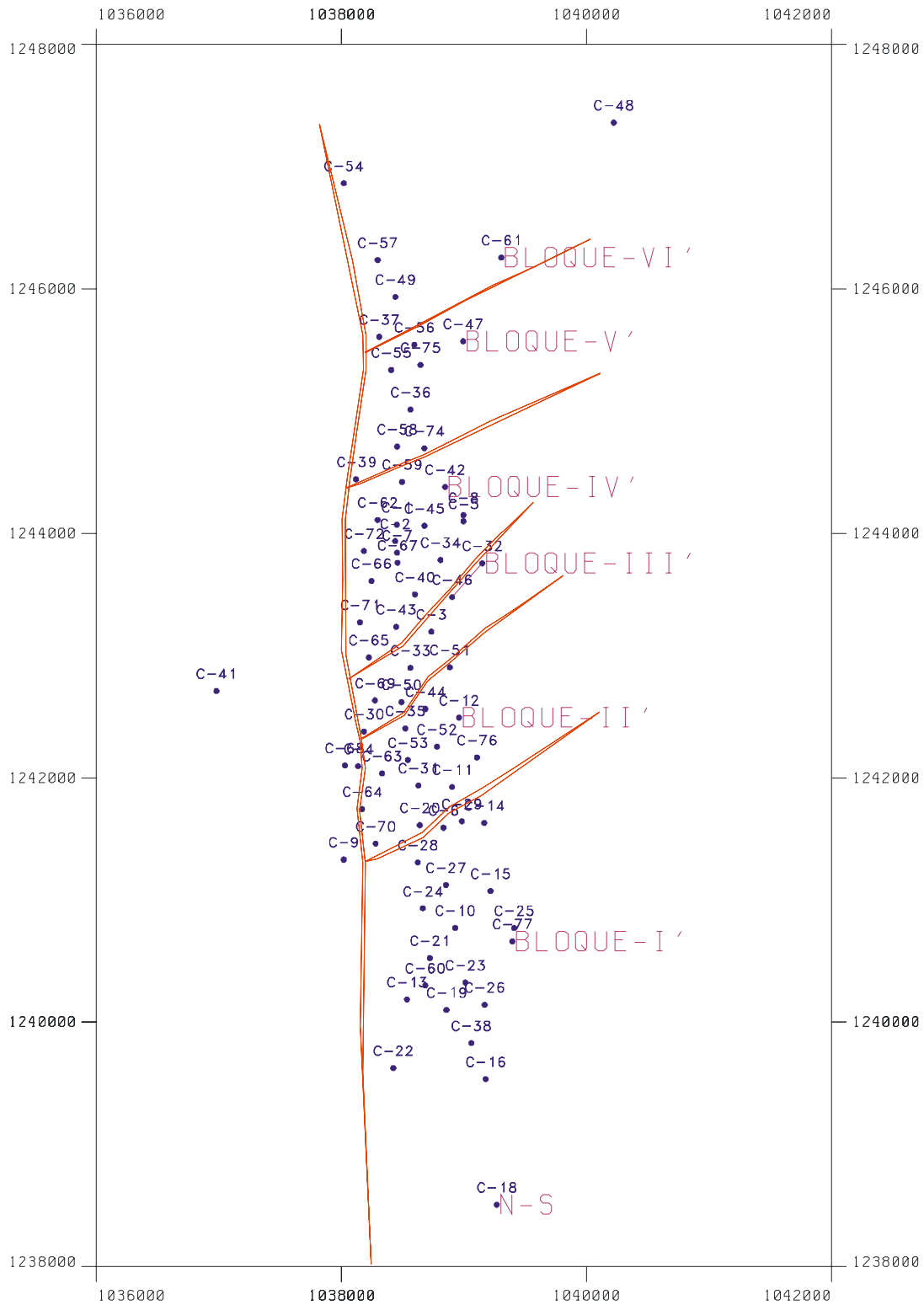


Figura 2. Ubicación de los pozos del Campo Escuela-Colorado. Tomado de Ecopetrol-Ansall (2003).

1.3 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE CAMPO COLORADO

La exploración del Campo Colorado se realizó entre los años de 1923 a 1932 perforando 7 pozos, la mayoría presentando problemas mecánicos, en 1945 se empezó a perforar 8 pozos con los cuales se realizaron pruebas obteniendo resultados alentadores, entre los años de 1953 a 1964 Ecopetrol desarrolló completamente el campo, mediante la perforación de 60 pozos para un total de 75 pozos.

Campo Colorado, alcanzó su máximo de producción en Noviembre de 1961 con 1765 BOPD, debido a que fue aquí cuando existió la mayor cantidad de pozos en funcionamiento, ya en 1966 (cinco años después) la producción había caído hasta los 430 BOPD (Ecopetrol, 2003). La complicada continuidad lateral del yacimiento y el poco espesor de las areniscas de la Formación Mugrosa han ocasionado que la producción estimada de cada uno de los pozos sea reducida (por debajo de los 300.000 bls) (Ecopetrol, 2003). También han jugado un papel importante en la historia de la producción el estado operacional de los pozos, cuyas fallas mas frecuentes obedecen a las fallas mecánicas y a la acumulación de parafinas en la tubería (Ecopetrol, 2003).

Desde Junio del 2006 el Campo Colorado fue entregado por Ecopetrol a la Universidad Industrial de Santander con el fin de proporcionar una oportunidad para la innovación, la investigación y el desarrollo tecnológico desde la academia. Campo Colorado se convirtió en el espacio para la investigación de los campos maduros en la Universidad Industrial de Santander, la cual, básicamente se ha encargado de desarrollar tesis de pregrado que van siendo unidas en un plan de desarrollo para la recuperación del Campo.

1.4 PROBLEMÁTICA, PROPUESTA Y JUSTIFICACIÓN

No se conoce la distribución de los cuerpos de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado. Al no existir correlaciones estratigráficas, ni mapas litoestratigráficos, no se puede llegar a conocer la distribución, la continuidad y la heterogeneidad de los diferentes paquetes arenosos en el subsuelo.

Con este proyecto de grado, se estima la localización de los intervalos estratigráficos con mejor continuidad lateral en la Formación Mugrosa en el Campo Colorado haciendo énfasis en conocer las características de los subambientes de la Formación Mugrosa, mediante un análisis de las asociaciones de facies y sus variaciones laterales, sumado al reconocimiento de sus electroformas, las cuales permitirán la adecuada realización de las correlaciones pozo a pozo que proporcionan la ubicación de intervalos estratigráficamente interesantes, cuya existencia también podrá ser insinuada árealmente con la implementación de los diferentes mapas de arena.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología con la que se desarrolló este trabajo siguió los siguientes pasos:

- a) Montaje de una base de datos del Campo Escuela-Colorado (Anexo 8).
- b) Revisión, Descripción y Análisis de Afloramientos y Núcleos de perforación.
 - Definición de facies (Anexos 1, 2, 3 y 4).
 - Definición de asociaciones de facies.
 - Identificación de elementos arquitecturales
 - Interpretación del ambiente de depositación.
- c) Amarre Roca-Registro.
 - Ajuste a profundidad
 - Definición de electroformas
 - Definición de los tipos de fase (reservorio, Retardante y sello)
 - Identificación de las electrofacies en los pozos del Campo Colorado.
 - Análisis de facies vs registros de pozo por medio de histogramas.
- d) Definición de la Base, el Tope, las Unidades y Subunidades de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.
 - Búsqueda, revisión e integración de las reportes de perforación y descripción de muestras de zanja.
 - Análisis de Registros Dipmeters.
 - Identificación de la base y el tope de la Formación Mugrosa en los pozos del Campo Colorado.
 - Análisis de comportamiento del espesor de los cuerpos de areniscas de canal a lo largo de pozo.
 - Identificación de las zonas y subzonas de la Formación Mugrosa en los pozos del Campo Colorado.
- e) Análisis de espesor por medio de histogramas.

- f) Calculo de la Proporción Ancho/Espesor de los cuerpos de canal de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.
- g) Desarrollo de Correlaciones Estratigráficas (Anexos 5, 6 y 7).
- h) Calculo de los Atributos de Espesor Neto, Espesor Promedio, Espesor Porcentual y Factor de Calidad en los pozos del Campo Colorado.
- i) Desarrollo de Mapas de espesor de arena (Anexos 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15).

En Campo Colorado existen 75 pozos, de los cuales, 29 cuentan con muestras de zanja y 17 cuentan con intervalos corazonados (Ver la Tablas 1 y 4). Toda esta información se encuentra en la Litoteca Nacional.

POZO	CAJAS
2	1
3	5
9	3
11	7
14	1
16	1
19	1
21	16
24	4
25	18
26	18
27	14
30	6
41	1
54	1
70	1
77	1

Tabla 1. Pozos con intervalos corazonados en Campo Colorado. En rojo se indican los pozos más interesantes para describir y realizar pruebas pretrosifísicas en el Campo Colorado.

Para la adquisición de datos sedimentológicos y estratigráficos en afloramientos se modificó (1) la metodología del Profesor Fernando Etayo, seguida en la elaboración de Proyecto Cretácico, desarrollado por Ingeominas (1985) y (2) el libro titulado Estratigrafía del autor Juan Antonio Vera (1994). La descripción se enfocó en: la expresión morfológica de rasgos cartográficos; en las características de los rasgos geométricos (forma de los estratos) y en la descripción de la textura

(Friedman *et al*, 1978; y Folk, 1974). Las Tablas 2 y 3 son los formatos que se utilizaron para la descripción y son una modificación de Ingeominas (1985).

Para escoger los afloramientos que se describieron de la Formación Mugrosa, se hizo un recorrido por los afloramientos reportados de esta, en las localidades de (1) Uribe Uribe, corregimiento perteneciente al Municipio de Lebrija, Santander; (2) en la Quebrada La Mugrosa, la cual es la sección tipo original; (3) en la Troncal de la Paz, entre el Campo 23 y la Vereda el Oponcito; y (4) finalmente se hizo un barrido por los ríos La Negra, Cascajales, Río Fuego, Quebrada la Colorada y en la Vereda la Salina. Como resultado se concluye, que los mejores afloramientos de la Formación Mugrosa son actualmente los de la sección Campo 23–Oponcito, la cual pasa por uno de los flancos del Anticlinal de Infantas; perteneciendo estos al tope y a la parte media de la Formación Mugrosa. Los mejores afloramientos de la base de la Formación Mugrosa se tuvieron en el Corregimiento de Uribe Uribe más exactamente a orillas del Río Sucio en jurisdicción del Municipio de Lebrija.

La nomenclatura escogida para enunciar las facies es la de Miall (1996). Este autor simboliza las facies utilizando dos o tres letras; la primera de ellas mayúscula, representando la textura de la roca, y las demás letras minúsculas, en representación de la estructura sedimentaria de la misma.

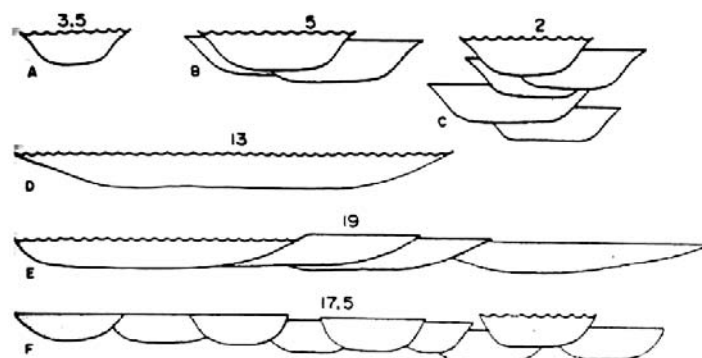


Figura 3. A y D son canales simples, B, E y F son complejos de canal generados por migración lateral y C son canales apilados. Los números que están encima de los amalgamamientos corresponden al ancho de estos en metros. Miall (1996).

La definición de las asociaciones de facies y los elementos arquitecturales relacionados a cada asociación de facies permitieron definir la relación entre los subambientes y los cambios laterales de las facies. En la Figura 3 se puede observar las formas en que se pueden estar amalgamando las facies de canal, dicho amalgamamiento obedece a factores tales como las características del valle, el gradiente regional del río y a la rapidez en que ocurren los cambios en el espacio de acomodación de la cuenca (Miall, 1996).

El amarre roca-registro constituye la principal base de credibilidad para poder aplicar o extrapolar características sedimentológicas y estratigráficas puntuales al resto del Campo Colorado. Este amarre roca-registro se realizó con los pozos C27, C21 y T32, en los cuales se identificaron las electroformas o tendencias de cada registro ante cada una de las asociaciones litofaciales. También se Realizó un análisis estadístico básico, mostrado a través de análisis de histogramas que ponen las litofacies contra los registros eléctricos, permitiendo indicar la presencia de cada litofacies al interior del campo y ayudando a definir el papel que desarrolla cada una dentro del yacimiento (roca reservorio, roca Retardante o roca sello).

Se estableció la posición de los topes formacionales en cada uno de los pozos a través de la descripción de las muestras de zanja y de los libros de los geólogos de pozo y el análisis de los registros Dipmeter. Se definió la posición de horizontes fosilíferos de Mugrosa para todos los pozos del Campo Colorado. Este se tomó como "*datum*" en la realización las correlaciones.

Se trazaron mapas de espesor neto, mapas de espesor promedio, mapas de porcentaje de arena y mapas de factor de calidad de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado. Una vez realizadas las correlaciones y los mapas estratigráficos se entró a identificar aquellas zonas que por su espesor y su continuidad serán las que mayor interés para la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.

2. MARCO GEOLOGICO DE LA FORMACIÓN MUGROSA

El primero en usar el nombre Formación Mugrosa fue McGill e incluía a los sedimentos que se encuentran entre el tope del Toro y el Horizonte Fosilífero de Mugrosa, después Waring redefinió a esta formación restringiéndola a los sedimentos que se encuentran entre el tope del Nivel Fosilífero de Los Corros y el tope del Horizonte Fosilífero de Mugrosa (Morales, 1955). Este Horizonte de Mugrosa fue descrito por Wheeler (1935) como un nivel de shale, generalmente de color verde oliva o marrón, a veces negro, que contiene moluscos y que se encuentra en la parte más alta de la Formación Mugrosa. Su espesor es variable, desde unos centímetros hasta unos 5 m.

Porta J. (1974) afirma que Según la Colombian Soc. Petr. Geol. Geoph. (1965), la parte inferior de la Formación Mugrosa consta de areniscas de grano medio a fino, raramente grueso o con cantos, que están intercaladas con shales de color azul o gris. La parte media consta de shales masivos y moteados con algunas intercalaciones de areniscas de grano fino. En la parte superior se encuentran areniscas a veces con cantos que se intercalan con shales moteados. En las áreas productivas de la Concesión de Mares estas partes corresponden respectivamente a las Zonas-C, parte inferior de la Zona-B y parte superior de la Zona-B. En la parte superior de la Formación Mugrosa se sitúa el Horizonte fosilífero del mismo nombre. El espesor de la Formación Mugrosa es variable; de unos 700 m en Colorado pasa a unos 500 m en el Campo de Llanito.

La Formación Mugrosa pertenece a una secuencia de rocas sedimentarias del Terciario, a la cual se le asigna una edad Oligoceno (Schamel, 1991). Es la parte inferior del Grupo Chuspas en la Cuenca del Valle medio del Magdalena (CVMM), y es correlacionada con el Miembro Superior Doima del Grupo Gualanday del Valle Superior del Magdalena (ver Figura 4).

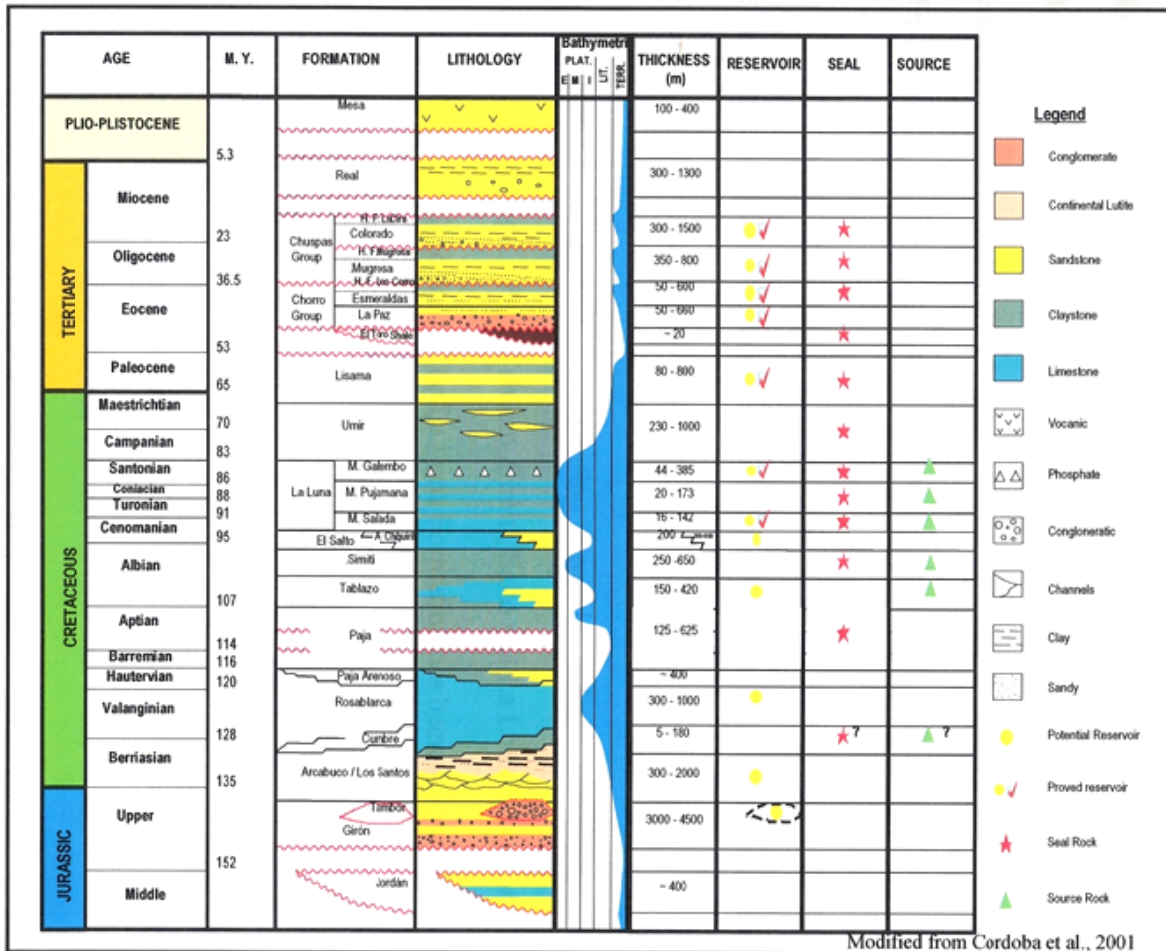


Figura 4. Columna generalizada del Valle Medio del Magdalena. Tomado de Morales Molano (2006).

Jordán and Siemers (1989) interpretan a la Formación Mugrosa como el resultado de la depositación de ríos de alta sinuosidad. En Gutiérrez & Nur (2001) y Gómez *et al.* (2005) se describen el miembro inferior (Zona C) de la Fm. Mugrosa, como una secuencia de areniscas de grano medio las cuales se adelgazan hacia el tope, con una orientación S-N en sus cuerpos, y que se encuentran interestratificados con lodolitas varicoloreadas, este miembro lo interpretan como depósitos de canales trenzados. Ramón (1998) describe el miembro superior (Zona B) como una secuencia de areniscas y lodolitas con una tendencia de adelgazamiento de los cuerpos de arena hacia el tope, cuyas facies son de grano fino e interpreta a

este miembro como el resultado de la acreción de barras puntuales a lo largo de las inflexiones interiores de ríos meándrifformes.

3. MODELO SEDIMENTOLÓGICO

Para la realización del modelo sedimentológico de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado, se realizó un catalogo de litofacies y se identificaron las asociaciones de facies, con el fin de establecer una primera aproximación al comportamiento del sistema de depositación; seguido de una identificación de elementos arquitecturales para facilitar el entendimiento de la variación lateral de las facies e identificar los atributos de canal (ancho de canal, espesor de canal, sinuosidad del canal) que posteriormente serán utilizados para estimar el comportamiento de los cuerpos en el subsuelo.

3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la realizar el modelo sedimentológico (1) se levantó la sección de afloramientos que se encuentra a un costado de la carretera conocida con el nombre de Troncal De La Paz, mas exactamente entre el Campo 23 y la vereda el Oponcito (Anexo 3), en el costado Este del Anticlinal de Infantas; (2) se describieron los 400 pies de núcleos de perforación del pozo T32 (Anexo 4) y (4) se describieron los 90 pies de los pozos C21 y C27 (Anexos 1 y 2).

<i>POZO</i>	<i>CAJAS</i>	<i>TOTAL PIES</i>
C-21	16	40
C-27	14	50

Tabla 4. Se muestran los pozos descritos del Campo Colorado y al frente el número de cajas y la cantidad de pies disponibles.

La Figura 5 es un recorte de la descripción del pozo C27, donde se intenta dejar claro que de la información de núcleos existentes en el Campo Colorado podrían decirse muchas cosas, pero la poca continuidad de estos o mejor dicho el gran espacio perdido (*gaps*) que existen entre un intervalo y otro, es muy grande, haciendo que cualquier afirmación carezca de credibilidad. Por esa razón se optó por describir los núcleos de perforación del pozo T32, estas descripciones fueron luego confrontadas con la información de las columnas de Campo.

Figura 5. Recorte de la columna de núcleos de perforación del pozo C27.

3.1.1 Descripción General de la Formación Mugrosa

La Zona C de la Formación Mugrosa se describió en los pozos C27 y T32 (Anexos 1 y 4 respectivamente) del Campo Colorado. Esta zona de manera general está constituida por areniscas feldespáticas grano-decrecientes, que van desde un tamaño de grano medio a grano grueso, de regular calibre, de granos angulosos y coloración blancuzca. Se encuentran esporádicamente pequeños estratos de gravas cuyas dimensiones no superan los diez metros de extensión lateral; Las

lodolitas de estos segmentos en su mayor parte son limolitas arenosas, de coloración gris verdosa, los lentes arcillosos no sobrepasan los 15 centímetros de espesor y siempre están separando a los cuerpos de areniscas. La base de la Formación Mugrosa posee una importante continuidad lateral de las areniscas, dicho amalgamamiento tiene geometría cuneiforme y un espesor promedio de 2 metros.

La Zona B de la Formación Mugrosa fue descrita en los afloramientos de la Troncal de la Paz (anexo 3) en el pozo C21 (Anexo 2) y en el Pozo T32 (Anexo 4), las lodolitas alcanzan los 20 metros de espesor, estas son en su mayor parte arcillolitas de coloración rojiza, aunque también se presentan gris verdosas y a veces varicoloreadas. Las areniscas se mueven en un rango de tamaños de grano que va de fino hasta medio, tienen buen calibrado, los granos son subredondeados o subangulares y su espesor promedio es de 1.5 metros; Las areniscas siempre se encuentran tanto infrayacidas como suprayacidas por “*coset*” de intercalaciones.

Las intercalaciones de estratos de areniscas grano-crecientes, no pasan de 20 centímetros de espesor, o muy mal calibradas y los estratos de arcillolitas grises, que no sobrepasan los 15 centímetros de espesor.

En la Formación Mugrosa son frecuentes los “*ichnofosiles*” y las marcas de raíces pero no en tanta proporción como en la Formación Colorado donde el desarrollo de paleosuelos es notablemente mayor.

3.2 DESCRIPCIÓN DE FACIES

Las litofacies fueron asignadas justo después de tener cada columna estratigráfica descrita. En la Tabla 5 se muestran las litofacies encontradas en la Formación Mugrosa, las cuales serán descritas mas abajo.

Código	Facies	Estructura sedimentaria
Gci	Grava clasto sostén	Gradación inversa
Gmm	Grava Matriz sostén	Gradación normal
Gmg		Masiva
St	Arenisca fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa	Estratos cruzados en artesa, individuales o agrupados
Sp	Arenisca fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa	Estratos cruzados tabulares planares, individuales y agrupados
Sm	Arenisca fina a gruesa	Maciza o pobremente laminada
Sr	Limolitas hasta arenisca gruesa	Laminación cruzada ondulítica
Fl	Arenisca, limolita, arcillolita	Laminación fina, ondulitas muy pequeñas Maciza
Fsm		
Fr	Arcillolita, limolita	Maciza, raíces, bioturbación

Tabla 5. Litofacies encontradas en la Formación Mugrosa, Modificado del código litofacial de Miall, 1996.

3.2.1 Litofacies Gci, Gmm, Gmg (Gravas en gradación Inversa, en gradación normal o masivas. grano-soportadas o matriz-soportadas)

Las litofacies de gravas de la Formación Mugrosa se presentan ya sea en gradación normal, en gradación inversa o masiva; Matriz-soportadas o grano-soportadas, indicando un comportamiento del flujo que va de turbulento a laminar. Pero siempre unas al lado de las otras, es decir, siempre estaban asociadas, nunca estaban aisladas, el tamaño de los granos siempre se movía entre gravas de 4 mm hasta gravas de 8 mm, el espesor de cada una nunca paso de los cuatro pies, y solo estuvieron presentes hacia la base de la Formación Mugrosa, donde además abundan las areniscas masivas conglomeráticas (Sm, ver apartado 3.2.5).

3.2.2 Litofacies St (areniscas en estratificación interna en artesas)

Las artesas de la Formación Mugrosa se presentan areniscas de grano fino a grano grueso, Algunos guijarros pueden estar presentes a la base de los estratos representando “*lag*” de arenas pobremente sorteadas, a veces con intraclastos de limolitas o arcillas a la base de las artesas (Figura 6). La estratificación cruzada normalmente se curva hacia fuera en la base de la artesa, mostrando invariablemente una relación *erosional* con respecto a la estratificación suprayacente.

En la Formación Mugrosa las artesas se presentan agrupadas (Figuras 7, 8 y 9). A veces “*sets*” solitarios son observados sobre los planos de la laminación, donde la superficie distintiva de la base es *erosional* y curvada seguido de la inserción de laminación cruzada.

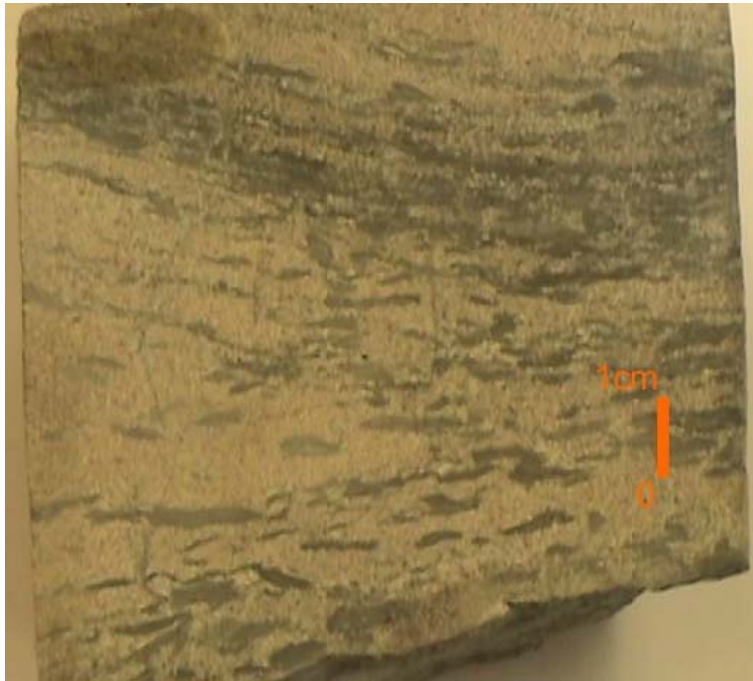


Figura 6. Se muestra un “*lag deposit*”, donde los intraclastos son arcillosos (gris oscuro) y se encuentran hospedados en una arenisca de grano medio (amarillentas).

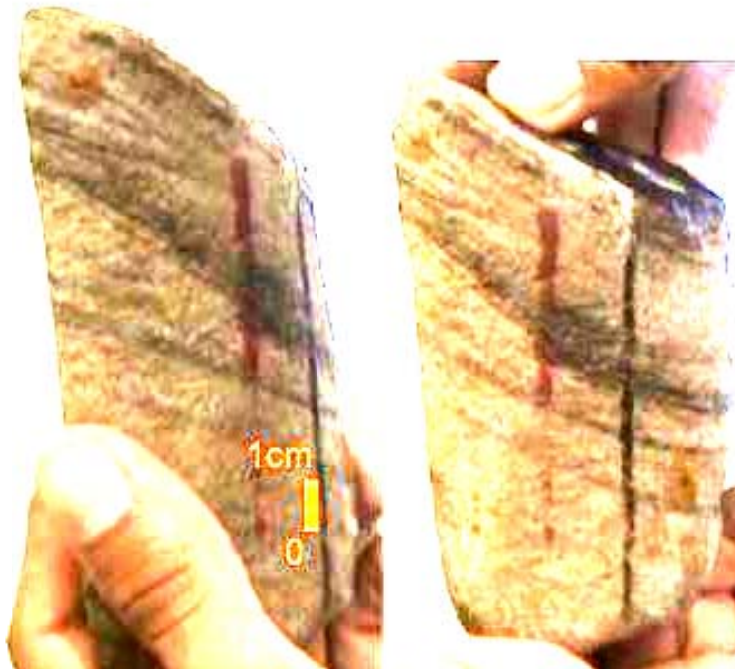


Figura 7. Se muestra una típica arenisca con estratificación cruzada en artesas, facies St. Esta puede ser identificada por su concavidad y el cambio de ángulo de las superficies. En esta fotografía también se ve clara la presencia de líticos a la base de las artesas.



Figura 8. Se muestra una típica artesa en afloramiento, facies St.

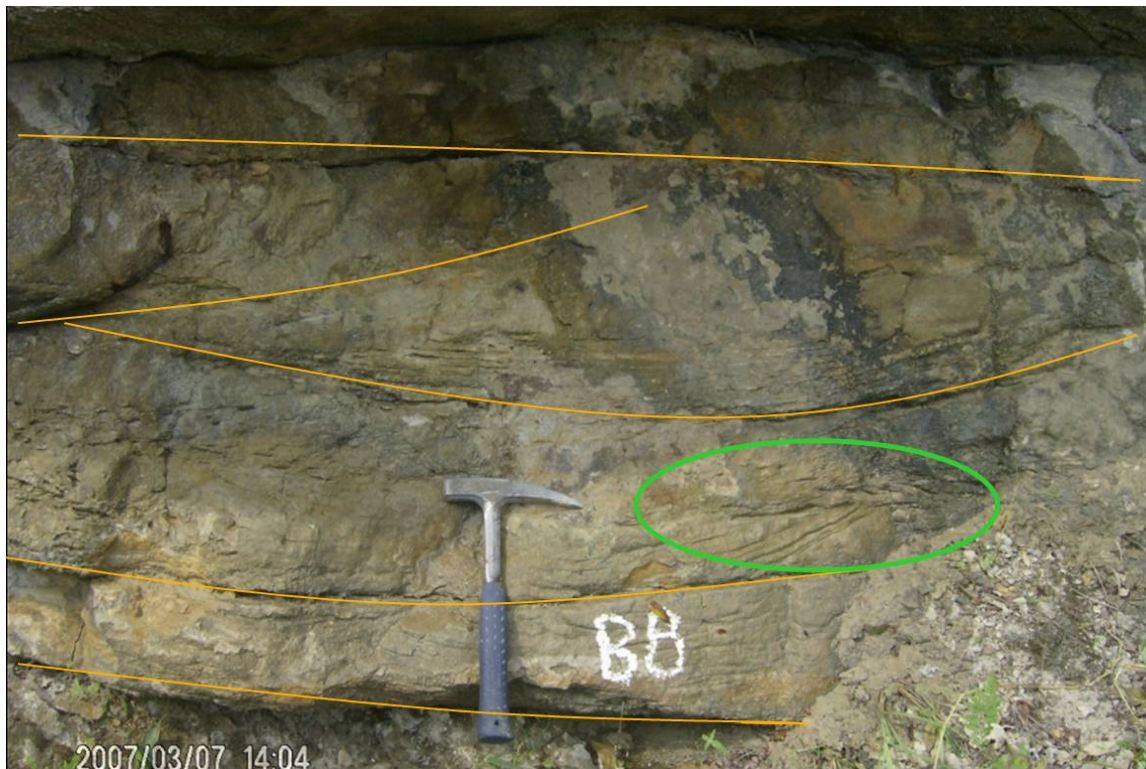


Figura 9. Se muestra una serie de artesas de alto régimen amalgamadas y de espesor considerable; Estas artesas a su vez están asociadas con areniscas masivas y ondulíticas.

3.2.3 Litofacies Sp: (areniscas con estratificación cruzada plana)

Esta litofacies se forma por el transporte de arenas que pasan por encima del flanco superior de las “*bedform*”, ya sea por tracción o por suspensión que se depositan al final de su cresta en el punto de separación del flujo (Figura 10, Miall, 1996). Las superficies superiores e inferiores de esta litofacies siempre son planas y tienen poca evidencia de erosión. Los granos de arena siempre tienen una muy buena selección (Figura 11) y se mueven en un rango de tamaño de grano que va desde *medio a grueso*.

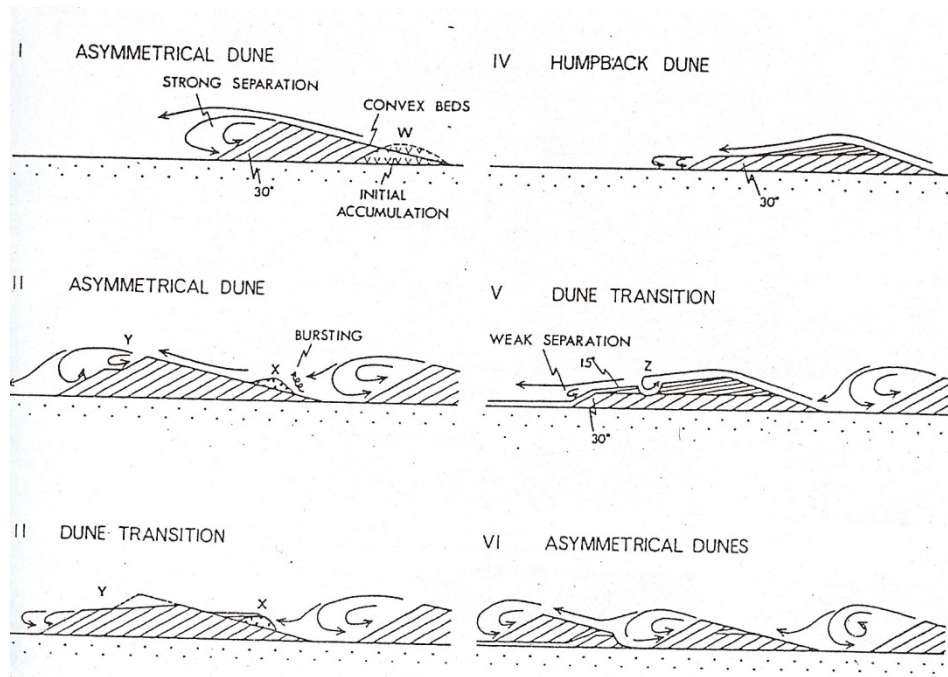


Figura 10. Se muestra de manera esquemática como una duna 2D es transformada en macroripples, Miall (1996).

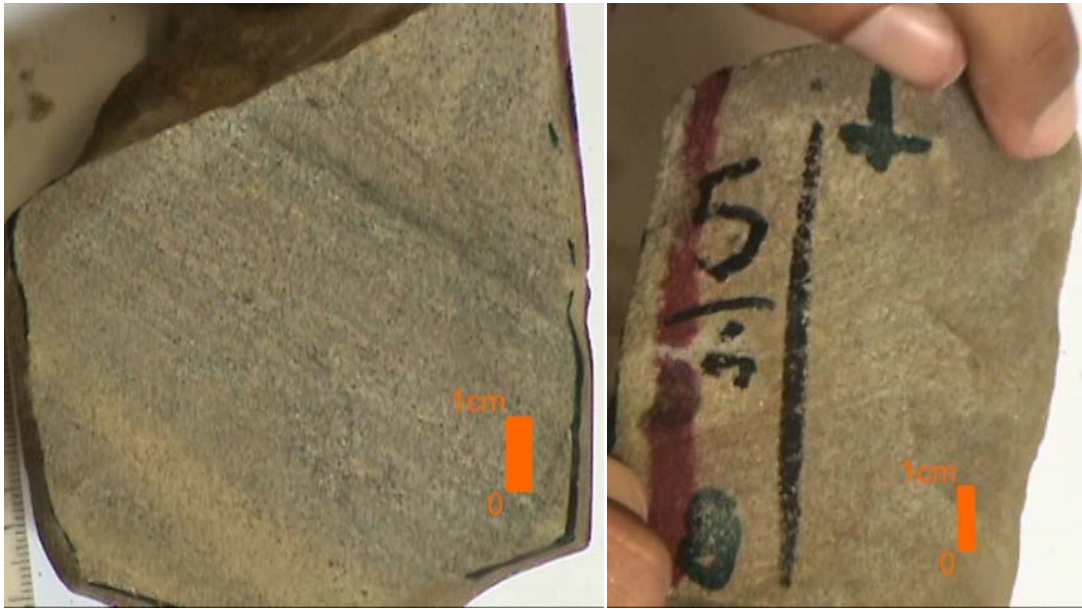


Figura 11. Muestra la forma como aparece la estratificación cruzada paralela en núcleos.

3.2.4 Litofacies Sr: (areniscas con “ripples” y ondulitas)

En la Formación Mugrosa esta litofacies representa a toda la variedad de tipos de “ripples” asimétricos (Miall, 1996). El rango de tamaño de grano va de medio a muy fino.

El desarrollo de “ripples” ocurre a bajas velocidades de flujo (< 1 m/s), y son muy sensibles a cambios en las condiciones del flujo (Miall, 1996).

Los “ripples” son por definición, menores a 5 cm en altura, y en su mayoría se acercan a los 2 cm (Eji, 2005). Los trenes de “ripples” solitarios son comunes y pueden ser expuestos sobre superficies de laminación plana y siempre están acompañados por ondulitas (Figura 12). Los “cosets” se presentan con espesores de unos decímetros a poco más de un metro (Figura 13).



Figura 12. Se muestran los relictos de “ripples” que se intercalan con las ondulitas.

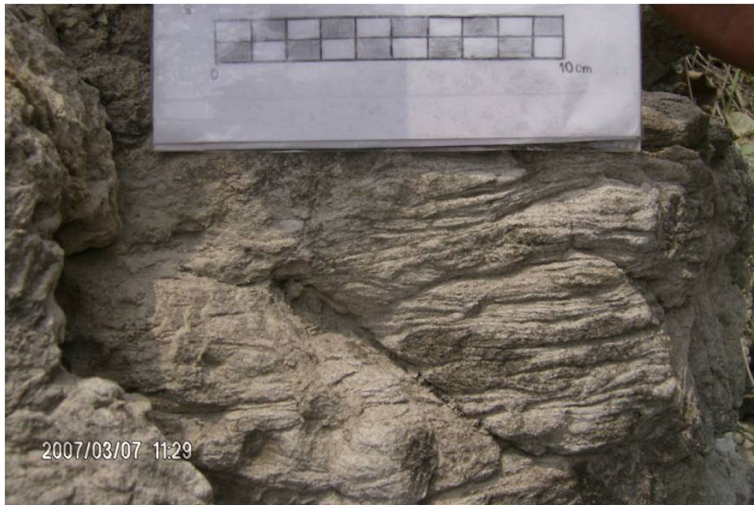


Figura 13. Típico ejemplo de los set de ondulitas en afloramiento de la Formación Mugrosa, facies Sr.

3.2.5 Litofacies Sm: (arenisca masiva)

Según Miall (1996) las areniscas masivas no existen en un río, sino que estas siempre tienen una débil gradación o una muy débil laminación desigual que no es notable o que ha sido borrada. Tales estratos se depositan por flujos de sedimento

gravitatorio (Eji, 1996). Según Walker *et al.* (1992), la textura masiva también es producida por modificaciones *postdeposicionales*, como deshidratación o bioturbación.

Esta litofacies en la Formación Mugrosa se mueve en un rango de areniscas de grano muy fino hasta las de grano muy grueso. De tal forma que esta litofacies puede encontrarse (1) como una arenisca conglomerática de grano medio a grueso, representa regímenes altos del flujo; (2) como una arenisca en gradación normal que se mueve en un rango de areniscas de grano muy fino a grueso; (3) como una areniscas de mal calibrado o con una débil gradación inversa, representando cambios repentinos del flujo, como ocurre en los desbordes; (4) como una arenisca masiva y de buen calibrado, pero con granos finos a muy finos, representando los rellenos de canal o canal abandonados. En los dos últimos casos es bastante común encontrar a esta litofacies bioturbada en su techo. Cada una de las configuraciones mencionadas anteriormente se presenta en determinadas asociaciones de facies que serán mencionadas mas adelante en el apartado 3.3 de este tomo.

3.2.6 Litofacies FI: (Laminated Sand, Silt and Mud)

Esta litofacies se comporta como *interlaminaciones* de lodo, limo y arenas muy finas típica de áreas de overbank cercanas al canal. Esta litofacies representan la depositación de los sedimentos en suspensión y las corrientes de tracción débiles (Miall, 1996). En la Formación Mugrosa la facies FI puede formar "*ripples*" u ondulitas, que pueden ser areniscas de grano muy fino, limolitas, limolitas arcillosas o limolitas arenosas. En esta facies es frecuente la presencia de bioturbación diseminada, marcas de raíces y diseminación de cristales de yeso.

Esta litofacies es frecuentemente encontrada al interior de las litofacies Sr, St y Sm con espesores muy discretos que van de 1 a 20 centímetros formando intercalaciones e indicando corrientes de tracción en el "*floodplain*" (Figura 15),

tales como depósitos de “*crevasse splays*” y “*Crevasse cannel*”. Esta facies llega hasta los 25 metros de espesor intercalada con las demás facies lodosas.

En la Figura 14 se muestra un ejemplo de los calcos de carga que son frecuentes en las areniscas de la Formación Mugrosa, indicando “*laps*” en el registros rocoso y en la Figura 16 se muestra un ejemplo típico de las intercalaciones entre la facies Sm y Fl de la Formación Mugrosa, sugiriendo el desborde repetitivo y cíclico de las facies de canal. Estas intercalaciones siempre están suprayaciendo e infrayaciendo a los intervalos de areniscas más espesos y continuos lateralmente.



Figura 14. Se muestra la ocurrencia de calcos de carga.



Figura 15. Se muestran las típicas intercalaciones entre las facies Sm y FI.

3.2.7 Litofacies Fsm: (“*Siltstone*”, “*Claystone*”)

El rasgo que distingue a esta litofacies de FI es la ausencia de granos de arena, pero en facciones, tales como el bandeado y la presencia de accesorios, coincide con FI (Miall, 1996).

La litofacies Fsm representa a un depósito de “*floodplain*” relativamente distal a las fuentes clásticas. En la práctica, la ausencia de capas delgadas de arenisca en una sucesión heterogénea de grano fino puede ser difícil de observar, y la distinción entre FI y Fsm es entonces difícil o arbitraria (Miall, 1996), por esto en este trabajo la litofacies FI y FSM fueron unidas y trabajadas indistintamente.

3.2.8 Litofacies Fr:

Esta litofacies representa el desarrollo de suelos en un clima húmedo. La litología obedece principalmente a lodolitas, pero también se presenta en arenitas; Esta litofacies es el resultado de la destrucción de otras facies, es decir, la estratificación primaria tiende a estar presente pero perturbada o destruida por el

emplazamiento de raíces y bioturbación por trazas fósiles que dan a las capas una apariencia moteada o desordenada (ver las Figuras 16 y 17).

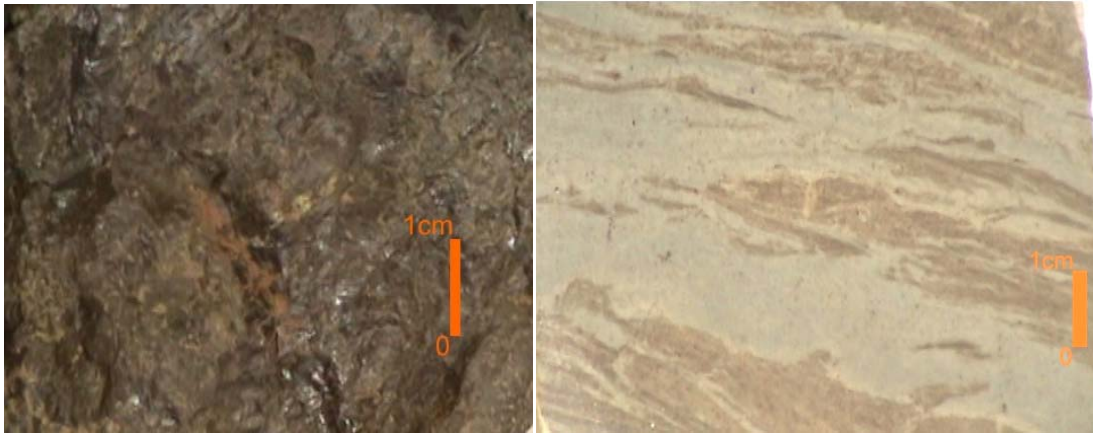


Figura 16. A: Arcillolita varicoloreada, B: Arenisca de grano muy fina cuya estratificación ha sido perturbada por la bioturbación.



Figura 17. Ichnofacies *Escoyenia*, aparece en todas las litologías.

3.3 ASOCIACIONES DE FACIES

En un ambiente fluvial las facies son el resultado del balaceo entre el suministro de sedimento y el poder de la descarga (gradiente del valle) a lo largo de la cuenca. En la Figura 18 se explica como; a mayor poder de la corriente el sistema fluvial tiende a degradar topografía, y a su vez, los granos depositados serán solo los de mayor tamaño y las estructuras sedimentarias serán de alto régimen; Cuando el poder de la corriente disminuye el sistema fluvial tiende a construir topografía, el espacio de acomodación aumenta y pueden depositarse los granos de menor tamaño, sobre todo si el suministro del sedimento en suspensión es grande (BP Exploración, 1996).

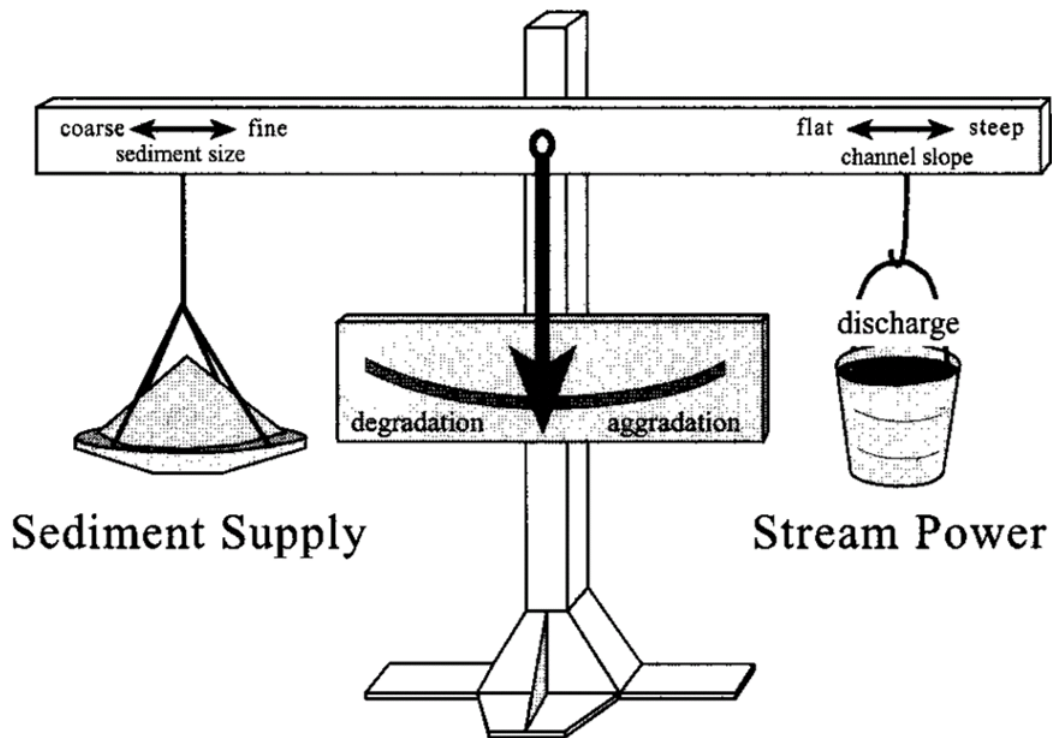


Figura 18. Comportamiento de un río ante los cambios en el poder de la corriente y el suministro de sedimento. BP Explorations (1996).

El balaceo de las propiedades de la cuenca y del sedimento suministrado dependerá el comportamiento de la geometría del río. Las asociaciones de facies

que acompañan a cada subambiente, de cada tipo de río serán diferentes y distintivas. Una facies por sí sola no es un indicador ambiental, es decir, al interior de cada subambiente, las facies siempre están en compañía de otras facies y cuando estas asociaciones entre facies son identificadas se asigna un tipo de río responsable de la depositación (BP Explorations, 1996).

Las asociaciones de facies de la Formación Mugrosa para el Campo Colorado se encontraron en las secciones Campo 23-Oponcito y en los pozos T32, C27 y C21, estas columnas se ajustan al mismo tipo de río.

3.3.1 Asociación de las Facies de Grava y Facies Sm

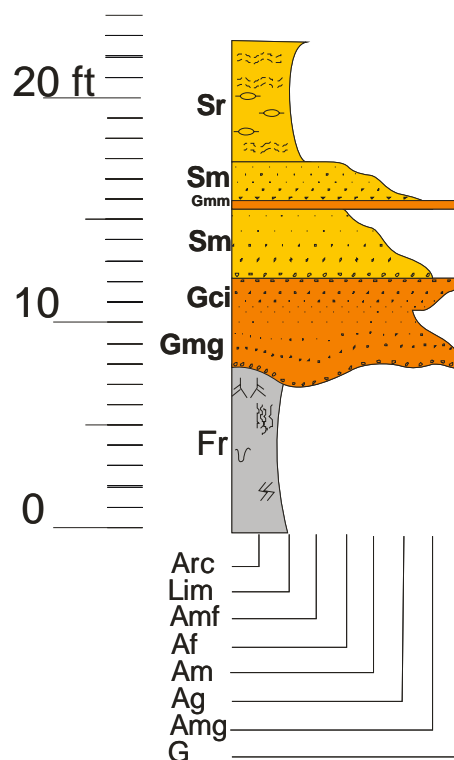


Figura 19. Tendencia general en que ocurre la asociación entre facies de grava y areniscas conglomeráticas.

Descripción: En la Figura 19 se observa la constitución general de esta asociación de facies. Hacia la base siempre se presentan gravas entre los 4 y los

8 mm de diámetro soportadas por una matriz arenosa mal calibrada. Las gravas pueden estar en gradación normal (Gmg) y masivas (Gmm), aunque a veces también se observan gravas clasto soportadas en gradación inversa (Gci). Estas facies gravosas van desde los 15 centímetros hasta los 100 centímetros de espesor, con superficies erosivas y de carga a su base y netas-planas a su tope, donde siempre se localizan areniscas conglomeráticas o mal calibradas en gradación normal, yendo desde areniscas de grano muy grueso a fino. Esta asociación solo fue localizada hacia la base de la Formación Mugrosa.

Interpretación: Las capas de gravas intercaladas señalan fluctuaciones en la fuerza del flujo; la gradación normal representa un decrecimiento en la velocidad o en la profundidad del flujo y la gradación inversa implica lo contrario (Eji, 2005). Según Miall (1996) las gradaciones son el resultado de la superposición de diferentes cuerpos, cuyas superficies de estratificación han sido borradas. Miall (1996) también afirma que las tendencias “*gravel*” son transportadas en pulsos repetidos vagamente a manera de “*slugs*” o “*lobes*” (lóbulos). Estos patrones reflejan turbulencia en el río, las gravas son liberadas esporádicamente dentro del río por la migración de “*bedform*” y por el corte de bancos por erosión.

Los depósitos de gravas indican la existencia de barras longitudinales o transversales (ver Figura 20), las cuales son el resultado de corrientes fuertes y relativamente constantes de los sectores rectos del río o al final de los meandros (yendo corriente abajo) donde la depositación de estos cuerpos ocasiona una división parcial de la corriente (Labourdette, 2007), las gravas muy raras veces se localizan asociadas a los sectores de acreción lateral del canal (Eji, 2005).

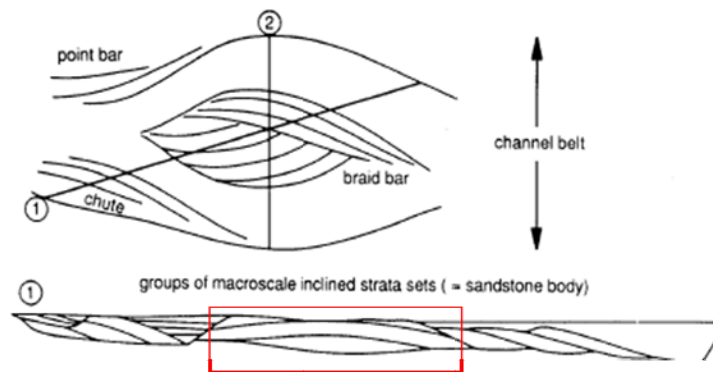


Figura 20. Corte transversal de una barra longitudinal, Miall (1996).

3.3.2 Asociación Sm – St

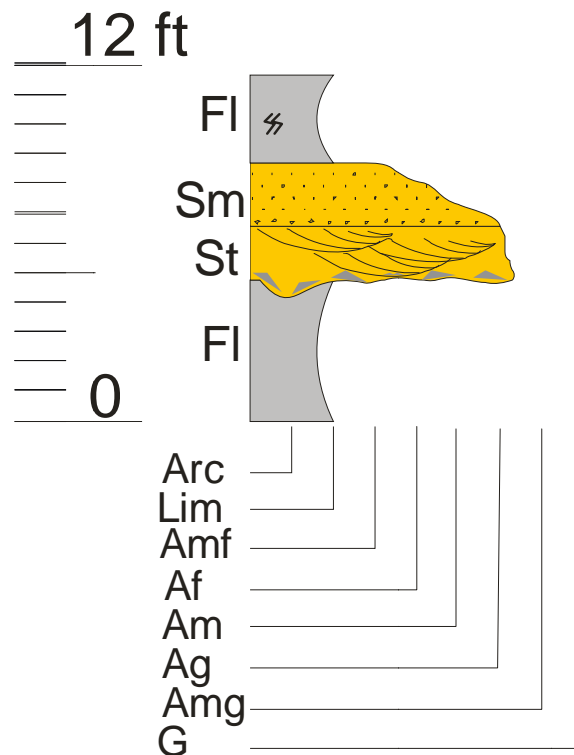


Figura 21. Se muestra la asociación St – Sm, donde siempre están presentes los intraclastos arcillosos a la base, un espesor reducido de las capas arenosas y una tendencia gradacional marcada.

Descripción: Esta asociación se caracteriza por contener areniscas que van desde un tamaño de grano grueso hasta fino; las areniscas con estratificación cruzada en artesa (St) tienen tamaño de grano grueso y para el caso de esta

asociación presentan una superficie erosiva a la base con intraclastos arcillosos alargados de 8 mm de diámetro embebidos (*"lag Deposit"*, ver la Figura 6) y orientados con la estratificación, también existe un 10% de líticos carbonosos. Hacia el tope la estratificación en artesa desaparece pasando a estratos con gradación normal (Sm) que va desde granos gruesos hasta grano muy fino. En la Figura 21 se muestra un ejemplo del comportamiento de esta asociación de facies donde se puede notar que los espesores de esta se mueven entre los 3 y los 4 pies; siempre separada por los granos finos de llanura de inundación.

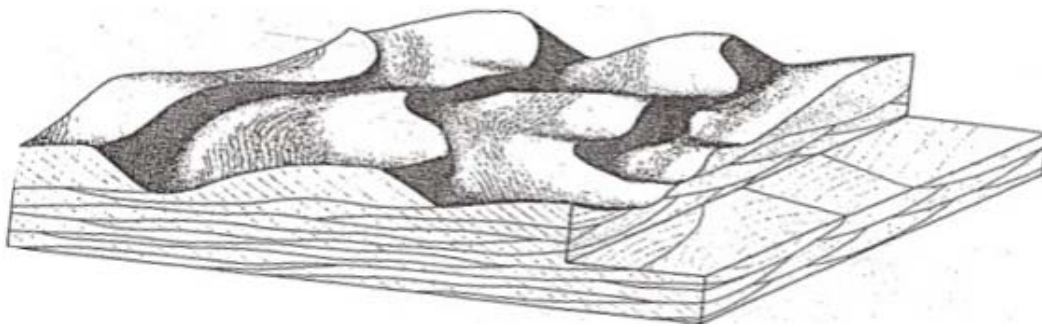


Figura 22. Esquema en el que se muestra la configuración de una duna 3D subacuosa. Miall (1996).

Interpretación: El amalgamamiento de artesas de alto régimen indica la presencia de dunas o *"megaripples"* 3D (ver la Figura 22; Miall, 1996) y las areniscas en gradación normal son el resultado de un efecto gravitatorio que va acompañado por una disminución en la intensidad del flujo (Eji, 2005). El encontrar estas dos facies (St y Sm) asociadas indica un cambio en el régimen de flujo, donde la velocidad del flujo disminuyó progresivamente. El escaso espesor de esta asociación sugiere un canal no muy profundo relacionado con zonas de corte (Construcción) y relleno de bancos de arena como resultado de una fuerte migración lateral del sistema de ríos.

3.3.3 Asociación Sr – St

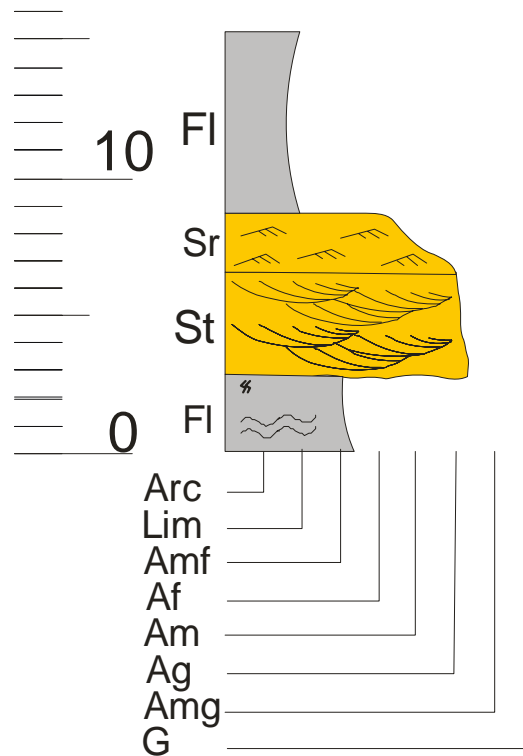


Figura 23. Se muestra la asociación Sr – St.

Descripción: Esta asociación se compone de areniscas que van de grano grueso a grano fino. Las areniscas con estratificación cruzada en artesas tienen un 10% de líticos carbonosos y un 3% de feldespato potásico (en observación macropetrográfica), a veces bioturbada. Hacia el tope la estratificación cruzada en artesas desaparece pasando a estratificación en “ripples” u ondulosa discontinua, con gradación normal que va de grano grueso a fino. La facies Sr tiende a estar bioturbada, a veces el contacto entre estas dos facies asociadas (Sr y St) es difuso.

En la Figura 23 se puede observar la asociación Sr – St, su espesor se mueve entre los 5 y los 10 pies, pero cuando las artesas de esta asociación se amalgaman se forman los intervalos arenosos más gruesos y con mayor continuidad lateral de la Formación Mugrosa (hasta 30 pies de espesor y más 800

metros registrados en afloramiento), en este caso la facies Sr tiende a ser borradas del registro rocoso.

Interpretación: Esta asociación de facies es el típico representante de las barras de acreción lateral de los ríos meándricos, donde se desarrolla y preserva la mayoría de las dunas 3D (Miall, 1996), la velocidad del flujo disminuye influenciado por un cambio en la profundidad del cauce yendo hacia la parte interna del meandro (Eji, 2005), donde la facies Sr se produce a velocidades cercanas a 1 M/s (Miall, 1996).

Su marcada continuidad lateral implica que el cauce se encuentra migrando lateralmente rápido (Eji, 2005), lo cual es notablemente claro con la identificación de las superficies limitantes que se realizó en afloramiento y que se tratará mas adelante (apartado 3.4.1).

3.3.4 Asociación Sr – Sp

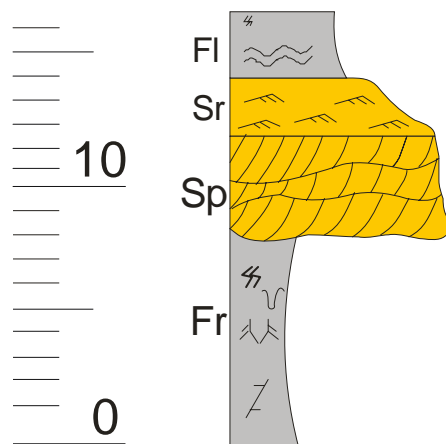


Figura 24. Asociaciones Sr – Sp.

Descripción: En esta asociación las areniscas se mueven en el rango de tamaño de grueso a fino. A la base siempre se encuentran areniscas en estratificación cruzada paralela que pueden ser de grano grueso o de grano medio, con un 10% de Feldespato Potásico, 5% de líticos carbonosos embebidos y a veces con bioturbación al tope. Hacia el techo de esta asociación desaparece la

estratificación cruzada paralela y comienza una gradación normal que va desde areniscas gruesas hasta areniscas finas con “*ripples*”.

En la Figura 24 se muestra la asociación Sr – Sp, esta tiene entre 5 y 8 pies de espesor, la facies Sp tiende a encontrarse bioturbada al tope.

Interpretación: La presencia de la facies Sp indica un flujo lineal y su amalgamamiento resulta en la formación de dunas 2D subacuosas (ver Figura 25 y 26; Miall, 1996); la facies Sr es típica de las orillas del cauce o de poca profundidad y poca velocidad del flujo, en este caso se forma por la existencia de lóbulos (ver Figura 26; Miall, 1996). El encontrar estas dos litofacies asociadas implica regímenes de flujo alto y menguante. La bioturbación al tope de la facies Sp implica períodos en los que esta estuvo expuesta debido al posterior decrecimiento de la profundidad del cauce que se traduce en la reducción de la profundidad al final de los períodos de inundación donde los lóbulos quedan expuestos (Miall, 1996).

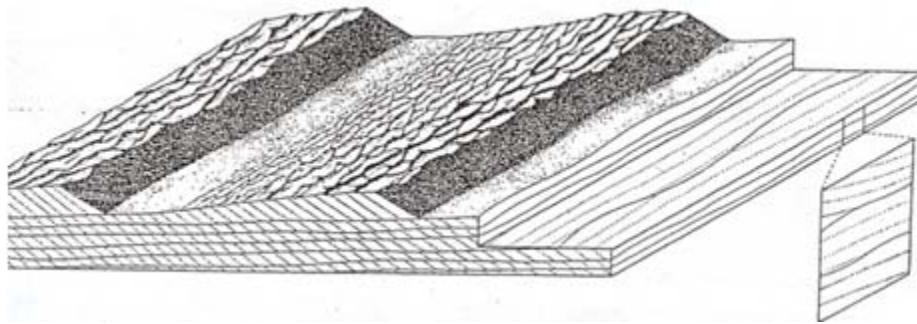


Figura 25. Se muestra un esquema de la formación y configuración de las dunas 2D en los sistemas fluviales. Miall (1996).

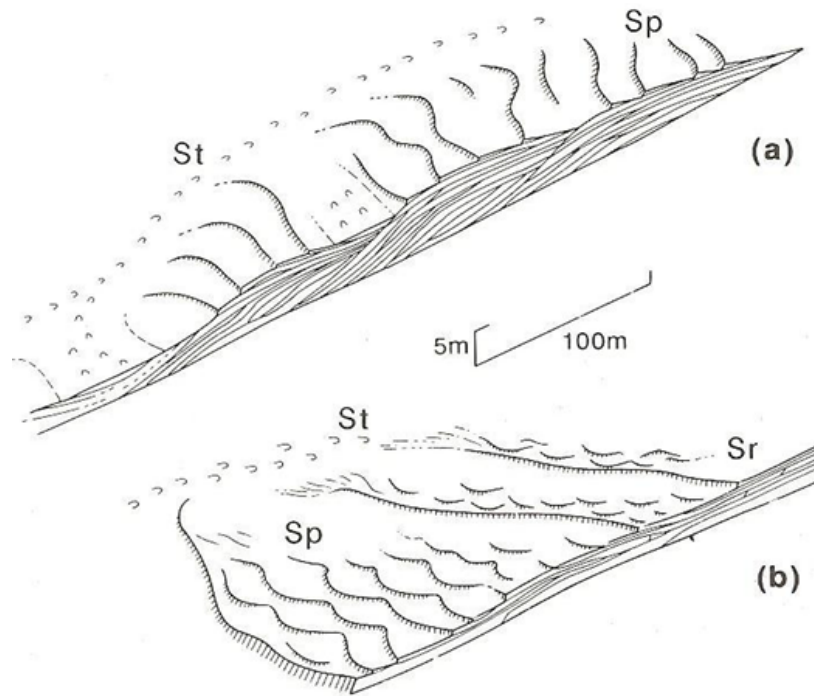


Figura 26. Se muestra la configuración tridimensional de las dunas 2D y la forma en que se relacionan las asociaciones **Sr–St** y **Sr–Sp** al interior del canal. Miall (1996).

3.3.5 Asociación Sm – Sr

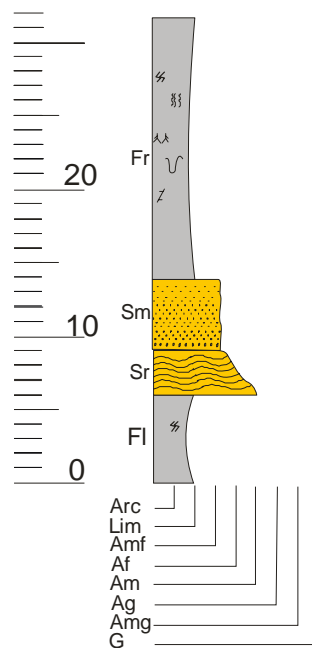


Figura 27. Se muestra la asociación Sm – Sr y su fuerte relación con la bioturbación.

Descripción: Esta asociación se caracteriza por tener areniscas que van desde grano medio hasta grano muy fino. Hacia la base, las areniscas presentan una laminación ondulosa continua y con gradación normal que va desde arenisca media a fina, normalmente aparece con bioturbación al tope, algunas veces de coloración rojiza por oxidación e incluso llega a ser varicoloreada, contiene muscovita y líticos carbonosos. Hacia el tope desaparece la laminación quedando una muy leve disminución del tamaño de los granos desde arenisca de tamaño fino a muy fino, es compacta y mal calibrada, su matriz es lodosa, a veces bioturbada por madrigueras, huellas de plantas y marcada reorganización de la fábrica primaria. Los límites superiores son planos y transicionales hacia las lodolitas rojas que tienden a ser varicoloreadas (Fr). Ocasionalmente estos contactos se muestran netos.

Esta asociación de facies también ocurre inversa, es decir, la facies Sm infrayace a la facies Sr y esta última pasa a ser granocreciente.

En la Figura 27 se muestra la asociación Sm – Sr, para este caso posee 8 pies de espesor, el cual es el máximo espesor en el que puede encontrarse, pero esta asociación se presenta desde los 5 centímetros, siendo fuertemente intercalada por facies Fl y Fr.

Interpretación: Estos delgados cuerpos son típicos de fluctuaciones repentinas de la corriente que terminan desbordando el cauce formando el “*levee*” y a veces desarrollando sistemas de “*Crevasse Channel*”. Lo cual también explica su fuerte intercalación con las facies Fr y Fl (ver Figura 13).

Las abundantes madrigueras y las areniscas moteadas (Fr) al tope de Sm señalan el abandono del canal y la gran cercanía al cauce principal. El poco tamaño de los granos y la matriz arcillosa implica la depositación de la carga en saltación y en mayor proporción la carga en suspensión, lo cual también es indicador de la progresiva desaparición de la influencia del cauce principal.

3.3.6 Asociación Finos de Inundación

Descripción: Esta asociación de facies se mueve entre limolitas arenosas, limolitas arcillosas, limolitas, arcillolitas y areniscas de granos muy finos. Estas rocas pueden ser masivas (Fsm), laminadas y de “*ripples*” (Fl). Las lodolitas son color gris verdosos, rojo y la mayoría de las veces varicoloreadas, lateralmente extensas tanto. Algunas veces las limolitas, las limolitas arenosas y las arcillolitas limosas se encuentran fuertemente bioturbadas (Fr) siendo frecuentes la *Escoyenia*, las marcas de raíces y las texturas moteadas.

Los fósiles traza son abundantes (ver Figuras 16 y 17), los cuerpos nodulares ferruginosos en los cuerpos de facies de arena y lodo tienden a desestabiliza y borrar las estructuras primarias.

Interpretación: Esta asociación de facies representa la depositación de la carga en suspensión que es el resultado de los grandes períodos de inundación causados por lapsos de gran escorrentía (Miall, 1996). Sus grandes espesores (hasta 50 metros) son el resultado de períodos de fuerte subsidencia.

La facies Fr representa a la llanura de inundación próxima al cauce principal, seguid por la facies Fl y aun mas lejos del cauce se encuentra la facies Fsm.

La presencia de limolitas arenosas y de areniscas de granos muy fino señalan la presencia de canales abandonados donde la energía termina siendo nula y donde la secuencia granodecreciente es completa.

Las facies de llanura de inundación ocupan la mayor parte de la Formación Mugrosa. En la Figura 28 se puede observar un afloramiento típico de facies clásticas de grano fino para la Formación Mugrosa.



Figura 28. Típico afloramiento de facies clásticas de grano fino (limolitas, arcillolitas) de la Formación Mugrosa.

3.4 Patrones Fluviales

En el Campo Colorado La Formación Mugrosa tiene un promedio entre 10% y 15% de facies de Canal, el porcentaje restante del registro rocoso corresponde a las facies de llanura de inundación, dentro de las que se ubican tanto los finos de llanura de inundación como los depósitos de desborde. Tales porcentajes no permiten ubicar a la Formación Mugrosa dentro de un sistema de ríos tranzados, los cuales se caracterizan por contener un porcentaje superior al 50% de facies de canal.

Los espesores de los cuerpos arenosos no superan los 30 pies de espesor y sus paleosuelos no están bien desarrollados y no superan los 5 pies, por lo que tampoco encajaría dentro de las características de un sistema de ríos anastomosados.

En cambio, todas las características mencionadas anteriormente si encajan dentro de las características de los ríos meándriformes, tal como afirmaron autores como Ramón and Cross (1997) y Gómez (2005).

Ahora el problema se centra en llegar a diferenciar que tan sinuoso llegó a ser el sistema de ríos de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado y esto lo lograremos analizando la presencia y características de los elementos arquitecturales, los cuales, fueron identificados en afloramiento por la relación que existe entre (1) las superficies de quinto orden (piso del canal), (2) las superficies de cuarto orden (superficie superior de las macroformas), (3) las superficies de tercer orden (superficies de migración lateral o corriente abajo), (4) las superficies de segundo orden (separación de “*cosef*”) y a su vez por las asociaciones de facies implícitas entre estas superficies limitantes (para mayor información revisar Miall (1996), capítulo 6).

3.4.1 Los Depósitos Acreción Lateral (LA)

Este tipo de elemento arquitectural se caracteriza por el fuerte amalgamamiento de la asociación de facies Sr–St y Sm–St .

Tal como se observa en la Figura 29, el desarrollo de superficies de tercer orden en la Formación Mugrosa es amplio, pero la diferencia de espesor entre una superficie de tercer orden y otra es reducido (máximo 30 cm.), indicando que el río sufría una migración lateral constante y rápida. Dicha migración lateral rápida también se explica por el hecho de que el ángulo de estas superficies de tercer orden es un ángulo bajo con respecto a las superficies de cuarto orden ($<45^\circ$) indicando también que el valle era ancho. El hecho de que los canales de la Formación Mugrosa no sean profundos (entre 3 y 5 metros de profundidad) es una consecuencia de tal comportamiento de migración lateral rápido. Estos sistemas de migración lateral de los ríos son conocidos como los elementos arquitecturales LA (*Lateral Acresion*) según Miall (1996).

Figura 29. Se muestra el comportamiento arquitectural de la asociación de facies Sr–St separada por superficies de tercer orden formando al elemento arquitectural LA. El meandro mostrado en la figura no corresponde a la realidad de la Formación Mugrosa.

3.4.2 Los Depósitos de Acreción Corriente Abajo (DA)

Este tipo de elemento arquitectural se caracteriza por el amalgamamiento de la asociación de facies Sr–Sp.

Las facies Sp amalgamadas constituyen las dunas 2D y la superposición de estas forma “*coset*” que son separados por superficies de tercer orden, las cuales en este caso representan la migración corriente abajo (en dirección del flujo). El hecho de que existan facies Sr significa que en el río se formaban lóbulos de arena sobre los que se forman las ondulitas que necesitan menos energía para generarse. Este tipo de elemento arquitectural es conocido con el nombre de DA en Miall (1996).

En la Figura 30 se puede observar el elemento DA, su asociación de facies y los “*coset*” de estas separados por las superficies de tercer orden. En la Formación Mugrosa este tipo de depósito tiene de 1 a 2 metros de espesor y de siempre es cercano a los 10 metros de largo, indicando nuevamente que el río era poco profundo (~4 metros).

Figura 30. Se observa la relación vertical entre los elementos CH (Canal) y DA (migración corriente abajo) con los elementos CS ("*Crevasse Splay*") y FF (Finos de Inundación). En esta figura se hace énfasis sobre el elemento DA y se señala la asociación de facies que lo caracteriza y su correspondencia genética en los "*cose*" de dunas 2D al interior del canal del río.

3.4.3 Depósitos de Corte y Relleno (SB)

Este elemento arquitectural se caracteriza por el amalgamamiento de la asociación de facies Sm–St y a veces contiene la asociación de gravas y areniscas conglomeráticas. El amalgamamiento de estas asociaciones de facies se encuentra siempre separado internamente por superficies de segundo orden

(separación de “*coset*”) y tal como se había mencionado en el apartado 3.3.2 no supera los 4 pies de espesor.

Este elemento arquitectural representa la generación de barras arenosas, a veces gravosas, subacuosas e inestables que se forman en la parte posterior de los meandros o en el centro del como barras longitudinales.

En estos cuerpos las artesas tienen un ángulo mas bajo que en las barras de acreción lateral denotando un régimen de flujo mas alto y las areniscas granodecrecientes pueden llegar a tener gravas a la base.

En la Figura 31 se puede observar el amalgamamiento de las facies Sm–St cuyo elemento arquitectural recibe el nombre de SB (*sand Bed Form*) por Miall (1996).

Figura 31. Se muestra la relación entre el elemento arquitectural SB y CH. Haciendo énfasis en el elemento SB, el cual para este caso se encuentra conformado por la asociación de facies Sm–St, pero también puede encontrarse con la asociación de gravas y areniscas conglomeráticas.

3.4.4 Depósitos de Relleno de Canal (CH)

Este elemento arquitectural representa a todas aquellas asociaciones de areniscas que no pueden ser separadas en los demás elementos arquitecturales, principalmente porque carecen de superficies limitantes inferiores al cuarto orden separando a las facies que lo conforman.

Este es el elemento arquitectural mas frecuente y el que mas espesor presenta en la Formación Mugrosa, puede llegar a tener 30 pies de espesor y tal como se muestra en las Figuras 30, 31, 32 y 33 suele encontrarse amalgamado lateral y verticalmente por los demás elementos.

En la Formación Mugrosa la facies que más suele encontrarse asociada a este tipo de elemento arquitectural es la facies Sm, de la cual se habló en el apartado 3.2.5.

Figura 32. Se muestra la relación vertical entre los elementos arquitecturales CH, CS y FF. Se muestra el gran espesor que pueden llegar a tener los finos de llanura de inundación. Los elementos CH son los cuerpos mas espesos de la Formación Mugrosa.

Figura 33. Se muestra la fuerte relación vertical entre los elementos arquitecturales de canal (CH), de desborde (CS) y los de llanura de inundación (FF).

3.4.5 Depósitos de Desborde (CS y CR) y Llanura de Inundación (FF)

El elemento arquitectural CS se encuentra conformado por la intercalación entre la facies, FI y Fr. El elementos CR se encuentra conformado por la asociación Sm–Sr, aunque puede llegar a tener relictos de las facies St. Por otro lado, el elemento

arquitectural FF se constituye por la asociación de todos los finos de llanura de inundación.

Los elementos CS y CR poseen una geometría cuneiforme muy marcada y tal como se muestra en las Figuras 30, 32 y 33, suele encontrarse suprayaciendo e infrayaciendo a los depósitos de areniscas de canal, lo cual es típico de los depósitos de los ríos meándriformes.

El amalgamamiento de las facies que conforman al elemento arquitectural FF puede llegar a los 100 metros de espesor, estas son las facies que predominan en la Formación Mugrosa, su continuidad lateral cubre kilómetros. En la Figura 28 y 32 se puede observar lo potente que suele ser el amalgamamiento del elemento FF.

En la Figura 34 se muestra un amalgamamiento entre elementos arquitecturales de desborde, aquí ver el sistema de intercalación entre las facies arenosas y las lodosas formando elementos CS y la asociación Sm–Sr en una elemento CR.

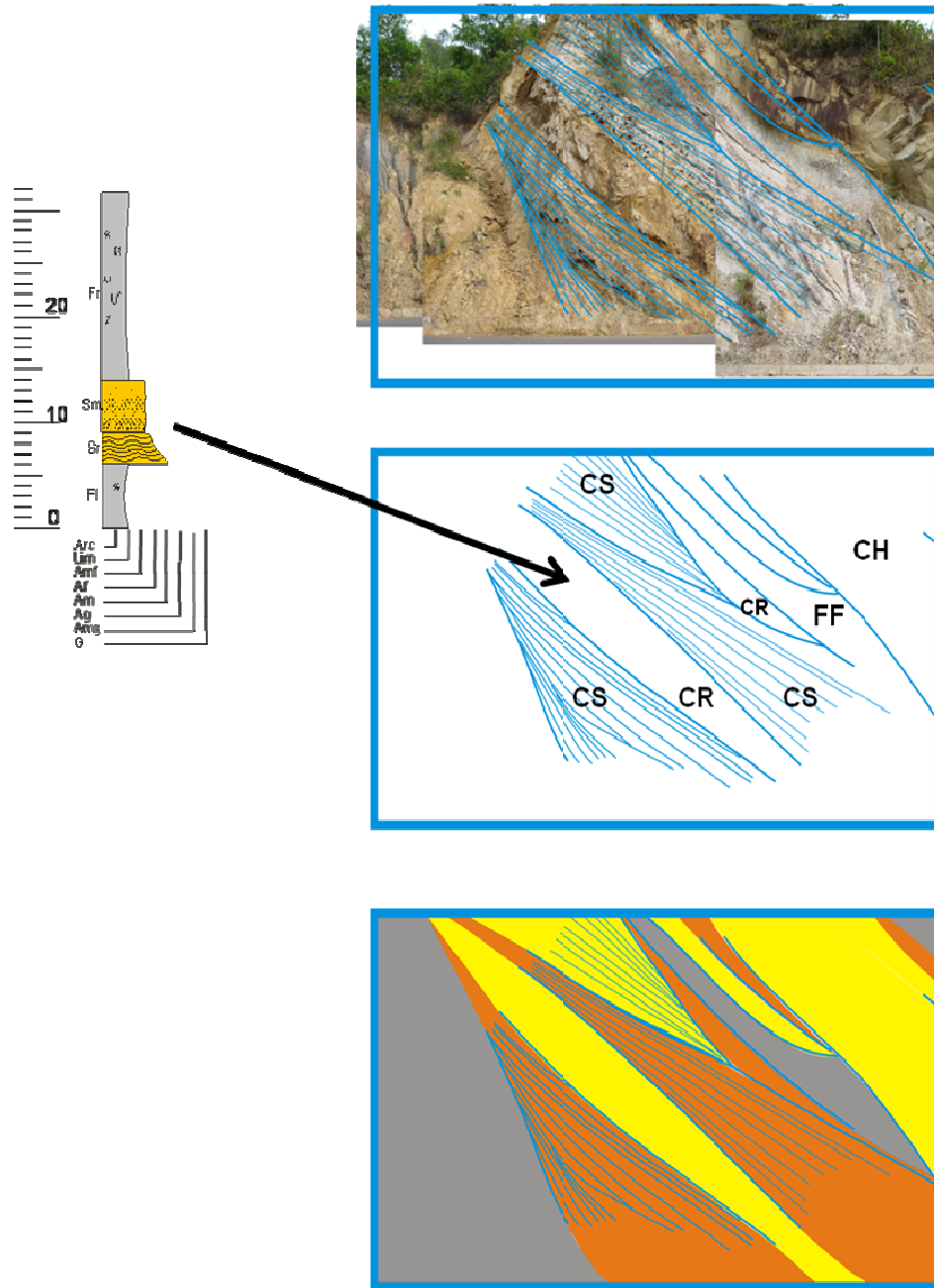


Figura 34. Se muestra un amalgamamiento entre los elementos arquitecturales CS, CR, FF y su relación con el elemento CH.

3.5. Modelo de Depositación

En la Figura 35 se observa el esquema de interpretación que se le ha asignado a la Formación Mugrosa para el Campo Colorado. (1) El montaje de secciones estratigráficas de núcleos de perforación y afloramiento, (2) la identificación de facies, (3) las identificación en que estas se asocian genéticamente, (4) el análisis de las superficies limitantes y (5) de los elementos arquitecturales permiten afirmar que en el área encerrada entre el Anticlinal de Infantas, el pozo T32 y el Campo Colorado la Formación Mugrosa corresponde un ambiente de depositación de ríos meándrifformes, con marcada migración lateral del cauce, de mediana sinuosidad, con presencia de barras alternantes, repetitiva presencia de “*crevasse splay*” y “*crevasse channel*”, donde el desarrollo de paleosuelos es poco, pero la construcción de depósitos de llanura de la inundación es fuerte.

Figura 35. Se muestra la correspondencia de cada asociación de facies al interior de cada subambiente del sistema de ríos del que se deriva la Formación Mugrosa para el Campo Escuela–Colorado. Modificado de Galloway (1981).

A pesar de que sus cuerpos no poseen un espesor superior a los 30 ft, la Formación Mugrosa alcanza distancias muy grandes en continuidad lateral, lo cual justifica el hecho de sea la formación almacenadora de hidrocarburos mas importante del Valle Medio del Magdalena.

Los depósitos de desborde de la Formación Mugrosa no poseen ninguna importancia como reservorio, debido a que sus estratos no superan los 6 pies de espesor y siempre están separados por lentes de las facies impermeables de llanura de inundación.

3.6 ANÁLISIS DE REGISTROS ELÉCTRICOS.

La interpretación de los registros eléctricos se realiza con la finalidad de entender la respuesta de los registros que se asocia a cada asociación de facies, esta caracterización nos lleva a realizar correlaciones estratigráficas de pozo confiables y a entender la distribución de los cuerpos arenosos de la Formación Mugrosa a lo largo del Campo Colorado.

El análisis de registros contempla:

- El ajuste a profundidad de los núcleos de perforación con los registros de pozo, considerando la respuesta de los registros eléctricos de pozo y las litofacies de cada intervalo analizado.
- La identificación de la forma de las curvas (Punto de deflexión e inflexión y la amplitud del registro), para poder explicar el efecto que causa las anomalías causadas por los fluidos (Bendeck, 1992).

- Un análisis estadístico básico para definir los rangos de valores de los registros a cada asociación de facies de la Formación Mugrosa.

3.6.1 Ajuste a Profundidad

El amarre roca registro trata de ajustar las respuestas de los registros eléctricos tomados en pozo y los registros tomados en los núcleos de perforación (core gamma).

El amarre de estos dos registros se efectuó en el software Geographix en el modulo de Prizm. Se ajustaron, moviendo el Core Gamma hasta que tenga correspondencia sus deflexiones con las deflexiones de la curva del Gamma Ray. Este ajuste se logro moviendo 2.5 ft el registro Core Gamma hacia abajo, en otras palabras se obtuvo un Shif de 2.5.

Este ajuste también se realizo teniendo en cuenta la respuesta del registro de Potencial Espontáneo y la respuesta de los análisis petrofísicos básicos de permeabilidad. Como el registro Sp es un registro que no mide la permeabilidad numéricamente pero si arroja una respuesta que indican altos y bajos de permeabilidad es decir tiene una medida cualitativa de esta propiedad, se reconoció estos intervalos, fortaleciendo este análisis.

3.6.2 Electrofacies de la Formación Mugrosa

Las electrofacies son una respuesta "similar" entre diferentes curvas de un mismo tipo de registro eléctrico, caracterizando un tipo de roca con un mismo tipo de fluido, (Doveton and Prenskey, 1992). Estas electrofacies pueden ser asignadas a las asociaciones de facies, dando sentido a la distribución y a las características del depósito en el subsuelo.

Para definir las electrofacies de la Formación Mugrosa se tomó como patrón a las electrofacies interpretadas en el pozo T32 que complementaron lo definido con los pozos C21 y C27 en el Campo Colorado. La cantidad de núcleos en el Campo Colorado no es suficiente para realizar un amarre roca-registro confiable. Las electrofacies fueron definidas con los registros eléctricos de potencial espontaneo normalizado (SP) y el gamma ray (GR) y por supuesto con las asociaciones de facies.

Las electrofacies interpretadas en los pozos T32, C21 y C27 se citan de la siguiente en los apartados siguientes:

3.6.2.1 Electroformas de Canal

Esta electroforma consiste en un cambio paulatino de los valores tanto en el registro potencial espontaneo (SP) como en el registro Gamma Ray (GR). Dicho cambio en la forma de esta electrofacies tiende a ser suave y puede estar denotando una disminución en el tamaño de grano, un aumento en la porosidad o incluso un aumento en la arcillosidad de las rocas que la componen.

En las Figuras 36, 37, 38 y 39 se puede observar claramente que todas las asociaciones de facies relacionadas con la actividad dentro del canal del río desarrollan la electroforma en campana. En la Figura 40 se puede notar que cuando las facies poseen un gran amalgamamiento tienden a generar la electroforma en cilindro.

Las electroformas en campana y en cilindro representan las electrofacies de reservorio para la Formación Mugrosa.

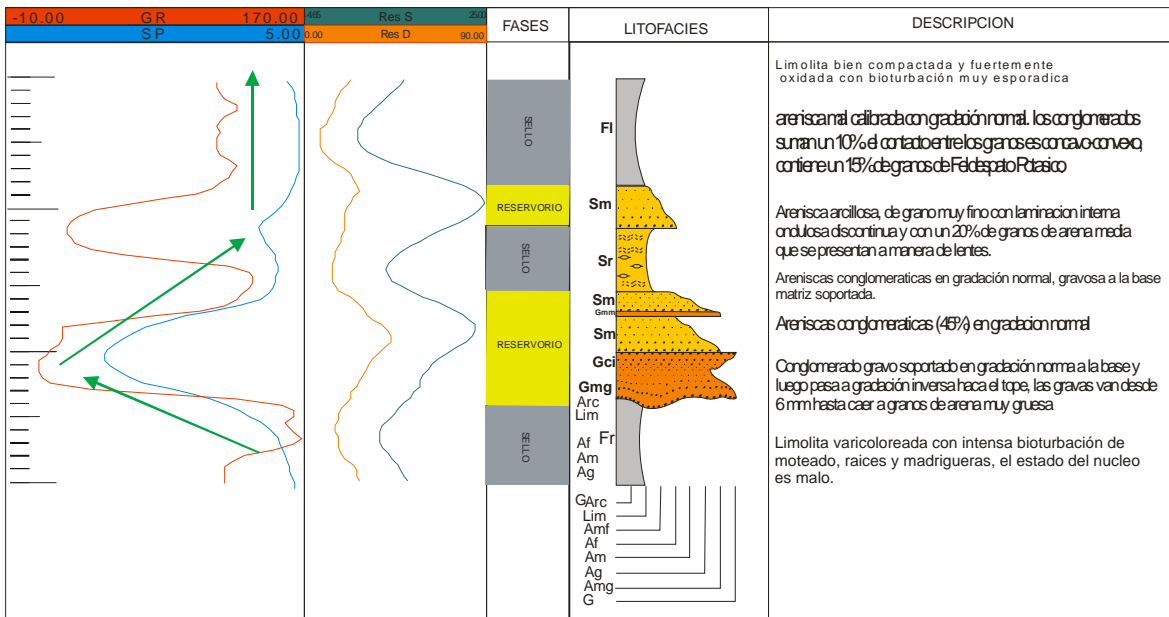


Figura 36. Se muestra la asociación de gravas y areniscas conglomeráticas con su electroforma en cilindro y en campana.

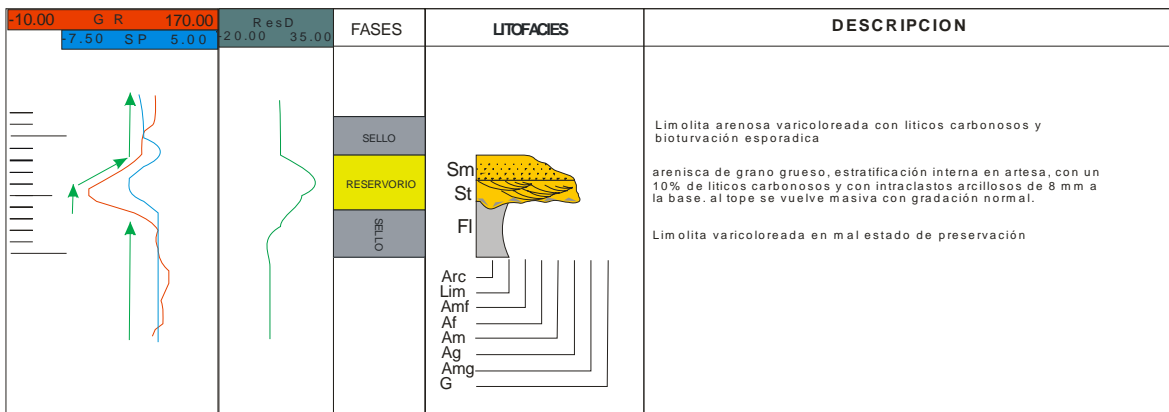
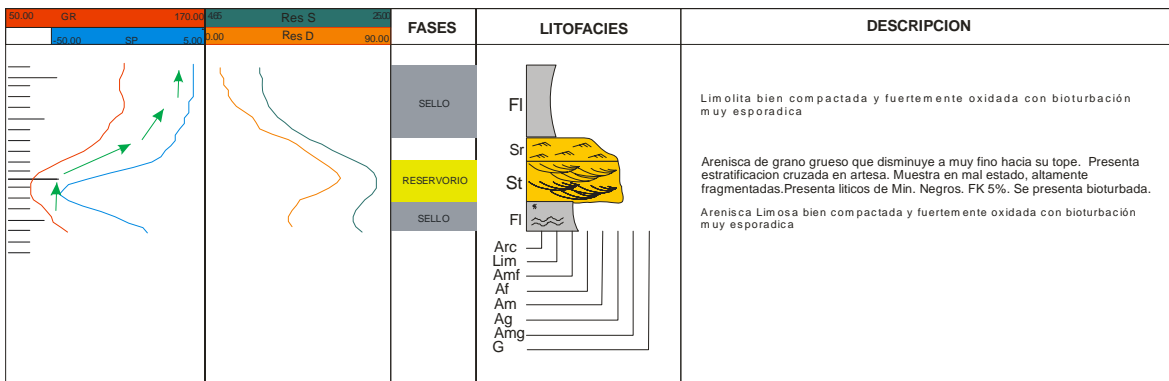


Figura 37. Se muestra la asociación Sm-St y la electroforma en campana que la caracteriza.



La electroforma en campana tiende a presentarse con espesores que van de los 3 a los 30 pies. Cuando los espesores superan los 30 pies generan electroformas en cilindro. Aunque existen excepciones como es el caso de la Figura 40, donde la electroforma en cilindro se genera en espesores menores.

3.6.2.2 Electroformas de llanura de inundación y desborde de canal.

Las electrofacies de llanura de inundación presentan valores más altos tanto para el registro SP como para el registro GR (cerca de la línea shales), comportándose de manera bastante homogénea. Tal como se observa en la Figura 41 se reconocen electroformas en campana sobre el “*overbank*”, pero posee una amplitud reducida en comparación con las electroformas de canal, es decir, son cuerpos que pueden contener agua e hidrocarburo, pero su escasa continuidad lateral y su fuerte relación con los finos de la llanura de inundación hace que carezcan de importancia.

Tal como se muestra en las Figuras 36, 37, 38 y 39, cada vez que están presentes los finos de llanura de inundación los registros eléctricos se apegan a la línea de las lodolitas.

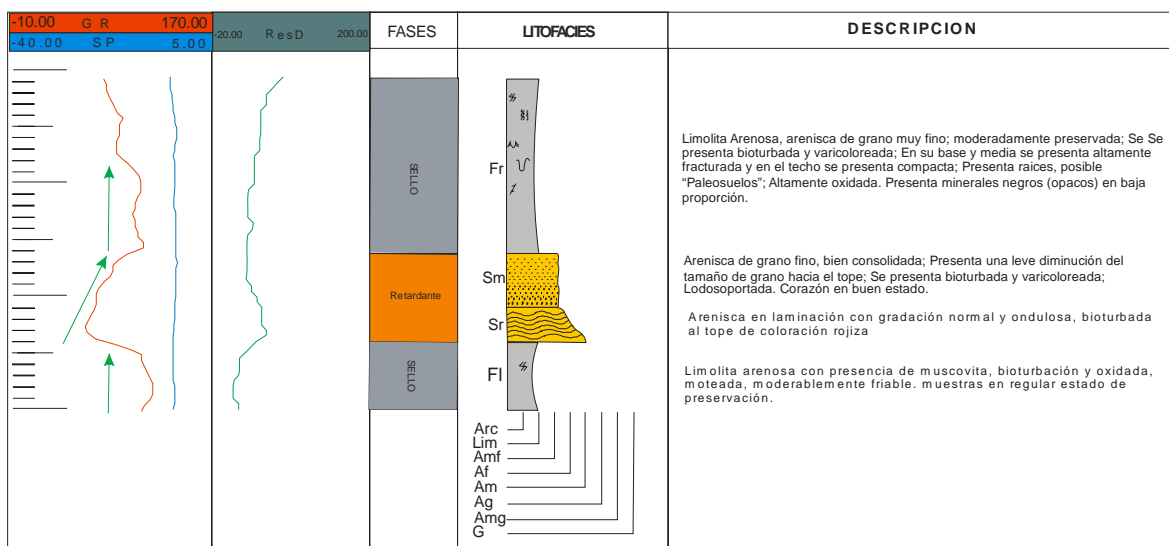


Figura 41. Se muestra una electroforma en campana en esta que es una de las asociaciones de facies del “*overbank*.”

El caso de la Figura 41 se cumple para los elementos arquitecturales *crevasse splay* (CS) y los *crevasse cannel* (CR), estos muestran una respuesta baja en el registro SP y relativamente alta en los registros de resistividad, debido a que sus cuerpos arenosos almacenan cantidades grandes de fluidos.

3.6.3 ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS.

Los registros de pozo son la respuesta a propiedades de las rocas; Por ejemplo, (1) el registro SP mide la diferencia de potencial, producido por la interacción del agua connata de formación, fluidos de perforación conductivos y ciertas rocas que actúan como membranas selectivas de iones (Bendeck ,1992); (2) el registro Gamma Ray mide la radioactividad natural de las rocas, por lo que las arcillas tienen una respuesta más elevada, cuando las areniscas contienen minerales tales como el feldespató potásico esta propiedad comienza a ser un problema para la caracterización de las propiedades en el subsuelo (Bendeck, 1992). Por todas estas razones nunca se debe trabajar con un solo tipo de registro de pozo, siempre se debe comparar la respuesta de estos con las características de las rocas.

Este análisis histogramas se llevo a cabo con la finalidad de comparar y delimitar el rango de valores que toman los registros eléctricos del Campo Colorado ante la presencia de cada Asociación de facies, reconociendo un “*cutoff*” para la roca como reservorio, sello o de Retardante del yacimiento.

3.6.3.1 Histogramas de Litofacies Vs Registros Eléctricos

Este análisis se hizo con los histogramas de las Figuras 42, 43, 44, 45, 46, 47 y 48. En la Figura 42 se muestra el histograma del registro gamma ray frente a las litofacies del pozo T32; en la Figura 43 se muestra el histograma del registro SP frente a las litofacies del pozo T32; en las Figuras 44 y 45 se muestra los histogramas del registro SP frente a las litofacies de los pozos C21 y C27 del

Campo Colorado, se puede ver que la cantidad de datos en el Campo Colorado es mucho menor que la tratada en el pozo T32, debido a la poca cantidad de núcleos de perforación; en la Figura 46 se muestra el histograma del registro resistivo profundo (RESD) frente a las litofacies del pozo T32 y en las Figuras 47 y 48 su equivalente en los pozos C27 y C21 del Campo Colorado

- La Litofacies FL presenta valores que se mueven principalmente entre los 50 y los 150 para el GR (API), lo cual se esperaba ya que esta representa a la litofacies más arcillosa de la Formación Mugrosa. La litofacies FI en el registro de SP muestra un rango de valores que se mueve entre -10 y los datos >-2 principalmente, lo cual también era de esperarse ya que FI es la litofacies de menor permeabilidad de la Formación Mugrosa. La litofacies FI en el registro resistivo profundo señala baja resistividad, característico de las rocas con altos contenidos de material arcilloso (Conductor). Este tipo de respuestas de los registros eléctricos representativo de las litofacies FI, las cual se caracteriza por ser Areniscas limolitas y arcillolitas las cuales se presentan en depósitos de planicie de inundación.

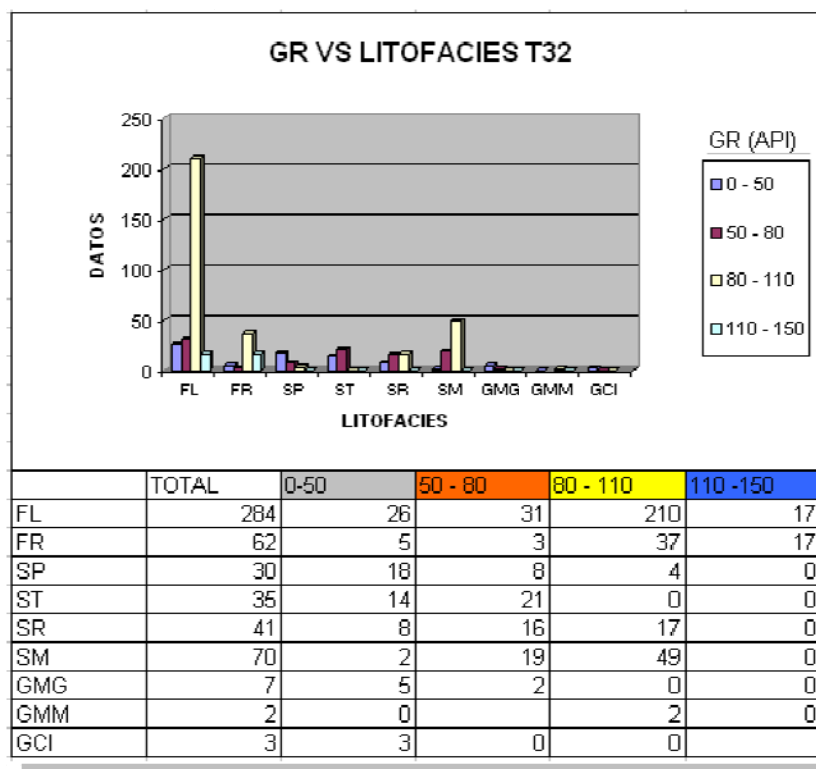


Figura 42. Histograma del registro gamma ray contra las litofacies, también se presentan el numero de datos utilizado.

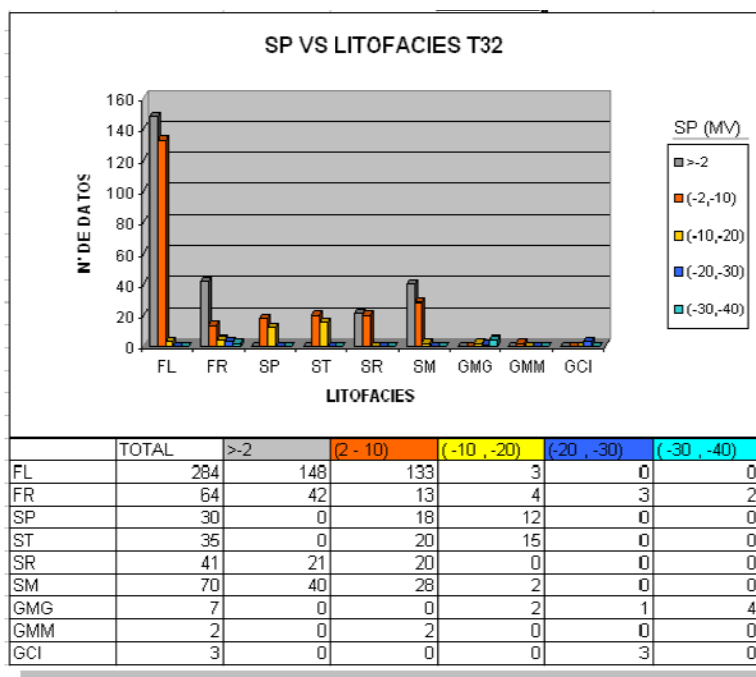


Figura 43. Se muestra el histograma del registro SP y las litofacies de pozo T32, también se presenta el número de datos utilizados.

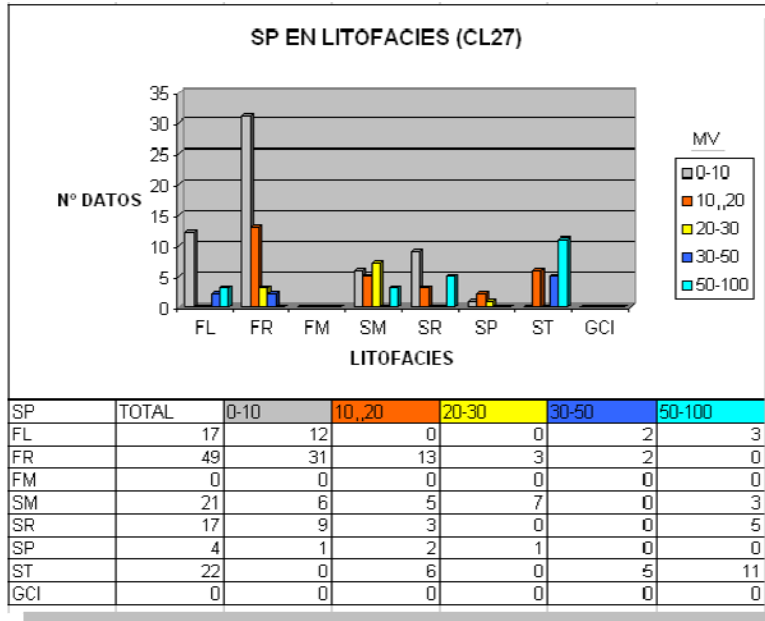


Figura 44. Se muestra el histograma del registro SP frente a las litofacies del pozo C27, también se muestra el número de datos utilizado.

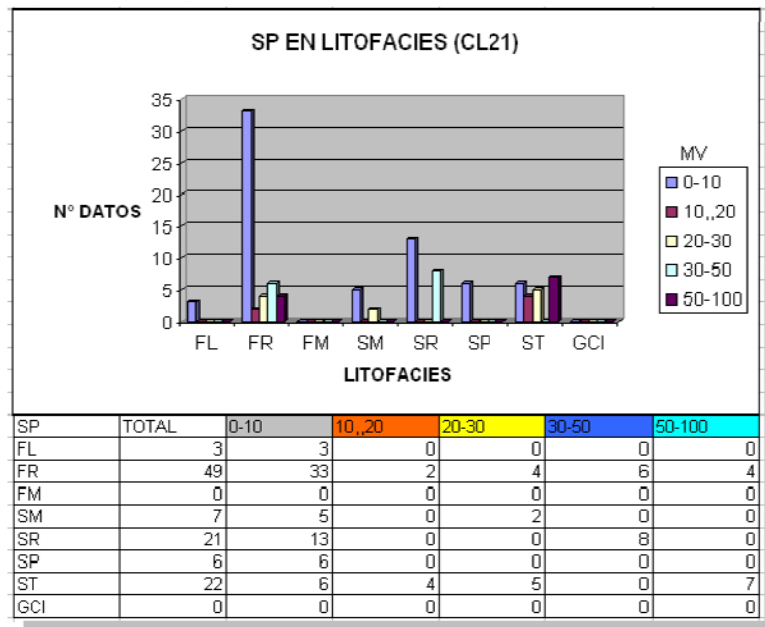


Figura 45. Se muestra el histograma del registro SP frente a las litofacies del pozo C21, también se muestran los datos utilizados.

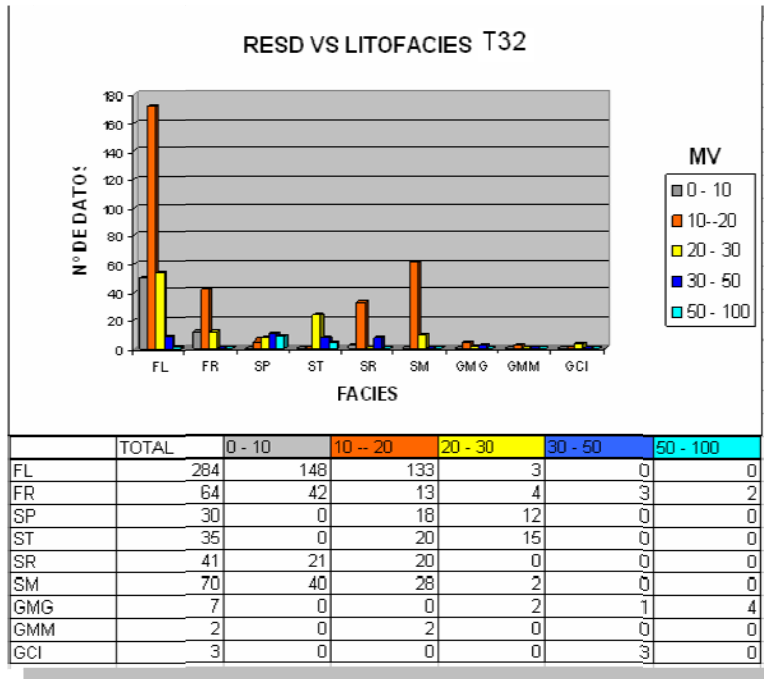


Figura 46. Se muestra el histograma del registro resistivo profundo frente a las litofacies del pozo T32.

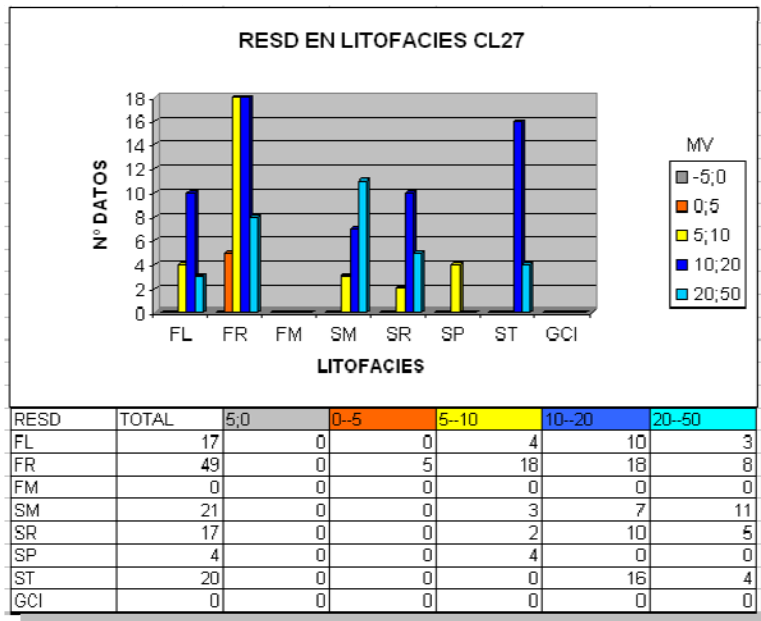


Figura 47. Se muestra el histograma del registro resistivo profundo frente a las litofacies del pozo C27.

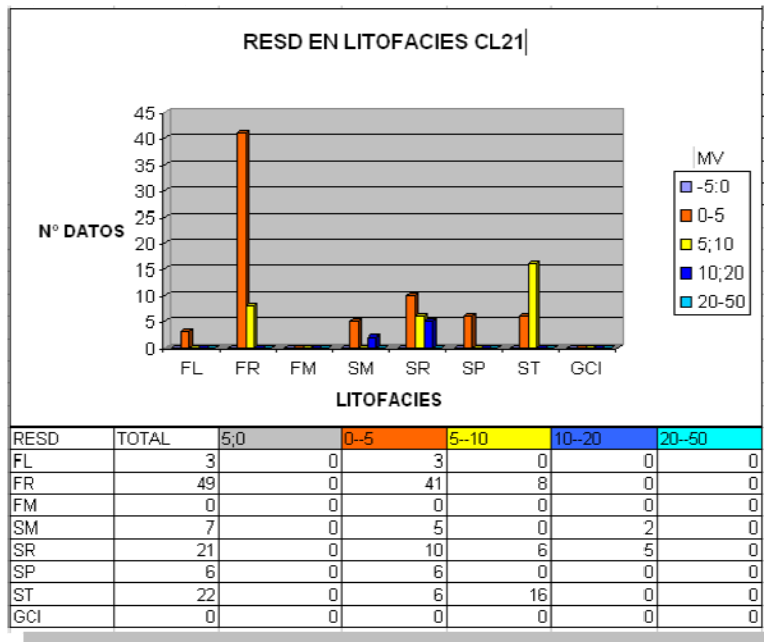


Figura 48. Se muestra el histograma del registro resistivo profundo frente a las litofacies del pozo C21.

- La litofacies Fr presenta primordialmente valores de Gr entre 80 y 150 API, con valores de SP en el intervalo >-2 a -10 mV y valores de resistividad entre 10 – 20 mV, la litofacies Fr permanece en el rango de valores de la litofacies Fl, indicando la relación genética que existe entre ambas, aunque la litofacies Fr es mucho menos frecuente que la litofacies Fl; indicando altos contenidos de arcilla en la roca (presenta mucha limolita y arcillolita) con presencia de raíces y bioturbación.
- La litofacies Sr presenta valores de GR entre 50 – 110 API, valores de SP entre -2 , -10 mV y los valores de RESD entre 10 – 20 MV principalmente. Tiene semejanza con los valores de Fl y Fr. Esto indica señala el contenido de la matriz arcillosa típica de esta litofacies, dando baja permeabilidad.
- La litofacies Sm presenta valores de GR principalmente entre 50 y 110 API, valores de SP entre >-2 y -10 mV y valores de resistividad bajos, principalmente entre 10 y 20. indicando el componente arcilloso de su matriz y

que en su mayor parte esta litofacies se compone de arenisca fina masiva o pobremente laminada.

- La litofacies Sp presenta valores de GR principalmente entre 0 y 50 API, valores de SP principalmente entre -10 y -20 mV y valores de resistividad principalmente entre 20 y 100 mV. indicando el hecho de que su arcillosidad es baja y que su permeabilidad es buena dando paso a una buena cantidad de fluido en su interior, lo cual soporta el hecho de que esta litofacies presenta arenisca fina a muy gruesa, lo cual es común que se presente en los depósitos de canal.
- La litofacies St presenta valores mismos rangos de la litofacies SP, con la diferencia en que el número de facies St reportado es mayor. Esta tiene la misma interpretación de baja arcillosidad en una roca con buena permeabilidad y con valores altos de resistividad por presencia de fluidos, soporta las características de la litofacies con areniscas de grano medio a grueso pudiendo ser guijarrosa, común que se presenten en depósitos de canal.
- Las litofacies gravosas presentan respuestas en los registros muy similares; en el registro GR entre 0 y 50 API, con valores de SP entre -20 y -40 mV y valores de RESD entre 20 y 50 mV. Indicando que son rocas con baja arcillosidad y buena permeabilidad con alta resistividad que refleja iones o sales en los fluidos.

3.6.3.2 Histogramas de Litofacies Vs Tipos de depósito (Reservorio, Retardante y Sello)

Una vez analizados los rangos de valores que tienen los registros eléctricos en cada litofacies y las electroformas de cada asociación de facies de acuerdo a su amplitud y su forma, se procedió a agrupar estas respuestas al yacimiento separando estocásticamente entre:

- Fase Reservorio (0).
- Fase de Retardante (1).
- Fase Sello (2).

Para la caracterización de cada una de las “fases del yacimiento o calidad de depósito” ha sido de gran importancia la utilización de histogramas, como nuestra mejor herramienta comparativa (ver Figuras 49 y 50). Cuando comparamos cada una de las fases teniendo en cuenta aquellas litofacies que las conforman, podemos darnos cuenta de cómo se agrupan las litofacies para generar un tipo de depósito que las caracterice.

En la Fase Reservorio, es común encontrar las litofacies St, Sp, Sm, Sr y en menor proporción las litofacies Gmm, Gmg y Gci, siendo todas estas a estar amalgamadas entre sí ocasionando que los cuerpos arenosos sean más gruesos y más extensos lateralmente. En la fase Retardante normalmente se encuentran las litofacies Fl, Fr, Sr y Sm al igual que en la fase sello, aunque aquí las litofacies Fl y Fr se encuentran en una proporción mayor.

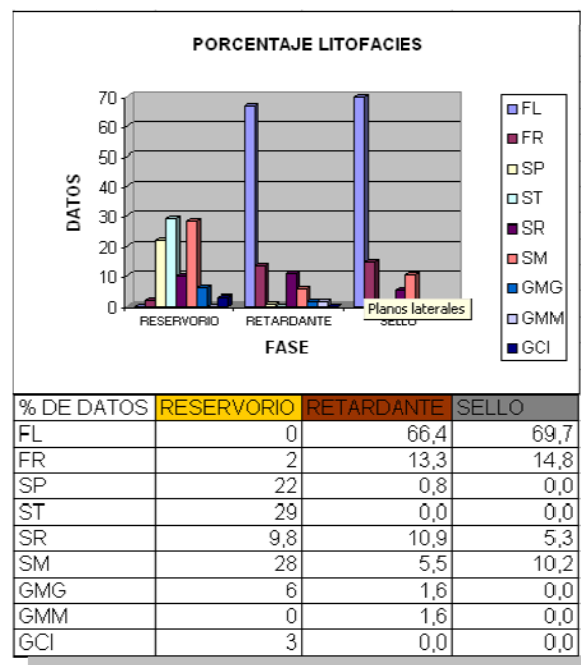


Figura 49. Se muestra el histograma de las fases de reservorio frente al porcentaje de litofacies en cada fase.

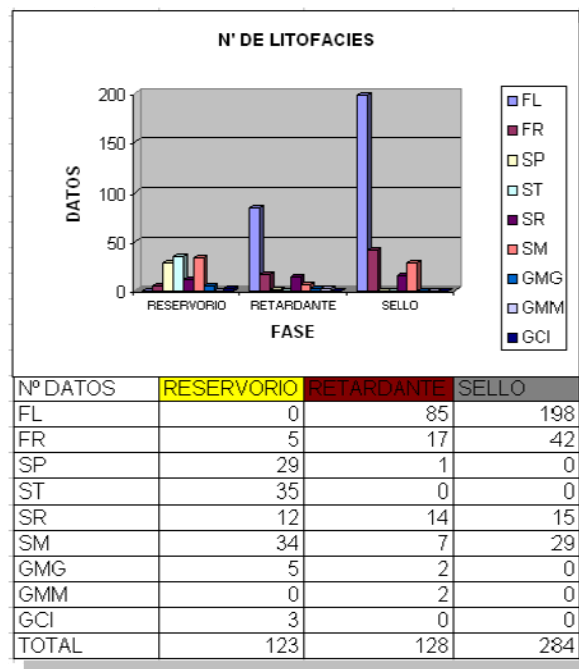


Figura 50. Se muestra el histograma de las fases del yacimiento frente al número de veces que se encontró cada litofacies en los núcleos de perforación.

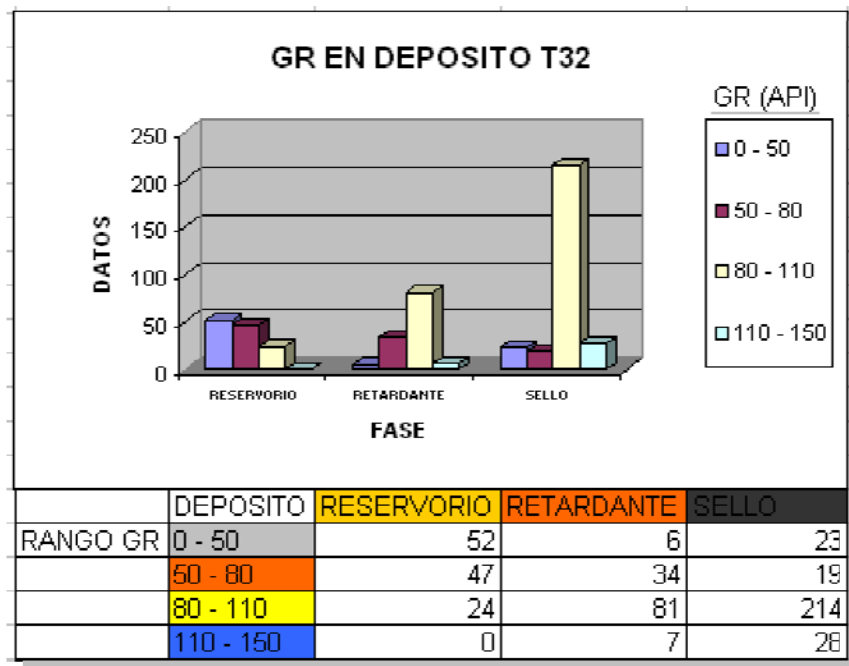


Figura 51. Se muestra el histograma de las fases del yacimiento frente a los rangos de valores del registro GR.

De forma comparativa con los pozos del Campo Colorado y el pozo T32 del Campo Lisama se realizó un análisis de la respuesta de los registros eléctricos SP y ResD para cada uno de los depósitos descritos; con el registro GR no se pudo realizar este análisis por no contar con él en los intervalos corazonados del Campo Colorado.

- La Fase Reservorio, representa las menores respuestas del registro SP con valores entre -2 y -40, para el registro GR entre 0 y 80 principalmente y para el registro RESD van desde 10 hasta 100, son las zonas con baja arcillosidad, buena permeabilidad y alta resistividad (Figura 52).

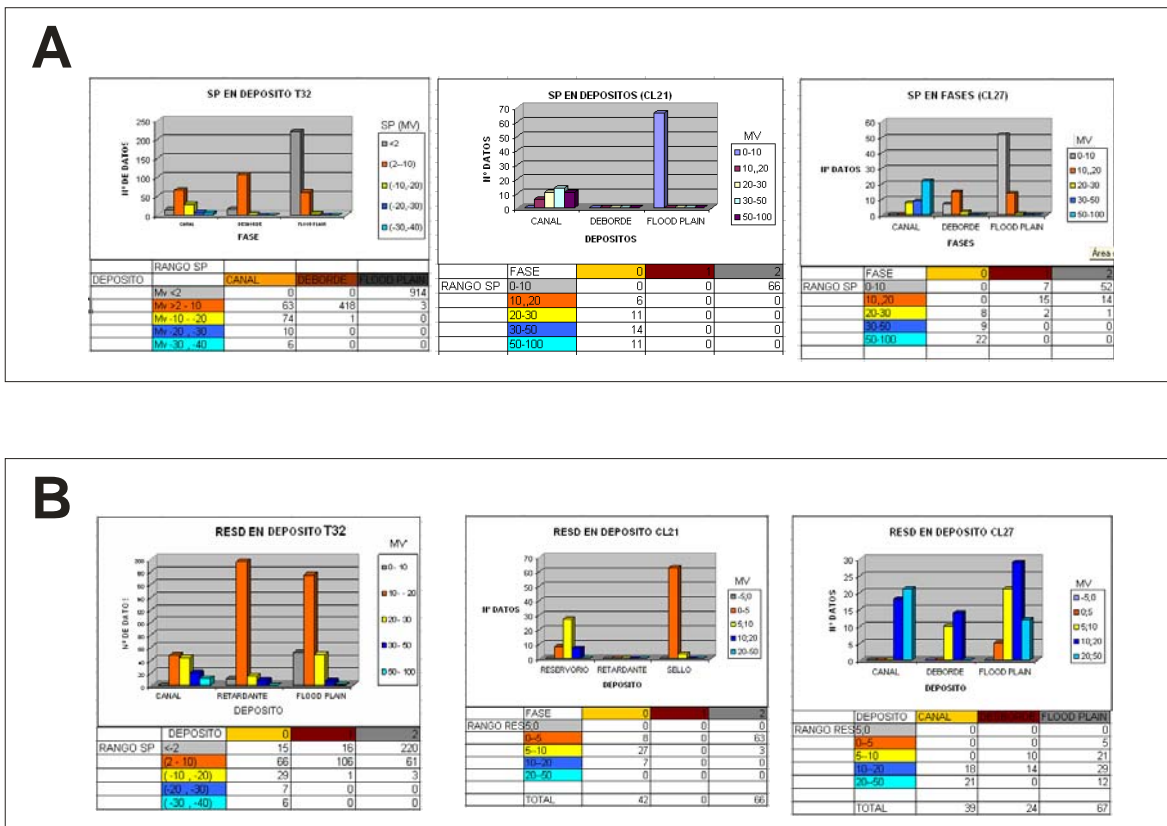


Figura 52. Se muestra el comportamiento de cada fase del reservorio para los registros SP (A) y RESD (B) en los pozos T32, C21 y C27.

- La Fase Retardante, representa a los valores intermedios de SP (entre -2 y -10) y de GR (entre 50 y 110) con valores de resistividad que varían de 0 a 50 (Figura 52). El amarre roca-registro señala la existencia de cuerpos arenosos con permeabilidad intermedia pero cuyo espesor y continuidad lateral es insignificante, donde existe una intensa intercalación con litofacias de llanura de inundación. Esta fase señala los sectores donde la permeabilidad no es la mejor pero donde tampoco es nula, la estrecha relación con la llanura de inundación la hace carecer de importancia para la producción de hidrocarburos.
- La Fase Sello, representa los valores más altos para el SP (>-2 hasta -10), y o para el GR (principalmente entre 80 y 150) y valores de resistividad más bajos (entre 0 y 30). Donde tuvo lugar la depositación de las arcillolitas, limolitas, arcillolitas limosas, limolitas arcillosas, limolitas arenosas y en menor proporción areniscas limosas. Esta fase indica aquellos sectores donde la permeabilidad es insignificante y donde su presencia señala sectores donde la roca actúa como un sellante al flujo del hidrocarburo.

4. MODELO ESTRATIGRÁFICO

4.1 TOPES Y SUBZONAS DE LA FORMACIÓN MUGROSA

La Formación Mugrosa se encuentra estratigráficamente separada por los niveles fosilíferos de Los Corros y de Mugrosa respectivamente (Morales, 1955).

En el Campo Escuela-Colorado los topos Formacionales previos a este trabajo no mostraban un comportamiento sistemático y tampoco existen reportes, archivos o informes donde se expliquen los criterios utilizados para establecer los límites de la Formación Mugrosa. Ante tal falta de información se optó por revisar los archivos de perforación, pruebas de formación, las descripciones de muestras de

zanja y los “*dipmeters*” para extraer toda información concerniente a la ubicación de tales superficies cronoestratigráficas en el Campo Escuela-Colorado.

4.1.1 Horizonte Fossilífero de Mugrosa

Este horizonte fossilífero se ubicó con ayuda de las descripciones de las muestras de Zanja, las cuales existen para 65 pozos de los 75 disponibles (los pozos C1, C2, C4, C5, C6, C7, C8, C58, C67 Y C77 no existen estos archivos), teniendo siempre presente las limitaciones en materia de la resolución proporcionada por los rípios de perforación. Este trabajo busca abandonar la tendencia a ubicar el tope de la Formación Mugrosa a la aparición de la primera capa de arenisca, lo cual generaba inconsistencia por los cambios laterales de las facies; inconsistencia que se refleja en los cortes transversales al Anticlinal de Colorado.

De las descripciones de las muestras de zanja y reportes de perforación se puede decir que el Nivel Fossilíferos de Mugrosa se reporta como (1) arcillas a veces limosas de coloración blanda, verde o varicoloreada y (2) arena de grano muy fino arcillosa de coloración verde o café. Estas características litológicas siempre acompañadas de fragmentos Calcáreos que cuando están bien preservados los reportan como Gasterópodos Calcificados.

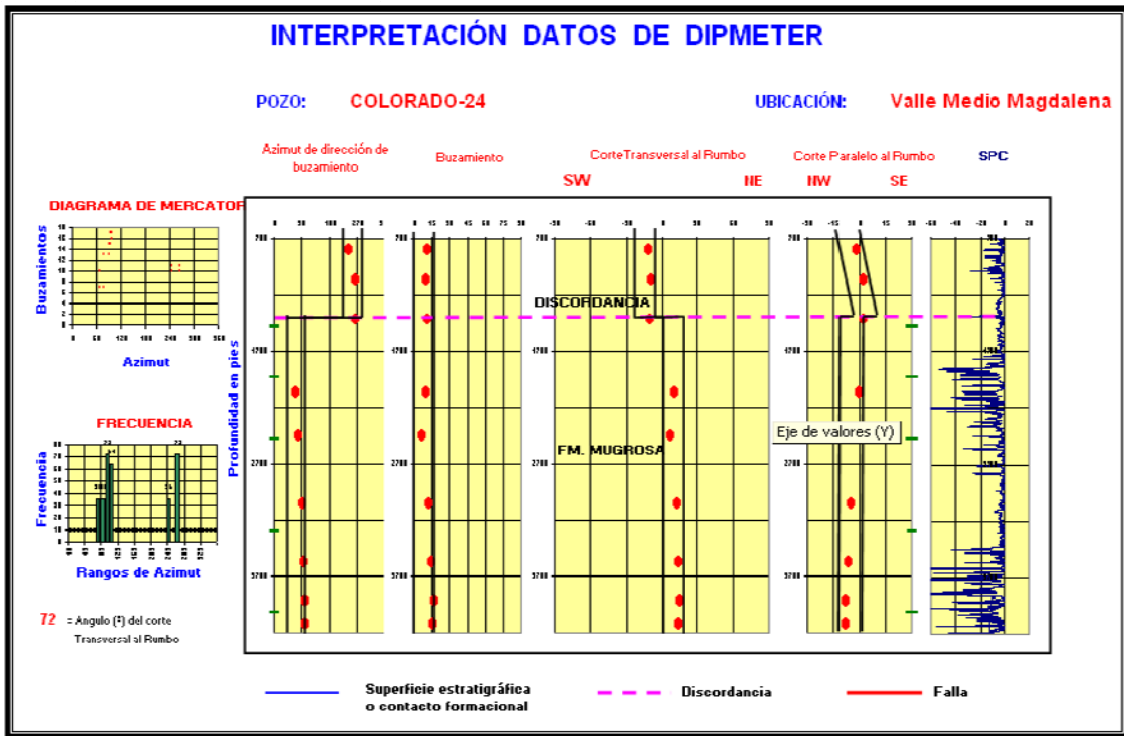


Figura 54. Interpretación de los datos de “Dipmeter” del Pozo CL 24: El histograma muestra la existencia de dos familias de datos estructurales, donde se resalta el cambio aproximadamente de 30° en el corte transversal al rumbo. Esto indica la presencia de la discordancia angular que caracteriza el tope de la Formación Mugrosa en 1410 ft de profundidad, esta profundidad concuerda con el horizonte reportado en el libro de perforación (*fLLES*).

4.1.2 Base de la Formación Mugrosa

Para ubicar la base de la Formación Mugrosa se recurrió a los registros Dipmeter, partiendo del hecho de que esta superficie es discordante (Suarez, 1996). Para este caso los registros de perforación y las descripciones de las muestras de zanja no proporcionaron información a cerca de la ubicación de la base de la Formación Mugrosa.

Cabe la pena mencionar que los pozos C9, C10, C11, C13, C14, C15, C20, C24, C25, C29, C63, C64, C65, C66, C68, C70 y C71 no llegan hasta la Base de la Formación Mugrosa, y por tanto en estos no se pudo definir este contacto.

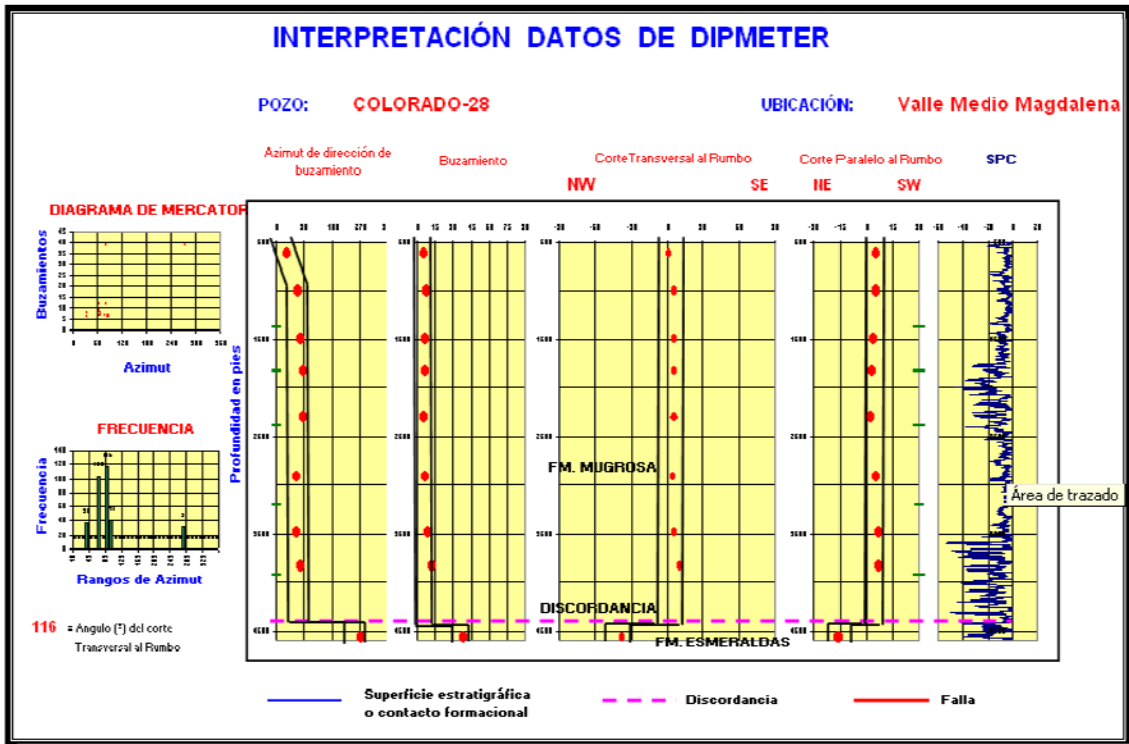


Figura 56. Interpretación de los datos de “Dipmeter” del Pozo CI 28: En la base de el registro se muestra un cambio drástico en el rumbo y buzamiento, donde al igual se reporta la base de la formación Mugrosa, indicando la Discordancia Angular que limita la formación Mugrosa con la formación Esmeraldas, esta se encuentra a 4500 Ft de profundidad.

4.1.3 Subzonas de la Formación Mugrosa

Después de tener definidos tanto el tope como la base de la Formación Mugrosa se procedió a establecer subdivisiones internas de la formación; Para lo cual, se utilizó un análisis de comportamiento del espesor de los cuerpos de areniscas de canal a lo largo de pozo.

Dicho análisis de comportamiento de espesor, parte del hecho de que los cuerpos canal mas amalgamados y por tanto los de mayor espesor son los que poseen la mayor continuidad lateral (Ramón & Cross, 1997). Esta tendencia de gran amalgamamiento es típica de momentos en que la cuenca presentaba el menor espacio de acomodación; a medida que el espacio de acomodación aumenta, los cuerpos de canal tienden estar poco interconectados (Ramón & Cross, 1997).

En el análisis de cambios de espesor se contempló que un cuerpo de areniscas de canal (1) tiene un espesor bajo entre 3 y 5 pies; (2) un espesor medio entre 5 y 15 pies y (3) un espesor alto cuando los espesores superan 15 pies.

En la figura 57 se muestra la subdivisión de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado. Tal subdivisión tienen las Subzonas estratigráficas B₀, B₁, B₂, B₃, C₁, C₂ y C₃, estas son Subzonas claramente correlacionables y por tanto mapéables en el Campo Colorado.

Para llegar a las ya nombradas subzonas de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado (1) se comenzó eligiendo a las zonas que contaran con los amalgamamientos más gruesos y con la mayor continuidad lateral, que corresponde a las Subzonas B₂ y C₂; (2) después se procedió a encontrar las Subzonas mas lodosas y continuas de la Formación Mugrosa que corresponden a B₀ y B₃; (3) Por ultimo quedaron los intervalos B₁, C₁ y C₃, los cuales son Subzonas cuyo contenido arenoso en bueno pero su continuidad lateral no es tan importante como en B₂ y C₂.

En el análisis de cambios de espesor de los cuerpos de areniscas de canal de la figura 57 se observa como los segmentos B₂ y C₂ tienen mayor cantidad de cuerpos de espesor alto, esta tendencia de espesor alto en estos segmentos se mantiene a lo largo de todo el Campo Colorado. En la figura 57 también se puede notar que los Segmentos B₀ y B₃ poseen la menor cantidad de cuerpos de espesor medio y alto, esta es una tendencia que se conserva a los largo de todo el Campo Colorado. En el caso de los Segmentos B₁, C₁ y C₃ en la figura 57 se puede notar que contienen gran cantidad de cuerpos espesos, pero su cantidad y continuidad es notablemente menor que en los Segmentos B₂ y C₂.

En las Figuras 58, 59 y 60 se muestran la correlación de topes intraformacionales, la generación de superficies tridimensionales y la generación de un modelo tridimensional para las subzonas de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.

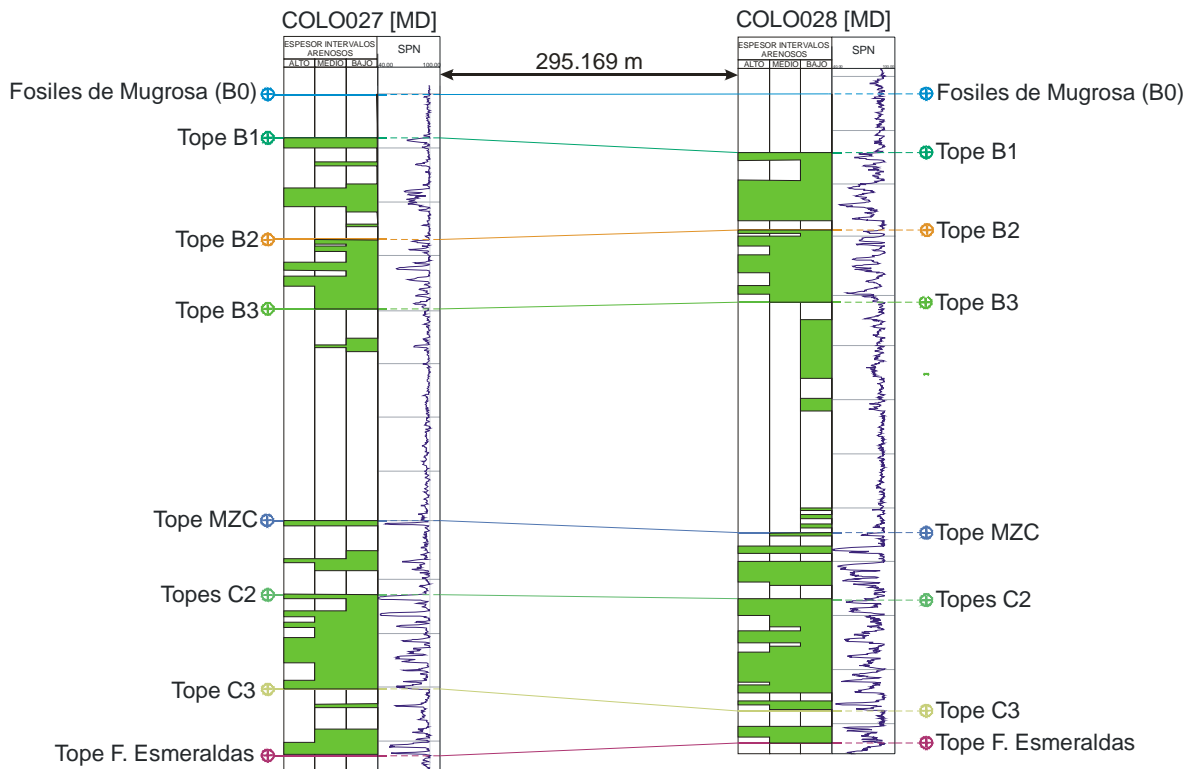


Figura 57. Se muestra la división en subzonas para la Formación Mugrosa con el comportamiento del espesor en los pozos C27 y C28 del Campo Escuela-Colorado.

La sistemática de correlación lograda a través del análisis de cambios de espesor en los cuerpos de areniscas de canal para la identificación de los segmentos estratigráficos de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado presenta limitaciones en los siguientes pozos:

- C37, C39 y C60: Están influenciados por fallas y presentan repetición del segmento B₁.
- C62 y C69: La respuesta de los registro de pozo denotan mala calidad, por lo que no fueron tenidos en cuenta.
- C25 y C13: No cuenta con registros que lleguen al intervalo C.
- C70, Presenta repetición de la secuencia estratigráfica, corta la Falla de Colorado y al parecer también a la falla satélite que separa a los Bloques I y

II del Campo Colorado (sector estructuralmente complejo), Presenta repetición de la secuencia entre las zonas B₁ y B₂.

- C30: Presenta repetición de la secuencia y no se puede establecer con claridad cuáles son los segmentos estratigráficos involucrados.
- C39: Presenta acortamiento de la secuencia estratigráfica, este atraviesa a la Falla de Colorado haciendo que para este pozo el intervalo B₃ prácticamente desaparezca.

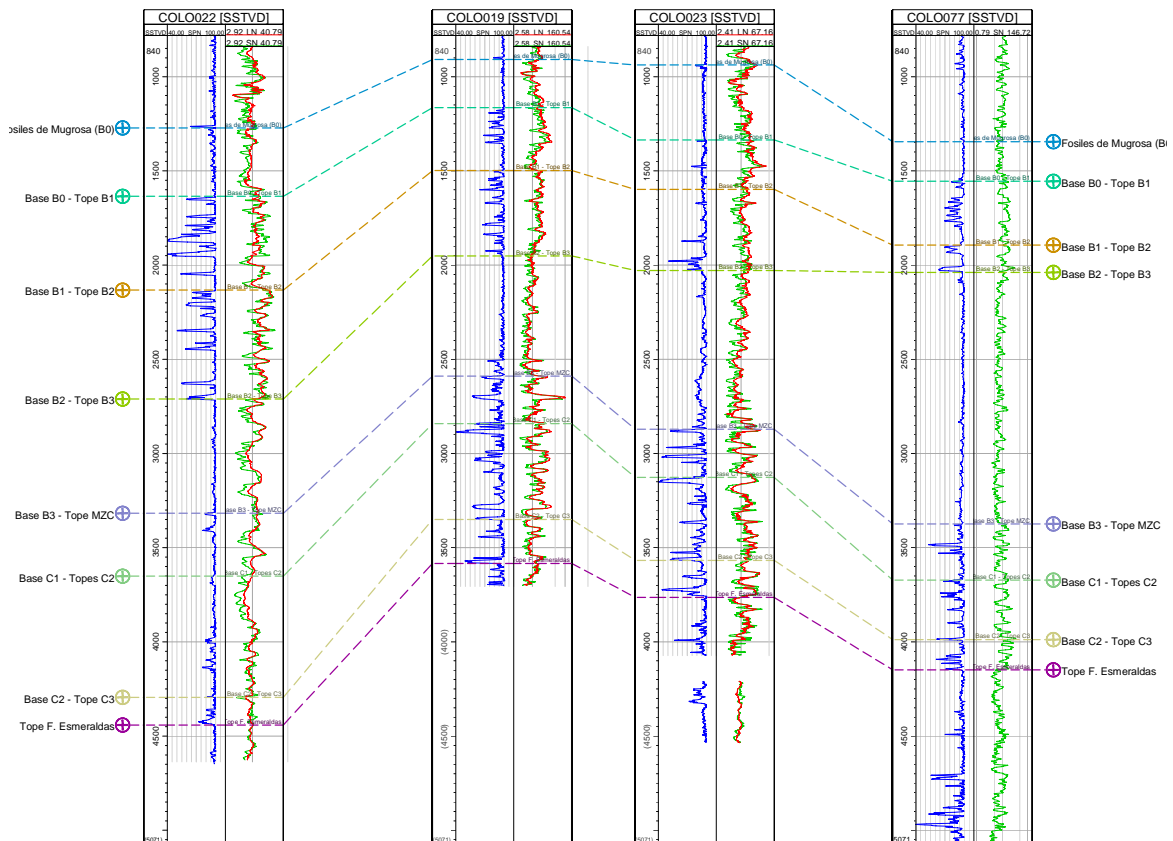


Figura 58. Correlación entre los tope de los tope de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado entre los pozos C22, C19, C23 y C77.

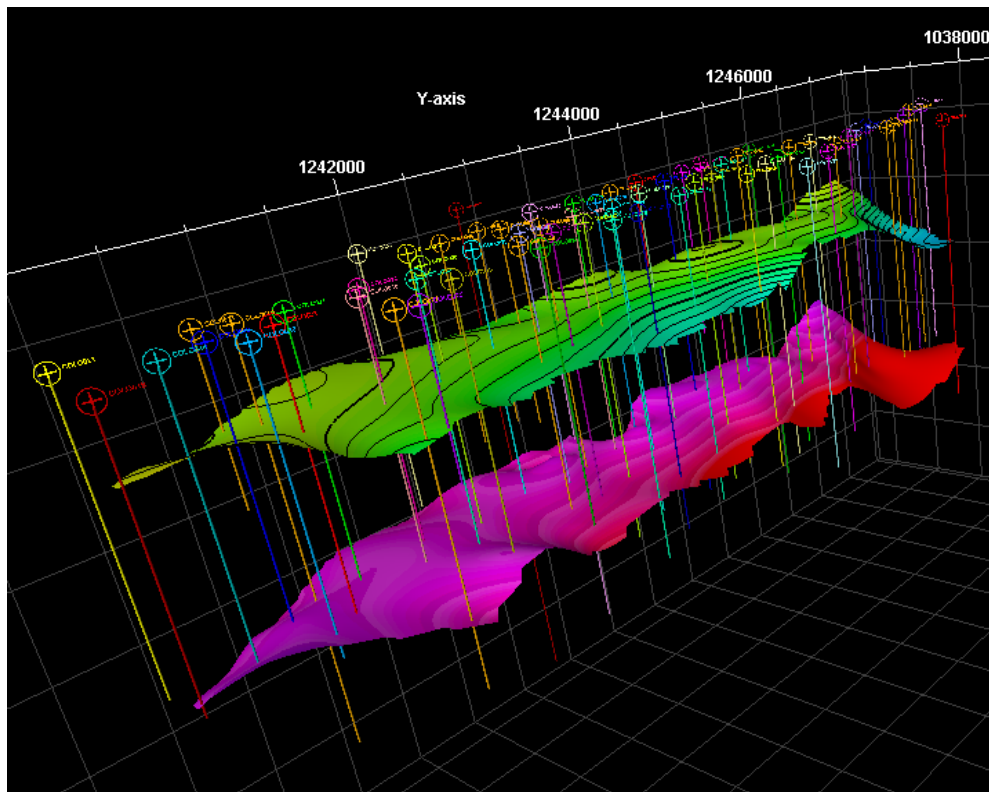


Figura 59. Representación tridimensional del tope y la base de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.

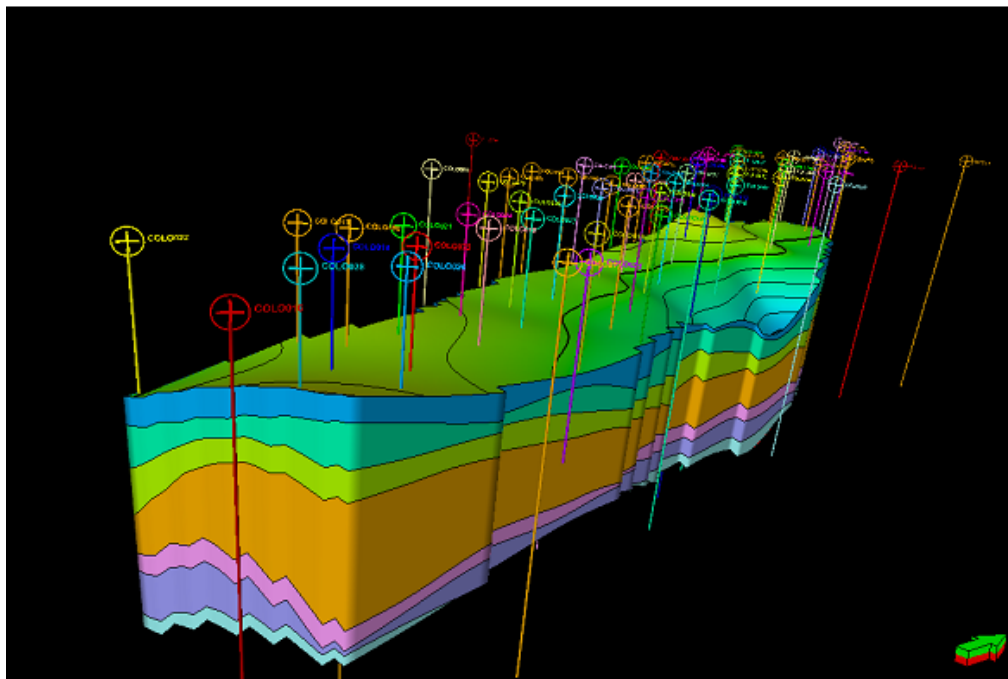


Figura 60. Representación tridimensional de las subzonas de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado.

4.2 ANÁLISIS DE ESPESOR POR HISTOGRAMAS

Tal como se muestra en la Figura 61, para este análisis se identificaron las electrofacies de la Formación Mugrosa en los pozos del Campo Colorado, con el fin de obtener datos de espesor neto, espesor promedio y el espesor porcentual de los cuerpos de areniscas del Campo Colorado. La Tabla 6 muestra los datos de espesor neto, promedio y porcentual para la subzona B₂ del Campo Colorado. Estos cálculos se realizaron para las 7 subzonas de la Formación Mugrosa.

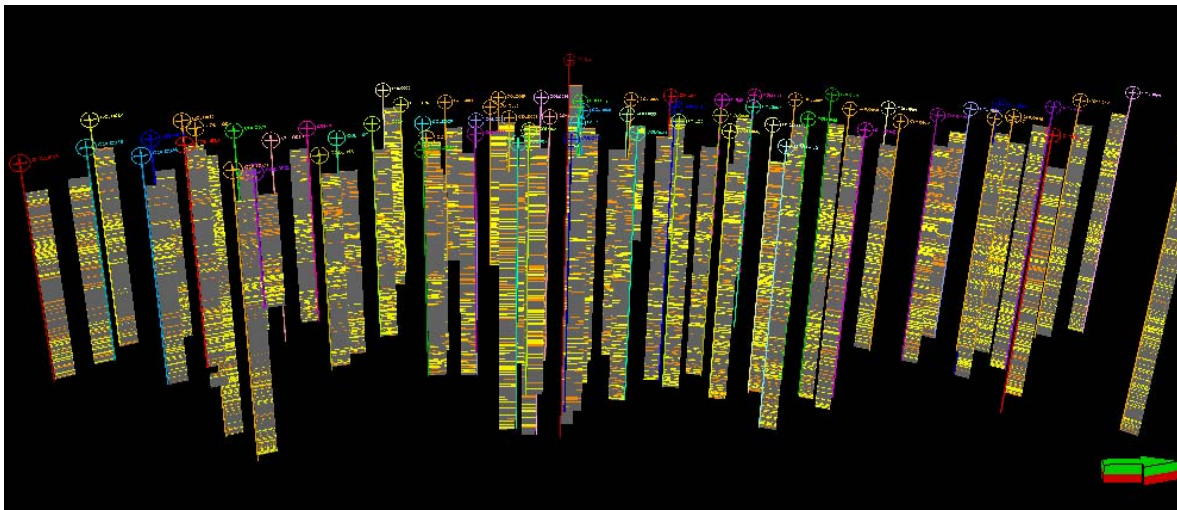


Figura 61. Representación tridimensional de las electrofacies identificadas en los pozos del Campo Colorado.

POZO	ZONA	NETO	PORCENTAGE	PROMEDIO	FACTOR CALIDAD	ESPESOR TOTAL (Ft)	Nº PAQUETES DE AREA
COLO03	B2	80.35	19.86	11.48	228.01	404.55	7.00
COLO009	B2	63.64	24.45	12.73	311.14	260.33	5.00
COLO010	B2	93.95	25.21	11.74	296.05	372.64	8.00
COLO011	B2	92.70	20.80	8.43	175.30	445.64	11.00
COLO012	B2	75.99	15.71	12.67	199.01	483.64	6.00
COLO013	B2	113.12	22.48	11.31	254.28	503.26	10.00
COLO014	B2	79.77	24.61	11.40	280.40	324.18	7.00
COLO015	B2	92.43	23.51	13.20	310.39	393.17	7.00
COLO016	B2	106.44	26.65	13.31	354.58	399.41	8.00
COLO018	B2	71.16	48.98	14.23	697.10	145.28	5.00
COLO019	B2	99.31	21.92	14.19	311.04	453.00	7.00
COLO020	B2	76.60	20.38	15.32	312.15	375.92	5.00
COLO021	B2	79.58	19.41	5.68	110.31	410.12	14.00
COLO022	B2	149.29	25.82	12.44	321.26	578.11	12.00
COLO023	B2	48.25	11.21	8.04	90.18	430.23	6.00
COLO024	B2	99.92	20.77	9.99	207.57	480.97	10.00
COLO025	B2	152.47	43.88	19.06	836.32	347.44	8.00
COLO026	B2	48.22	14.02	12.05	169.01	343.89	4.00
COLO027	B2	121.33	24.11	13.48	325.00	503.26	9.00
COLO028	B2	166.58	25.06	15.14	379.51	664.71	11.00
COLO029	B2	79.31	25.59	11.33	289.91	309.94	7.00
COLO030	B2	131.00	37.52	21.83	819.23	349.14	6.00
COLO031	B2	107.61	21.32	15.37	327.68	504.82	7.00
COLO032	B2	43.69	13.05	10.92	142.54	334.80	4.00
COLO033	B2	114.40	34.70	11.44	396.95	329.70	10.00
COLO34	B2	271.34	54.59	24.67	1346.64	497.03	11.00
COLO035	B2	79.77	17.14	11.40	195.36	465.29	7.00
COLO036	B2	194.31	46.08	27.76	1279.00	421.73	7.00
COLO037	B2	128.29	26.55	16.04	425.70	483.26	8.00
COLO038	B2	129.15	37.19	18.45	686.08	347.30	7.00
COLO039	B2	220.04	49.09	14.67	720.16	448.19	15.00
COLO040	B2	110.54	42.68	13.82	589.71	259.00	8.00
COLO041	B2	120.44	25.42	20.07	510.31	473.73	6.00
COLO042	B2	199.03	38.85	15.31	594.83	512.25	13.00
COLO043	B2	172.43	37.91	15.68	594.28	454.82	11.00
COLO044	B2	96.70	32.21	19.34	623.00	300.16	5.00
COLO045	B2	114.06	34.27	12.67	434.29	332.82	9.00
COLO046	B2	81.85	28.29	16.37	463.12	289.34	5.00
COLO047	B2	96.88	22.55	19.38	437.01	429.54	5.00
COLO048	B2	95.52	16.99	15.92	270.41	562.37	6.00
COLO049	B2	138.78	29.63	15.42	456.87	468.42	9.00
COLO050	B2	0.00	0.00	0.00	0.00	369.99	0.00
COLO051	B2	137.80	33.85	15.31	518.27	407.11	9.00
COLO052	B2	90.99	15.08	18.20	274.43	603.43	5.00
COLO053	B2	83.79	13.01	13.96	181.73	643.80	6.00
COLO054	B2	183.59	28.55	12.24	349.41	643.10	15.00
COLO055	B2	126.67	27.52	25.33	697.11	460.36	5.00
COLO056	B2	196.18	35.25	11.54	406.83	556.50	17.00
COLO057	B2	58.20	10.79	14.55	157.00	539.26	4.00
COLO059	B2	80.50	31.21	13.42	418.69	257.96	6.00
COLO060	B2	247.68	36.96	14.57	538.55	670.05	17.00
COLO061	B2	173.47	28.17	12.39	349.01	615.83	14.00
COLO062	B2	120.00	32.96	24.00	790.99	364.10	5.00
COLO063	B2	502.68	54.71	12.26	670.82	918.74	41.00
COLO064	B2	190.89	32.70	10.61	346.77	583.81	18.00
COLO065	B2	163.75	57.48	20.47	1176.49	284.88	8.00
COLO068	B2	252.95	35.41	18.07	639.70	714.45	14.00
COLO069	B2	68.66	33.93	8.58	291.21	202.36	8.00
COLO070	B2	151.23	42.16	16.80	708.51	358.68	9.00
COLO071	B2	69.05	18.28	13.81	252.53	377.67	5.00
COLO072	B2	144.98	29.87	12.08	360.83	485.46	12.00
COLO074	B2	215.64	41.22	16.59	683.68	523.21	13.00
COLO075	B2	112.50	19.17	6.62	126.84	586.96	17.00
COLO076	B2	236.54	40.10	19.71	790.50	589.85	12.00
COLO077	B2	51.00	35.23	17.00	598.96	144.75	3.00

Tabla 6: Cálculos de espesor realizados en la zona C2 del campo Escuela – Colorado.

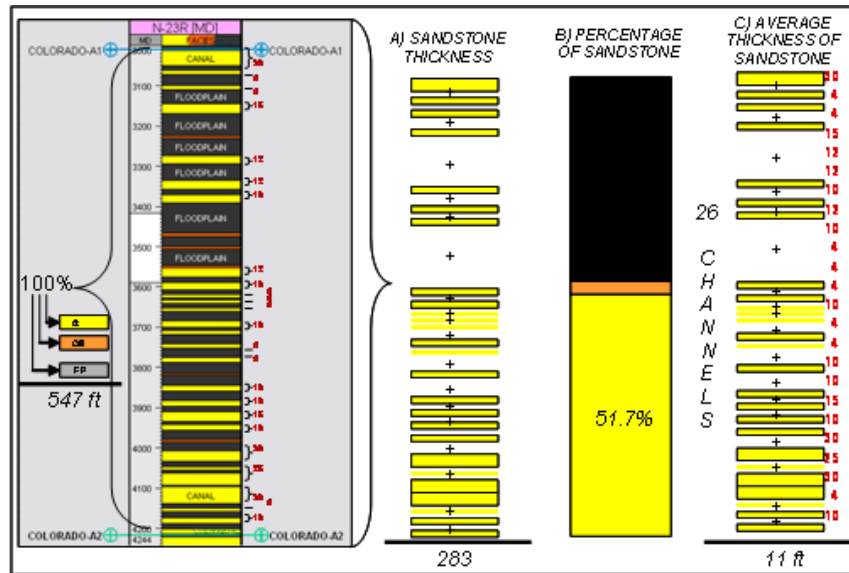


Figura 62. Explicación del (A) cálculo de espesor de arena neto; (B) cálculo de porcentaje de arena; (C) cálculo de espesor promedio. Tomado de J. R. Sandoval (2009).

4.2.1 Comportamiento del Espesor de Canal Para la Zona B

Los cuerpos arenosos de los intervalos B_0 y B_3 tienen espesores que van hasta los 10 ft de espesor, con un promedio de 2.42 ft para B_0 y 2.78 para B_3 . En la Figura 63 A y D, se puede notar que en los intervalos B_0 y B_3 la frecuencia de ocurrencia de areniscas es baja, aquí el sistema de depositación fue dominado por un alto espacio de acomodación, donde dominan los depósitos de llanura de inundación.

En la Figura 63 B y C, se puede notar que los intervalos B_1 y B_2 tienen frecuencias de hasta 195, sus espesores se mueven entre los 5 y los 15 ft, el valor promedio de estos espesores es de 14.4 ft para B_1 y de 15 ft para B_2 . Los valores que aparecen por debajo del espesor promedio se interpretaron como adelgazamiento de depósitos arenosos o pinchamientos de canales y los valores que se encuentran por encima del espesor promedio se interpretaron como amalgamamiento de canal.

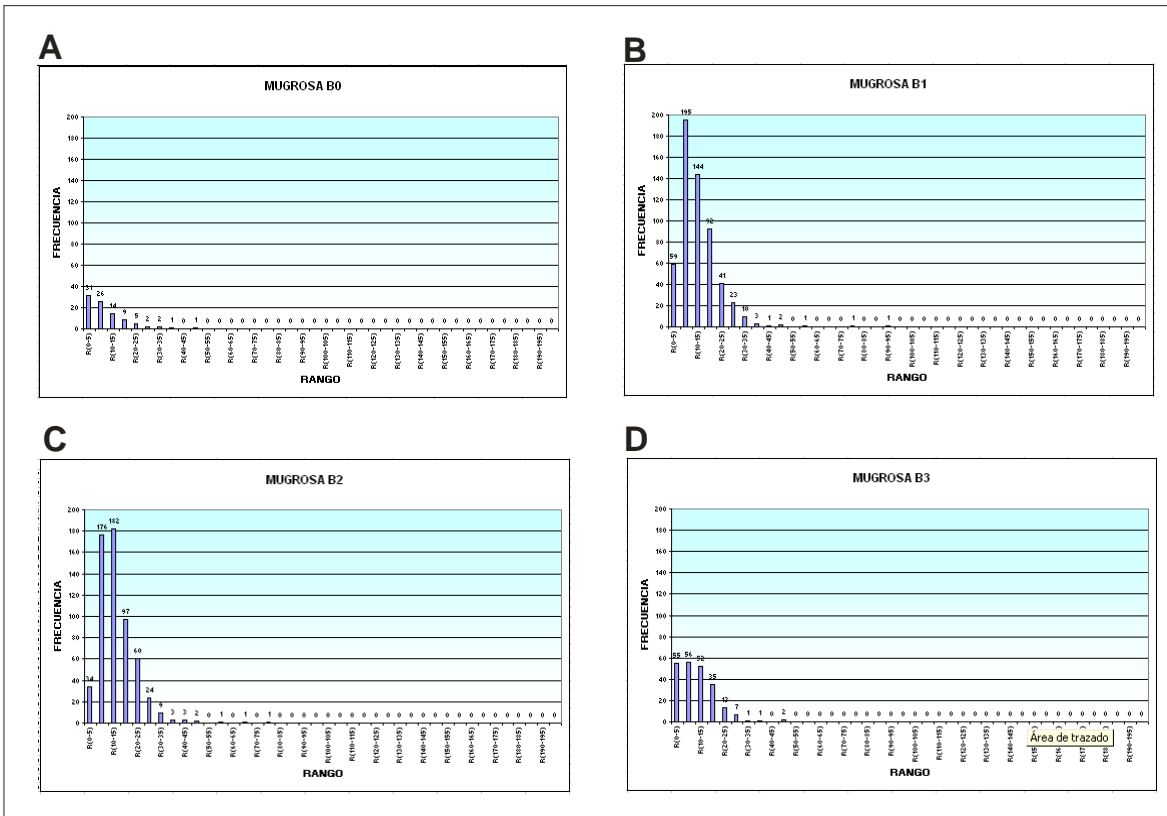


Figura 63. Se muestra la Frecuencia vs. Espesor de los cuerpos de arena en los intervalos de la zona B del Campo Escuela-Colorado.

4.2.2 Análisis de Espesor de Canal Para la Zona C.

En los intervalos C₁ y C₂ los espesores de los cuerpos de areniscas se mueven entre los 5 y los 15 ft de espesor, con un espesor promedio de 200 ft y 302 ft respectivamente (Figura 64). Los valores de espesor que se sitúan por encima del valor promedio se interpretaron como amalgamamiento de canales.

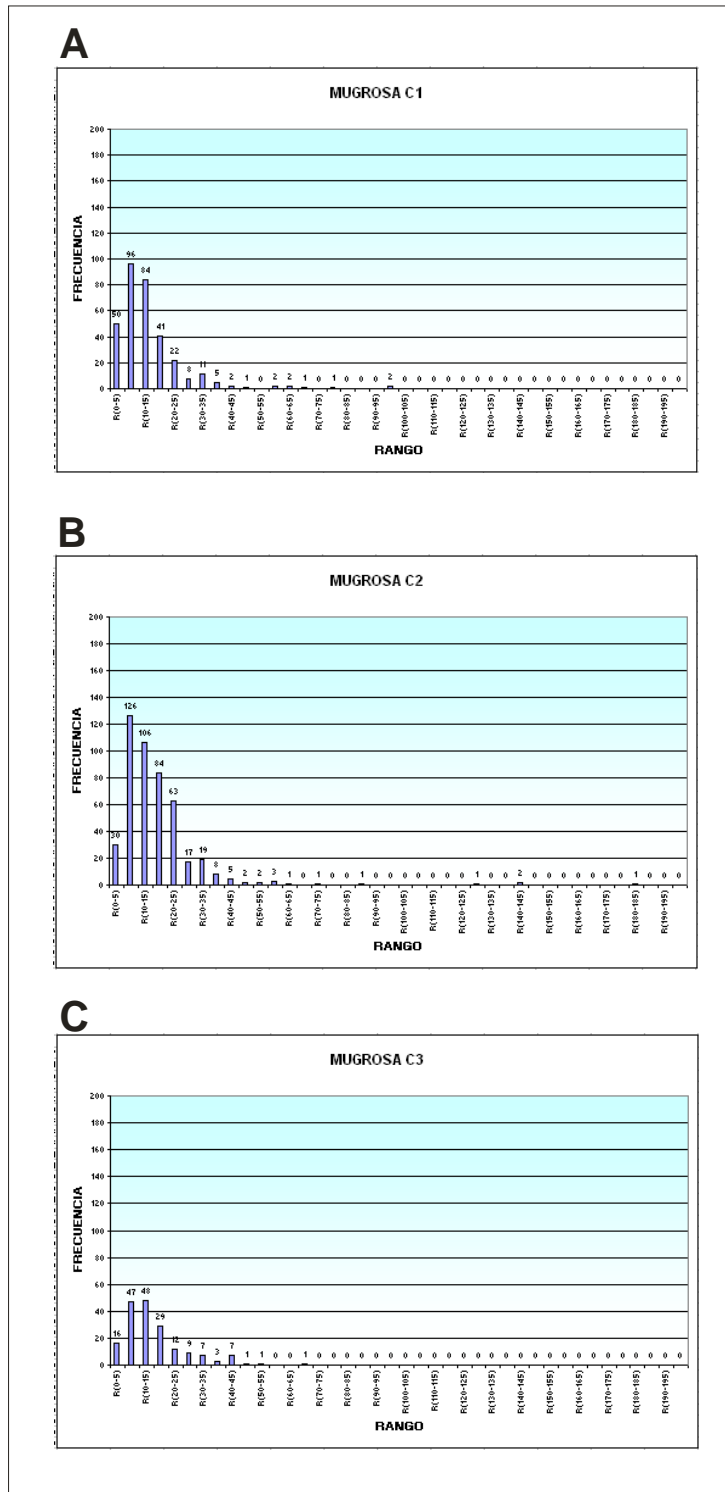


Figura 64. Se muestra la Frecuencia vs. Espesor de los cuerpos de arena en los intervalos de la zona C del campo Escuela – Colorado.

En la subzona C₃ presenta menos ocurrencia de cuerpos arenosos de la zona C, pero al igual que los intervalos C₁ y C₂ aunque sus espesores se mueven también entre los 5 y los 15 ft (Figura 64).

4.2.3 Análisis de Frecuencia Acumulada

Con el histograma de la Figura 65 se indica, de manera general, que la Formación Mugrosa en el campo Colorado presenta cuerpos arenosos cuyo espesor se encuentra principalmente entre los 5 y los 10 ft. Sobresalen las subzonas B₂, C₂, y C₃ por tener el mayor contenido arenoso (6%,12% y 8% respectivamente). Las subzonas con menor contenido arenoso son B₀, B₃, B₁ y C₁, en este orden aumenta el espesor de los paquetes de arena (ver la Figura 65).

La Figura 65 muestra que las subzonas con el mayor espesor son C₂ y C₃, con 30 ft y 45 ft respectivamente, estas son las zonas de mayor amalgamamiento de canales.

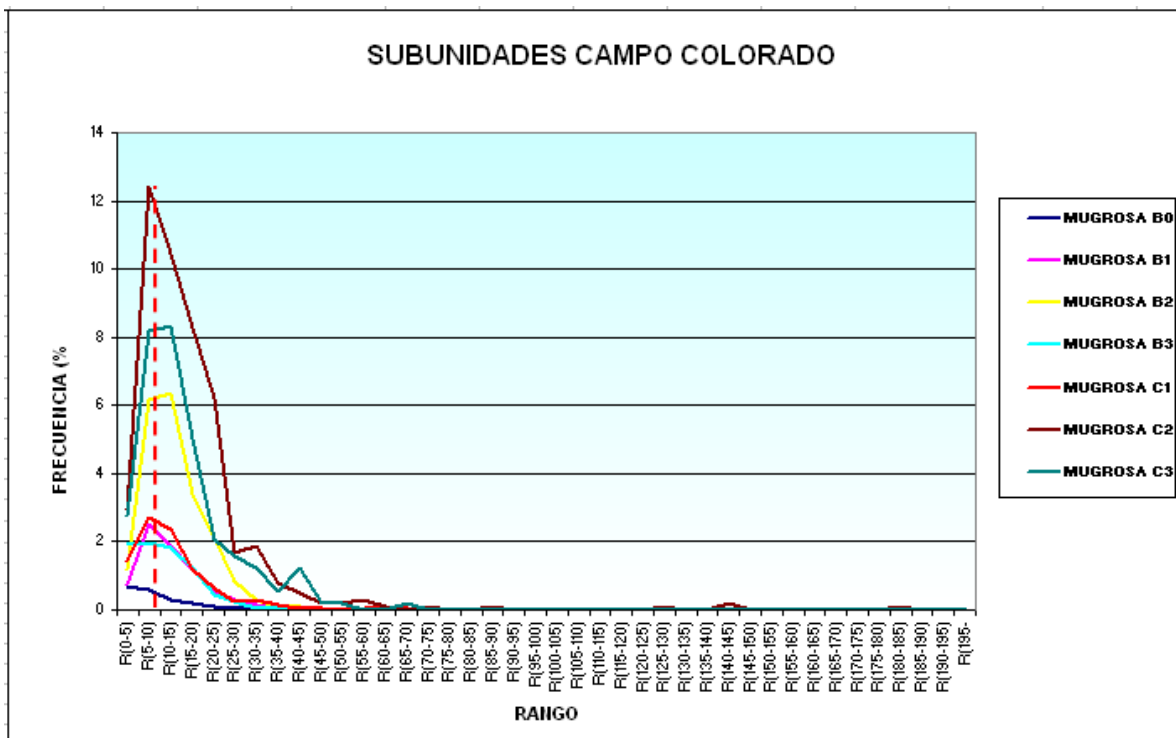


Figura 65. Grafico de frecuencia acumulada con los espesores de los cuerpos de arena en cada dentro intervalo de la formación Mugrosa en el campo Escuela - Colorado.

4.3 RELACIÓN ANCHO/ESPESOR

Para el análisis de la proporción ancho/espesor de los canales de la Formación Mugrosa se siguió la metodología propuesta por Fielding & Crane (1986) diseñada sobre ríos meándrifformes modernos. Esta es una técnica sencilla de calcular en función del espesor la distancia perpendicular a la paleocorriente en que los canales ejercen control (ancho de canal).

La Figura 66 es la adaptación de la Técnica de Fielding y Crane (1986), aquí se muestra el dato de el ancho calculado a partir de los datos del espesor de las diferentes subzonas de la Formación Mugrosa, en la Figura 64B se indica el número de cinturones de canal que tienden a encontrarse interconectados para cada una de las subzonas en relación a la fracción de arena de cada intervalo analizado.

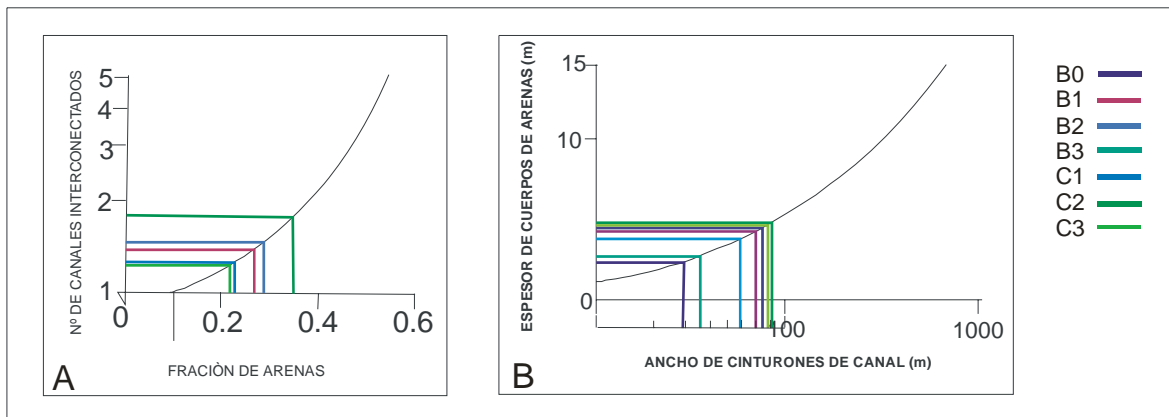


Figura 66. A) número de canales interconectados vs. Fracción de arenas; B) relación ancho espesor de canales. Modificado de Fielding y Crane (1986).

La Tabla 7 muestra los datos que obtenidos utilizando las graficas Figura 66. La mejor relación ancho/espesor se presenta en las subzonas C₃, C₂ y B₂. Estas zonas se caracterizan por presentar los intervalos de arenas más espesos y la mayor continuidad lateral, a su vez también presentan el mayor número de arenas interconectadas.

Los segmentos estratigráficos B₀ y B₃ presentan los espesores más pequeños y la menor continuidad lateral, esto se refleja en los bajos valores de interconectividad de los cuerpos arenosos (ver la Figura 66). Los segmentos estratigráficos B₁ y C₁ presentan valores medios de proporción ancho/espesor, no tienen un espesor un ancho de canal considerable y su número de cuerpos arenosos interconectados no es bueno, sobre todo cuando son comparados con el segmento C₂, el cual presentan la continuidad lateral más destacada del Campo Colorado.

ZONA	ESPEORES PROMEDIO	ANCHOS PROMEDIO	RELACION ANCHO / ESPESOR	FRACCION	Nº ARENAS INTERCONECTADAS
B0	2.42	29.00	1 : 12	0.09	0
B1	4.33	70.00	1 : 16	0.27	1.5
B2	4.49	75.00	1 : 17	0.29	1.6
B3	2.78	36.00	1 : 13	0.05	0
C1	3.78	60.00	1 : 16	0.23	1.3
C2	4.80	91.00	1 : 19	0.35	1.95
C3	4.68	89.00	1 : 19	0.22	1.2
PROMEDIO FORMACION	3.90	64.29	1 : 16	0.21	1.08

Tabla 7. Indica los valores de ancho, espesor, Relación T/W, fracción e interconectividad de las arenas del campo colorado.

4.4 CORRELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Solo cuando se definieron los topes, las subzonas estratigráficas y la proporción ancho/Espesor para la Formación Mugrosa en el Campo Colorado se establecieron correlaciones estratigráficas. Estas permiten entender los cambios laterales de facies, permiten corroborar la presencia de aquellos sectores con mayor cantidad de depósitos de canal y a su vez constituyen un apoyo en el planteamiento de los mapas estratigráficos que serán tratados posteriormente.

En este trabajo las correlaciones tienen una escala lateral 1:1000 m y son cuatro las correlaciones estratigráficas realizadas: (1) entre los pozos C19-C23-C77; (2) entre los pozos C31-C52-C12 y (3) entre los pozos C43-C40-C32 (ver la Figura 67). Estas correlaciones fueron planeadas con el fin de tener la menor influencia de las fallas de Campo Colorado y tener pozos con registro para toda la Formación Mugrosa.

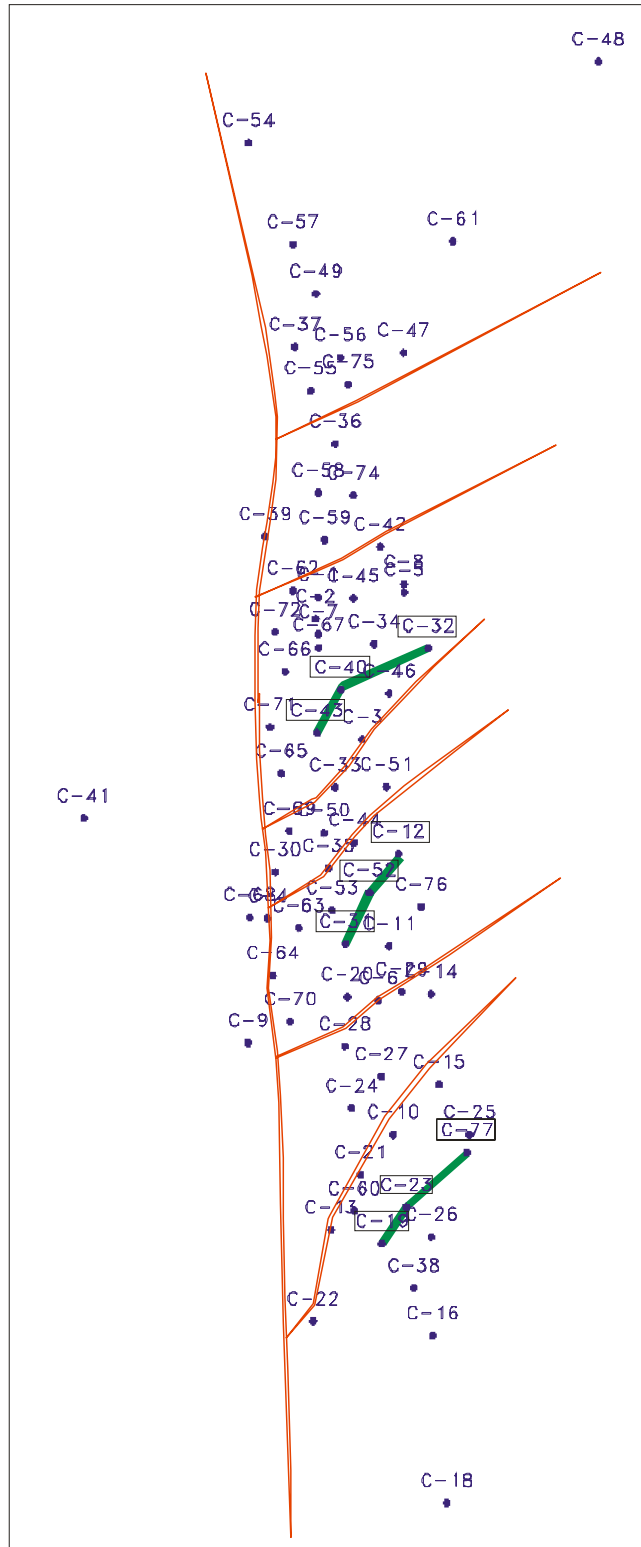


Figura 67. En azul los pozos, las líneas rojas son las fallas del Campo Colorado y las líneas verdes representan la posición de las correlaciones estratigráficas realizadas en este trabajo.

4.4.1 Correlación C19-C23-C77

En la Figura 68 se muestra la esta correlación a grandes rasgos. Para el pozo C19 los espesores de los cuerpos arenosos llegan hasta los 31 ft, aquellos cuerpos que se encuentran cerca a los 15 ft de espesor presentan mayor amalgamamiento.

El pozo C23 es mucho más lodoso que los otros dos pozos de esta correlación y esta es una tendencia típica del centro del Campo Colorado. Sus cuerpos arenosos alcanzan las los 30 ft de espesor pero en su mayoría tienen un espesor de 6 ft.

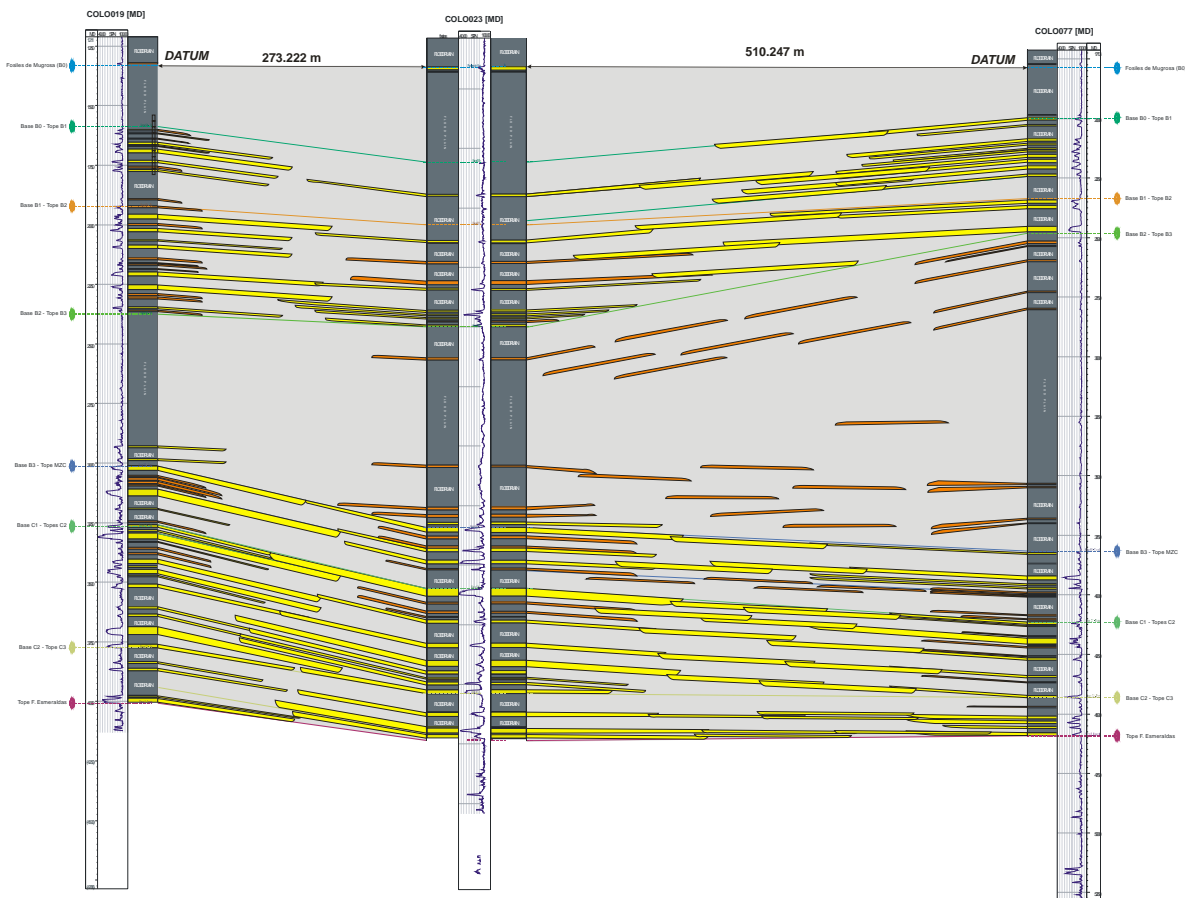


Figura 68. Correlación C19-C23-C77 de la Formación Mugrosa en el Campo Colorado. Hacia las subunidades B₁ y B₂ del pozo C23 el contenido de paquetes arenosos es menor haciendo que la continuidad entre el pozo C19 y C77 se casi nula. En esta correlación las formas de color amarillo corresponden a los cuerpos de canal, el color naranja corresponde a los cuerpos de desborde y los grises son los cuerpos de llanura de inundación. Para mayor detalle vea el Anexo 5.

En el pozo C77 los cuerpos arenosos alcanzan los 24 ft de espesor y en su mayoría poseen cuerpos cercanos a los 10 ft. Este pozo posee más electrofacies de desborde que los otros dos pozos con los que se está correlacionando.

En general hacia la base de la Formación Mugrosa se encuentran los cuerpos más potentes y más amalgamados. Dicho amalgamamiento se encuentra mucho más marcado entre los pozos C19 y C23, hacia el centro de la Formación Mugrosa la subunidad lodosa B₃ se nota claramente. Las subzonas B₁ y B₂ poseen poca continuidad entre estos tres pozos.

4.4.2 Correlación C31-C52-C12

En la Figura 69 se muestra esta correlación a grandes rasgos. Para el pozo C31 el espesor promedio es de 14 ft en sus cuerpos arenosos y llega a un espesor máximo de 28 ft. Las unidades B₀ y B₃ para este pozo no presentan cuerpos de canal.

El pozo C52 posee un espesor promedio de 15 ft en los cuerpos arenosos, llegando a los 30 ft de espesor máximo. Este pozo posee mayor cantidad de cuerpos de canal y de desborde que los otros dos pozos con los que está siendo correlacionado.

El pozo C12 posee un espesor promedio de 18 ft en los cuerpos arenosos y posee cuerpos de hasta 40 ft de espesor.

Esta correlación muestra menos continuidad entre los pozos C31 y C52, sobre todo en las subunidades B₀, B₂ y B₃. Entre los pozos C52 y C12 la continuidad es más evidente. Esta correlación muestra mayor continuidad lateral entre las areniscas de canal en la subunidad C₂.

La tendencia de cuerpos de areniscas de canal es casi nula hacia las subunidades B₀ y B₃, característica que se repite a lo largo de todo el campo.

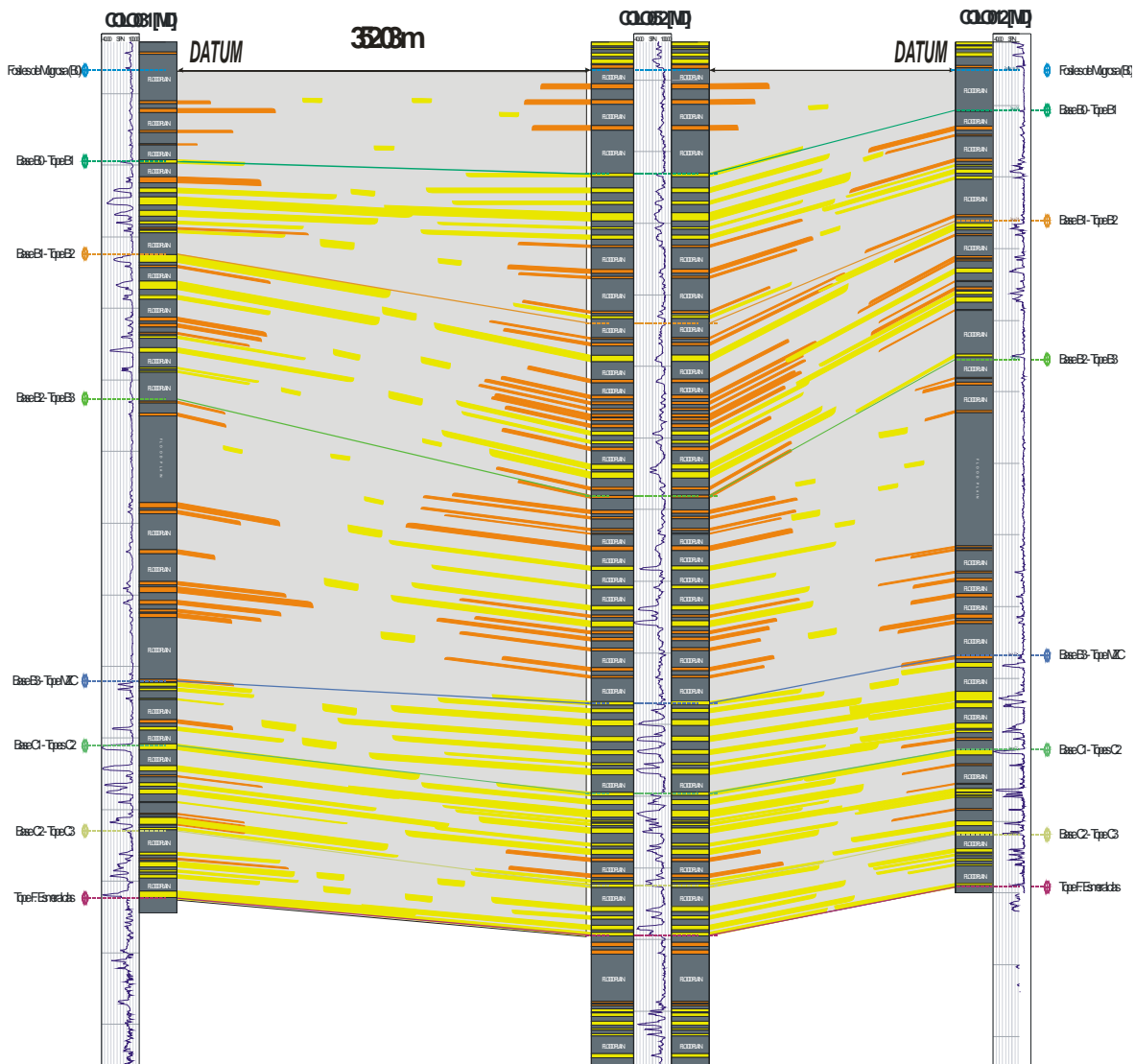


Figura 69. Correlación C31-C52-C12. Hacia la unidad C siempre tiende a haber mayor contenido arenoso que hacia la unidad B. para mayor detalle ver el Anexo 6.

4.4.3 Correlación C43-C40-C32

La Figura 70 muestra a grandes rasgos esta correlación. En el pozo C43 el promedio de los cuerpos de areniscas de canal tiene un promedio de 17 ft y alcanza los 40 ft de espesor en algunos cuerpos de la subunidad B₂. De manera anómala las subunidades C₁ y C₂ presentan menos cantidad de cuerpos de canal que en la mayoría de los sectores del campo.

El pozo C40 se encuentra a 305.6 metros del pozo C43, el promedio de espesor de los cuerpos arenosos es de 15 ft, estos cuerpos arenosos alcanzan los 38 ft de espesor en la subunidad C₂.

El pozo C32 se encuentra a 605.3 metros de distancia del pozo C40, su espesor promedio es de 20 ft en los cuerpos de canal, este es el espesor promedio más alto para esta correlación. En este pozo el máximo espesor lo tiene la subunidad C2 con 30 ft de espesor en los cuerpos de canal.

En esta correlación la subunidad B₀ y B₃ poseen la menor tendencia a poseer amalgamamientos de cuerpos de canal. La subunidad B₁ muestra una tendencia de disminución en la cantidad de cuerpos de canal hacia el pozo C32, la subunidad B₂, en cambio, muestra una tendencia continua de continuidad entre los tres pozos

La subunidad B₁ y la C₂ muestran una tendencia de disminución en el amalgamamiento de los cuerpos de canal yendo del pozo C40 al C43 y la subunidad C₃ muestra una continuidad del amalgamamiento pareja en los tres pozos.

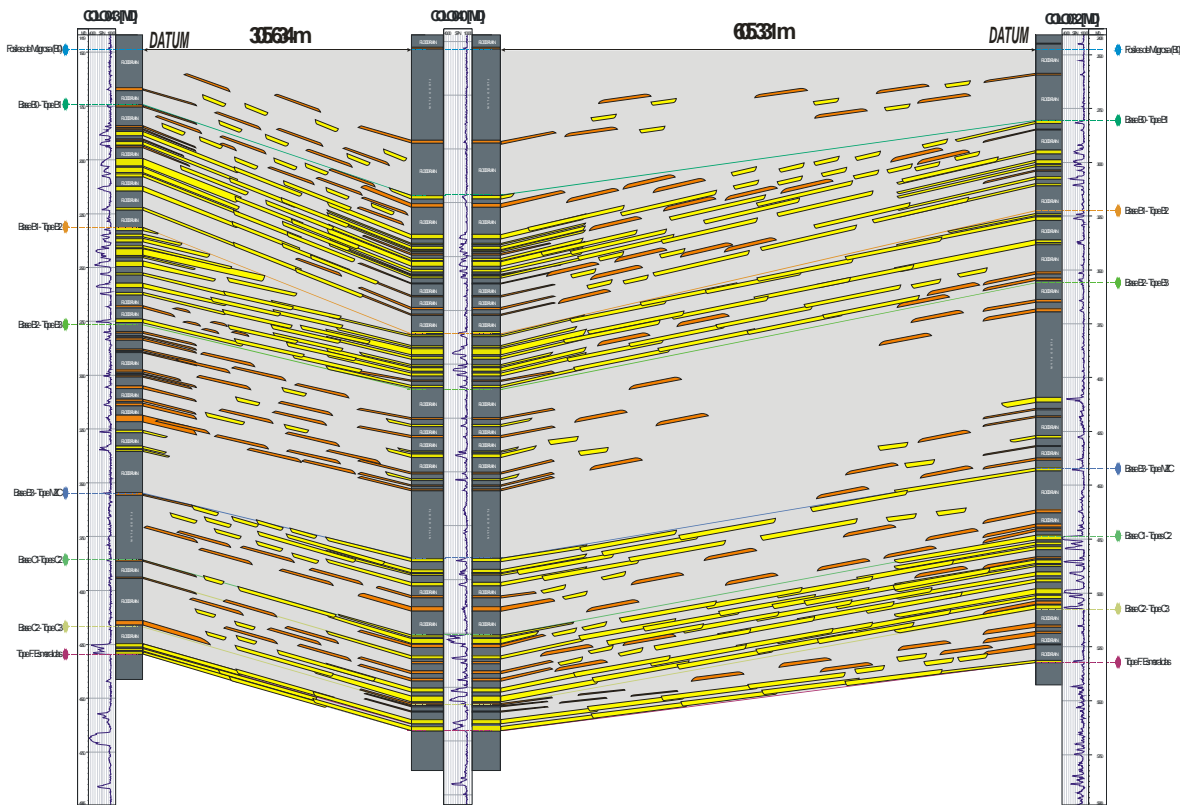


Figura 70. Correlación C43-C40-C32. Se puede ver que la subunidad C₁ presenta menos continuidad lateral que la zona C₂. La subunidad C₂ presenta mejor continuidad entre los pozos C40 y C32. Tanto la subunidad B₁ como la B₂ muestran buena continuidad lateral en este sector del campo. Para más detalle ver Anexo 7.

4.5 MAPAS DE ARENA DEL CAMPO ESCUELA – COLORADO

Se mapearon atributos de espesor neto, espesor promedio, espesor porcentual y factor de calidad de los cuerpos de areniscas de canal de cada uno de los pozos en los que se interpretaron electrofacies (ver Figura 63). Con el análisis de mapas “litoestratigráficos” se obtienen tendencias de distribución, orientación y cambios significativos de espesor de las arenas en el campo.

El espesor neto es la suma de los espesores de todos los cuerpos de arenisca de canal, el espesor promedio es la proporción entre el espesor neto y el número de cuerpos de canal de cada pozo. El espesor porcentual es la relación entre el espesor neto por cien sobre el espesor total de la subunidad en cuestión.

El factor de calidad es el resultado de la multiplicación del espesor promedio por el espesor porcentual en cada uno de los pozos, este tipo de mapa ayuda a la localización de los sectores tienden a ser lateralmente continuos, de tal forma que permite localizar sectores del campo en los que existe mayor probabilidad de encontrar acumulación en roca reservorio.

4.5.1 Mapas de Arena Zona B₀

En esta subzona mayores espesores se encuentran aislados. En esta zona la cantidad de arena poca (ver la Figura 71), en su mayor parte son depósitos de lodos de llanura de inundación.

El mapa de espesor neto de arena (Figura 71 A) muestran claramente dos zonas de acumulación, cuyos espesores varían entre 50 y 150 ft, estos disminuyen hasta 0 ft, en el área sur del campo y norte del campo no superan los 1000 m² de área total. Estas áreas se encuentran en las inmediaciones de los pozos C20, C25, C37, C47, C49, C60 y C70. Estos cuerpos tienen una dirección preferencial N-S. Los mapas de arena porcentual y promedio conservan la dirección y distribución antes mencionada, sus atributos tienen valores que no superan 15 ft en promedio y 10% de espesor de arena.

El mapa de factor de calidad es más discriminante en el momento de demarcar las zonas; Este muestra los valores más altos de arenas en inmediaciones de los pozos C25, C60 y C70 la parte Sur. Hacia la parte norte los valores más altos están en inmediaciones de los pozos C37, C47, C75.

La subzona B₀ no posee ninguna continuidad lateral entre sus pocos cuerpos arenosos, por esto no tiene ninguna importancia como roca reservorio, pero sí constituye un sello regional.

Mapas Subzona B₀



Figura 71. Mapas de espesor de arena de la subzona B₀. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 9.

4.5.2 Mapas de Arena Zona B₁

En el mapa de arena neta de la subunidad B₁ (Figura 72 A) los cuerpos tienen una orientación preferencial Norte-Sur. El espesor neto más significativo está entre los 140 y los 240 pies. Estos cuerpos poseen un ancho (Este-Oeste) que fluctúa entre 100 y los 500 ft y un largo (Norte-Sur) que fluctúa entre los 1200 y los 2700 m. Entre los pozos C50 y C53 el espesor neto llega a cero y anuncia una fuerte variación lateral de las facies.

El mapa de arena promedio indica la misma dirección preferencial para la subunidad B₁ (Figura 72 B). Los mejores promedios de arena se mueven entre los 14 y los 35 ft.

En el mapa de porcentaje de arena se nota la poca continuidad lateral que tiende a existir en la dirección Este-Oeste y se ratifica nuevamente que la dirección con la mejor continuidad lateral de la subunidad B₁ es Norte-Sur.

El comportamiento de los mapas de espesor neto, espesor porcentual y factor de calidad son poco discriminatorios para la subzona B₁. Es el mapa de espesor promedio el que mejor restringe las zonas de mas continua, esta zona principal ha sido señalada con el ovalo negro en la figura 72 B.

Mapas Subunidad B₁

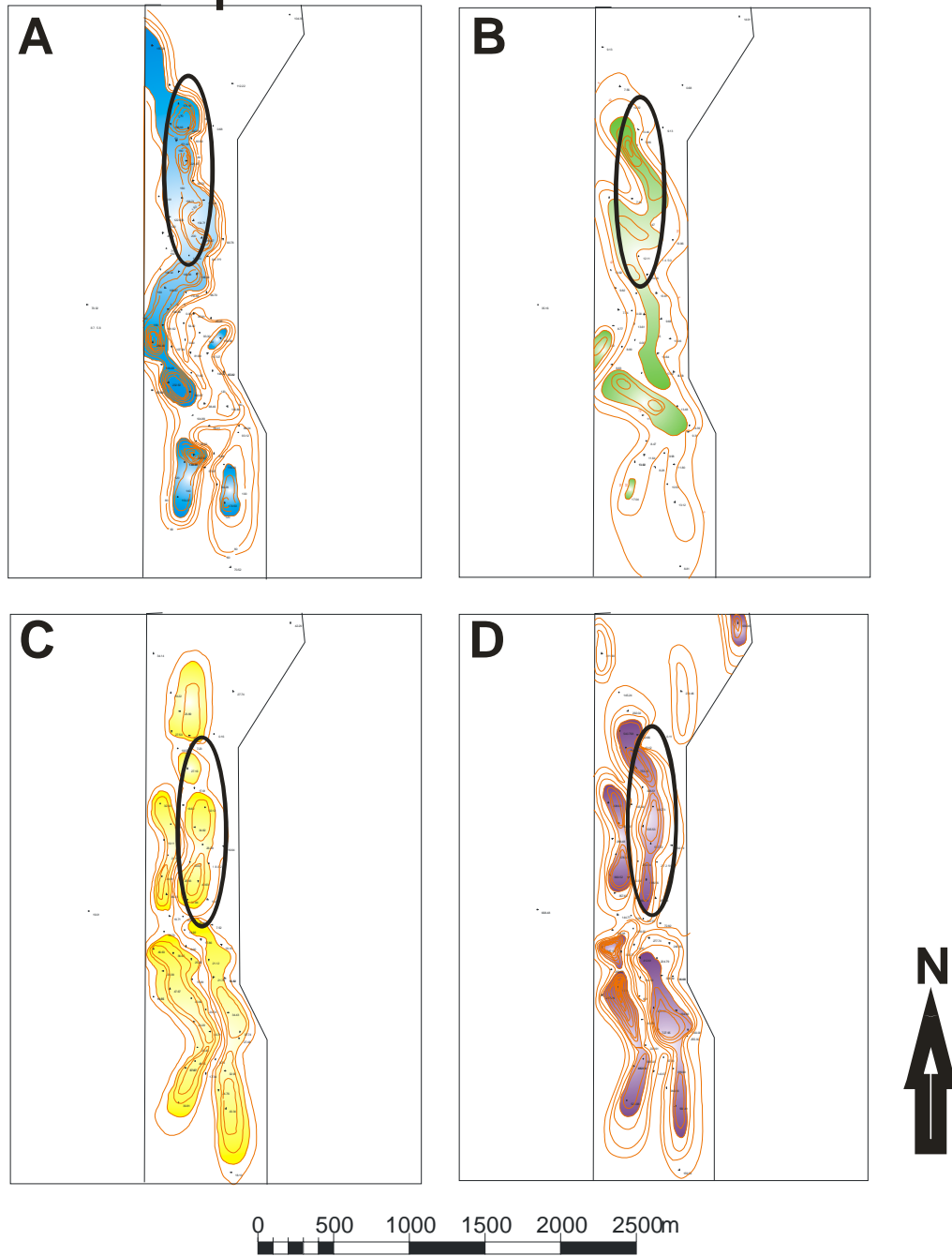


Figura 72. Mapas de espesor de arena de la subzona B₁. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 10.

4.5.3 Mapas de Arena Zona B₂

En el mapa de arena neta de la subzona B₂ (Figura 73 A) los cuerpos de canal muestra una orientación preferencial Norte-Sur, los espesores netos más altos y continuos de esta subzona se mueven entre los 120 y los 220 metros; el ancho del área descrita por estas curvas de espesor se mueven entre los 300 y los 500 metros y llega a los 1400 metros de largo. Los espesores más grandes los poseen los pozos C63 con 502.7 metros, C34 con 271.34 metros, C68 con 252.9 metros y C60 con 247.7 metros.

El mapa de espesor promedio (Figura 73 B) el ancho de los paquetes es de 200 metros, el largo de los cuerpos aumenta hasta los 4500 metros. El espesor promedio que mejor continuidad lateral muestra está los 10 y los 15 ft.

El mapa de arena porcentual (Figura 73 C) divide aun más las áreas de interes, el ancho sigue siendo de 200 metros, pero el largo de los cuerpos se reduce a un máximo de 2500 metros, los cuerpos mas continuos muestran un porcentaje del 20%.

El mapa de factor de calidad (Figura 73 D) reduce aun más el área de los paquetes arenosos de marcada continuidad con un factor de 500 para esta subzona.

En esta subzona los cuatro tipos de mapas de espesor se comportan de manera bastante similar. El mapa que mejor restringe las zonas de interés en este caso es el mapa de factor de calidad indicando que las zonas que han sido demarcadas con los óvalos son las que mayor continuidad lateral tienen. demarcadas entre los pozos C68, C9, C70, C64, C63, C68, C30, C65, C33, C70, C43, C40, C34, C32, C5, C8, C42, C74 y C36.

Mapas Subnidad B₂

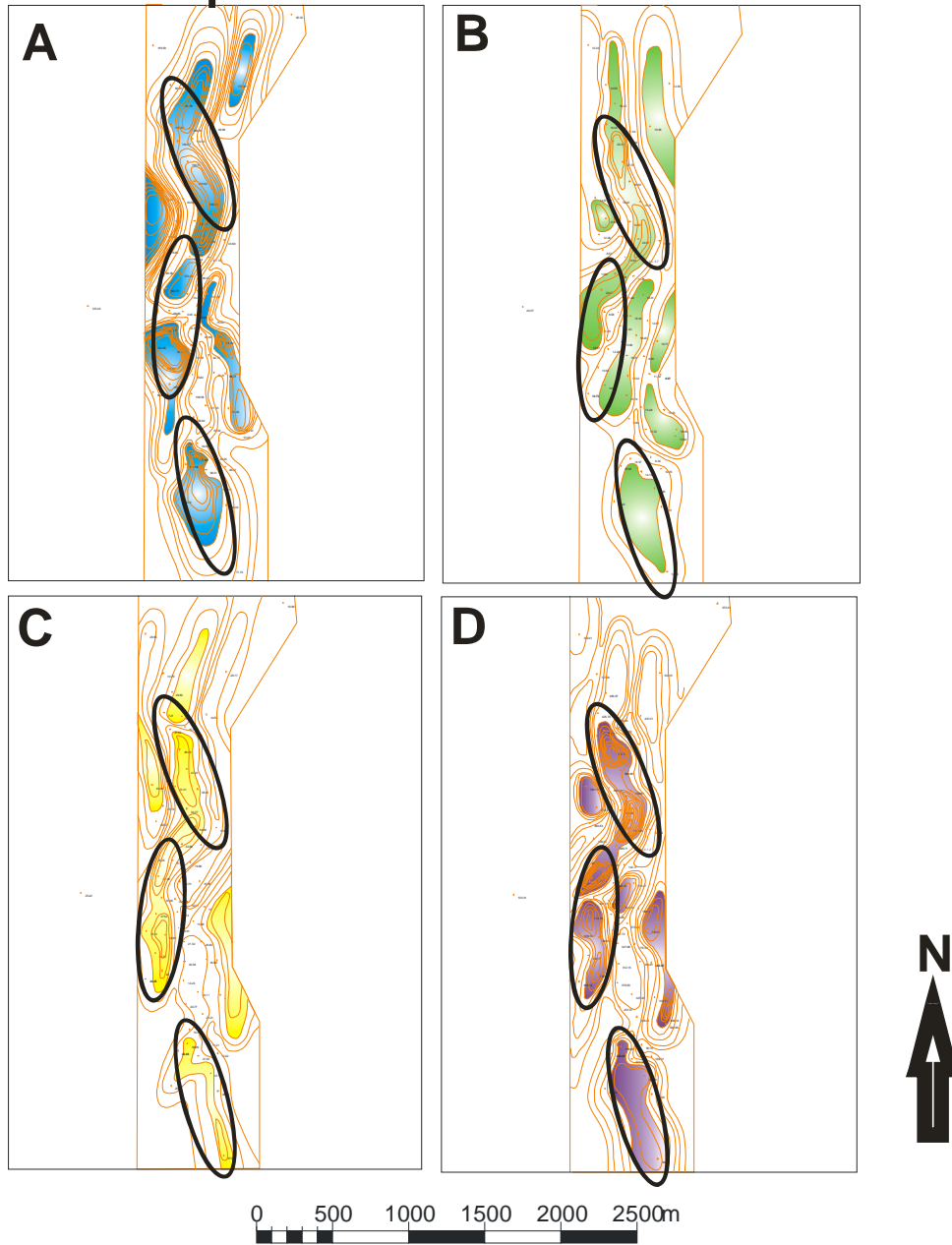


Figura 73. Mapas de espesor de arena de la subzona B₂. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 11.

4.5.4 Mapas de Arena Zona B₃.

Esta subzona se caracteriza por presentar muy poco contenido arenoso (ver la Figura 74), presenta 3 cuerpos de arena con valores de espesor neto máximo que varían entre 100 y 200 Ft. Hacia la parte sur estos cuerpos presentan una dirección preferencial 10° NW, cambiando de orientación hacia el centro y sur 10° NE.

El mapa de arena promedio muestra la misma orientación del mapa anteriormente descrito, pero con una distribución entre curvas más amplia, los valores de arena promedio van desde 5 a 25 ft. Los más altos valores se ubican en las inmediaciones de los pozos (C1 21, 53, 30, 16, 42, 66, 10 y 20).

El mapa de arena porcentual tiene menos curvas marcadas por el hecho de que esta subzona no presenta una cantidad significativa de arenas. Este mapa muestra que el porcentaje de arena en esta subzona es mínimo.

El mapa de factor de calidad (Figura 74 D) muestra dos zonas preferenciales donde se agrupan las arenas, una hacia la parte central del campo en los alrededores de los pozos C10, C70 y C53. Hacia el área norte se concentran 2 áreas que tienen valores entre 300 y 100 en las inmediaciones de los pozos C74, C36 y C45.

La subzona B3 no tiene ninguna o poca importancia como roca reservorio, sus cuerpos tienen poco espesor, su porcentaje de arenas es bajo y la interconectividad entre los paquetes es mínima. Esta subzona representa un sello regional para la Formación Mugrosa.

Mapas Subnidad B₃

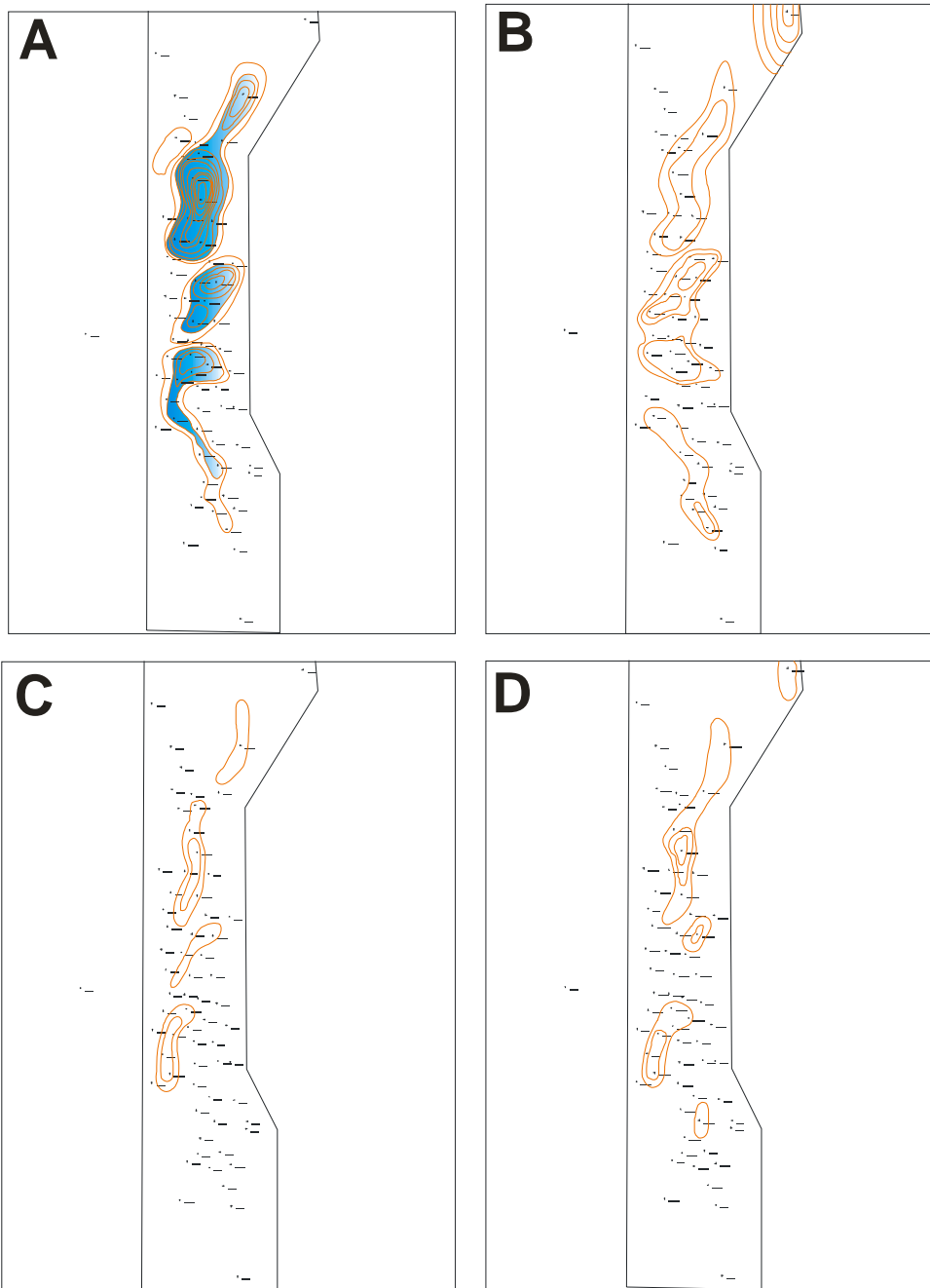


Figura 74. Mapas de espesor de arena de la subzona B₃. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 12.

4.5.5 Mapas de Arena Zona C1.

El mapa de espesor neto presenta una orientación preferencial de las arenas hacia la parte sur del campo 10° N-W y desde la parte central hasta el área norte tiene una orientación N-S (ver la Figura 75). Los mayores espesores de arenas se encuentran hacia la parte central del campo con intervalos entre 200 y 250 ft de espesor neto, el ancho de estos cuerpos es en promedio 150 a 200 m. la continuidad lateral es muy buena (Figura 75 A). Las curvas más abundantes y continuas varían entre 40-100 ft, el espesor disminuye hacia los márgenes del campo variando de 20 a 40 ft, haciéndose cada vez más amplia la separación entre las curvas a medida que nos alejamos de la franja central que atraviesa el campo.

El mapa de arena promedio tiene cuerpos orientados aproximadamente N –S, la distribución de sus espesores se presentan adelgazándose hacia los márgenes del campo disminuyendo hasta valores de 5 ft de espesor (Figura 75 B). Esta zona presenta los valores más altos entre 25 y 30 ft de espesor promedio, los cuales se encuentran ubicados en la parte Sur en los alrededores del pozo C21, hacia la parte central del campo se resaltan los pozos C34, C71 y C72 donde los cuerpos se extienden hasta la parte Norte del campo.

El mapa de arena porcentual (Figura 75 C) presenta orientación N-S. Este mapa muestra sus mayores valores hacia la parte sur del campo, varían entre 40 y 50% de arenas, hacia la parte Central y Norte los valores se presentan entre 40 y 50%, hacia el lado Oeste las líneas de 20% son las mas continuas.

El mapa de factor de calidad indica que las zonas prospecto están hacia la parte Central–Oeste, presentando valores de 1000, 1300 y 1800; estos valores se encuentran en las inmediaciones de los pozos C39, C71 y C72. hacia la parte Central-Este del campo se extiende una franja que también tiene buenos datos de factor de calidad (entre los valores de 500 a 750), en las inmediaciones de los pozos C12, C34 y C47.

Mapas Subnidad C₁

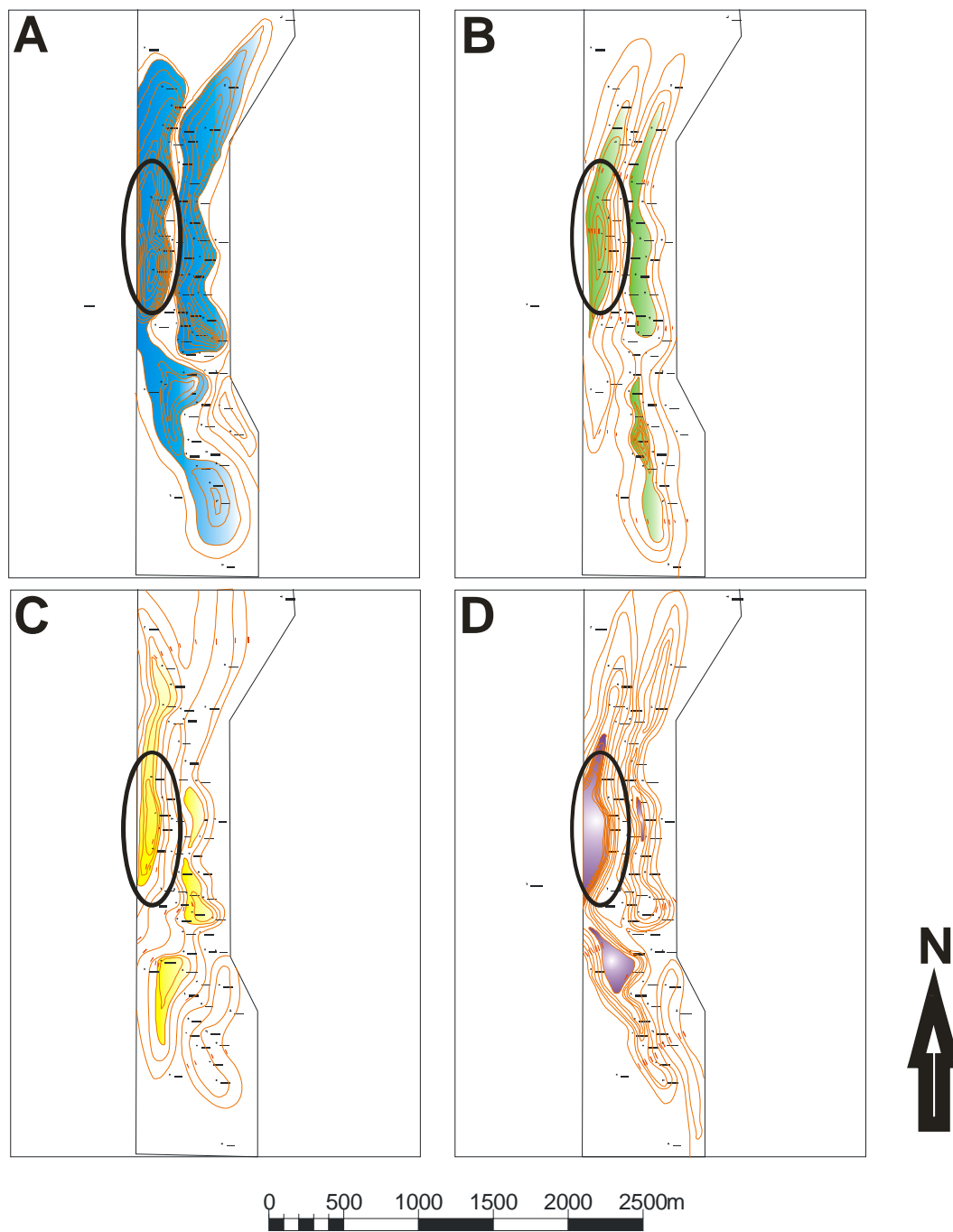


Figura 75. Mapas de espesor de arena de la subzona C₁. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 13.

Hacia la parte sur del campo, en los alrededores de los pozos C70 y C28 el factor de calidad de arenas se incrementa tomando valores de 550 y 670, este es un buen prospecto de hidrocarburos. La separación de estas curvas indica que el ancho de los cuerpos arenosos no sobrepasan los 100 m, hacia el área Sur los espesores llegan a 500 m. La distribución de estos cuerpos indica que disminuye su factor de calidad sobre la franja Central que atraviesa el campo y al Sureste del campo, donde sus curvas disminuyen paulatinamente llegando a tomar valores de 100 a 200.

En la Figura 75 se ha demarcado con un ovalo el área más interesante de esta subzona.

4.5.6 Mapas de Arena Zona C2.

Como en el capítulo anterior se destaca que esta subzona es la que presenta la mayor relación ancho/espesor de cuerpos de arena y con mayor conectividad de cuerpos de canal. El mapa de espesor neto (figura 76 A) presenta una orientación preferencial de las arenas 10° N-W. Los mayores espesores de arenas se encuentran hacia la parte Central-oeste de 180- 230 pies de espesor, siguiendo la orientación anteriormente mencionada. El ancho de estos cuerpos es aproximadamente de 200 a 250 m, la continuidad lateral que presentan estos cuerpos arenosos es alta. Las curvas más abundante y continua varían entre 100 y 120 ft, su espesor disminuye hacia los márgenes del campo llegando hasta 50 ft, haciéndose cada vez más amplia la separación entre las curvas, estas curvas siguen dos patrones notables, en la parte sur del campo y en el área central, la cual se mantiene hasta el norte del campo.

El mapa de arena promedio conserva la orientación y distribución de sus espesores anteriormente mencionada (Figura 76 B), los valores más altos están entre 20 y 28 ft, están ubicados en la parte Sur, en los alrededores del pozo C38 y el pozo C28, hacia la parte central del campo se resaltan los pozos C53 y C30.

Mapas Subnidad C₂

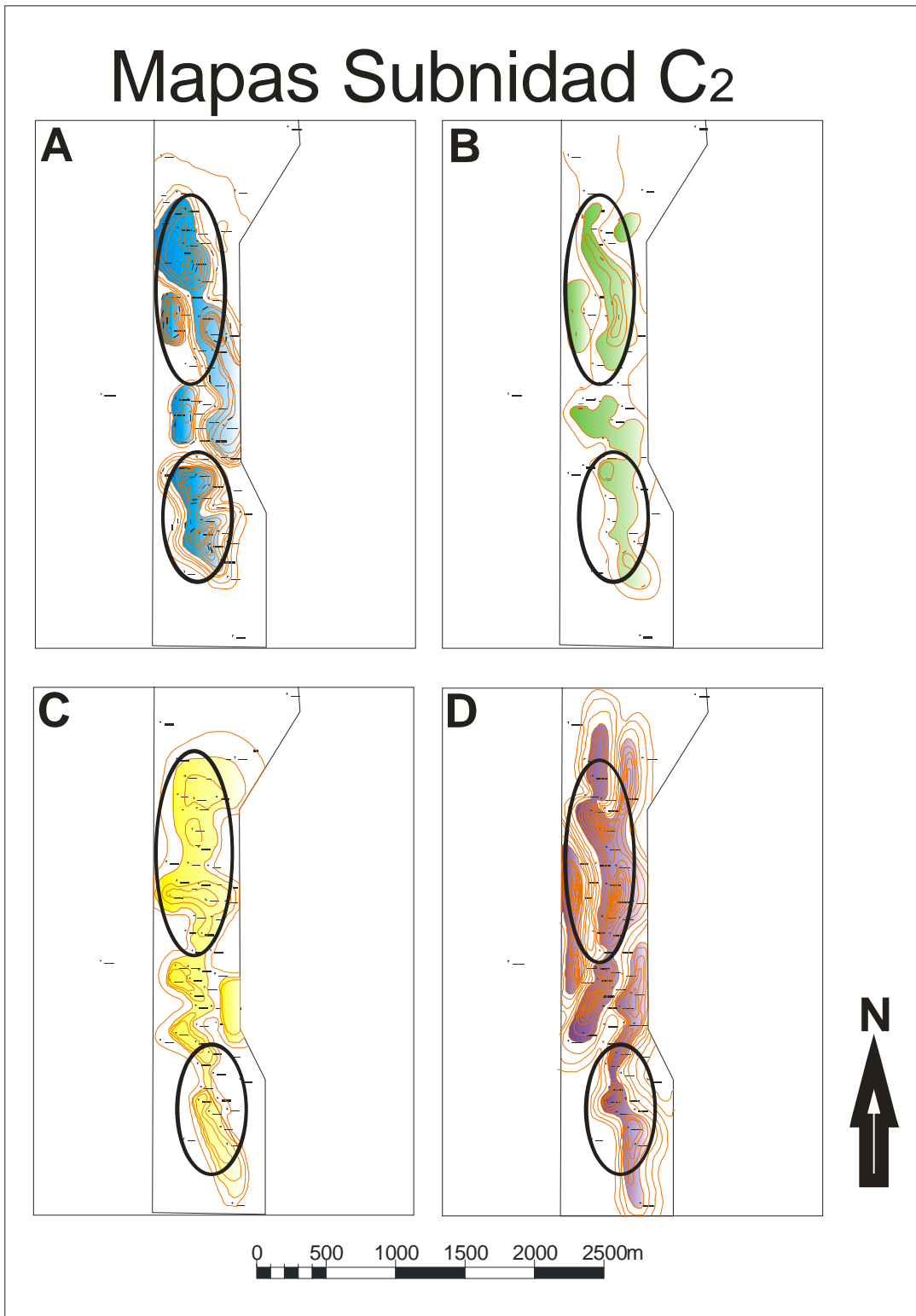


Figura 76. Mapas de espesor de arena de la subzona C₂. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 14.

El mapa de arena porcentual (Figura 76 C) conserva la orientación y distribución anteriormente mencionada, existe una variación en la orientación de los cuerpos de arena en la parte central del campo, estos cuerpos se orientan 45° NW. Este mapa tiene valores que varían entre 50-60% de arenas.

El mapa de factor de calidad (Figura 76 D) indica que las zonas de mejor continuidad lateral están hacia la parte Sur en las inmediaciones de los pozos C60 y C38 estos presentan valores de 799 y 760, hacia la parte Central los pozos C76 y C53 muestran las mejores acumulaciones de arena con valores de 777 y 1029, desde la parte central superior y la parte Norte se extiende una franja donde existen altos valores que se distribuyen intermitentemente, estos pozos de Norte a Sur son C34, C36 y C47, presentan valores de 1513, 1236 y 930 respectivamente (Figura 76 D). La separación de estas curvas indican que el ancho de estos cuerpos arenosos no sobrepasan los 100 m.

En la Figura 76 se demarcan con un ovalo las zonas más importantes para la subzona C₂

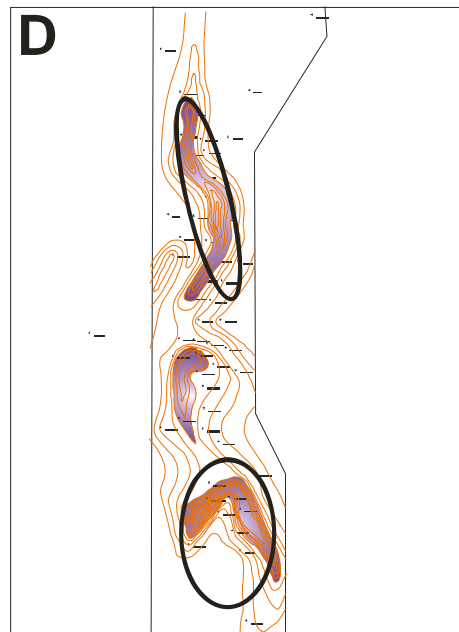
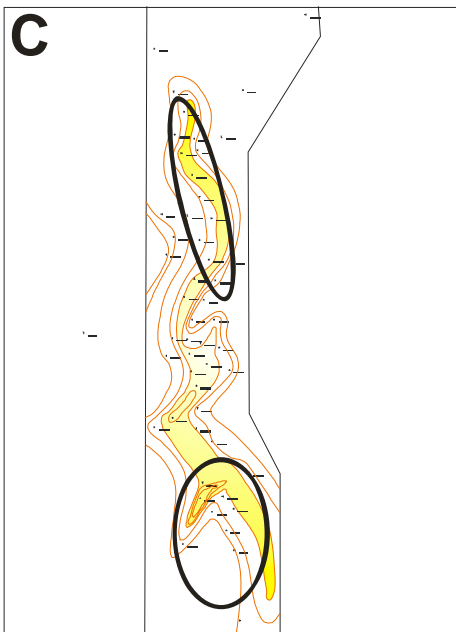
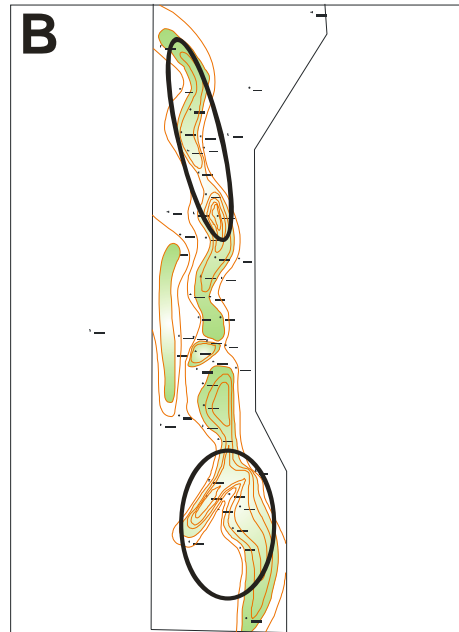
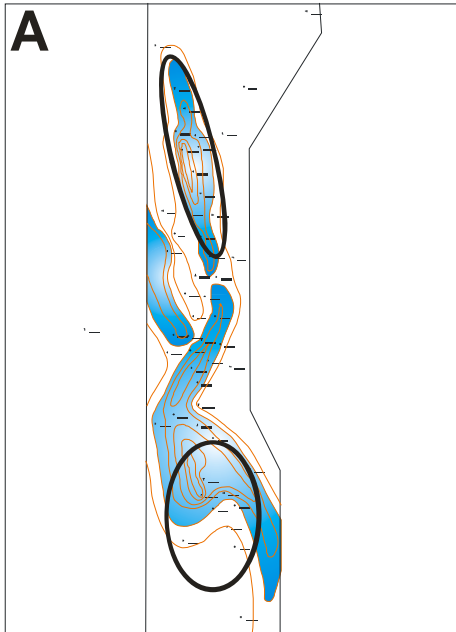
4.5.7 Mapas de Arena Zona C3.

El mapa de espesor neto de esta subzona muestra una orientación preferencial Norte-Sur con algunas fluctuaciones hacia la parte Sur del campo donde la orientación es 10° N-W. Los mayores espesores de arenas se encuentran hacia la parte Central del campo con intervalos entre 80 y 100 ft (Figura 77 A), siguiendo la orientación anteriormente mencionada, el ancho de estos cuerpos es en promedio de 100 a 200 m. los cuerpos más abundantes y continuos varían entre 40-60 ft disminuyendo su espesor hacia los márgenes del campo llegando a los 20 pies, haciéndose cada vez más amplia la separación entre las curvas. Existen dos datos anómalos en los pozos C70 y C60 con valores superiores a los 120 pies, estos pozos se encuentra afectados por las fallas satélites que separan el bloque 1 del 2 y el bloque 2 del 3 respectivamente.

Los mapas de arena promedio y porcentual (Figura 77 B y C) conservan la orientación y distribución anteriormente mencionada, los valores principales en el mapa promedio son de 10 a 15 ft y los valores del mapa porcentual de 30 a 35%.

El mapa de factor de calidad (Figura 77 D) indica que las zonas prospecto hacia la parte Sur se encuentran en las inmediaciones de los pozos C60 y C26, estas presentan valores de 1902 y 923, hacia la parte Central el pozo C35 muestra las mejores acumulaciones de arena presenta valores de 742, hacia la parte Norte se destaca el área de las inmediaciones de los pozos C40, C42 y C55 con buena continuidad y con la misma orientación que muestran los anteriores mapas descritos.

Mapas Subnidad C₃



0 500 1000 1500 2000 2500m

A scale bar showing distances from 0 to 2500 meters, with markings at 0, 500, 1000, 1500, 2000, and 2500m.

Figura 76. Mapas de espesor de arena de la subzona C₂. A) Mapa de espesor neto, B) mapa de espesor promedio, C) mapa de espesor porcentual, D) mapa de factor de calidad. Para mayor detalle ver Anexo 15.

CONCLUSIONES

- Los mejores afloramientos de la Formación Mugrosa son (1) los de la sección Campo 23–Oponcito, entre Este: 1.035.075, Norte: 1.250847; & Este:1.036.268, Norte:1.250.606 , la cual pasa por uno de los flancos del Anticlinal de Infantas; estos pertenecen al tope y la parte media de la Formación Mugrosa. Los mejores afloramientos de la base de la Formación Mugrosa se encuentran en el Corregimiento de Uribe Uribe más exactamente a orillas del Río Sucio en jurisdicción del Municipio de Lebrija, en Este:1.079.632, Norte:1.292.273.
- En la Formación Mugrosa se identificó (1) la asociación de facies Gravas-Sm, que representa la presencia de barras longitudinal formadas por la generación de lóbulos al interior del cinturón del canal; (2) la asociación de facies Sm-St, que representa la presencia de corte y relleno de bancos de arena; (3) la asociación de facies Sr-St, que representa la presencia de dunas 3D en “*point bar*”; (4) la asociación de facies Sr-Sp que representa la presencia dunas 2D en lóbulos subacuosos; (5) la asociación de facies Sm-Sr que representa la presencia de desbordes del cauce y (6) la asociación Fr-FI que representa la presencia de los finos de la llanura de inundación.
- En la Formación Mugrosa se identificó (1) el elemento arquitectural LA (*Lateral Accretion*) que por su pronunciada continuidad lateral (~80 metros) indica una marcada migración lateral del cauce y por el bajo ángulo (<45°) entre las superficies de tercer orden y las de cuarto orden representa la existencia de un sistemas de ríos cuya sinuosidad era media (1.2-1.5); (2) el elemento arquitectural DA (*Downstream Accretion*) que por compuesto por la asociación Sr-Sp indica la existencia de barras alternantes; (3) el elemento arquitectural SB que por estar compuesto por la asociación Sm-St y por su

espesor menor a 1.5 metros representa la presencia de depósitos de corte y relleno de canal; (4) el elemento CH (*Channel*) que por estar compuesto por grandes amalgamamientos de la facies Sm y a veces por la asociación de facies Gravas-Sm representa la presencia de rellenos de canal que por su escaso espesor (< 30 ft) señala la existencia de un sistema de ríos poco profundo (<10 metros); (5) el elemento arquitectural CS (*Crevasse Splay*) compuesto por intercalaciones de la facies Sm y las facies FI, ambas inferiores a 30 centímetros de espesor, representa la existencia de desbordes periódicos y cortos; (6) el elemento arquitectural CR (*Crevasse Channel*) compuesto por la asociación Sm-Sr y por un espesor ~5 pies representa la generación de los desbordes más intensos del sistema de ríos y (7) el elemento arquitectural FF (*Fine Floodplain*) que representa la construcción de llanura de inundación y marca los estados de inundación de la mayor parte del valle.

- En el área comprendida entre el Anticlinal de Infantas, el Campo Lisama y el Campo Colorado pertenece a un ambiente de depositación controlado por la existencia de ríos meándriformes con una marcada migración lateral del cauce, de mediana sinuosidad, con presencia de barras alternantes, repetitiva presencia de “*crevasse splay*” y menos frecuente presencia de “*crevasse channel*”, donde el desarrollo de paleosuelos es poco, pero la construcción de depósitos de llanura de la inundación es fuerte.
- Los depósitos de desborde de la Formación Mugrosa no tienen ninguna importancia como roca reservorio, debido a que no superan los 6 pies de espesor y a que siempre están fuertemente interestratificados con las facies impermeables de la llanura de inundación.

➤ Las electrofacies de la Formación Mugrosa para el campo Escuela - Colorado son:

- Electrofacies de canal que presentan electroforma de campana cuando presentan espesores inferiores a 30 ft y electroformas cilíndricas cuando se presenta un amalgamamiento de canales con espesores superiores a 30 ft.

- Electrofacies de Llanura de Inundación, en donde los registros eléctricos no presentan deflexiones significativas, esta curva se presenta en intervalos muy cercanos a la línea del shale, comportándose de manera homogénea en grandes intervalos de espesor.

- Electrofacies de Desborde de Canal, la cual se caracteriza por presentar deflexiones altas con el registro GR con electroforma de campana, pero no presentar deflexiones con el registro SP, esta electrofacies se presenta en intervalos de 5 a 10 ft.

➤ El análisis estadístico de las litofacies y Tipo de Deposito vs registros eléctricos para el campo Escuela – Colorado indica:

- Las litofacies lodosas (FI, Fr y Fsm) con el registro de SPN presentan predominantemente valores entre 0 y 10 mV, con el registro ResD presentan predominantemente valores con intervalos entre 0 y 5 mV, aunque en presencia de agua dulce estas litofacies presentan altos valores de resistividad entre 20 y 50 mV. Las litofacies arenosas presentan rangos de valores en el SPN predominantemente entre 30 y 100 mV con valores de resistividad entre 5 y 20 mV.

- El tipo de roca reservorio se caracteriza por presentar valores de SPN superiores a 20 mV, el tipo de roca sello se caracteriza por presentar

principalmente valores entre 0 y 10 mV y en menor proporción valores entre 10 y 20 mV. El tipo de roca retardante presenta valores entre 0 y 30 mV. El tipo de roca reservorio se caracteriza por presentar valores de ResD entre 5 y 50 mV y los tipos de roca sello presentan principalmente valores entre -5 y 5 mV.

- Según los análisis de ancho, espesor, amalgamamiento de canales, correlaciones estratigráficas y mapas de espesores: (1) las Subzonas B₀ y B₃ del Campo Colorado son los intervalos mas lodosos de la Formación Mugrosa, no poseen continuidad lateral entre los cuerpos de areniscas de canal ni amalgamamiento, su relación ancho/espesor de 1:12 y 1:13 respectivamente y representan los mejores sellos regionales de la Formación Mugrosa en el Campo Escuela-Colorado; (2) Las Subzonas B₂, C₂ y C₃ del Campo Colorado son los intervalos con mayor cantidad de cuerpos de areniscas de canal, con el mayor amalgamamiento y continuidad lateral de la Formación Mugrosa, cuya relación ancho/espesor es 1:19, 1:17 y 1:19 respectivamente; (3) Las Subzonas B₁ y C₁ también contienen una importante cantidad de cuerpos de areniscas de canal y una relación ancho/espesor es 1:16.

BIBLIOGRAFIA

Bendeck Jorge, 1992. Perfiles Eléctricos.

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

BP Explorations, 1996. Sequence Stratigraphy, Blackwell Science, 1996.

Bridge, 1993. The Interaction between Channel Geometry, Water Flow, Sediment Transport and Deposition in Braided Rivers, Geological Society of London, vol. 75.

Cotillón, 1993. Estratigrafía, Principios y Métodos. Limusa ed.

Doveton & Prenskey, 1992. Geological Applications of Wireline Logs: a Synopsis of Developments and Trends. The Log Analyst, v. 33, no. 3, p. 286-303.

Ecopetrol-Ansall, 2003. Informe Geológico de Campo Colorado, Diagnostico y Estrategias de Recobro Campo Colorado. Gerencia Magdalena Medio. El Centro.

Eji Uba Cornelius et al. (2005). Facies Analysis and Basin Architecture of the Neogene Subandean Synorogenic Wedge, Southern Bolivia; Elsevier; Sedimentology Geology.

Folk, 1974. Petrology of Sedimentary Rocks The University of Texas. P.182.

Friedman and Sanders, 1978. Principles of sedimentology Wiley 792 pags.

Galloway, 1981. Depositional Architecture of Cenozoic Gulf Coastal Plain Fluvial Systems: Recent and Ancient Nonmarine Depositional Environments, Models for Exploration. SPEC, publicación 31: 127-155.

Gomez *et al.*, 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.

Gutierrez & Nur, 2001. 3-D Seismic Interpretation of Tectonic Wrenching and Faulting in La Cira—Infantas. SEG no. 7; p. 752-760.

Herrera, 2006. Informe Interno. Servicio de Producción Bajo Riesgo Para un Campo Menor de la Gerencia Regional Magdalena. Frente de Geología.

Ingeominas, 1985. Proyecto Cretacico, Colombia. Dirigido por Fernando Etayo.

Ingeominas, 2001. Memoria Explicativa de Santander.

Jordan & Siemers, 1989. Variations in Alluvial Style of Tertiary Units in Response to Tectonism, Las Monas Area, Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG, Vol. 73.

Krumbein & Sloss, 1969. Stratigraphy and Sedimentation, W.H. Freeman Company, San Francisco, USA

Labourdette Richard *et al.*, 2007. Characterization of Fluvial Architectural Elements Using a Three-dimensional Outcrop Data Set: Escanilla Braided System, South-Central Pyrenees, Spain; Geological Society of America.

Miall, 1996. The Geology of Fluvial Deposits; Sedimentary Facies, Analysis and Petroleum Geology. Berlin, Springer – Verlag.

Morales, 1955. General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG.

Morales Molano, Tesis de Maestría (2006). Structural Analysis of the Provincia Field, Middle Magdalena Valley, Colombia. Oklahoma University.

Ramon & Cross, 1997. Characterization and Prediction of Reservoir Architecture and Petrophysical Properties in Fluvial channel Sandstones, Middle Magdalena Basin, Colombia: Ciencia, Tecnología y Futuro.

Ramon & Cross (no date). Correlation Strategies and Methods in Continental Strata, Middle Magdalena Basin, Colombia, Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines (No dates).

Santacruz et al., otros, 2004. Actualización del Modelo Geológico del Campo Llanito – Gala, ECOPEPETROL.

Schamel, 1991. Middle and Upper Magdalena Basins, Colombia. A.A.P.G. Memory 52.

Taboada et al., 2001. El Tordillo Reservoir Static Characterization Study: El Tordillo Field, Argentina. SPE. 69660.

Vera, 1994. Estratigrafía principios y métodos, editorial Rueda.

Walker, 1976. Facies Models. Sandy Fluvial Systems: Geoscience Canada, v. 3, p. 101 – 109.

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