

**EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL GRUPO HONDA EN EL SECTOR SUR
DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA ENTRE LAS
POBLACIONES DE MARIQUITA Y VENADILLO TOLIMA**

WENDY JAHEL CABALLERO MALAVER

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO - QUIMICA
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015**

**EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL GRUPO HONDA EN EL SECTOR SUR
DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA ENTRE LAS
POBLACIONES DE MARIQUITA Y VENADILLO TOLIMA**

WENDY JAHEL CABALLERO MALAVER

Tesis presentada para optar al título de:
Magister en Geología

Director

M.Sc. JAIRO CLAVIJO TORRES

Codirector

M.Sc. JOSE RICARDO SANDOVAL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO - QUIMICA
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015**

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece de manera especial a José Ricardo Sandoval por la oportunidad de trabajar esta tesis, por su tiempo y su paciencia, Jairo Clavijo y Davis Suarez por su apoyo a este trabajo. Al Profesor Jorge Luis Rubiano por su orientación incondicional para la interpretación y tratamiento de los datos a partir de los registros de dipmeter y de campo, al Geólogo Isaid Quintero quien nos guio para la toma de paleocorrientes en campo y tratamiento de la información. También agradezco a los colegas y amigos Clara Torres y Freddy Hernández con quienes realizamos la labor de campo y discutimos sobre el manejo e interpretación de los datos, al par revisor Luis Enrique Cruz y Juan Carlos Ramírez por su interés y espíritu científico para dar sus aportes al presente trabajo, al director de la Maestría Giovanni Jiménez por su comprensión en la entrega de este trabajo. Por ultimo agradezco a mis pequeños hijos; Jesusito por acompañarme en la fase de campo y a Taiel por guardar tranquilidad en el vientre de la mami durante extensas jornadas de trabajo, a mi esposo Jesús y a mi suegra Isa, por permitirme dedicarle el tiempo necesario para culminar la presente investigación y a todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron para poder llevar a cabo este estudio.

DEDICATORIA

*A los tres pilares de mi vida,
mi esposo Jesús porque su amor
fortalece cada paso que doy,
y a mis dos hijitos, Jesusito y
Tael por existir.*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	19
2. MARCO DE REFERENCIA	21
3. ANTECEDENTES	25
3.1 Marco Geológico	25
3.2 Arenas bituminosas en Colombia:	30
4. METODOLOGÍA	31
4.1 Trabajo de Campo:	33
4.2 Análisis de núcleos:	34
4.3 Definición de Facies:	36
4.5 Interpretación ambiental:	36
4.6 Identificación de ciclos estratigráficos:	36
4.7 Electrofacies y Calibración Registros:	37
4.8 Correlación Estratigráfica Marco Cronoestratigráfico:	37
4.9 Medición de Paleocorrientes:	37
4.10 Patrones de respuesta a Escala Sísmica (Interpretación Sísmica	39
4.11 Arquitectura estratigráfica (mapas):	40
4.12 Trabajo de oficina:	40
4.13 Interpretación y discusión:	40
4.14 Redacción del Informe final:	40
5. RESULTADOS	42
5.1 ANÁLISIS AMBIENTAL Y FACIAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO	42
5.1.2 Identificación de asociaciones faciales:	53
5.1.3 Definición de ciclos estratigráficos:	59
5.1.4 Superficies de correlación y correlaciones estratigráficas:	60
5.1.5 Reflexiones sísmicas características:	67

5.1.6 Generación del Marco Cronoestratigráfico:.....	72
5.1.7 Mapeo estratigráfico	74
5.2 Medición de Paleocorrientes.....	83
6. DISCUSIÓN	92
6.1 Mapas Paleoambientales.....	92
6.1.1 Maastrichtiano-Paleoceno.....	92
6.1.2 Eoceno –Oligoceno.....	93
6.1.3 Mioceno Inferior	96
6.1.4 Mioceno Medio.....	99
6.1.5 Mioceno Superior – Plioceno:	102
7. CONCLUSIONES	105
REFERENCIAS	107
ANEXOS.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio. Ubicado hacia el sur de la Cuenca del Valle Medio de Magdalena, entre las Poblaciones de Mariquita al Norte y Venadillo al Sur del área.....	18
Figura 2. Naturaleza de los procesos que controlan los ambientes sedimentarios y que determinan las propiedades de sus depósitos. Modificado de Boggs, (2006).	22
Figura 3. Terminaciones características de los reflectores sísmicos de la unidad estratigráfica. Tomado de Cateneanu, (2006).	23
Figura 4. Ilustración de las geoformas del patrón de reflexión interno dentro de la unidad. Tomado de Mitchum, (1977).	24
Figura 5. Ilustración de la forma externa de los patrones de reflexión de la unidad estratigráfica. Tomado de Mitchum, (1977)	25
Figura 6. Columna generalizada de la zona de estudio. Edades tomadas de Gómez, <i>et al.</i> , (2003) y Olaya, I., <i>et al.</i> , (2001).	27
Figura 7. Esquema Tectónico actual en el área Guaduas – Mariquita, el recuadro amarillo enmarca el área de estudio. (Tomado y modificado de Acosta y Obando, 1984).....	29
Figura 8. Mapa de localización de pozos corazonados	35
Figura 9. Representación de un ciclo estratigráfico y su equivalencia con la terminología de Van Wagoner (1990).....	36
Figura 10. a) Afloramiento Formación Honda Inferior estación J5, en rojo se resalta la artesa en la cual se tomaron las mediciones de la paleocorrientes. En el bloque diagrama se ilustra la artesa en tres dimensiones con la dirección de flujo. b) Gráfica de un conjunto bimodal de datos de medidas de artesas. Los limbos izquierdo (círculos negros), derecho (círculos blancos) de una artesa, como polos en una red estereográfica de Schdmit (DeCelles <i>et al.</i> , 1983).....	39
Figura 11. Sección estratigráfica estaciones W1 y W2.	44
Figura 12. Sección estratigráfica estaciones W3 y W4	45
Figura 13. Sección estratigráfica pozos corazonados 5, 8 y 9, área Mariquita – Venadillo.	46

Figura 14. Conglomerado arenoso matriz soportado, formados por flujos detríticos, con alto contenido de guijarros de cuarzo lechoso (señalados por flechas amarillas), se observan estratificación cruzada en artesa a gran escala. Suprayacido por faices CxSsRpSs. Estación W14.	47
Figura 15. Fotografías de la facies SlessCg a) En afloramiento, estación W1b) En núcleo, Pozo 9 (2391').	48
Figura 16. Fotografías de la facies PblCg en a) Estación W2, b) Núcleo pozo 9, (3649').	48
Figura 17. Fotografías de la facies CxSsTrx en a) Estación W2, b) Pozo 9 profundidad 3671'.	49
Figura 18. Fotografías de la facies CxSsPtx en a) Estación W1, b) Pozo 8, profundidad 3571'.	49
Figura 19. Fotografías de la facies CxSsRpSs, estación W26.	50
Figura 20. Fotografías de la facies SlessSs, en a) Estación W2, b) Pozo 8, profundidad 3640'.	51
Figura 21. Fotografías de la facies BrSs, en a) Estación W18, b) Pozo 5, profundidad 8470'.	51
Figura 22. Fotografía de la facies HI, pozo 9, profundidad 3813'.	52
Figura 23. Fotografía de la facies Md-l-Ss-Mt, pozo 5 (1531').	52
Figura 24. Fotografía de la facies Psol, pozo 5, (7860').	53
Figura 25. Ambientes de depositación en el Grupo Honda, miembro inferior, estación W-1.	56
Figura 26. Ubicación de las correlaciones estratigráficas.	61
Figura 27. Correlaciones estratigráficas Transecta TNS_1, en dirección N-S, pozos 2, 7, 9, 36, 43, 31, 50. En b) Transecta TNS_2, en dirección E-W, pozos 26, 39, 46 y 51.	63
Figura 28. Correlaciones estratigráficas Transecta TNS_2, en dirección E-W, pozos 26, 39, 46 y 51.	64

Figura 29. Correlaciones estratigráficas Transecta TNS_3, en dirección E-W, pozos 11, 26 Y 31.....	65
Figura 30. Correlaciones estratigráficas Transecta TNS_4, en dirección E-W, pozos 1, 2, y 12.....	66
Figura 31. Línea A indicando los principales patrones sísmicos y su asociación con los principales eventos estratigráficos.	68
Figura 32. Línea B, en a) Comportamiento sísmico estratigráfico de las unidades definidas en este estudio con sus respectivos ciclos b) Eventos estratigráficos....	70
Figura 33. Línea C, en a) Línea sin interpretar, en b) Comportamiento sísmico estratigráfico de las unidades definidas en este estudio, en c) Comportamiento sísmico estratigráfico de las unidades con sus respectivos ciclos d) Mapa de ubicación de la línea N - S.	72
Figura 34. Cronoestratigrafía y correlación estratigráfica TEW_2 para el área comprendida entre la localidad de Mariquita y Venadillo.	74
Figura 35. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-2. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.	76
Figura 36. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-3. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.	78
Figura 37. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-4. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.	80
Figura 38. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-7. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.	82
Figura 39. Mapa de ubicación con estaciones de paleocorrientes en campo (Verde) y pozos con registros de dipmeter (Morado), y Tablas con coordenadas, área Mariquita Tolima Colombia. En naranja y amarillo, rutas con las mejores exposiciones de roca.	84
Figura 40. Columna estratigráfica estación W_1, donde se muestra el aporte de material ígneo-metamórfico proveniente de la Cordillera Central para la Formación Honda.	90

Figura 41. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir de información existente de la cuenca durante el Maastrichtiano – Paleoceno.....	93
Figura 42. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante el Eoceno – Oligoceno.....	95
Figura 43. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante Mioceno Inferior.	98
Figura 44. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante Mioceno Medio.	101
Figura 45. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante Mioceno Medio.	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de pozos y estaciones de campo utilizados en el presente estudio.	32
Tabla 2. Pozos con su respectivo espesor corazonado.	36
Tabla 3. Ejemplo del tratamiento de los datos obtenidos a partir del registro de dipmeter para hallar la CR.	38
Tabla 4. Nomenclatura de facies para la sucesión Cenozoica en el sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.	42
Tabla 5. Asociaciones faciales en el sur de la Cuenca de Valle Medio del Magdalena.	54
Tabla 6. Transectas y pozos seleccionados	60
Tabla 7. Resultados estadísticos de las direcciones de paleocorrientes medidas en subsuelo en la zona a partir de los registros Dipmeter, Valor de la media del vector promedio (media en azimut y grados) y su relación de consistencia (CR).	86
Tabla 8. Resultados estadísticos de las direcciones de paleocorrientes medidas en superficie en la zona, Valor de la media del vector promedio (medida en azimut y grados) y su relación de consistencia (CR).	86
Tabla 9. Resumen de paleodirecciones para la secuencia sedimentaria.	88
Tabla 10. Integración de resultados de paleodirecciones para las fms Mesa y Honda Inferior.	88

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Columnas de campo estaciones W1, W2, W3 y W4.....	44
Anexo B. Columnas de campo pozos 5, 8 y 9.....	46
Anexo C. Ambientes de depósito en el Grupo Honda.....	56
Anexo D. Correlaciones estratigráficas TNS_1, TEW_2, TNS_3 y TEW_4.....	63
Anexo E. Marco cronoestratigráfico preliminar.....	70
Anexo F. Mapas de espesor y porcentaje de facies.....	76
Anexo G. Mapas Paleoambientales.....	93

RESUMEN

TITULO: EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL GRUPO HONDA EN EL SECTOR SUR DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA ENTRE LAS POBLACIONES DE MARIQUITA Y VENADILLO TOLIMA.*

Autor: WENDY JAHEL CABALLERO MALAVER. **

Palabras claves: Sur del Valle Medio del Magdalena, evolución paleoambiental, Grupo Honda, facies, ambientes, paleocorrientes, arenas bituminosas.

CONTENIDO:

En el sector sur de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) se encuentran puntos focalizados con presencia de hidrocarburos conocidos como arenas bituminosas, cuya distribución es desconocida ya que en superficie no existe homogeneidad en los depósitos según evidencia encontrada durante la fase de campo, donde únicamente se encontró rezumaderos y algunas minas artesanales. El objetivo de este trabajo es determinar la distribución y variaciones de dicho recurso en la secuencia sedimentaria a partir de la evolución paleoambiental de la zona. El estudio se realizó basado en el análisis e integración de información de afloramientos, registros de pozo, líneas sísmicas y núcleos de perforación, lo cual permitió concluir a partir del análisis sedimento -estratigráfico que los cuerpos almacenadores de hidrocarburos son muy irregulares por su naturaleza fluvial, siendo la facies SlessSs (areniscas sin estructuras ocasionalmente conglomeráticas), las que presentan mejores propiedades como rocas reservorio y son las que se encuentran con mayor frecuencia impregnadas de hidrocarburo, estas corresponden al miembro inferior del Grupo Honda y Formación Santa Teresa las cuales se distribuyen principalmente hacia el sureste del área. Este carácter fluvial no permite que exista una continuidad lateral de los canales y sus prolongaciones no sean considerables en el yacimiento.

*Tesis de Maestría

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Jairo Clavijo Torres.
Codirector: José Ricardo Sandoval.

ABSTRACT

TITLE: PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF HONDA GROUP IN THE SOUTHERN EXTREME OF THE MIDDLE MAGDALENA VALLEY BETWEEN THE TOWNS OF MARIQUITA AND VENADILLO.

Author: WENDY JAHEL CABALLERO MALAVER

Keywords: South of the Middle Magdalena Valley, paleoenvironmental evolution, Honda Group, facies, environments, paleocurrents, oil sands.

CONTENTS:

In the southern extreme of the Middle Magdalena Valley (MMV) are targeted points with presence of hydrocarbons known as oil sands, this distribution is unknown because there is no surface deposits homogeneity as evidence found during the field, where only seeps and found some artisanal mines. The aim of this study was to determine the distribution and variations of this resource based on the sedimentary sequence of paleoenvironmental evolution of the area. The study was conducted based on the analysis and integration of information outcrops, well logs, seismic lines and drill cores, enabling conclude from the sediment analysis - stratigraphic which storage bodies hydrocarbons are irregular by its river nature , with the facies SlessSs (occasionally conglomeratic sandstones without structures), which have better properties as reservoir rocks and are found more often impregnated hydrocarbon, these correspond to the lower member of the Honda Group and Santa Teresa Formation which are distributed mainly to the southeast of the area. This fluvial character does not allows for a lateral continuity of the channels and extensions are not significant in the reservoir.

*Master Thesis

**Faculty of Physical-Chemical Engineering. Geology Department. Director: Jairo Clavijo Torres.
Co-director: José Ricardo Sandoval.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde a la zona sur del Valle Medio del Magdalena, sector ubicado entre las localidades de Mariquita y Venadillo, coordenadas planas (gauss) N: 1'067.500 a 1'030.000 E: 905.000 a 937.500, entre las Cordilleras Central y Oriental (Figura 1). En este Valle se encuentra el límite entre el Valle Medio y Superior del Magdalena, zona tectónicamente activa la cual se ha visto influenciada principalmente por dos procesos tectónicos; el primero por tectonismo tensional durante el Paleoceno Tardío, posteriormente fue sometida por un tectonismo compresional que inicio en el Eoceno Superior hasta hoy (Acosta y Obando 1984). Dichos procesos llevaron a la configuración tectónica actual de la cuenca conformada por rocas de edad Paleógeno (Formación San Juan de Rio Seco) y Neógeno (formaciones: Santa Teresa, Grupo Honda y Mesa). La mayor fuente de aporte de sedimentos para esta secuencia, provino de la Cordillera Central, seguido de la Cordillera Oriental. Estos accidentes geomorfológicos experimentaron continuos ascensos producidos por los esfuerzos compresivos que soporto la cuenca hasta tiempo reciente, los cuales se evidencian principalmente en el acuñamiento de la secuencia hacia el este de la Cordillera Central, oeste del área de estudio. Dichos acuñamientos se observan como una franja que atraviesa de norte a sur el área, de los cuales solo se encuentran expuestos en superficie sedimentos de edad Mioceno y Cuaternario, en ellos se encontró a partir de información existente (luego corroborada en campo), sedimentos con considerables impregnaciones de hidrocarburo en zonas localizadas del área, manifestaciones conocidas como arena bituminosas.

Para optimizar posteriores esquemas de trabajos de perforación enfocados al recobro de recursos no convencionales como son las arenas bituminosas existentes en el área de estudio, el presente estudio buscó a partir de un modelo paleoambiental definir la continuidad de estos reservorios e identificar las formaciones que albergan dicho recurso. Para ello se hizo un análisis facial y de ambientes de depositación, basado en la información de campo, núcleos de perforación, registros de pozo, análisis de paleocorrientes, secciones delgadas y secciones símicas, información necesaria para reconstruir paleo-geográficamente la cuenca y complementar estudios anteriores como los realizados por Gómez et al., (2003), Guerrero (1997), De Porta J., *et al* (1966).

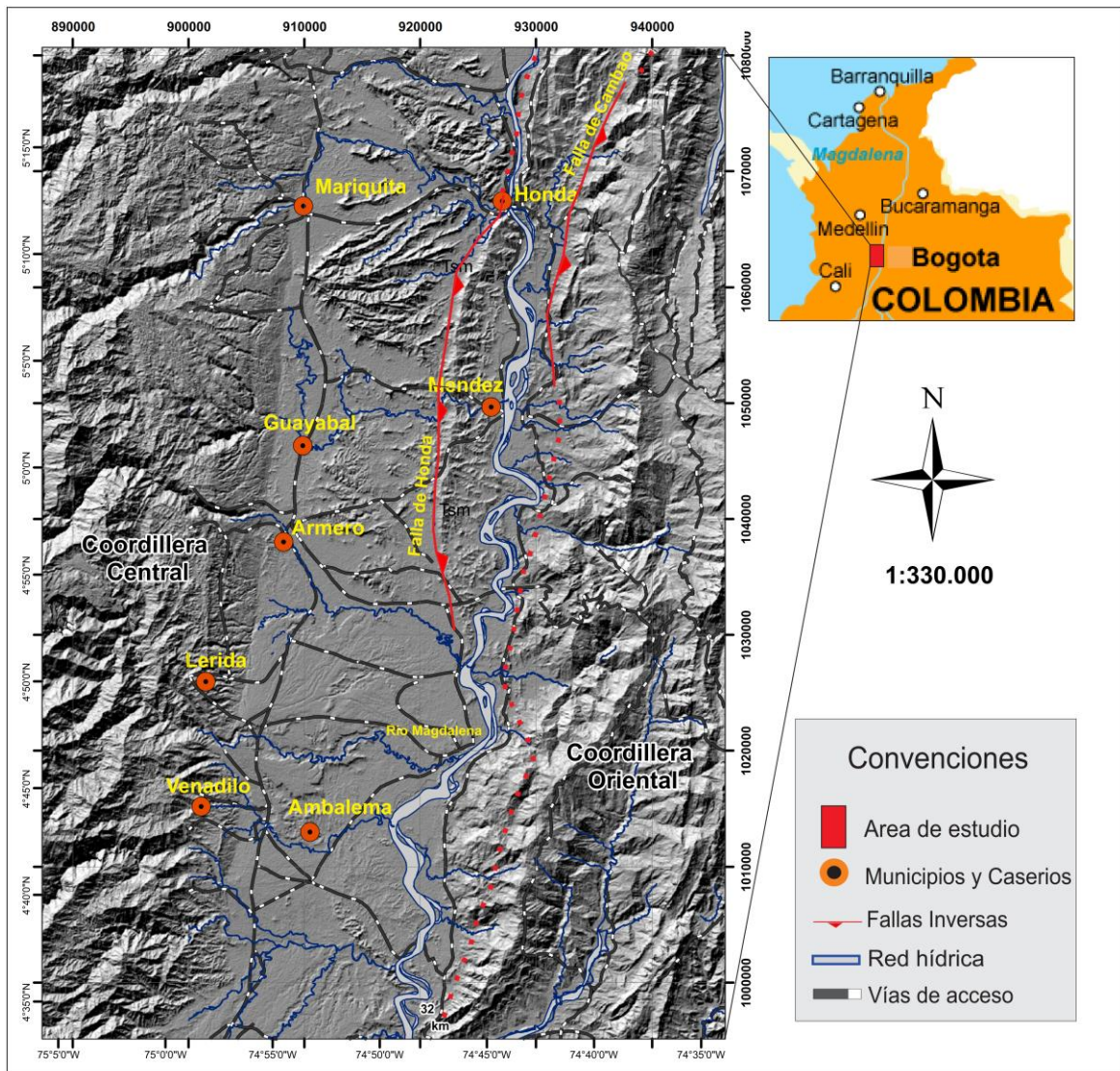


Figura 1. Localización del área de estudio. Ubicado hacia el sur de la Cuenca del Valle Medio de Magdalena, entre las Poblaciones de Mariquita al Norte y Venadillo al Sur del área.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

El área limítrofe entre Valle Medio y Valle Superior del Magdalena no cuenta con estudios paleoambientales enfocados al conocimiento de los principales factores geológicos que han controlado la acumulación y distribución de los reservorios de hidrocarburo (fundamentalmente Arenas Bituminosas), de arenas bituminosas, lo cual ha frenado el inicio de estudios a profundidad que desde la perspectiva técnica permitan viabilizar un proyecto de explotación y comercialización de los recursos petrolíferos no convencionales.

1.2. Pregunta de Investigación

¿Cómo se distribuyen espacialmente las rocas de la Formación Honda con potencial para la acumulación de bitumen en la secuencia Oligoceno-Mioceno en el área limítrofe entre Valle Medio y Valle Superior del Magdalena?

1.3. Hipótesis

La reconstrucción paleoambiental con base en la caracterización sedimento-estratigráfica de la secuencia Oligoceno-Mioceno en el área limítrofe entre las cuencas de Valle Medio y Valle Superior del Magdalena, permitirá entender cómo se distribuyen las rocas con potencial para la acumulación de bitumen, facilitando la identificación de reservorios potenciales dentro de un proceso exploratorio.

1.4 Objetivos

General

Definir la continuidad de las arenas bituminosas del Grupo Honda a partir de la reconstrucción paleoambiental en el área limítrofe entre las cuencas de Valle Medio y Superior del Magdalena en la sección oligoceno – Mioceno.

1.5 Objetivos Específicos

Definir las facies y ambientes de depósito en cada uno de los intervalos estratigráficos definidos.

Proponer posibles modelos de distribución de los ambientes de depósito.

Identificar los principales patrones sísmicos y su asociación con los principales eventos estratigráficos para la construcción del marco crono-estratigráfico.

Definir las paleocorrientes dominantes durante la depositación de cada una de las secuencias estratigráficas definidas.

Generar mapas paleoambientales para las siguientes edades: la discordancia K-T, el oligoceno superior, el mioceno inferior y el mioceno superior.

1.6 Justificación

La reconstrucción paleoambiental de un ambiente geológico permite conocer los factores que controlaron la depositación de los diferentes ambientes a lo largo del tiempo, facilitando la identificación de reservorios potenciales dentro de un proceso exploratorio. Según estudios anteriores (ANH, 2009) e información recolectada en campo (Ecopetrol, 2012b), se han evidenciado puntos con existencia de bitumen en el área de estudio, por ello es necesario conocer cómo se distribuyen espacialmente estas arenas y de acuerdo a la evolución del sistema, ubicar las de mayor potencial, determinando de manera ideal su continuidad para una posterior fase de explotación, o si por el contrario, son puntos localizados resultado de la filtración del bitumen por fracturas, grietas o discordancias a lo largo de la secuencia.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Paleoambientes

La reconstrucción paleoambiental tiene como objeto reconstruir e identificar las condiciones del ambiente geológico en las cuales se depositó la secuencia sedimentaria durante un tiempo determinado; los resultados de las interpretaciones de los ambientes sedimentarios antiguos y/o reconstrucciones paleogeográficas, en la mayoría de los casos se plasman en mapas, en los que se representan la geografía física reconstruida para un tiempo concreto del pasado geológico, incluyendo información sobre la distribución de las tierras y mares, de las líneas de costas, de la morfología de los relieves emergidos, de la batimetría de los sumergidos, de la dirección de las corrientes dominantes y de la distribución de los distintos tipos de sedimentos y de las áreas sin depósito. Los mapas paleogeográficos se elaboran a partir de la observación y reconocimiento de evidencias directas e indirectas en el registro litológico y paleontológico (Facies) de la misma región y del intervalo de tiempo correspondiente, reinterpretabdo las facies en función del medio sedimentario, la batimetría y morfología del relieve, y añadiendo los datos de paleocorrientes (Vera, 1994).

2.2 Ambiente de deposición

Un ambiente deposicional es un área de la superficie de la tierra, que se caracteriza porque sus propiedades físicas, químicas y biológicas, son distintas de sus áreas aledañas. Según Boggs (2006) un ambiente de deposicional es un “lugar de la superficie terrestre en el que se llevan a cabo procesos sedimentarios que pueden individualizarse de sus zonas adyacentes por sus características físicas, químicas y biológicas, que van también a determinar las propiedades del sedimento convertido en roca.

Un aspecto importante a considerar dentro del estudio de los ambientes deposicionales, es la sedimentación, que está fuertemente gobernada por el principio del uniformismo emitido por Hutton y Lyell en el siglo XIX, el cual enuncia “que los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia han sido uniformes y semejantes a los actuales”, es por ello que el estudio de los ambientes recientes es la clave para la reconstrucción de ambientes antiguos y los procesos que se llevaron a cabo allí.

Los sedimentos se presentan en ambiente geológicos complejos y cambiantes que dejan su registro sobreimpuesto en la roca sedimentaria resultante, sin embargo, un análisis detallado de las relaciones estratigráficas, facies, composición,

texturas, estructuras y contenido fósil, puede reflejar la naturaleza y la secuencia de estos ambientes por individual.

En la Figura 2 se presenta en forma generalizada la naturaleza de los procesos que dominan los ambientes sedimentarios y que determinan las propiedades de sus depósitos. Un medio sedimentario puede ser un lugar de erosión, no depósito o acumulación; donde en general los ambientes expuestos subáreamente son típicamente erosivos, mientras que los subacuáticos son principalmente sitios de acumulación; no obstante, algunos medios sedimentarios pasan por periodos de erosión, equilibrio y acumulación (Boggs, 2006).

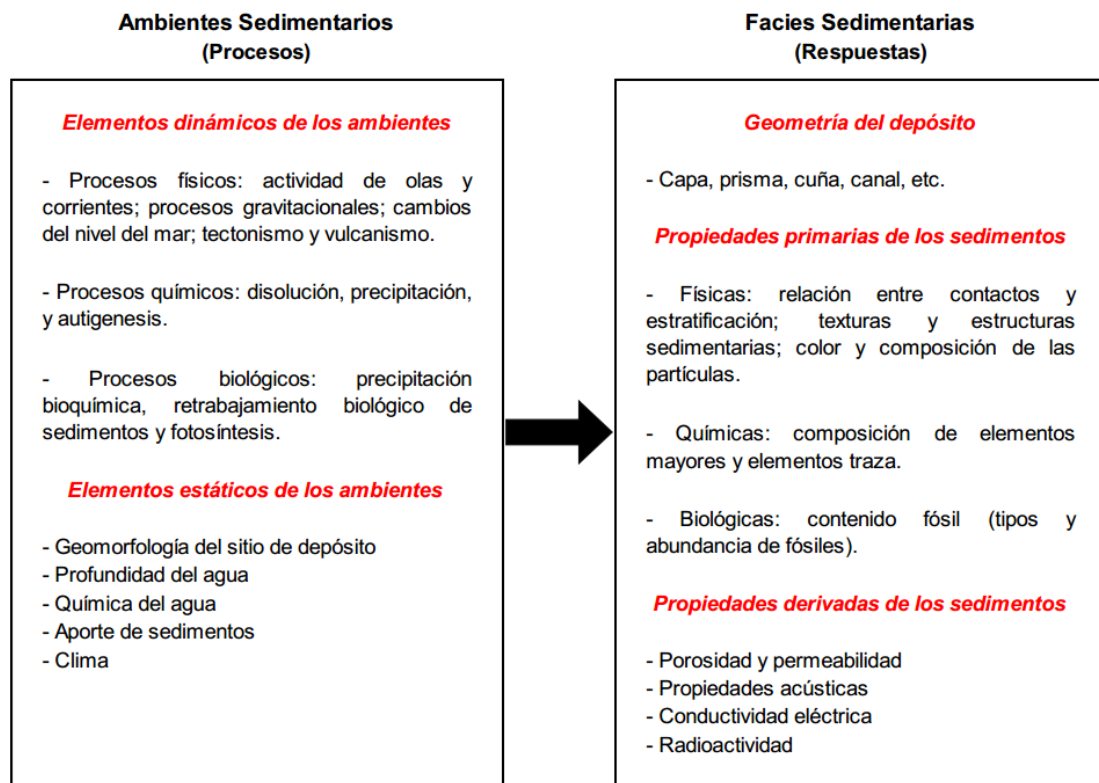


Figura 2. Naturaleza de los procesos que controlan los ambientes sedimentarios y que determinan las propiedades de sus depósitos. Tomado de Boggs, (2006) en Galvis, H. (2012).

Interpretación Sísmica:

La interpretación sísmica es una herramienta importante en la interpretación de un área, ya que proporciona una visión general de esta estratigráfica y tectónicamente, esto debido a que por su carácter regional permite integrar y evaluar la información obtenida por otras herramientas como: los registros de pozo, bioestratigrafía y la geología de superficie, y de esta manera tener una visión de los procesos que se generaron en el pasado. Por tal razón es posible llegar a pronosticar los comportamientos de las rocas con características almacenadoras y sellos en una cuenca, teniendo presente la historia geológica por la cual atravesó una región. A continuación a manera de ilustración se explican algunos conceptos utilizados para la interpretación de las reflexiones características de la zona:

1. Terminaciones de reflexión asociados al límite de la unidad

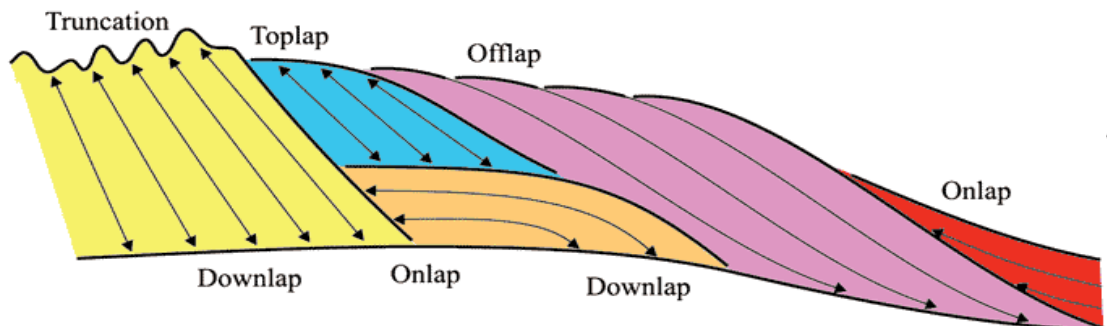


Figura 3. Terminaciones características de los reflectores sísmicos de la unidad estratigráfica. Tomado de Cateneanu, (2006).

2. Configuración del patrón de reflexiones dentro de la unidad

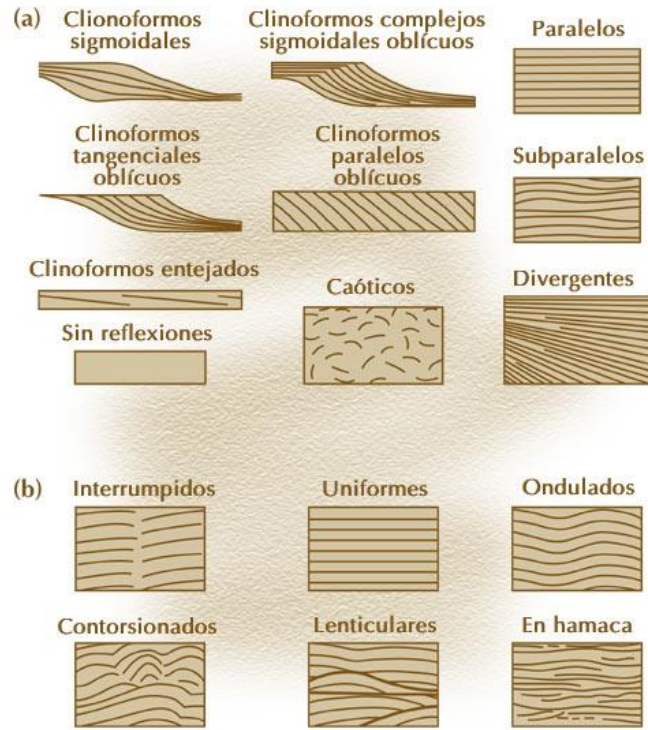


Figura 4. Ilustración de las geoformas del patrón de reflexión interno dentro de la unidad. Tomado de Mitchum, (1977).

3. Forma externa de la unidad

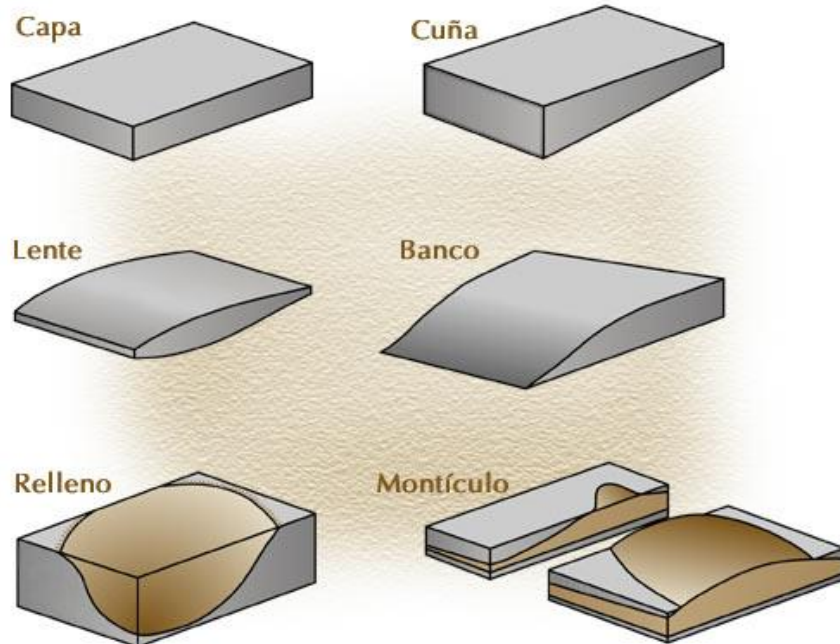


Figura 5. Ilustración de la forma externa de los patones de reflexión de la unidad estratigráfica. Tomado de Mitchum, (1977)

3. ANTECEDENTES

En el área de estudio han sido definidas diferentes nomenclaturas estratigráficas, introducidas por diferentes compañías que han llevado a cabo trabajos de perforación en la zona, también existen en la literatura trabajos como por ejemplo: De Porta J. (1966), Gómez *et al.* (2003), quienes proponen otras nomenclaturas.

La secuencia estratigráfica la conforman rocas del Paleógeno (Formación San Juan de Rio Seco) y rocas del Neógeno (Formación Santa Teresa, Grupo Honda y Formación Mesa). Toda la secuencia es atravesada por (7) pozos (7) perforados en esta área, mientras que en campo solo se evidencian la Fm Mesa y Honda Inferior en las cuales se realizó el trabajo de campo.

3.1 Marco Geológico

3.1.1 Tectónica Regional:

La constitución geológica de Colombia surgió como resultado del desarrollo en el margen activo al oeste de Sur América, lugar de convergencia de las placas Caribe, Nazca y Suramérica, dichos eventos influenciaron la formación de las cuencas Colombianas y dieron lugar a los mayores rasgos morfotectónicos que hoy se observan, estos son las Cordilleras Central, Oriental y Occidental.

Estos rasgos morfotectónicos corresponden a diferentes episodios de deformación de la corteza terrestre. El territorio Colombiano está dividido en tres zonas separadas principalmente por suturas (Suárez, 1990; en Cooper *et al.*, 1995), (1) al E el Macizo de la Guyana, (2) La Provincia Central del Precámbrico, definida

por las cordilleras Oriental, Valle del Magdalena (zona donde se ubica el presente estudio) y la parte Este de la Cordillera Central y (3) al Oeste zona de acreción oceánica donde afloran rocas con afinidad de la corteza oceánica y fragmentos relacionados con subducción de sedimentos y rocas volcánicas que forman la Cordillera Occidental (Duque-Caro, 1990).

La Provincia Central está conformada por rocas cristalinas, metamórficas e ígneas, cubiertas por depósitos volcánicos y volcanoclásticos del Neógeno – Cuaternario y más hacia el núcleo lo conforman rocas polimetamórfitas (Proterozoico) de medio a bajo grado de metamorfismo (Nuñez, 2001). La acreción oblicua de la corteza oceánica origino el levantamiento de la actual Cordillera Occidental a finales del Cretácico, propagando la deformación hacia el Norte, dando lugar al levantamiento y acortamiento de la Cordillera Central (Cooper *et al.*, 1995), lo cual provoco el retiro del mar desde el Sur del Valle Medio del Magdalena (Gómez, *et al.*, 2003).

A finales del Paleoceno inician los primeros pulsos de levantamiento de la Cordillera Oriental y finalizan en el Mioceno (Mora *et al.*, 2006; Bayona *et al.*, 2008; Bayona *et al.*, 2009); dando lugar a diferentes fases de deformación y posterior elevación. En el área de estudio ubicada en el extremo sur del VMM estos pulsos son registrados en las imágenes sísmicas del área donde se reconocen dos eventos tectónicos marcadamente diferentes. El primero es de tipo tensional, responsable de las fallas normales que buzan hacia el este y que afectó desde las rocas del basamento hasta las del Paleoceno. El segundo evento tectónico es de tipo compresional, del Post-Paleoceno, este ha permitido el desarrollo de fallas inversas que han afectado la cobertura sedimentaria hasta el reciente (Acosta y Obando, 1984).

Según Acosta y Obando (1984) la configuración del extremo sur del VMM se considera como una semifosa basculada hacia el este y está limitada hacia el Occidente por las estribaciones de la Cordillera Central y al Oriente por un cinturón de cabalgamiento que corresponde al flanco occidental de la Cordillera Oriental.

3.1.2 Estratigrafía:

La estratigrafía de la región comprende las unidades litológicas de finales del Oligoceno y Mioceno, formaciones San Juan de Río seco, Santa Teresa, Grupo Honda y Mesa, la nomenclatura estratigráfica utilizada por diversos autores para el extremo Sur del Valle Medio del Magdalena se ilustra en la Figura 6, siendo el Grupo Honda el objeto del presente estudio.

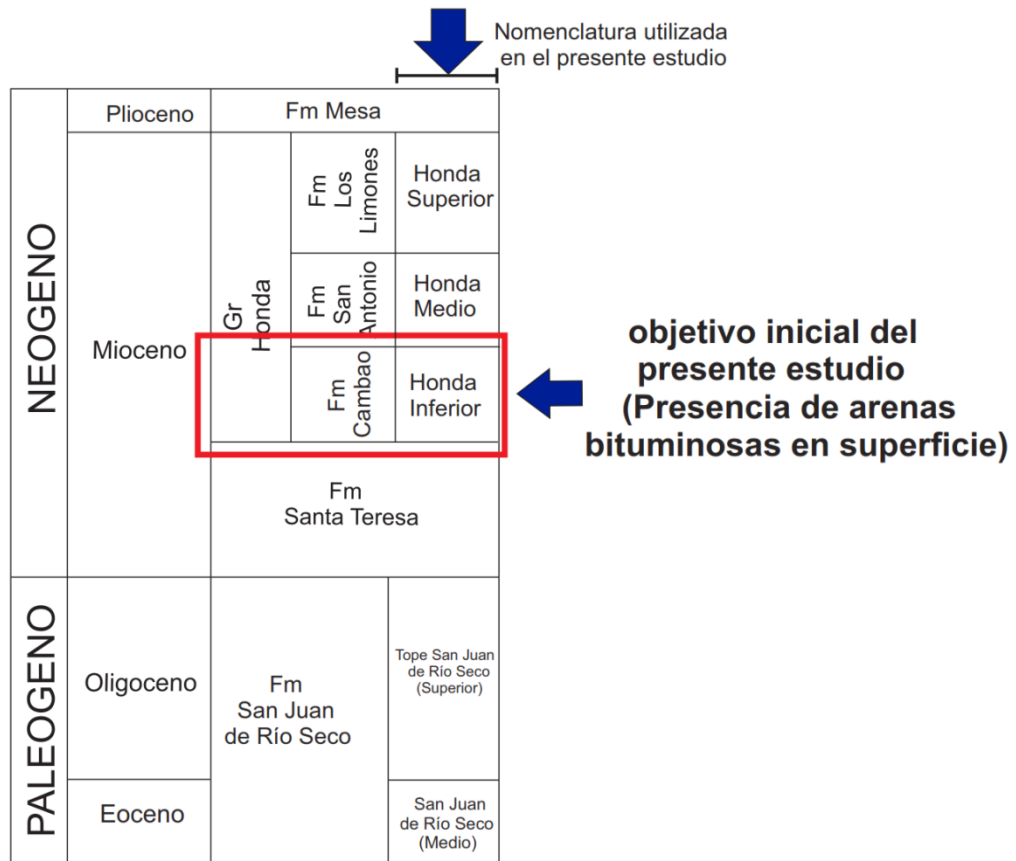


Figura 6. Columna generalizada de la zona de estudio. Edades tomadas de Gómez, *et al.*, (2003) y Olaya, I., *et al.*, (2001).

3.1.2.1 Estratigrafía del Grupo Honda:

Según De Porta J. (1966), el nombre de Honda lo introdujo por primera vez Hettner (1892), quien la nombro como serie de Honda, nombre derivado de la localidad de Honda, Departamento de Tolima, para referirse a una arenisca típica gris verdosa que procede de la desintegración de las rocas ígneas de la Cordillera Central y en menor proporción de la Cordillera Oriental. La unidad fue redefinida por diferentes autores como Butler (1942), Royo y Gómez (1942), Fields (1959), y De Porta J. (1966). Estos últimos le asignaron al término de Honda la categoría de grupo el cual comprende las siguientes formaciones de base a tope: Cambrás, San Antonio y Los Limones.

El Grupo Honda se encuentra aflorando a lo largo del valle del río Magdalena, en una franja que cruza el Departamento del Tolima de sur a norte; la mayor prolongación se encuentra en la zona de Coyaima y Castilla hasta Flandes y se amplía nuevamente en los alrededores de Piedras hasta el Municipio de Honda

(Nuñez, 2001). El espesor promedio para el Grupo Honda es de 3600 m (Gómez, *et al.*, 2003), su edad asignada es Mioceno medio y Superior según faunas encontradas en el Carmen de Apicala (Stirton, 1951 y Nuñez, 2001). Esta edad es correlacionable con el Grupo Honda al Norte de la cuenca del VMM (Butler, 1942) el cual se ubica en el intervalo de tiempo Mioceno medio tardío a tardío, según datos de cronología de ceniza volcánica y palinología (Gómez, *et al.*, 2005). Según Gómez, *et al.*, (2003) el Grupo Honda se superpone concordantemente con los estratos de la Formación Santa Teresa, sin embargo De Porta J. (1966) sugiere que en la parte norte del Valle Superior este contacto es discordante al igual que su contacto superior con la Formación Mesa.

Según De Porta J. (1966) Las formaciones Cambras y San Antonio se componen de conglomerados, areniscas con estratificación cruzada y pelitas. La principal diferencia entre estas unidades es la presencia de rocas piroclásticas de la Formación San Antonio, que están ausentes en la Formación Cambrás (Butler, 1942). Estas dos unidades son suprayacidas por la Formación Los Limones compuesta por lutitas y areniscas rojas con estratificación cruzada, su tamaño varía entre medio a grueso, presentan gran cantidad de rocas metamórficas y algunas lilitas son el tipo predominante de las rocas sedimentarias. De Porta J. (1966) infieren que la sección tipo del Grupo Honda se expone en la Cordillera de San Antonio al Este del Municipio de Honda.

En cuanto al ambiente de depósito según De Porta J. (1966) la naturaleza litológica se infiere que el tipo de sedimentación y la ausencia de fósiles marinos el Grupo Honda se depositó en un ambiente Continental de tipo lagunar. La parte basal del Grupo Honda señala una alternancia de corrientes más o menos rápidas con periodos de sedimentación tranquila que corresponderían a las lutitas. La existencia de algunas estructuras como la estratificación oblicua, que se da siempre en bancos de arenas de grano fino y medio, es propia de canales con poca pendiente, pero esta sedimentación tranquila cambia a medida que continúa la depositación de la parte media del Grupo Honda, donde ocurrió una sedimentación rápida que seguramente está relacionada con la elevación paulatina de la Cordillera Central y Oriental.

3.1.3 Geología Estructural:

En general en esta zona se reconocen dos eventos tectónicos marcadamente diferentes; el primero es de tipo tensional responsable de las fallas normales que buzaban hacia el este y que afectó desde las rocas del basamento hasta las del Paleoceno. El segundo evento tectónico es de tipo compresional, del Post-Paleoceno y sigue efectuándose hasta hoy (Mojica y Franco 1990) este ha permitido el desarrollo de fallas inversas que han afectado la cobertura sedimentaria hasta el reciente (Acosta y Obando, 1984).

Las dos principales fallas de la zona son las fallas Cambao y Honda de tipo inverso, las cuales tiene una vergencia hacia Este (Figura 7). La primera tiene un despegue en el basamento económico, la segunda al tope de la Formación San Juan de Rio Seco. Otras fallas ubicadas en flanco Oriental de la Cordillera Central son; La Falla de Palestina con movimiento de rumbo dextral (Feininger, 1970), Falla Chapeton-Pericos con movimiento rumbo dextral (Tousaint, 1995), Falla de Mulatos de tipo inverso inicialmente, convirtiéndose a normal posterior a la depositación de la Fm Mesa (Feininger, *et al.*, 1972), Fallas Samaria - La Colorada de tipo inverso con componente de rumbo (Vergara, *et al.*, 1994) y Falla El Prado de tipo Inverso presentes en el borde de la Cordillera central y al Este en el límite del VMM y la Cordillera Oriental.

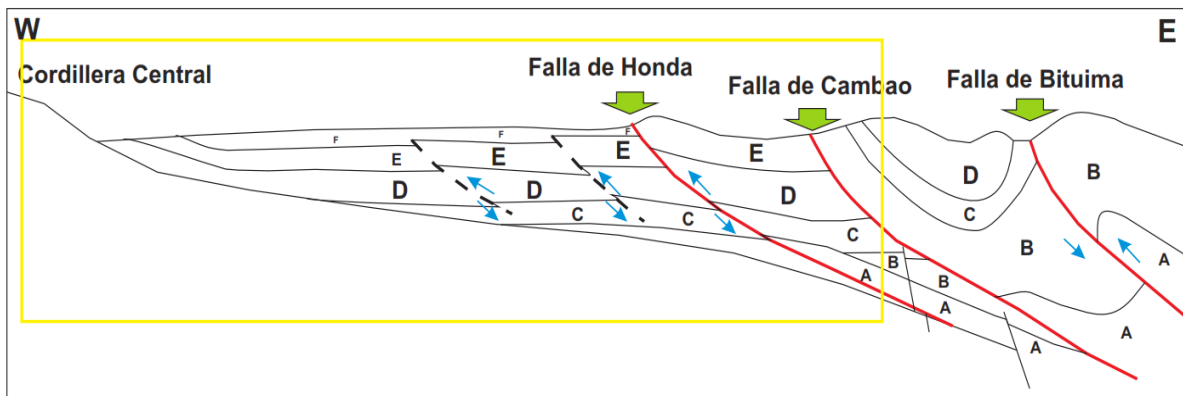


Figura 7. Esquema Tectónico actual en el área Guaduas – Mariquita, el recuadro amarillo enmarca el área de estudio. (Tomado y modificado de Acosta y Obando, 1984).

Dos inconformidades angulares de edades Paleógeno y Mioceno Medio se dan al Oeste de la Cordillera Oriental y registran una inclinación flexural relacionada con episodios de carga de la Cordillera Oriental. La primera se encuentra suprayacida por una espesa secuencia sedimentaria clástica perteneciente a las Formaciones San Juan de Rio Seco, Santa Teresa, Grupo Honda y Formación Mesa (Olaya, I., *et al.*, 2001), la segunda discordancia al tope de la Formación Santa Teresa marca el inicio del levantamiento e inversión final de la Cordillera Oriental (Butler, 1942; Van Houten y Travis, 1968). Existen otras discordancias que al igual que las principales hacen *onlap* en la parte oriental de la Cordillera Central, las cuales se generaron como respuesta al aumento de la carga tectónica de la Cordillera Oriental junto con la erosión y descarga de sedimentos de la Cordillera Central durante el Neógeno (Gómez, *et al.*, 2005).

3.2 Arenas bituminosas en Colombia:

Debido a la gran demanda, baja oferta y constante alza en los precios de los recursos convencionales a nivel mundial, se ha enfocado la mirada en nuevas fuentes energéticas como son los no convencionales, entre estos las arenas bituminosas los cuales han empezado a recibir más atención globalmente por la magnitud de sus reservas, abriendo escenarios económicos que permiten la explotación de este tipo de reservorios.

En el Foro de Entorno Tecnológico “Energías Alternativas y Fuentes No Convencionales de Hidrocarburos”, celebrado en Bucaramanga en Octubre del 2008, la Agencia Nacional de Hidrocarburos, por intermedio de la empresa consultora Arthur D’ Little (2008), publicó los recursos prospectivos de arenas bituminosas en Colombia encontrando una cantidad importante de dicho recurso entre 20 y 40 billones de barriles, si se tiene en cuenta que las reservas probadas de petróleo equivalente en Colombia sólo alcanzan los 2.200 millones (Ecopetrol – ICP, 2012a) de barriles, razón por la cual es muy importante establecer la incertidumbre de estos recursos prospectivos y de existir suficiente materialidad adaptar y/o desarrollar la tecnología de producción más adecuada para nuestros yacimientos.

Actualmente en Colombia se desarrollan diferentes estudios enfocados a la búsqueda de las arenas bituminosas. Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) el área ubicada en el extremo sur del Valle Medio del Magdalena cuenta con rezumaderos, minas artesanales y sectores localizados con presencia de dicho recurso. El presente trabajo busca a partir del estudio paleoambiental conocer la distribución de las arenas bituminosas en el área.

4. METODOLOGÍA

En este trabajo se empleó la nomenclatura estratigráfica propuesta por Gómez (2001), para el Valle Superior del Magdalena.

Para la reconstrucción paleoambiental es fundamental el análisis facial de las unidades estratigráficas, el cual permite diferenciar e identificar procesos de depositación (Miall, 1985) reflejados por cambios en el nivel base sedimentario como respuesta a los cambios en las condiciones climáticas y tectónicas ocurridas en una cuenca sedimentaria. Cada facie con sus respectivas características sedimentológicas representa un evento de depositación particular (Miall, 1985). Ellas pueden ser agrupadas en asociaciones faciales y caracterizar un ambiente de depositación dentro de la evolución de una cuenca sedimentaria. Su estudio permite comprender los procesos sedimentarios, tectónicos y climáticos que conforman el registro estratigráfico de la cuenca (Páez, L., 2013). A continuación se presentan las etapas en las cuales se desarrolló este estudio, en la Tabla 1 se presentan las coordenadas de los pozos con registros, pozos corazonados, estaciones de control y estaciones con columna estratigráficas utilizadas para el desarrollo de la presente metodología.

Tabla 1. Coordenadas de pozos y estaciones de campo utilizados en el presente estudio.

Estación	Este	Norte	Información de estación	Estación	Este	Norte	Información de estación
Pozo_1	912085	1034981	Registros	Pozo_51	905724	1004868	Registros
Pozo_2	909930	1033944	Registros	Pozo_52	942377	1057222	Registros
Pozo_3	923895	1052724	Registros	Pozo_53	943249	1064902	Registros
Pozo_4	912985	1008768	Registros	Pozo_54	914496	1054652	Registros
Pozo_5	924148	1049501	Corazonado	Pozo_55	943807	1058800	Registros
Pozo_6	918486	1011860	Registros	Pozo_56	943898	1055980	Registros
Pozo_7	916733	1066618	Registros	Pozo_57	921988	1059361	Registros
Pozo_8	914263	999097	Corazonado	Pozo_58	946386	1071439	Registros
Pozo_9	920270	1078059	Corazonado	WJ1	1056216	909381	Columna
Pozo_10	922802	1098830	Registros	WJ2	1050293	914911	Columna
Pozo_11	912484	1017680	Registros	WJ3	1041792	905132	Columna
Pozo_12	926657	1025970	Registros	WJ4	1060176	927138	Columna
Pozo_13	945646	1020246	Registros	1	909365	1056211	Control
Pozo_14	933366	1051129	Registros	2	921312	1052411	Control
Pozo_15	936185	1052044	Registros	3	914912	1050379	Control
Pozo_16	908847	1003969	Registros	4	927219	1060181	Control
Pozo_17	939420	1061550	Registros	5	930398	1065910	Control
Pozo_18	943901	1055916	Registros	6	921738	1077931	Control
Pozo_19	943947	1055949	Registros	7	916815	1100402	Control
Pozo_20	943665	1051557	Registros	8	916257	1101060	Control
Pozo_21	944992	1047318	Registros	9	918307	1107927	Control
Pozo_22	944991	1047318	Registros	10	919131	1108006	Control
Pozo_23	946486	1053600	Registros	11	926843	1106255	Control
Pozo_24	946497	1053592	Registros	12	927754	1105870	Control
Pozo_25	939400	1049980	Registros	13	927968	1105860	Control
Pozo_26	909450	1005120	Registros	14	935392	1065118	Control
Pozo_27	945953	1028639	Registros	15	939252	1069416	Control
Pozo_28	945953	1028639	Registros	16	934391	1065286	Control
Pozo_29	945953	1028639	Registros	17	921848	1077908	Control
Pozo_30	936320	1059520	Registros	18	911395	1077972	Control
Pozo_31	907174	1018350	Registros	19	912153	1077246	Control
Pozo_32	932885	1030119	Registros	20	916547	1072085	Control
Pozo_33	936204	1050955	Registros	21	910496	1073652	Control
Pozo_34	933820	1033768	Registros	22	921741	1073772	Control
Pozo_35	946054	1014253	Registros	23	911438	1073743	Control
Pozo_36	910909	1050676	Registros	24	916100	1074761	Control
Pozo_37	932147	1050256	Registros	25	914497	1053647	Control
Pozo_38	935156	1031535	Registros	26	915570	1054830	Control
Pozo_39	909864	1004957	Registros	27	921278	1052451	Control
Pozo_40	936300	1047800	Registros	28	925275	1050014	Control
Pozo_41	935650	1048700	Registros	29	927138	1060176	Control
Pozo_42	937200	1047100	Registros	30	905816	1058349	Control
Pozo_43	916095	1070364	Registros	31	907573	1058512	Control
Pozo_44	913991	1009430	Registros	32	905132	1041792	Control
Pozo_45	945851	1028577	Registros	33	908827	1031437	Control
Pozo_46	915315	1005256	Registros	34	913933	1028157	Control
Pozo_47	915729	999984	Registros	35	919058	1027457	Control
Pozo_48	914924	1001185	Registros	36	925955	1036840	Control
Pozo_49	915550	998050	Registros	37	925435	1040099	Control
Pozo_50	906272	1007059	Registros				

Trabajo de Campo: Se hicieron recorridos en un área 1650 Km², a escala 1:100 ubicando transectas con afloramientos para mejorar el mapa base existente del área. Dichos recorridos se hicieron por carreteables, caminos de herradura en ocasiones por potreros los cuales contaran con roca expuesta.

En cada estación se tomó información ubicación y localización geográfica (GPS), coordenadas E, N, con origen Bogotá. Se hicieron observaciones geológicas enfocadas en el control del mapa geológico del área a escala 1:100. La información se obtuvo de 26 estaciones de control, en las cuales se levantaron 4 columnas estratigráficas donde se definieron facies a partir de las descripciones, se midieron datos de paleocorrientes en 7 afloramientos, datos estructurales en cada estación, y se realizó la toma de 19 muestras de mano. En cada una de las columnas estratigráficas levantadas se adquirió un registro gamma-ray de afloramiento el cual se adquirió con el equipo Gamma Surveyor II y su respectivo registro fotográfico.

4.2 Análisis de núcleos: Para el estudio de las unidades sedimentológicas se contó con los tres (3) únicos pozos corazonados en el área de estudio, Pozo 5, Pozo 8 y Pozo 9 (Figura 8), los cuales no presentan toda su secuencia corazonada (Tabla 2). En ellos se hicieron los siguientes análisis:

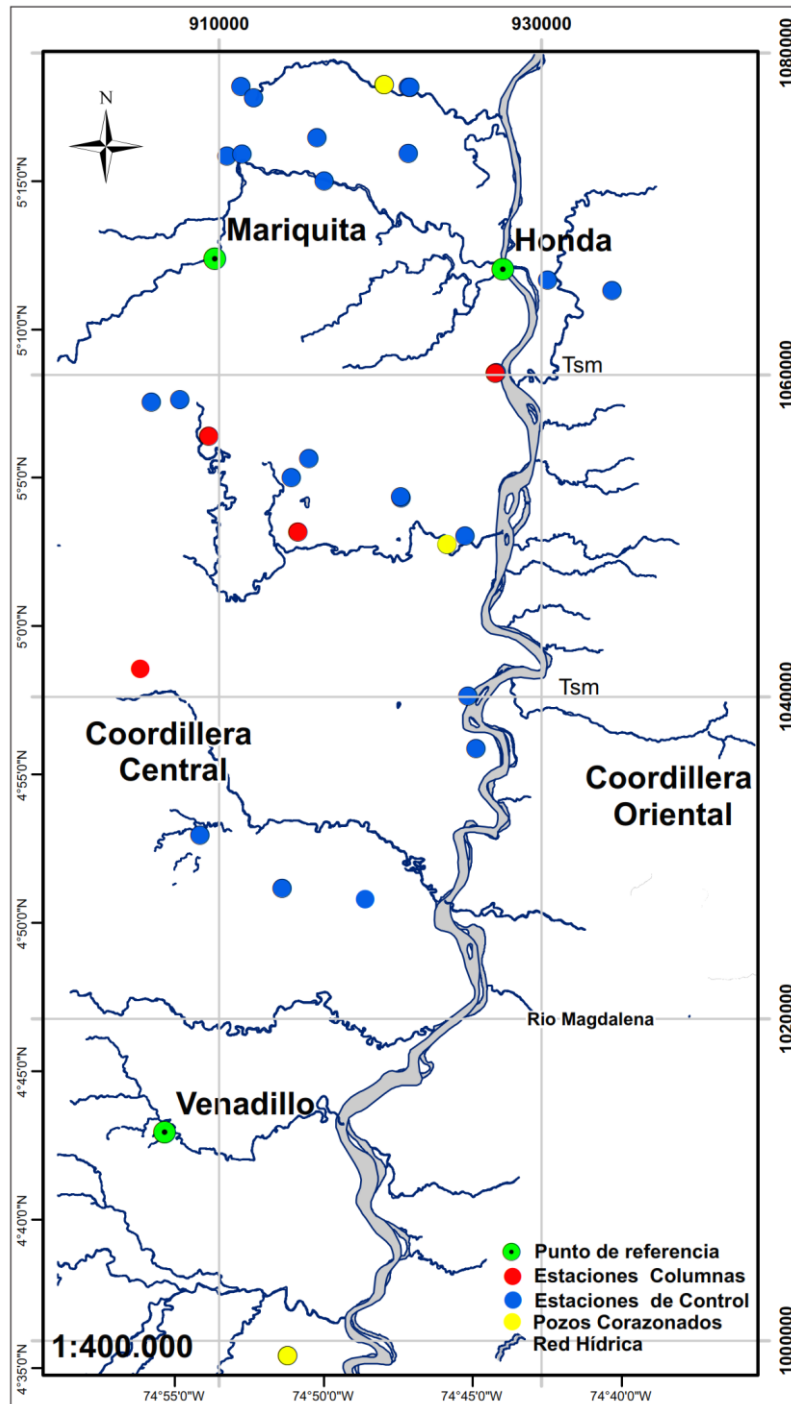


Figura 8. Mapa de localización de pozos corazonados

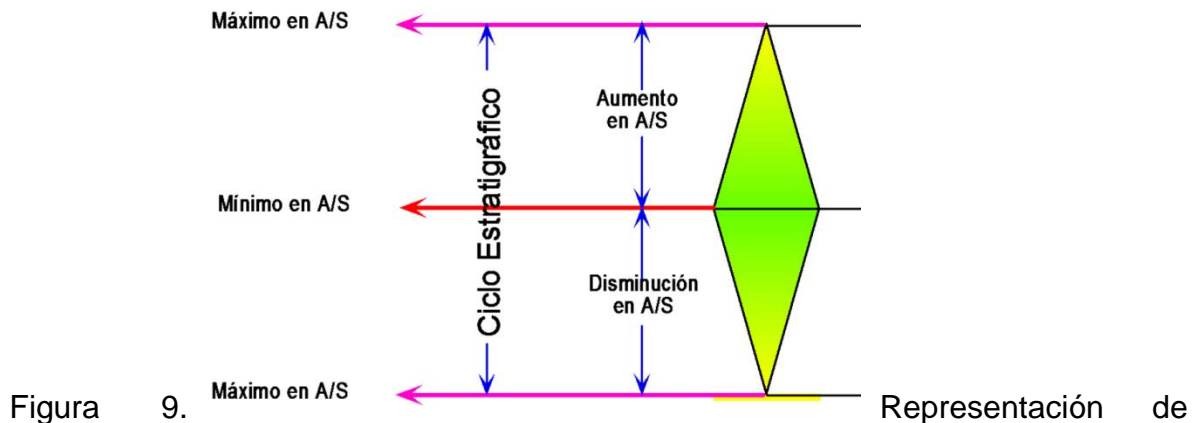
Tabla 2. Pozos con su respectivo espesor corazonado.

Pozo	Total Corazonado Discontinuos (Pies)	Calidad del núcleo (%)
Pozo 5	101,2'	70
Pozo 8	92,8'	85
Pozo 9	169,8'	85

4.3 Definición de Facies: En cada pozo se describió color, textura, composición, geometría, estructuras sedimentarias, contenido orgánico, variaciones verticales y superficies de límite de secuencias (superficies de reactivación de canales, depósitos de fondo de canal, paleosuelos, etc.), con el fin de identificar las respectivas facies y ambientes de depositación de acuerdo al modelo de arquitectura fluvial propuesto por Miall (1996)

4.5 Interpretación ambiental: El ambiente se interpretó con base en la información sedimentológica, identificación y asociación litológica y facial. Además se recurrió a información bibliográfica existente (De Porta J., 1966, Gómez, *et al.*, 2003, Vergara, H., 1988), de la cuenca y ambientes de depositación con características similares.

4.6 Identificación de ciclos estratigráficos: Los ciclos estratigráficos se identificaron basados en el concepto de Kendall (2005), quien define un ciclo estratigráfico como como dos superficies o eventos de máxima relación espacio de acomodación (A) contra suministro de sedimento (S), de esta manera el ciclo estratigráfico se divide en dos hem Ciclos: hem ciclo de ascenso del nivel base representado por el aumento en la relación A/S y el hem ciclo de descenso del nivel base representado por la disminución en la relación A/S (Figura 9). En este trabajo se identificaron ciclos de alta y baja frecuencia, donde fueron utilizados principalmente los ciclos de baja frecuencia para la interpretación ambiental.



un ciclo estratigráfico y su equivalencia con la terminología de Van Wagoner (1990).

4.7 Electrofacies y Calibración Registros: Para el análisis de electrofacies en la sucesión Cenozoica se analizó la respuesta los registros *gamma -ray* ante las variaciones del tamaño (Kendall, 2005), en caso de no existir se trabajó con el registro SP de los tres pozos corazonados (Pozo 5, Pozo 8, Pozo 9). La respuesta del registro (principalmente SP, *gamma-ray* y *resistivos*), se correlaciono con la interpretación sedimentológica y ambiental de los pozos, de esta manera fue posible identificar los ciclos de depositación y su relación con los ambientes de depósito de los demás pozos y realizar su correlación.

4.8 Correlación Estratigráfica Marco Cronoestratigráfico: Con base en las secuencias estratigráficas y los topes establecidos en el Informe Interno de Olaya, *et al.*, (2001) para los pozos corazonados se correlacionaron 3 pozos corazonados y 14 sin corazonar, en ellos se determinaron los espesores para cada secuencia estratigráfica y posteriormente se relacionaron con los espesores hallados por facies en cada secuencia estratigráfica.

4.9 Medición de Paleocorrientes: Para el análisis de paleocorrientes en la sucesión Cenozoica del sector sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, se realizaron mediciones en subsuelo a partir de los registros de *dipmeter*, utilizando la técnica propuesta por Rubiano (1998) y en superficie en las laminaciones cruzadas en artesa presentes en las unidades aflorantes Honda Inferior y Formación Mesa, utilizando la técnica de DeCelles *et al.*, 1983.

Determinación de Paleocorrientes a partir de los registros de *dipmeter*:

Los patrones de paleocorrientes, obtenidos por el Dipmeter, pueden ser diferenciados de otras estructuras captadas por este: rumbo, buzamiento y fracturas (fallas o diaclasas) mediante el uso de la técnica *Statical Curvature Analysis* (SCAT) (Bengtson, 1981 y 1982) propuesta originalmente por Rubiano (2009), quien resume esta técnica en los siguientes pasos:

- Definición de los valores regionales de rumbo y buzamiento de la estratificación para cada una de las diferentes formaciones.
- Corrección por basculamiento de todos los datos obtenidos del registro de dipmeter para cada pozo y unidad estratigráfica estudiada.
- Selección y análisis estadístico de los datos con buzamiento entre 5° y 45° (grados).
- Se determina el valor de la media (Θ , medida en azimut) de las paleocorrientes para cada unidad estratigráfica de cada pozo.

- Con base en la anterior información se procede a calcular la media total de cada formación.
- A partir del azimut de las corrientes obtenidas en los registros de *dipmeter* se halla la relación de consistencia (CR) para cada pozo, basados en las siguientes ecuaciones:

Donde A es el azimut de la paleocorriente, D la cantidad de datos.

Tabla 3. Ejemplo del tratamiento de los datos obtenidos a partir del registro de *dipmeter* para hallar la CR.

$$1) B = \left[\cos A \left[\frac{PI}{180} \right] \right]$$

$$2) C = \left[\sin A \left[\frac{PI}{180} \right] \right]$$

$$3) CR = \frac{\left[\sqrt{\sum B^2 + \sum C^2} \right]}{\sum D}$$

UNIDAD	A (AZIMUT DIRECCIÓN DE CORRIENTE)	B	C	D	CR
Unidad	350,9087014	0,987437814	-0,15800811	1	0,66
Unidad	58,39509784	0,524058777	0,851682099	1	
Unidad	350,5	0,986285602	-0,16504761	1	
Unidad	277,5866392	0,132025245	-0,99124635	1	
Unidad	65,627	0,412675234	0,910878231	1	
Unidad	13,62	0,971878861	0,235481377	1	
Unidad	309,17	0,631623456	-0,77527531	1	

- Una vez obtenida la CR de cada pozo, se aplican nuevamente las formulas 1, 2, y 3 a estos datos para hallar la CR por formación.
- Con base en los anteriores análisis estadísticos se procede a la elaboración de mapas de cada una de las unidades estratigráficas con la paleodirección de cada pozo y de los afloramientos.

Determinación de Paleocorrientes a partir de los datos de afloramiento:

- En la fase de campo se localizaron los afloramientos con mayor presencia de estratificación en artesa (estructura sedimentaria utilizada en esta investigación) para luego medir las paleodirecciones (azimut) basados en la metodología de Decelles *et al.*, (1983) de la siguiente manera:
 - Medición del rumbo y buzamiento del afloramiento (Figura 10a).
 - Identificación de la estratificación cruzada tipo en artesa con sus dos flancos completos (Figura 10a).
 - Medición de la orientación y buzamientos de los flancos derecho e izquierdo. Se pueden hacer entre 15 y 30 mediciones de acuerdo a las condiciones del afloramiento.
 - Representación de los polos de los planos en una red estereográfica distribuyéndose de forma bimodal flancos izquierdo y derecho (Figura 10b).

- Definición del plano con el valor promedio de cada flanco de la artesa (Figura 10b).
- Definición del plano en el estereonet que más se aproxime al promedio de cada grupo de datos a partir de los valores promedio de cada artesa (Figura 10b).
- Determinación de la intersección de dos planos promedio y el plano resultante de la orientación del eje de la artesa (Figura 10b).
- Finalmente, si los estratos se encuentran inclinados, se procede a rotar el eje de la artesa a la horizontal para hallar la dirección de paleocorriente (Caballero, 2010).

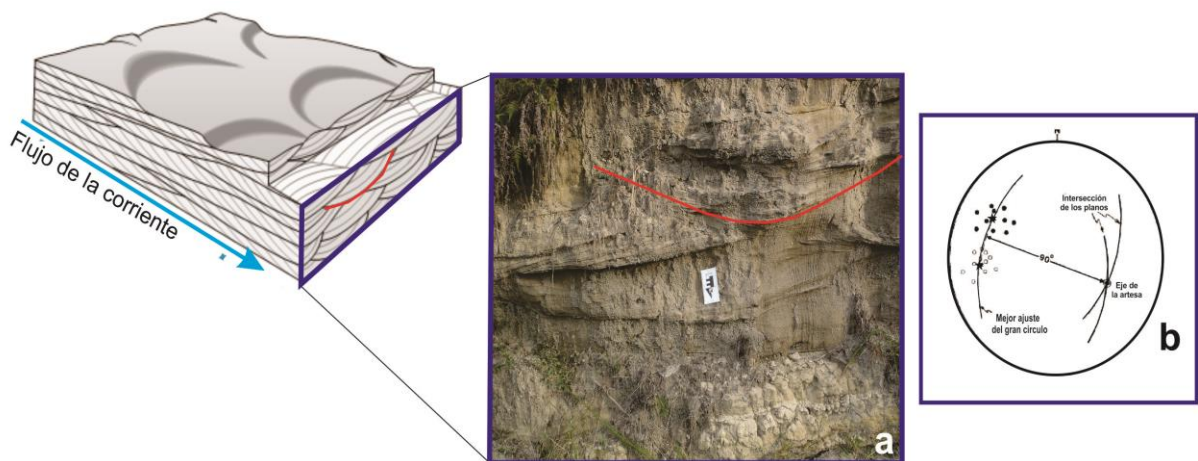


Figura 10. a) Afloramiento Formación Honda Inferior estación J5, en rojo se resalta la artesa en la cual se tomaron las mediciones de la paleocorrientes. En el bloque diagrama se ilustra la artesa en tres dimensiones con la dirección de flujo. b) Gráfica de un conjunto bimodal de datos de medidas de artesas. Los limbos izquierdo (círculos negros), derecho (círculos blancos) de una artesa, como polos en una red estereográfica de Schdmit (DeCelles *et al.*, 1983).

Los datos colectados en las unidades aflorantes fueron muy pocos debido a que las areniscas no presentaban buena preservación. Para la interpretación de los datos obtenidos tanto en subsuelo como en afloramiento fue necesario realizar la corrección por deformación tectónica, método propuesto por Potter y Pettijohn, (1977) y Tucker (1982).

4.10 Patrones de respuesta a Escala Sísmica (Interpretación Sísmica): Para la interpretación sísmica, se tomó la información existente al sur, centro y norte del área; debido al gap de información existente y donde la complejidad tectónica no

obstruyera la continuidad de los reflectores. Se tomaron 4 líneas sísmicas distribuidas en el área, para su selección se tuvo en cuenta que existiera por lo menos un pozo de intersección, preferiblemente corazonado para tener mayor confiabilidad a la hora de correlacionar con la interpretación de ambientes y ciclos sedimentarios.

4.11 Arquitectura estratigráfica (mapas): La arquitectura estratigráfica del área de estudio se obtuvo a partir de la integración de la información de superficie, núcleos, registros, líneas sísmicas, correlación estratigráfica en tiempo y de las superficies de correlación en los pozos, para posteriormente obtener una carta cronoestratigráfica la cual permitiera reconocer la distribución espacial y temporal de las rocas.

4.12 Trabajo de oficina: Durante esta etapa se realizó la digitalización de la información recolectada en campo para un posterior análisis e interpretación. A continuación se nombran las principales actividades realizadas:

Digitalización de la información recolectada en campo como: columnas estratigráficas, libreta digital, catalogo fotográfico y catálogo de muestras de mano.

Análisis estadístico de paleocorrientes medidas en subsuelo y superficie según las metodologías de DeCelles *et al.*, (1983) y Rubiano (1998).

Análisis de facies y ambientes de los tres pozos corazonados en la zona, y digitalización en columnas estratigráficas.

Carga de la información de registros de pozo e interpretación de líneas sísmicas distribuidas entre los municipios de Mariquita y Venadillo, con el fin de realizar correlacionar las unidades geológicas. Esta carga de datos se realizó en el programa Petrel 2010.

4.13 Interpretación y discusión: En esta etapa se realizó la interpretación individual y grupal de los datos obtenidos durante las etapas descritas en la metodología como son facies y ambientes en subsuelo y superficie, interpretación de la información de campo, análisis estadístico de paleocorrientes, interpretación sísmica, correlaciones. La anterior información se organizó de acuerdo a la edad en que se depositó cada unidad, llevando de esta manera una secuencia cronológica y la asociación con eventos referenciados por otros autores, para de esta forma obtener un modelo paleo-ambiental para cada edad.

4.14 Redacción del Informe final: En la redacción del informe se realizó un pequeño resumen, introducción al tema a trabajar, se definió el problema y sus objetivos, un breve marco teórico, antecedentes y marco geológico de la zona.

Posteriormente se plasmó la metodología llevada a cabo, resultado y discusión de los modelos obtenidos.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS AMBIENTAL Y FACIAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1 Identificación y caracterización de facies:

Basados en las características sedimentológicas presentes en las 4 secciones estratigráficas levantadas (Figuras 11 y 12, Anexo A), descripción de los tres pozos corazonados (Figura 13, Anexo B) en el área de estudio y fundamentados en el modelo de facies propuesto por Miall (1996), se establecieron 11 Facies para el miembro Inferior del Grupo Honda, las cuales se describirán a continuación (Tabla 4).

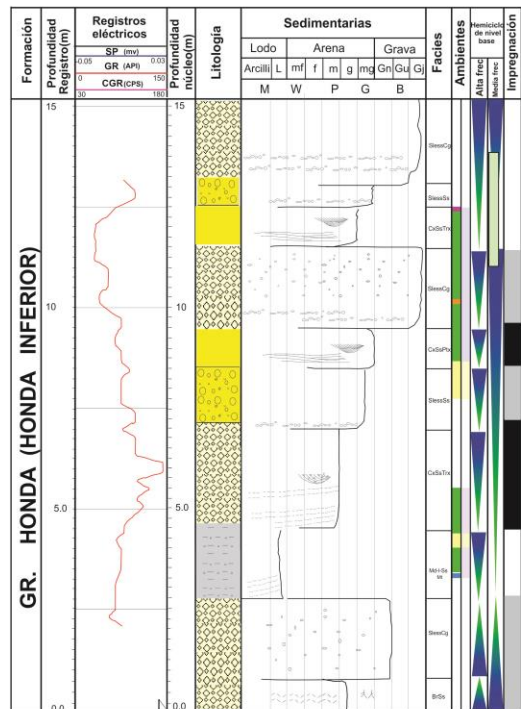
Tabla 4. Nomenclatura de facies para la sucesión Cenozoica en el sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Nombre de las facies	Litología	Estructuras sedimentarias	Interpretación	Código de facies
Conglomerado matriz soportado	Clastos de cuarzo y líticos con tamaño entre 2-16 mm, gradación inversa a normal	Estratificación cruzada en artesa	Flujos detríticos pseudoplásticos (baja resistencia viscosos)	CxCg
Conglomerado matriz soportado sin estructura	Gránulos de cuarzo lechoso y clastos tamaño de grano guijarro, esquistos que gradan a arenisca conglomerática.	Sin estructura	Flujos de alta energía	SlessCg
Conglomerado clasto soportado	Clastos de cuarzo y líticos sueltos no cementados, con tamaño de grano guijarro	Sin estructura	Depósitos de fondo de canal	PblCg
Areniscas con estratificación cruzada	Arenisca de grano fino a medio, en su mayoría lodosa, subredondeados a subangulares, moderada selección y esfericidad, con líticos sueltos y estratificación cruzada.	Estratificación cruzada en artesa	Depósitos de migración de dunas tridimensionales formadas por depósitos de flujos mayores	CxSsTrx
Areniscas con estratificación planar	Arenisca de grano fino a medio, en su mayoría lodosa, subredondeados a subangulares, moderada selección y esfericidad, con	Estratificación Planar Tabular	Depósitos de flujo planar (flujo crítico) que llega a remover material fino de la planicie de inundación adyacente	CxSsPtx

	líticos sueltos y estratificación cruzada.			
Areniscas con ondulitas (<i>Ripples</i>)	Arenisca de grano muy fino a medio, en su mayoría lodosa, subredondeados a subangulares, moderada selección y esfericidad, con líticos sueltos y estratificación cruzada.	Con ondulitas (<i>Ripples</i>)	Depósitos formados por las variaciones en el flujo de la corriente donde se forman dunas de poca amplitud	CxSsRpSs
Areniscas, ocasionalmente conglomeráticas	Areniscas lodosas sin estructura, algunas conglomeráticas, moderada a mala selección, con óxidos.	Sin estructura	Depósitos de flujo de tracción	SlessSs
Areniscas con bioturbación y raíces	Arenisca de grano medio, lodosa, sin estructura, con raíces, óxidos y bioturbación.	Sin estructura	Depósitos anóxicos de altas energías	BrSs
Secuencia heterolítica, intercalación de arenas y lodos	Intercalación de arenas y arcillas en capas muy delgadas.	Sin estructura	Depósitos de llanura de inundación	HI
Limolitas, arcillolitas y areniscas muy finas lodosas, verdes	Limolitas, arcillolitas y areniscas muy finas lodosas, verdes	Sin estructura	Depósitos de planicie de inundación	Md-I-Ss-Mt
Paleosuleos	Paleosuleos: limolitas, arcillolitas, lodolitas y arenas muy finas lodosas, varicoloreadas, con raíces bioturbación y abundantes óxidos de hierro.	Sin estructura	Depósitos de planicie de inundación	Psol

Los códigos de facies han sido modificados de Miall1996.

Estación: W-1 (Finca El Banco) Unidad: Gr.Honda (Inferior)
 Cuenca: Sur del Valle Medio del Magdalena Espesor: 15.0 m



Estación: W-2 (La Falla) Unidad: Formación Mesa
 Cuenca: Sur del Valle Medio del Magdalena Espesor: 17.5 m

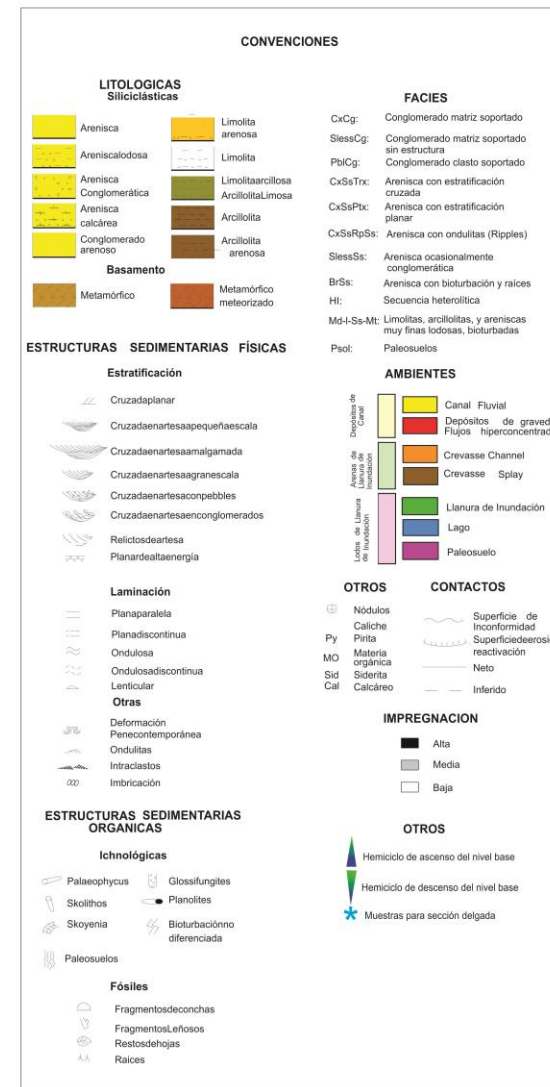
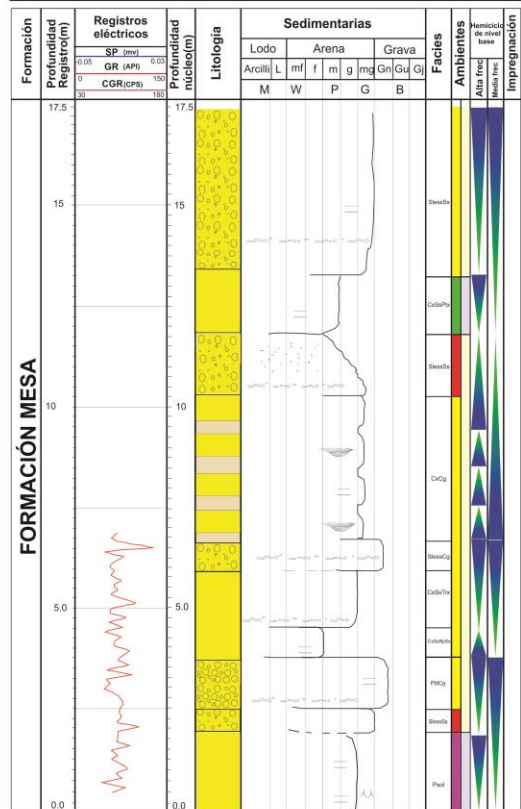


Figura 11. Sección estratigráfica estaciones W1 y W2.

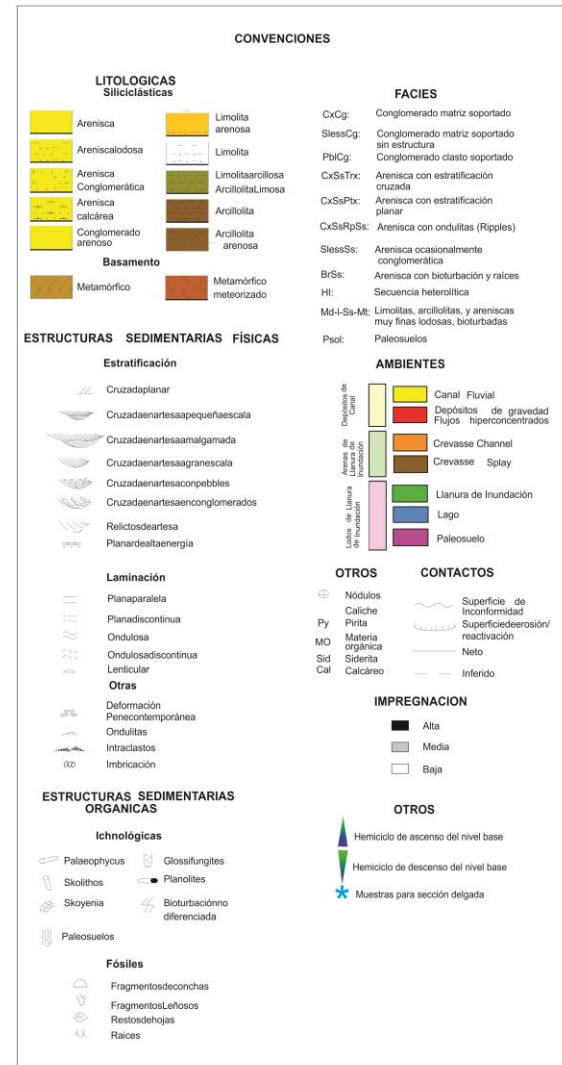
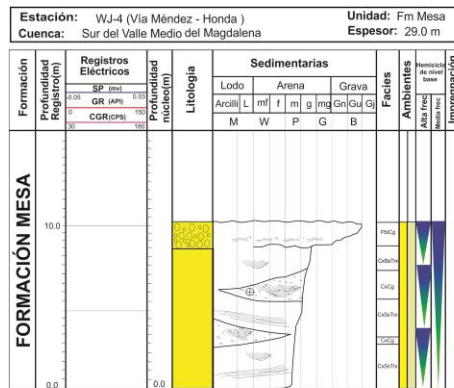
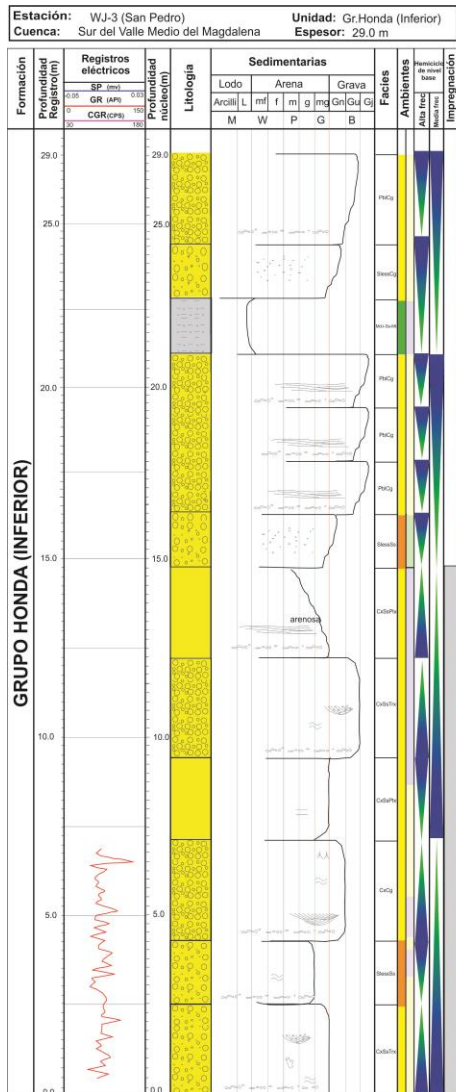


Figura 12. Sección estratigráfica estaciones W3 y W4

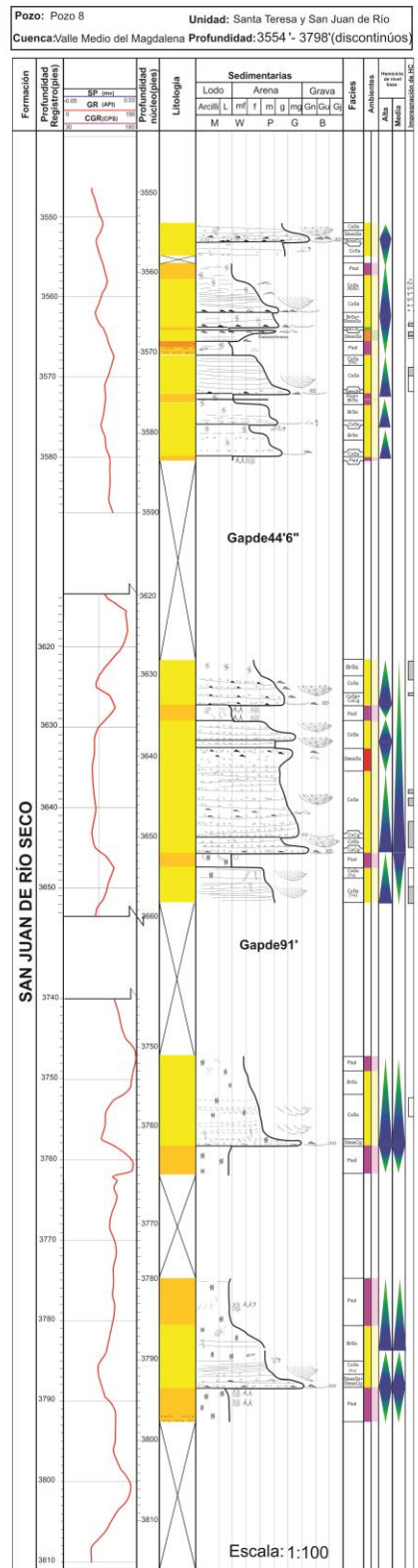
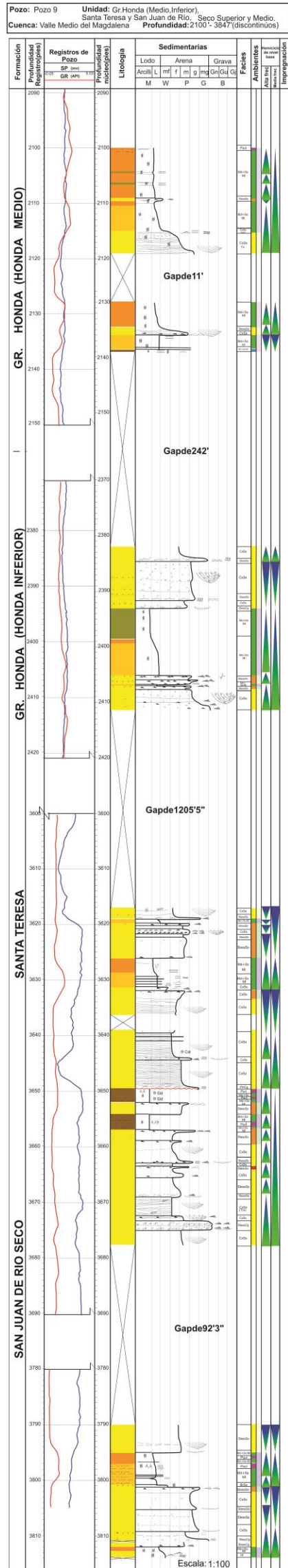
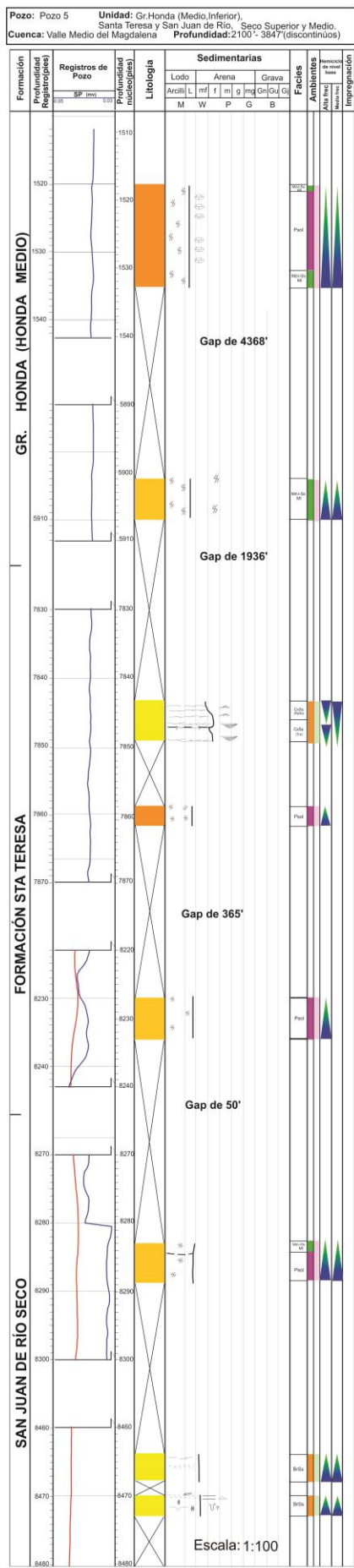


Figura 13. Sección estratigráfica pozos corazonados 5, 8 y 9, área Mariquita – Venadillo.

Facies de Conglomerado Matriz Soportado (CxCg): Conglomerado arenoso color crema a veces grisáceo, matriz caolinitica, con guijarros hasta de 8 cm de diámetro mayor, principalmente cuarzo lechoso y esquistos. Esta facies está relacionada con flujos detríticos y su laminación característica es cruzada en artesa (Figura 14).

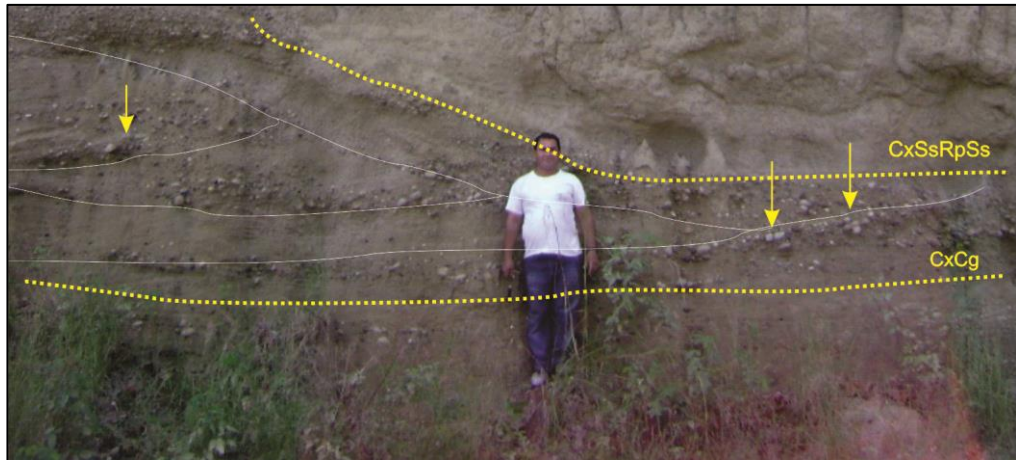


Figura 14. Conglomerado arenoso matriz soportado, formados por flujos detríticos, con alto contenido de guijarros de cuarzo lechoso (señalados por flechas amarillas), se observan estratificación cruzada en artesa a gran escala. Suprayacido por faices CxSsRpSs. Estación W14.

Facies de Conglomerado matriz soportado sin estructura (SlessCg): Conglomerado arenoso matriz soportado, con gránulos y guijos (hasta de 40%) de hasta 3.5 cm en su diámetro mayor, ocasionalmente presenta grandes intraclastos lodo-arenosos verde grisáceo (Figura 15). La fracción gruesa esa constituida por esquistos y cuarzo lechoso, con granos subredondeados y de baja esfericidad. La fracción arena va desde tamaño grueso a muy grueso. Con frecuencia se observa imbricación de clastos y estratificación planar de alto régimen.



Figura 15. Fotografías de la facies SlessCg a) En afloramiento, estación W1b) En núcleo, Pozo 9 (Profundidad 2391 pies).

Facies de Conglomerado clasto soportado (PblCg): Esta facies la componen conglomerados clasto soportados, los clastos se caracterizan por ser redondeados a muy bien redondeados. El ambiente de depósito está relacionado con periodos de alto régimen de flujo, se le atribuye a una depositación fluvial, posiblemente de un depósito de pendiente, es decir aquellos depósitos encontrados en la parte final de un abanico aluvial (Figura 16).

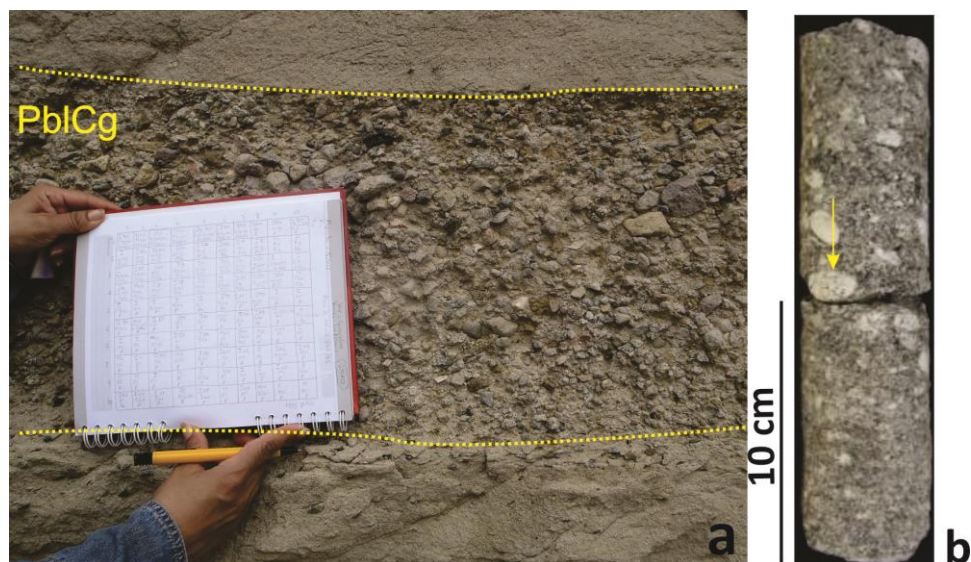


Figura 16. Fotografías de la facies PblCg en a) Estación W2, b) Núcleo pozo 9, (Profundidad 3649 pies).

Facies de Areniscas con estratificación cruzada (CxSsTrx): Arenisca lodosa con estratificación cruzada en artesa, color crema verdoso, localmente con gránulos en los *forsets*. Moderada a mala selección, granos subangulares y baja esfericidad. Composicionalmente es una sublitoarenita feldespática principalmente con líticos metamórficos. Esta facies es característica de depósitos de migración de dunas tridimensionales formadas por depósitos de flujos mayores (Figura 17).

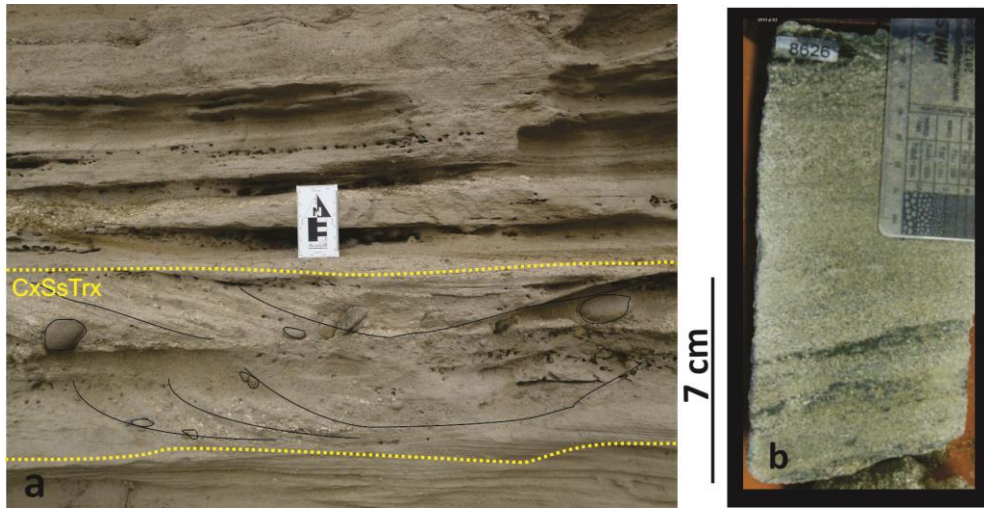


Figura 17. Fotografías de la facies CxSsTrx en a) Estación W2, b) Pozo 9 (Profundidad 3671).

Facies de Areniscas con estratificación planar (CxSsPtx): Arenisca de grano medio, color pardo verdoso, con estratificación cruzada planar, buena selección, granos subredondeados, con alta esfericidad. Composicionalmente es una litoarenita con abundantes líticos de esquistos y feldespatos. Moderada bioturbación. Depósitos de flujo planar que llega a remover material fino de la planicie de inundación adyacente (Figura 18).

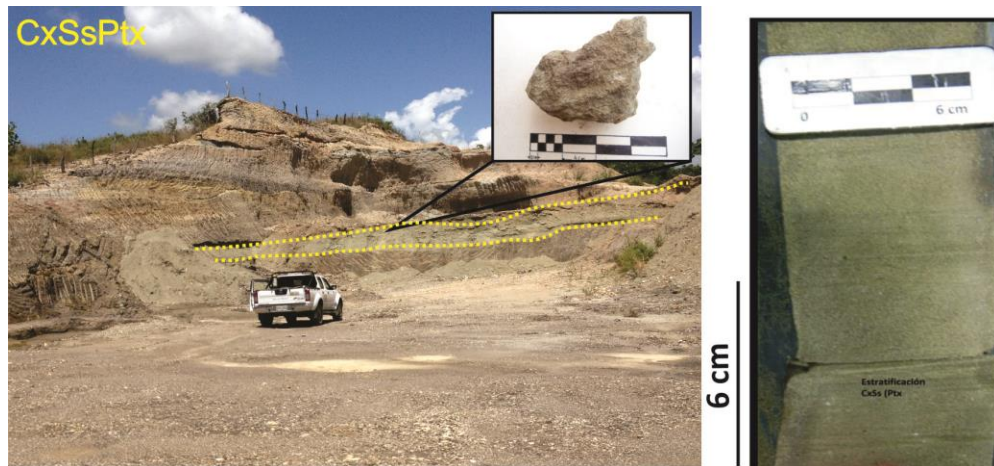


Figura 18. Fotografías de la facies CxSsPtx en a) Estación W1, b) Pozo 8, (Profundidad 3571 pies).

Facies de Areniscas con ondulitas (Ripples) (CxSsRpSs): Arenisca fina a muy fina lodosa con abundantes ondulitas de corriente y laminación plana paralela, color pardo verdoso, ocasionalmente se intercalan láminas irregulares de arcilla negra, ocasionalmente se observan pequeños replegamientos en las láminas. Facies es característica de depósitos formados por variaciones en el flujo de la corriente, donde se forman dunas de poca amplitud (Figura 19).

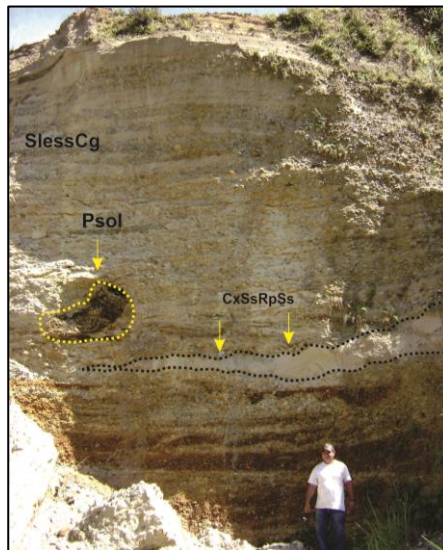


Figura 19. Fotografías de la facies CxSsRpSs, estación W26.

Facies de Areniscas ocasionalmente conglomeráticas (SlessSs): Areniscas a veces conglomeráticas lodosa con intraclastos lodosos verde grisáceos, con frecuencia se observa estratificación planar de alto régimen e imbricación. Se presenta matriz arcillosa gris crema verdoso, mala selección, granos subangulares, con gránulos de hasta 4 mm de diámetro. Depósitos formados a partir de flujos de tracción (Figura 20).

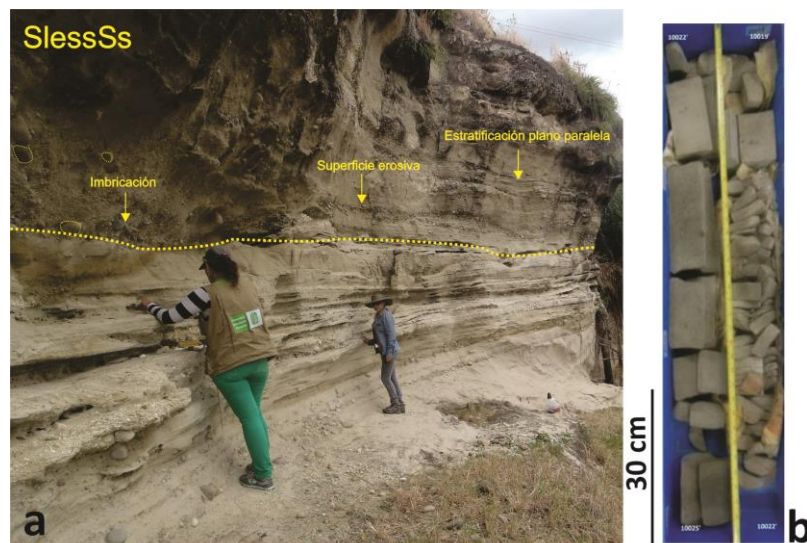


Figura 20. Fotografías de la facies SlessSs, en a) Estación W2, b) Pozo 8, (Profundidad 3640 pies).

Facies de Areniscas con bioturbación y raíces (BrSs): Arenisca de grano medio, masiva crema y pardo verdosa, localmente lodosa, con moderada a buena esfericidad, sin estructura. Composicionalmente es una sublitoarenita feldespática a litoarenita, principalmente con líticos metamórficos (20 a 30%) abundante bioturbación sin diferenciar con raíces y óxidos (Figura 21).



Figura 21. Fotografías de la facies BrSs, en a) Estación W18, b) Pozo 5, (Profundidad 8470 pies).

Facies de Secuencia heterolítica, intercalación de arenas y arcillas (HI): Intercalaciones de arenas y arcillas en capas muy finas, distribuidas de forma homogénea. Las capas de arenas presentan tamaño de grano de fino a muy fino, con geometría tabular. Estas facies son características de eventos en donde hay una combinación de alta y baja energía, en condiciones de alta energía se producen corrientes que mueven el sedimento y en baja energía se dan condiciones de quietud en donde el sedimentos más fino se deposita (lodo) (Figura 22).



Figura 22. Fotografía de la facies HI, pozo 9 (Profundidad 3813 pies).

Facies de Limolitas, arcillolitas y areniscas (Md-I-Ss-Mt): Material fino, lodoso, su color varia de rojizo, a verde y algunas veces gris, dispuesto en capas tabulares con espesor en afloramiento variable 10 – 60 cm, interestratificadas en contacto neto e irregular con las facies SlessCg, CxSsPtx. Se caracterizan por presentar laminación plana paralela muy fina, que ciertas veces se define por su color (Figura 23).



Figura 23. Fotografía de la facies Md-I-Ss-Mt, Pozo 5 (Profundidad 1531 pies).

Facies de Paleosuelos (Psol): Limolitas, arcillolitas, lodolitas y arenas muy finas lodosas varicoloreadas con presencia de raíces, rizolitos, óxidos de siderita y esferosideritas muy pequeños globulares de color rojizo oscuro, muchos de ellos se forman alrededor de las raíces. No presentan estructura, se interpreta como una facies que ha tenido exposición aérea, probablemente una llanura de inundación que tuvo exposición subaérea (paleosuelo) (Figura 24).



Figura 24. Fotografía de la facies Psol, Pozo 5 (Profundidad 7860 pies).

5.1.2 Identificación de asociaciones faciales:

Teniendo en cuenta las características sedimentológicas, la preservación de la morfología y cambios en los patrones de apilamiento de las facies descritas previamente, se identificaron cinco asociaciones faciales para la secuencia sedimentaria: Depósitos de canal, Arenas de llanura de inundación y lodos de llanura de inundación, (Tabla 5).

Tabla 5. Asociaciones faciales en el sur de la Cuenca de Valle Medio del Magdalena.

Facies	Asociación facial	Código de facies
Areniscas con estratificación cruzada	Depósitos de Canal	CxSsTrx
Areniscas con estratificación planar		CxSsPtx
Areniscas con ondulitas (<i>Ripples</i>)		CxSsRpSs
Areniscas , ocasionalmente conglomeráticas		SlessSs
Conglomerado matriz soportado		CxCg
Conglomerado matriz soportado sin estructura		SlessCg
Conglomerado clasto soportado	PblCg	
Areniscas , ocasionalmente conglomeráticas	Arenas de Llanura de Inundación	SlessSs
Conglomerado matriz soportado sin estructura		SlessCg
Conglomerado matriz soportado		CxCg
Areniscas con estratificación cruzada		CxSsTrx (esporadicamente)
Areniscas con estratificación planar		CxSsPtx (esporadicamente)
Areniscas con ondulitas (<i>Ripples</i>)		CxSsRpSs (esporadicamente)
Limolitas, arcillolitas y areniscas muy finas lodosas, verdes bioturbadas	Lodos de Llanura de Inundación	Md-I-Ss-Mt
Areniscas bioturbadas con raíces		Brss
Paleosuleos		Psol
Secuencia heterolítica		HI

Los códigos de facies han sido modificados de Miall (1996)

Depósitos de Canales Fluviales: Los tres pozos corazonados presentan alto porcentaje de sedimentos pertenecientes a canales fluviales (Figura 25, Anexo C), al igual que las tres columnas levantadas en campo. Este subambiente se representa en el formato de presentación con un rectángulo amarillo.

Los depósitos de canales fluviales están compuestos por asociaciones faciales características de flujos acanalados, como son la constituida por conglomerados CxCg, SlessCg, PblCg y las facies arenosas, CxSsPtx, SlessSs, características de barras laterales, longitudinales o transversales (Figura 25), mientras que hacia el tope de los canales aparecen facies que muestran de alta a moderada bioturbación, con algunos relictos de estratificación cruzada en artesa (CxSsRpSs, CxSsTrx).

La base de los canales observados se encuentra definida por una superficie erosiva, caracterizada por un conglomerado mal seleccionado que contiene gránulos o guijos de roca, principalmente metamórfica e intraclastos lodosos (Figura 25) o areniscas conglomeráticas con mala selección, con líticos en su

mayoría metamórficos e ígneos y esporádicamente sedimentarios e intraclastos como ejemplo el Pozo 8 (Profundidad 2581-2584 pies).

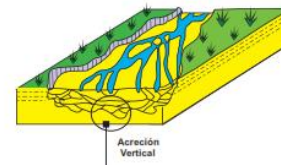
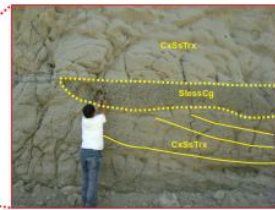
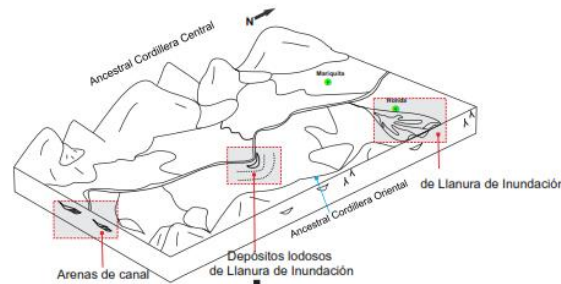
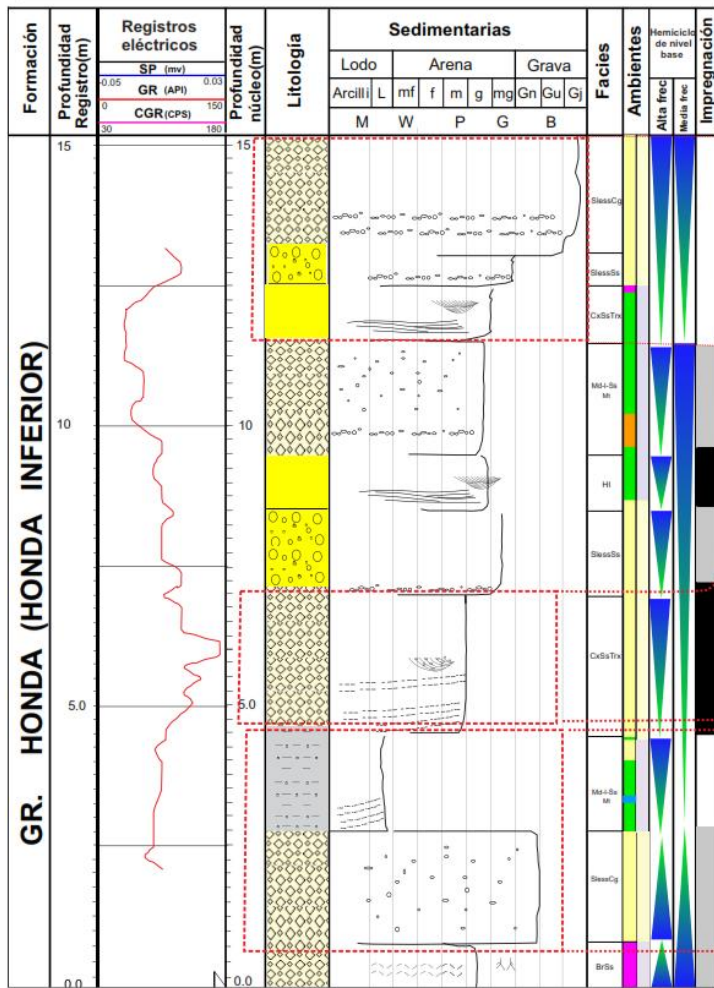
El análisis de la litología del Pozo 8, permitió conocer que la composición de los canales por debajo de la profundidad 3640', pertenecen al tope de la Formación San Juan de Río Seco, están compuestos en la base, principalmente por areniscas conglomeráticas y algunos clastos sedimentarios de intraclastos lodosos y areniscas, en tanto que las bases de los canales identificados por encima de esta profundidad (Formación Santa Teresa) representan en su armazón fragmentos (guijos y gránulos) de rocas metamórficas esporádicamente, indicando una reactivación en el área.

Los canales identificados en la misma formación, pertenecientes al Pozo 9, muestran abundantes gravas compuestas principalmente por líticos metamórficos, implicando una mayor energía en la formación de estos sedimentos, de igual forma mayor cercanía al área fuente, lo cual indica que los núcleos correspondientes al Pozo 8 están asociados a ríos de moderada a baja sinuosidad de menor orden en la red de drenaje en relación a los observados en el Pozo 9.

En cuanto al análisis en los registros de pozo, este tipo de depósito presenta la mayor deflexión del registro SP hacia valores mayores de la línea base de arcillas y muestran una electroforma de campana. A la base de los canales el SP es casi horizontal, lo cual se puede asociar a la superficie de erosión con la que se inicia la depositación de este tipo de cuerpos. El registro *gamma-ray* por lo general presenta las menores lecturas, asociado a la mayor presencia de minerales con baja radiactividad natural como el cuarzo, en algunos casos se observa una electroforma de campana y en otros una electroforma cilíndrica un poco aserrada, el tipo de respuesta entre cilíndrica y aserrada se asocia a la preservación que tiene un ciclo completo de este tipo de depósitos. La electroforma cilíndrica se asocia a canales tipo *braided* el cual se caracteriza por la pobre preservación de estructuras sedimentarias, y la preservación de los niveles de mayor tabla de agua tipo llanura de inundación es menos común. Por otro lado una electroforma aserrada en este tipo de depósitos se asocia comúnmente a canales de ríos meandricos donde se tiende a preservar los ciclos completos, partiendo a la base de superficies de erosión, *point bars*, hasta posibles desbordes o llanuras de inundación.

De acuerdo a los núcleos revisados, roca expuesta en afloramiento y la respuesta de los registros, los sedimentos asociados a este tipo de ambiente, constituyen las mejores características como reservorio.

Estación: WJ-1 (Finca El Banco) Unidad: Gr.Honda (Inferior)
 Cuenca: Sur del Valle Medio del Magdalena Espesor: 15.0 m



CONVENCIONES

LITOLÓGICAS

Siliciclásticas

	Arenisca		Limolita arenosa
	Areniscalodosa		Limolita
	Arenisca Conglomerática		Limolitaarcillosa
	Arenisca calcárea		ArcilloLimoso
	Conglomerado arenoso		Arcillolita
	Conglomerado		Arcillolita arenosa
			Pumitas

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FÍSICAS

Estratificación

	Cruzadaplanar
	Cruzada en artesa a pequeña escala
	Cruzada en artesa amalgamada
	Cruzada en artesa gran escala
	Cruzada en artesa con pebbles
	Cruzada en artesa en conglomerados
	Relictos de artesa
	Planar de alta energía

Laminación

	Plana paralela
	Plana discontinua
	Ondulosa
	Ondulosa discontinua
	Lenticular
	Deformación
	Penecontemporánea
	Ondulitas
	Intraclastos
	Imbricación

FACIES

CxCg:	Conglomerado matriz soportado
SlessCg:	Conglomerado matriz soportado sin estructura
PblCg:	Conglomerado clasto soportado
CxSsTx:	Arenisca con estratificación cruzada
CxSsPt:	Arenisca con estratificación planar
CxSsRpS:	Arenisca con ondulitas (Ripples)
SlessSs:	Arenisca ocasionalmente conglomerática
BrSs:	Arenisca con bioturbación y raíces
HI:	Secuencia heterolítica
Ml+Ss-Mt:	Limolitas, arcillolitas, y areniscas muy finas lodosas, bioturbadas
PsoL:	Paleosuelos

Fósiles

	Fragmentos de conchas
	Fragmentos Leñosos
	Restos de hojitas
	Raíces

AMBIENTES

	Canal Fluvial
	Depósitos de gravedad Flujos hiperconcentrados
	Crevasse Channel
	Crevasse Splay
	Llanura de inundación
	Lago
	Paleosuelo

OTROS	CONTACTOS	ORGANICAS	IMPREGNACION	OTROS
<ul style="list-style-type: none"> Nódulos Caliche Pinta Materia orgánica Siderita Cal 	<ul style="list-style-type: none"> Superficie de Inconformidad Superficie de erosión/reactivación Neto Inferido 	<p>Ichnológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Palaeophycus Skolithos Skoyenia Paleosuelos Glossifungites Planolites Bioturbaciónno diferenciada 	<ul style="list-style-type: none"> Alta Media Baja 	<ul style="list-style-type: none"> Hemicio de ascenso del nivel base Hemicio de descenso del nivel base

Figura 25. Ambientes de depositación en el Grupo Honda, miembro inferior, estación W-1.

Depósitos Arenosos de Llanura de Inundación: Este tipo de depósito está identificado en las columnas de campo y de pozo en color verde crema, columna de ambientes y lo componen los subambientes de canal de *crevasse* (*crevasse*) color naranja y depósitos de desborde de canal (*Crevasse splay*) color café. De los tres pozos corazonados, los pozos 5 y 9 presentan de alto a medio porcentaje de sedimentos arenosos de llanura de inundación y en la columna de campo nombrada W3 siendo más comunes los depósitos de canales de *crevasse* (*crevasse*).

El material que conforma este tipo de depósito incluye los sedimentos arenosos que se distribuyen sobre la llanura de inundación, resultado de flujos confinados y no confinados como son los Canales de *crevasse* (*Crevasse*) y depósitos de desborde de canal (*crevasse splay*) respectivamente, también los rellenos arenosos de lagos y ciénagas (Figura 25).

El subambiente de desborde de canal (*Crevasse splay*) lo conforman las arenas con alto porcentaje lodo (CxSsRpSs), arenas en matriz lodosa, la mayoría sin estructura, conglomeráticas, sin impregnación. Las arenas van desde finas a medias, lodosas a ligeramente lodosas, areniscas algunas veces conglomeráticas (SlessSs) de medias a gruesas forman característicos paquetes arenosos con gradación inversa, producto de flujos no confinados, siendo común encontrar abundantes intraclastos lodosos y gravas en la parte alta, así como también signos de bioturbación y exposición subaérea en alguno de ellos, los conglomerados son matriz soportados sin estructura (SlessSg) en su parte inferior no se observan características que muestren procesos erosivos.

Los canales de desborde de canal (*Crevasse splay*), solo aparecen en el Pozo 9 (Profundidad 3621-3622 pies), Formación Santa Teresa. Este tipo de sedimentos están compuestos por areniscas (litoarenita) lodosas ligeramente conglomeráticas con estratificación cruzada en artesa y abundantes intraclastos lodosos verde grisáceos. Estos sedimentos se diferencian de las areniscas de canal por el carácter granocreciente que presentan los desbordes y por su menor espesor.

Los sedimentos de depósitos de desborde de canal (*Crevasse splay*) solo se manifiestan en la columna W2, conformados por delgados cuerpos de areniscas algo lodosas muy finas, sin mayores cambios en su granulometría, siendo común encontrar en ellas replegamientos y principalmente ondulitas de corriente (CxSsRpSs), como resultado de débiles corrientes que se adentran en pantanos y lagos.

El registro Sp en este tipo de depósito presenta una menor deflexión de la curva hacia valores mayores de la línea base de arcillas en comparación con los depósitos de canales fluviales. La electroforma característica es de embudo, aunque en los casos encontrados en los núcleos analizados, no es muy clara esta

electroforma pues se ve enmascarada dentro de la respuesta de los lodos de llanura de inundación.

El registro *gamma-ray* es común que presente electroformas de embudo con valores menores hacia la parte superior, aunque los núcleos analizados no son buenos ejemplos de esta respuesta, pues los depósitos no cuentan con un espesor suficiente para que la herramienta presente el comportamiento característico.

Según las características de la roca expuesta en superficie y en subsuelo, estos depósitos no constituyen una buena roca reservorio.

Depósitos Lodosos de Llanura de Inundación: Este tipo de depósito se simboliza de color morado crema en las columnas de pozo y de afloramiento, lo componen tres tipos de depósitos lodosos según las rocas analizadas en subsuelo y superficie, el primero y más comúnmente encontrado son los sedimentos lodosos de llanura de inundación, siendo conformados por limolitas, arcillolitas y areniscas muy finas lodosas de color gris y verde, algunos pueden contener bioturbación pertenecientes a la facies Md-I-Ss-Mt. Dentro de este tipo de depósito se incluyó, niveles de areniscas muy finas con ondulitas de corriente y limolita verde grisáceo conformando una secuencia heterolítica (HI) (Figura 25).

Otro tipo de sedimentos dentro de este depósito son los llamados paleosuelos. Estos corresponden a lodolitas, arcillolitas, limolitas o areniscas muy finas lodosas varicoloreadas con evidentes procesos pedogenicos identificados por la presencia de óxidos rojizos o negros, esferosideritas y raíces, así como alta bioturbación y rizolitos (Psol) que evidencian la exposición subaérea. Este tipo de sedimentos representan depósitos por suspensión y débiles corrientes de tracción, y mayor cercanía a la fuente de sedimento como es el canal.

Este tipo de depósito se presenta en los tres pozos corazonados, en mayor en el Pozo 5 (Profundidad 1518 -1531, 8285-8289 pies) del aparte superior del Grupo Honda y las formaciones Santa Teresa y Tope de la Formación San Juan de Río Seco y en el Pozo 8 perteneciente a la parte media de la Formación San Juan de Río Seco.

En los registros SP, y *gamma-ray* correspondientes a los núcleos analizados, no es posible diferenciar las lodolitas de llanura de inundación el registro SP no presenta mayor deflexión en estos depósitos y marca la línea de arcilla. El registro *gamma-ray* en algunos intervalos presenta altos valores, obedeciendo a niveles lodosos, en otros intervalos la lectura es levemente superior a la de las arenas de llanura de inundación haciendo difícil su diferenciación. Aunque no es muy clara,

la electroforma que podría representar estos depósitos según los registros es la acerrada.

Estos intervalos lodosos constituyen buenos sellos, siempre y cuando su continuidad sea considerable.

5.1.3 Definición de ciclos estratigráficos:

De acuerdo a la secuencia vertical descrita en los pozos corazonados del área de estudio (Anexo D), se observa que los ciclos estratigráficos presentan moderada simetría, indicando buen espacio de acomodación (Eoceno - Oligoceno) para la acumulación de sedimentos en la cuenca, reflejado en las facies pertenecientes a depósitos fluviales de arenas de canal, lodos de llanura de inundación y arenas de llanura de inundación, formados durante periodos de altas y medias energías.

En general los ciclos, inician con un periodo transgresivo a inicios del Cretácico Inferior y finaliza en el Cretácico superior (Acosta y Obando, 1984), dando lugar a un máximo en el espacio de acomodación de los sedimentos en la zona de estudio. A finales del Cretácico y comienzos del Terciario un levantamiento regional provoca el retiro del mar en la cuenca, para abrir paso a periodos de acumulación caracterizado por los *sets* con presencia de estratificación cruzada en artesa y de estratificación planar (CxSsPtx y CxSsTrx) tabular. Posterior a estos eventos la cuenca sigue su llenado, de manera que el espacio de acomodación disminuye permitiéndose la depositación de *ripples* (facies CxSsRpSs) hacia el tope, hasta llegar a un mínimo en donde se encuentran los sedimentos en su mayoría gruesos (facies CxCg, SlessCg y PblCg).

Como base se tomó el Pozo 9, el cual presenta la secuencia corazonada más completa, donde se identificaron siete (7) ciclos estratigráficos (Figuras 8 y 9), los cuales tienen en general una asociación de facies representados por depósitos de abanicos aluviales, planicies costeras, canales, trenzados, depósitos típicos de ambiente fluviales continentales. Para los pozos descritos Pozo 5, Pozo 8 y Pozo 9, se identificó un ciclo correspondiente a un periodo erosivo representado por una inconformidad a finales del Mioceno Inferior producto de un levantamiento regional importante en la cuenca (Acosta y Obando, 1984).

Posteriormente se identificó 1 ciclo de depositación continental, tipo lagunar (Mioceno), reflejado en una sedimentación tranquila correspondiente a lutitas, con corrientes relativamente rápidas. De esta forma continua la depositación en la cuenca, siendo la principal fuente de aporte la ancestral Cordillera Central, con aporte de materiales metamórficos y aun de rocas intrusivas y efusivas (De Porta J., 1966) los cuales reflejan un flujo de alta carga y energía, asociado a los sectores en los cuales confluyen abanicos aluviales, vistos en las arenas conglomeráticas de la estación W2 (bajada), con baja profundidad y energía relativamente alta.

Finalmente se identificó 1 ciclo de depositación, caracterizado por una sedimentación más tranquila y cambio en la fuente de aporte a la Cordillera Oriental, según el modelo de paleocorrientes (propuesto más adelante) para esta época, aportando material más fino a la cuenca, depositado en el periodo más apacible que se registran para el Grupo Honda.

Estos ciclos son los ciclos correlacionables a través de toda el área de estudio (Anexo 4 y 5), el tope y la base de cada ciclo se emplearon como superficies de correlación (SC).

5.1.4 Superficies de correlación y correlaciones estratigráficas:

Para conocer la arquitectura estratigráfica del área de estudio, una vez se identificaron los ciclos y las electrofacies se tomaron otros pozos adicionales con registro *gamma-ray* con el fin de cubrir la mayor área posible (Figura 26), con esta información se procedió a identificar las superficies de correlación y amarre de facies de pozo a pozo.

Se realizaron 4 correlaciones estratigráficas (Figura 27 a 30, Anexo 4), una en dirección aproximada N-S, y tres E-W (Tabla 6). Algunas columnas estratigráficas de los pozos corazonados se ubicaron en las correlaciones para facilitar la interpretación de las electrofacies y de los horizontes de correlación.

Tabla 6. Transectas y pozos seleccionados

Transecta	Pozos
Transecta 1	2, 7, 9, 36, 43, 31, 50, 51
Transecta 2	26, 39, 46, 51
Transecta 3	11, 26, 31
Transecta 4	1, 2, 12

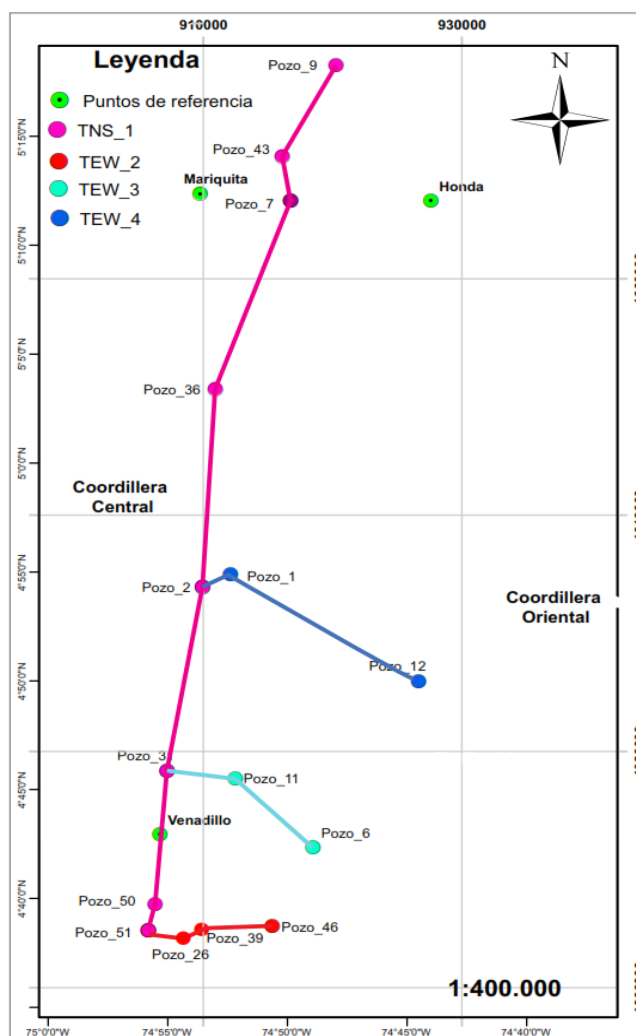


Figura 26. Ubicación de las transectas de correlación TNS 1 y TEW 2 a la 4.

El primer paso para realizar la correlación fue identificar el *datum* estratigráfico, este se ubicó a partir del único pozo (Pozo 9) con este intervalo (ciclo 1) corazonado descrito, líneas sísmicas interpretadas e informes de perforación de algunos pozos. Esta superficie de correlación se caracteriza por ser una discordancia regional que presenta facies CxSsPtx, pertenecientes a depósitos de canales fluviales. Este pico es identificable en casi toda el área, lo cual es observable además en los pozos en los cuales no hay núcleos estratigráficos, esta superficie indica un periodo erosivo en el cual ocurrió levantamiento de la Cordillera Central.

El tope de los ciclos estratigráficos identificados en el Pozo 9 se empleó como superficie de correlación, extrapolándolos a los pozos con registros y posteriormente correlacionados en toda el área de estudio. Las superficies de correlación están basadas en las electrofacies reconocidas en el amarre registro roca, y corresponden a las superficies de correlación mencionadas en la carta cronoestratigrafía.

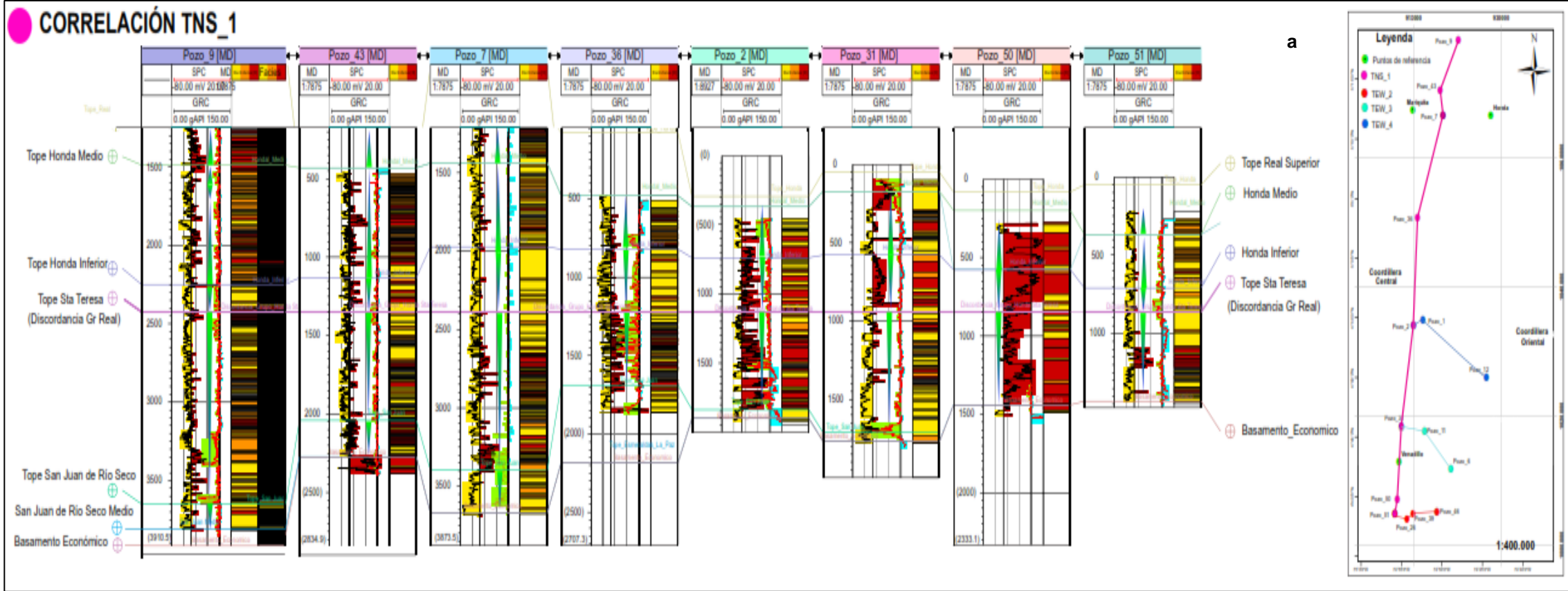


Figura 27. Correlaciones estratigráficas Transecta TNS_1, en dirección N-S, pozos 2, 7, 9, 36, 43, 31, 50. Transecta TNS_2, en dirección E-W, pozos 26, 39, 46 y 51.

En b)

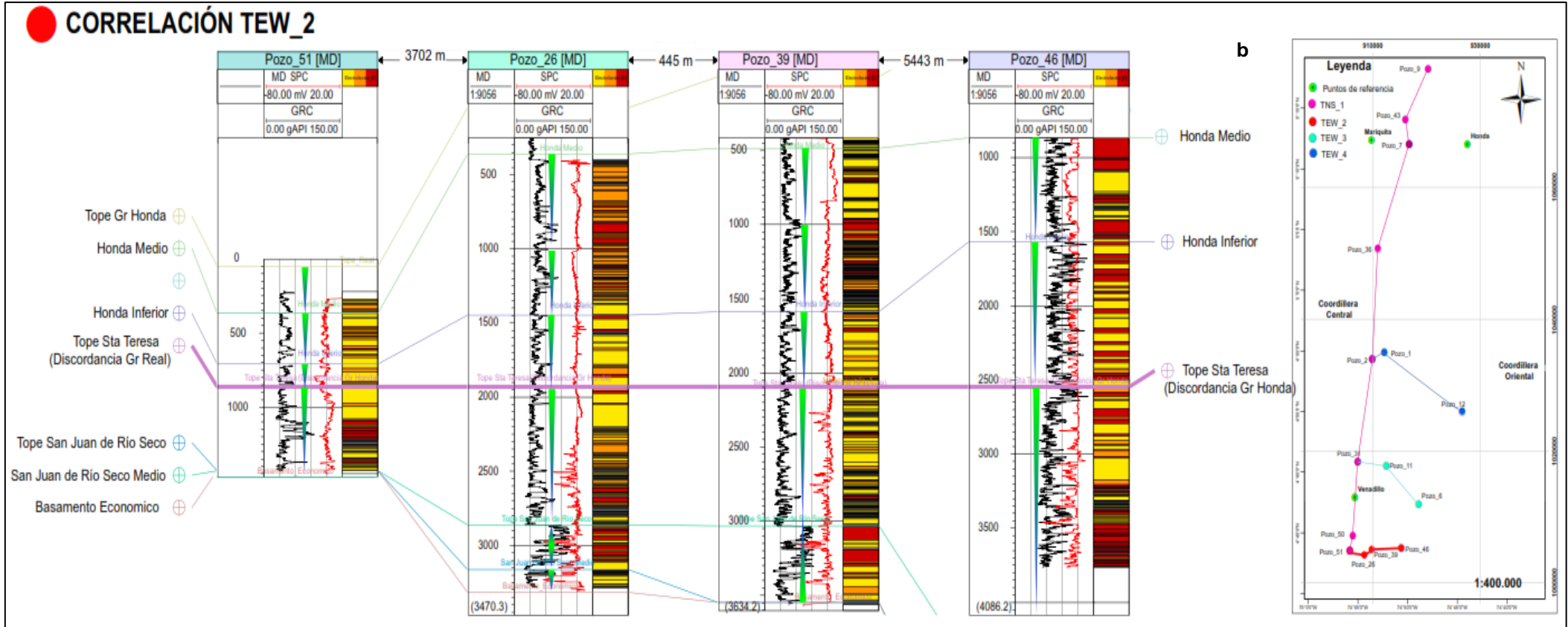


Figura 29. Correlaciones estratigráficas Transecta TNS_3, en dirección E-W, pozos 11, 26 Y 31.

5.1.5 Reflexiones sísmicas características:

La interpretación de las líneas se hizo teniendo en cuenta la existencia de pozos con registros o núcleos correlacionables con las líneas, en algunos casos estos contaban con su propia interpretación la cual se corroboró y/o se redefinió según la comparación con los datos obtenidos a partir de la interpretación sísmica.

En cada una de las líneas sísmicas se identificó el total de la secuencia estratigráfica del área, como son las formaciones: San Juan de Río Seco, Santa Teresa, Grupo Honda y en algunos casos la Formación Mesa, con la ayuda de las facies interpretadas, ciclos estratigráficos, topes hallados en las perforaciones del área y su posterior carga al proyecto.

Línea A: Está línea está ubicada hacia la parte norte del área de estudio (Figura 31) y se correlaciono con el Pozo 11.

Como resultado según los patrones de reflexión se obtuvo que el tipo de terminación de reflexión asociado a los límites de esta unidad es la terminación en *onlap* de las capa de Este a Oeste, internamente existen 3 patrones internos dentro de la unidad como son el divergente, en casi toda la línea, subparaleo hacia la Este de la línea y levemente caótico en la zona Oeste donde ocurre la terminación en *onlap* de las capas (Figura 31a).

La forma externa de las unidades puede variar entre acuñamiento, lentes y rellenos de canal en el Grupo Honda, estos últimos se presentan con alta frecuencia, según el análisis de facies en pozos corazonados, también es posible identificar amalgamamientos de los canales hacia la parte media y superior del Grupo Honda, estructura característica de los *desbordes*.

Hacia la parte Oeste de la línea (Cordillera Central) se identifica una falla local de tipo normal (color verde), resultado de los esfuerzos tensionales por los cuales atravesó la cuenca, cuyo juego ha causado adelgazamientos y acuñamientos de las distintas formaciones meso y cenozoicas (Mojica y Franco, 1990). Este último factor es definitivo en la configuración interna de la secuencia, donde los reflectores obedecen a un patrón divergente resultado de las terminaciones en *onlap* de las capas.

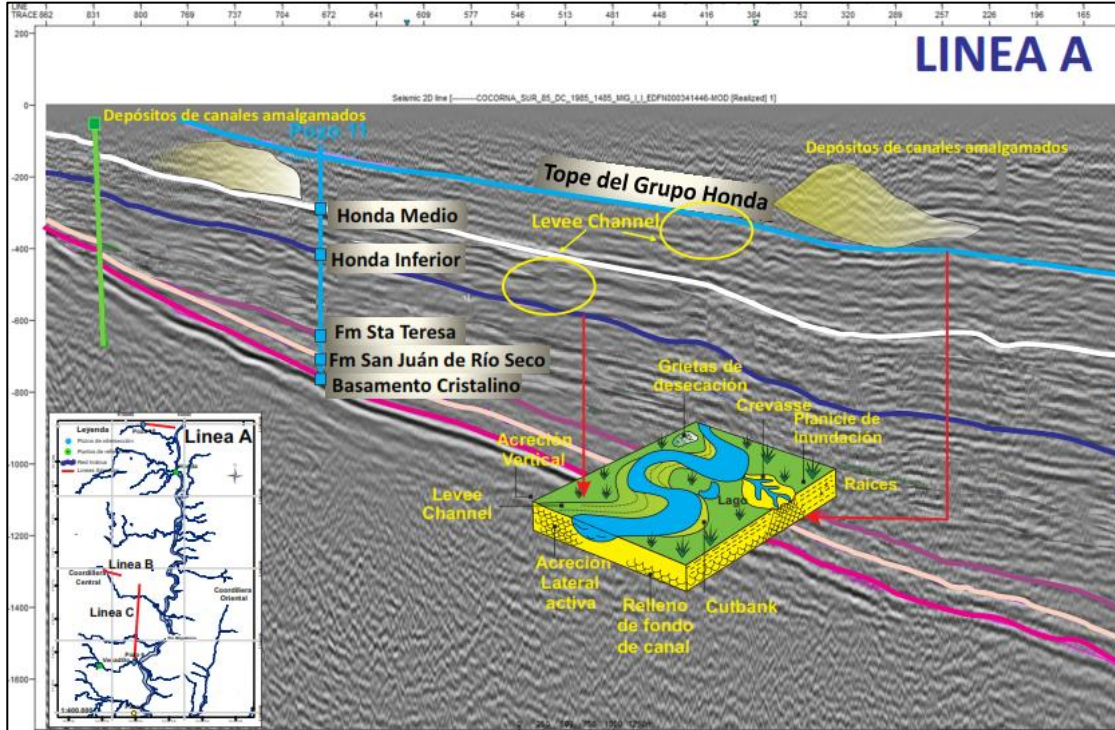


Figura 31. Línea A indicando los principales patrones sísmicos y su asociación con los principales eventos estratigráficos.

Línea B: Está línea está ubicada en el sector SW del área de estudio (Figura 32) y cerca de la mina de asfalto conocida como mina San Pedro, con el fin de obtener más detalle de la Formación aflorante en superficie. Como resultado según los patrones de reflexión se obtuvo que el tipo de terminación de reflexión asociado a los límites de esta unidad es las terminaciones en *onlap* de las capa de Este a Oeste, internamente existen 4 patrones dentro de la unidad como son el divergente, en casi toda la línea, subparalelo hacia la base cerca al contacto entre el basamento y la parte media de la Formación San Juan de Río Seco y hacia el tope del Grupo Honda. Los otros dos patrones identificados son el caótico y contorsionado entre el tope de la Formación San Juan de Río Seco y la parte medio del Grupo Honda (Figura 32a). La forma externa de las unidades puede variar entre acuñamiento, lentes y montículo. El patrón de reflexión interno hace pensar que la estratificación por la geometría de las capas es complejo hacia la parte Superior y Media de las formaciones San Juan de Río Seco y Honda respectivamente evidenciados en pequeñas deformaciones y montículos hacia la parte media de la unidad, mientras que hacia la parte este se clarifica la secuencia y se aprecia una reflexión divergente.

Según la facies sísmicas la línea se ajusta a pequeños montículos discordantes, siendo así la configuración de la reflexión contorsionada en forma de montículo discontinua en casi toda su extensión, con bajas amplitudes y altas frecuencias, como se dijo en el párrafo anterior las terminaciones de las reflexiones obedecen a terminaciones en *onlap* de las secuencia sobre el basamento que se levanta hacia la Cordillera Central. Las reflexiones indican un ambiente de depositación asociado con flujos de escombros o densidades concentradas según los posibles ambientes de depositación (Mitchum et al., 1977) de acuerdo a la configuración interna de los reflectores. Se identificaron dos reflectores asociados a canales hacia la base y tope del Grupo Honda, lo cual es coherente con el posible ambiente fluvial que se dio en la zona de acuerdo al análisis sedimentológico y estratigráfico del área de estudio.

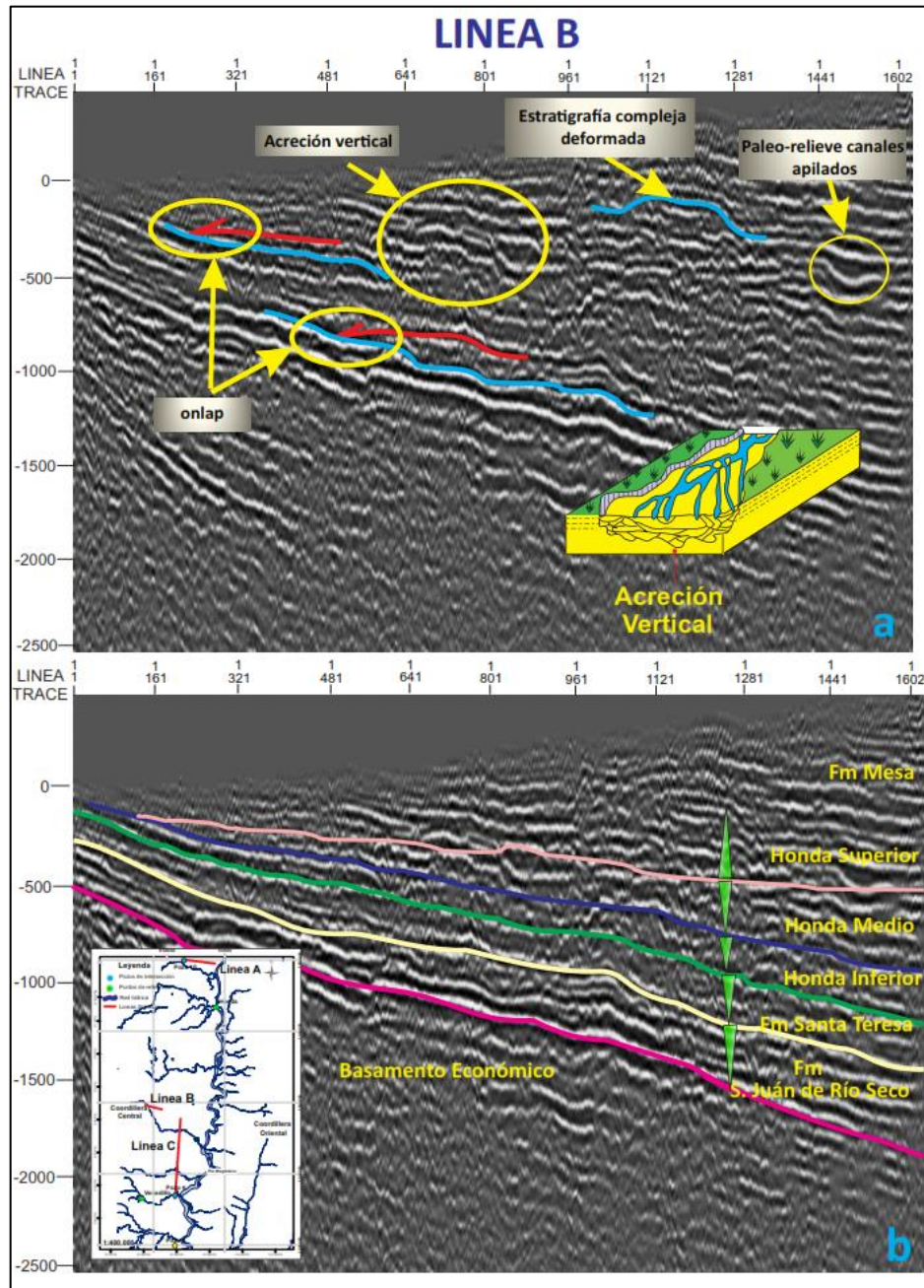


Figura 32. Línea B, en a) Comportamiento sísmico estratigráfico de las unidades definidas en este estudio con sus respectivos ciclos b) Eventos estratigráficos.

Línea C: Esta línea atraviesa el área de estudio en sentido Norte – Sur, la cual se correlaciona con la información del Pozo 10. La Figura 33 a presenta la Línea C sin interpretar, en la Figura 33b se presenta la interpretación estratigráfica de la secuencia, la cual inicia de base a tope con el basamento, la cual es suprayacida por las formaciones: San Juan de Río Seco, Santa Teresa y Grupo Honda. Hacia la base de esta última formación se resalta en color rosado el reflector que representa un periodo de erosión de la cuenca. De Norte a Sur se aprecia engrosamiento de la secuencia y levantamiento de la secuencia, este comportamiento de la secuencia se corrobora con los resultados obtenidos por Nuñez (2001), quien documentó estas formaciones hacia el sur del área de estudio y encontró que los espesores del grupo Honda pueden variar desde 1200 m en la localidad de Natagaima y disminuir hasta 112 m en el Carmen de Apicala.

Según la interpretación de los patrones de reflexión se obtuvo que el tipo de terminación de reflexión asociado a los límites de esta unidad en sentido Norte – sur es el subparalelo, internamente existen 2 patrones dentro de la unidad, como son principalmente: el interrumpido en casi toda la extensión de la línea y el ondulado que aumenta hacia la zona sur, en cercanías del Pozo 10 (Figura 33c), este comportamiento se puede atribuir al aumento en el espacio de acomodación, conllevando a ambientes de mayores pendientes y mayor energía para el desarrollo de los ambientes fluviales que allí se desarrollaron, en zonas localizadas se observa cierto paralelismo de las capas.

Hacia la base de la secuencia en el contacto del basamento con la Formación San Juan de Río Seco las capas hacen *onlap* en sentido sur – norte, mientras que hacia la base y parte media del Grupo Honda las terminaciones en *onlap* ocurren en sentido norte – sur, también ocurre apilamiento de los canales producto muy probablemente del aumento de la pendiente hacia la zona sur. En cuanto a la forma externa de las unidades, ésta puede variar entre lentes y capas, como resultado de periodos de mayor quietud donde se depositaron las unidades respecto a las líneas A y B.

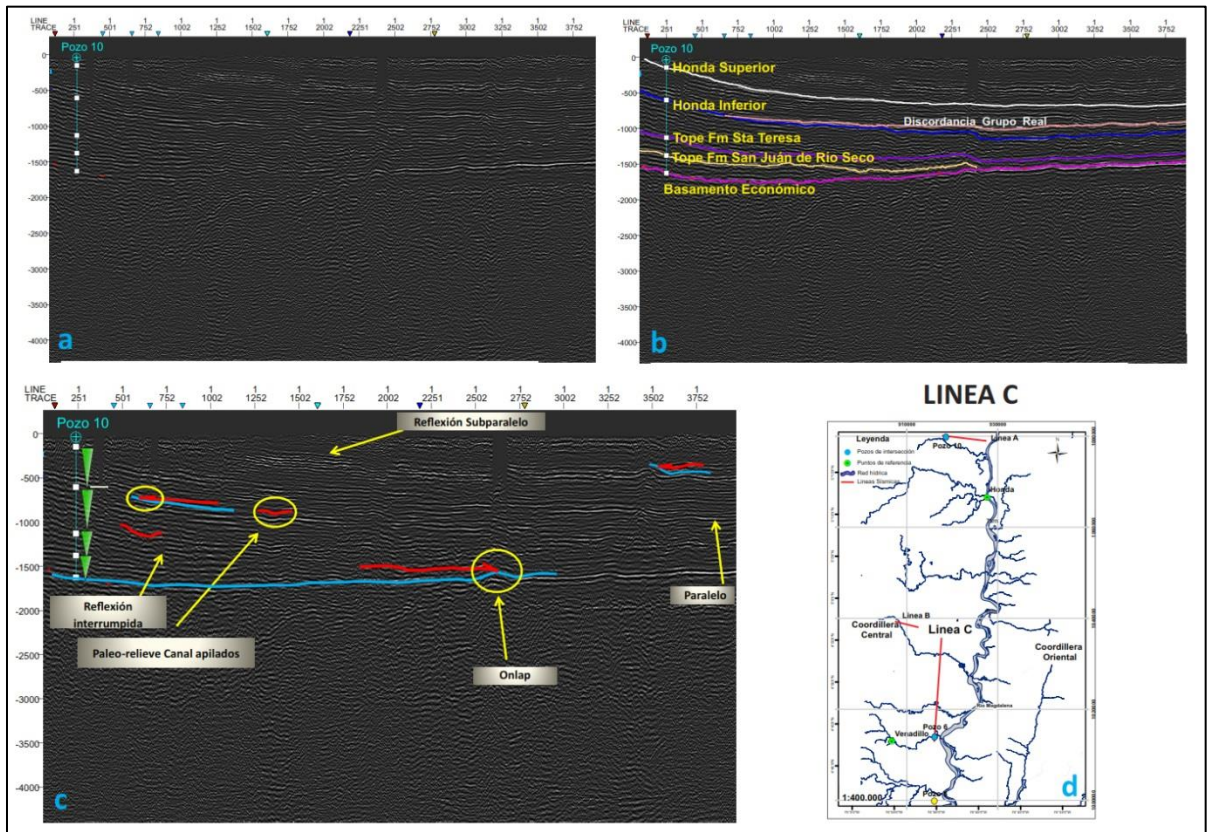
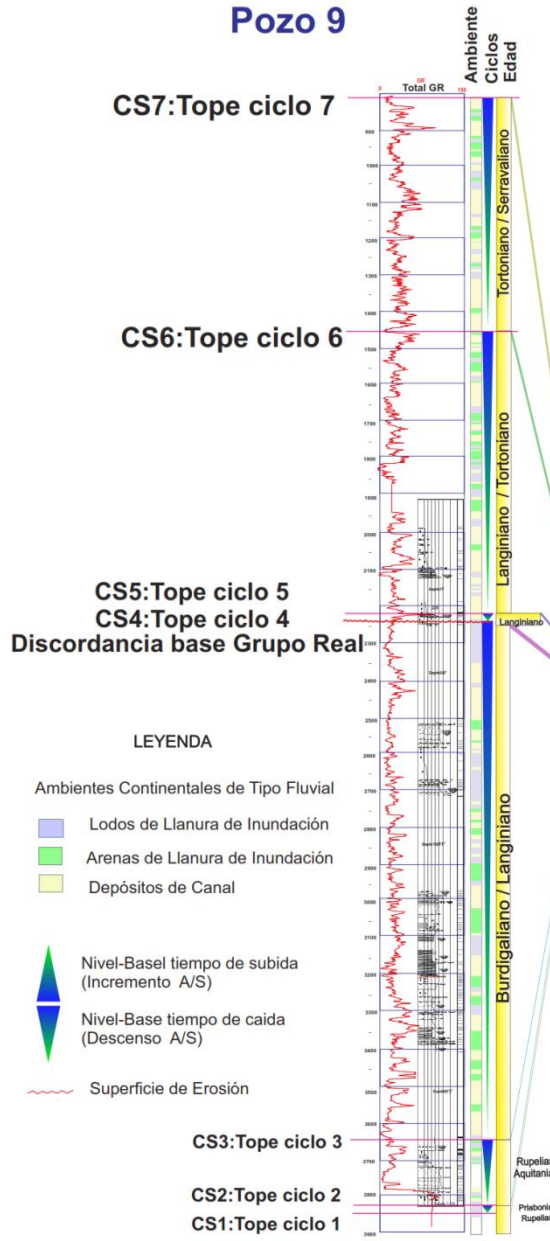


Figura 33. Línea C, en a) Línea sin interpretar, en b) Comportamiento sísmico estratigráfico de las unidades definidas en este estudio, en c) Comportamiento sísmico estratigráfico de las unidades con sus respectivos ciclos d) Mapa de ubicación de la línea N - S.

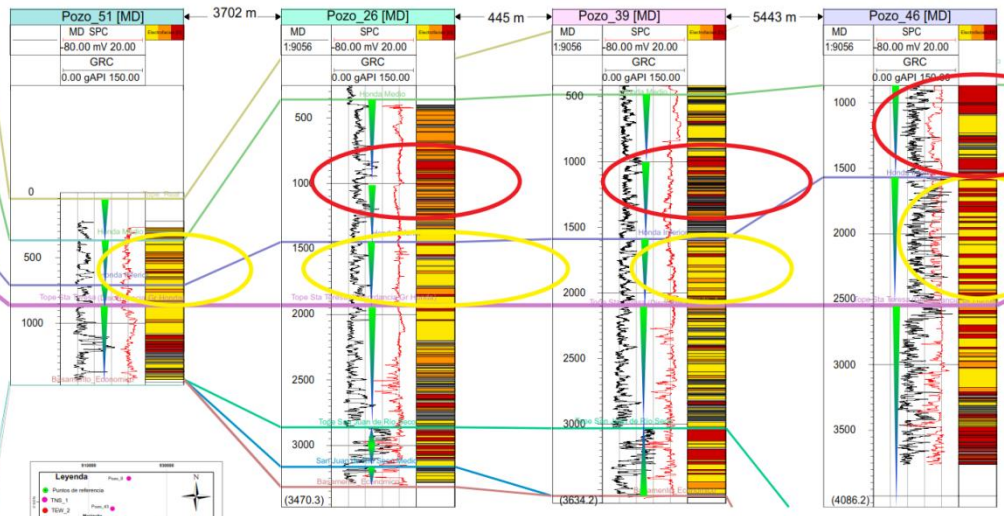
5.1.6 Generación del Marco Cronoestratigráfico:

El marco Cronoestratigráfico se elaboró a partir de la información de las correlaciones estratigráficas (Anexo E), información existente del área y la carta cronoestratigráfica preliminar (Figura 34).

Pozo 9



CORRELACIÓN TEW_2



Depósitos de Lodos de llanura de inundación

Depósitos de Canales

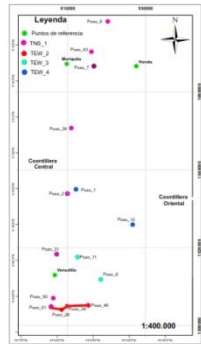
Honda Medio

Honda Inferior

Tope Sta Teresa (Discordancia Gr Honda)

LEYENDA

- Ambientes Continentales de Tipo Fluvial
 - Lodos de Llanura de Inundación
 - Arenas de Llanura de Inundación
 - Depósitos de Canal
- Nivel-Base tiempo de subida (Incremento A/S)
- Nivel-Base tiempo de caída (Descenso A/S)
- Superficie de Erosión



CS3:Tope ciclo 3

CS2:Tope ciclo 2

CS1:Tope ciclo 1

Figura 34. Cronoestratigrafía y correlación estratigráfica TEW_2 para el área comprendida entre la localidad de Mariquita y Venadillo.

Para la elaboración del marco cronoestratigráfico se identificaron las superficies con sus respectivos períodos de depositación y su continuidad en el tiempo junto a los eventos erosivos en el área. Con el fin de tener un control en la distribución areal se utilizaron principalmente los pozos de la Tabla 6.

El marco cronoestratigráfico del área de estudio se caracteriza por presentar un evento erosivo identificado en la parte media de los pozos 51, 26, 39 y 46 (Figura 34), el cual divide en dos la secuencia, el primero corresponde a las unidades que varían en edad desde el Eoceno Tardío hasta comienzos del Mioceno, en él se incluyen las formaciones San Juan de Río Seco y Santa Teresa, las cuales según la interpretación sísmica tienen un comportamiento en general en *onlap* hacia el oeste donde se encuentra la Cordillera Central, lo cual hace pensar que existió cierta estabilidad de la Cordillera Central durante este periodo de tiempo siendo afectada únicamente por erosión y subsidencia de la cuenca; o muy probablemente la elevación de la Cordillera fue contrarrestada por la intensa erosión a la que fue sometida (Olaya, I., *et al.*, 2001). Este evento de depositación de dicha secuencia se caracteriza por presentar ambientes de tipo fluvial con depósitos de canal, lodos de llanura de inundación, y más esporádicamente arenas de llanura de inundación (Figura 34).

La segunda secuencia la conforman rocas de edad Mioceno - Plioceno, hasta la actualidad (Grupo Honda y Formación Mesa). Durante este periodo continuó la actividad tectónica de la Orogenia Andina, mostrando una Cordillera Central con continuos pulsos de ascenso, propiciando un basculamiento del VMM, evidenciado en las fuertes truncaciones hacia el oeste (Gómez, *et al.*, 2003). Dicha secuencia también estuvo afectada por la actividad tectónica que sufrió la Cordillera Oriental durante esta época, responsable de las terminaciones en *onlap* hacia el este de la cuenca. La depositación durante estos eventos se caracteriza por presentar ambientes de tipo fluvial con depósitos de canal y lodos de llanura de inundación (Figura 34).

5.1.7 Mapeo estratigráfico

Se elaboraron mapas por espesor y porcentaje de facies correspondiente a cada ambiente de depósito para cuatro (4) de los siete (7) ciclos identificados que corresponden (Anexo F). Las facies comprenden Arenas de Canal, Arenas de llanura de inundación y Lodos de llanura de inundación, correspondientes a las electrofacies interpretadas en todos los pozos del área comprendida entre Mariquita y Venadillo.

Los mapas se elaboraron utilizando el software Petrel 2010.2, donde se introdujo la información de electrofacies ordenadas por tablas y las superficies de correlación (SC) las cuales se utilizaron como topes estratigráficos.

A continuación se presentan los mapas de base a tope para las superficies

Superficie de correlación SC-2:

Dicha superficie de correlación corresponde a la Formación San Juan de Río Seco Medio y se encuentra parcialmente corazonada en el Pozo 8. La superficie de correlación SC-2 descansa discordantemente con la Superficie de correlación SC-1 (Basamento Económico) y en contacto transicional en la suprayacente con la superficie de correlación SC-3 (Tope San Juan de Río Seco).

Ésta superficie sólo se encuentra reportada hacia el este de la zona mientras que hacia el oeste de los pozos 47, 48 y 49, se acuña, siendo la superficie con menor distribución areal.

Según la interpretación de electrofacies y posterior generación de mapas de espesor de facies para esta superficie de correlación muestra que las facies de arenas de canal tienen tendencia de engrosamiento hacia el sur del Pozo 12 y relativamente menos en los pozos 47, 48 y 49 hacia el suroeste, indicando porcentajes aproximados entre 40% y 60%. (Figura 35)

En el caso de las facies de arenas de llanura de inundación estas facies evidencian mayores espesores en las inmediaciones del Pozo 12 y hacia el este de los pozos 47, 48 y 49 con un porcentaje aproximado de 35-40% (Figura 35).

Las facies de lodos de llanura de inundación se engruesa hacia el este de los pozos 47, 48 y 49 y sur del Pozo 6, en donde se interpolan porcentajes intermedios para esta facies (Figura 35).

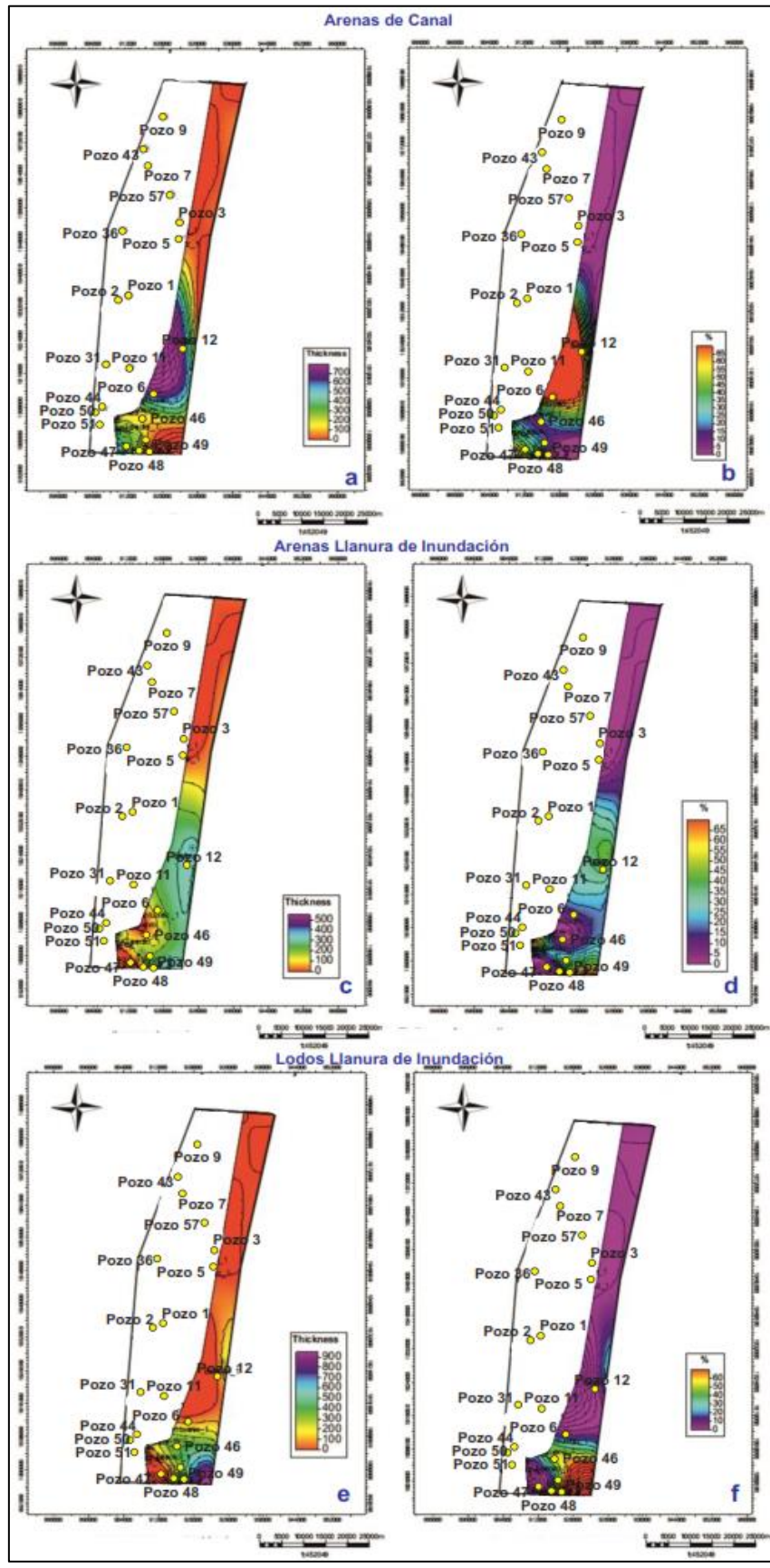


Figura 35. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-2. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.

Lo cual propone que las facies de canal se ubican en la parte central del área (sur del Pozo 12), las arenas de llanura al sureste (este de los pozos 47, 48 y 49) y los lodos de llanura de inundación al sur (este de los pozos 47, 48, 49 y sur del Pozo 6) del área de estudio.

Superficie de correlación SC-3:

Esta superficie se refiere al tope de la Formación Tope de la Formación San Juan de Río Seco y se encuentra parcialmente corazonada en los pozos 43 y 5, presenta contacto transicional infrayacente con la superficie de correlación SC-2 (San Juan de Río Seco Medio) y se muestra principalmente al este del área, mientras tanto hacia el oeste del área la superficie de correlación SC-3 presenta contacto infrayacente discordante con el Basamento (SC-1), mientras que en la suprayacente presentan contacto transicional a discordante con la superficie de correlación SC-6 (Formación Santa Teresa). Debido a esto se realizan dos polígonos diferentes para la generación de mapas de espesor y porcentajes de facies cubriendo arealmente los pozos que presentan el mismo contacto infrayacente.

Mediante la realización de mapas se puede observar que las facies de Arenas de Canal presentan un engrosamiento hacia el sur del Pozo 12 y al este de los pozos 47, 48 y 49, mostrando porcentajes representativos en el Pozo 6 y hacia el sur del Pozo 43 expresan buenos porcentajes aunque no muestra mayores espesores (Figura 36). Generalmente se aprecia una geometría que sugiere cinturones de canales en dirección sureste.

Las facies correspondientes a Arenas de llanura de Inundación muestran mayores tendencias de incremento en los espesores hacia el sureste de los pozos 1 y 2, y exhibe porcentajes aproximados de 35% a 40% del total del espesor (Figura 36). Generalmente estos depósitos se muestran geometrías lobulares.

Por otro lado la facies de lodos de llanura de inundación manifiesta tendencias de aumento de espesores en dirección sureste de los pozos 1 y 2, y al sur del Pozo 6, indicando un porcentaje aproximado de 40 % en la totalidad del espesor (Figura 36). Se presentan lóbulos con buenos porcentajes de esta facies en donde no hay mayores expresiones del espesor.

Lo cual propone que las facies de canal se ubican en la parte sureste del área (sur del Pozo 12, este de los pozos 47, 48 y 49), las arenas de llanura al central del área (Pozo 12) y los lodos de llanura de inundación al sureste del área de estudio (este de los pozos 47, 48, 49 y sur del Pozo 6).

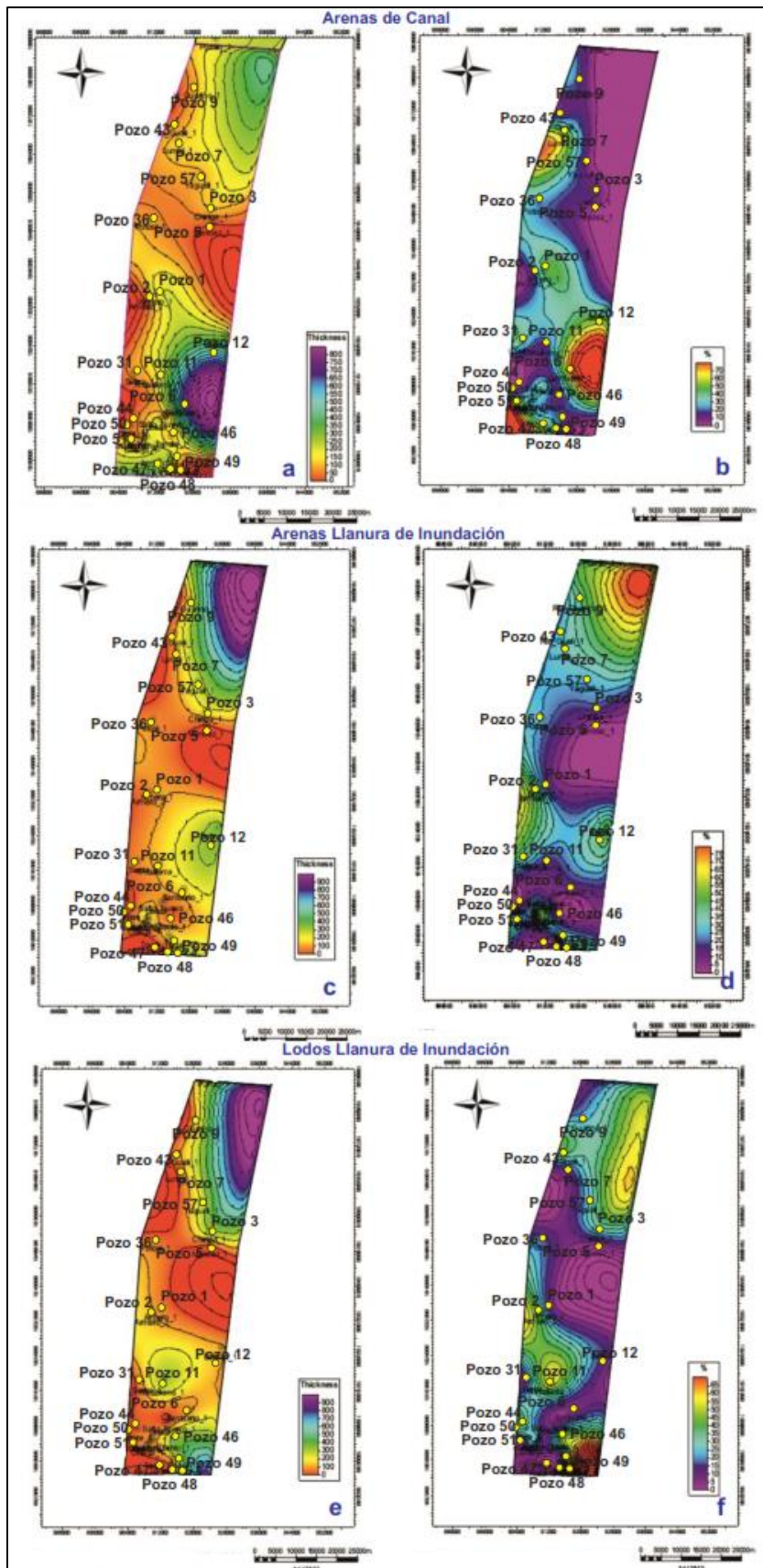


Figura 36. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-3. En a, c, e) Mapas de espesor para cada

depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.

Superficie de correlación SC- 4:

Esta superficie de correlación concuerda con la Formación Santa Teresa y se encuentra parcialmente corazonada en los pozos 9 y 5. Esta superficie se considera la que tiene mayor distribución en el área estudiada, en donde presenta contactos transicional a discordante con la infrayacente superficie de correlación SC3 (Formación San Juan de Río Seco) y discordante hacia la suprayacente con la superficie de correlación SC-4 (Discordancia Grupo Honda). Se asume esta superficie como el tope de la Formación Santa Teresa que a su vez representa la discordancia de la base Grupo Honda.

Mediante la interpretación de electrofacies y generación de mapas de espesor para las facies de Arenas de Canal hay engrosamiento de estas facies hacia el sur y este de los pozos 12 y 11 respectivamente, exhibiendo moderados porcentajes (40% a 50%) desde el Pozo 43 en sentido sureste pasando por los pozos 1 y 6 (Figura 37).

Por otra parte las facies de arenas de llanura de inundación estos depósitos muestran una tendencia más espesa en las cercanías del Pozo 12, con porcentajes aproximados de 35%, igualmente que para las inmediaciones del Pozo 43 y los pozos 1 y 2 en donde los espesores no son tan significativos (Figura 37). Generalmente estos depósitos se muestran lobulares en el mapeo.

Las facies de lodos de llanura de inundación exhiben mayores espesores hacia el sureste de los pozos 1 y 2, pasando por el Pozo 11 señalando porcentajes considerables, así como también en los pozos 9 y 43 (Figura 37).

Lo cual propone que las facies de canal se ubican en la parte más al sureste del área (sur del Pozo 12, este del Pozo 11), las arenas de llanura en la parte sureste (Pozo 12) y los lodos de llanura de inundación en la parte central del área de estudio (sureste de los pozos 1 y 2, Pozo 11).

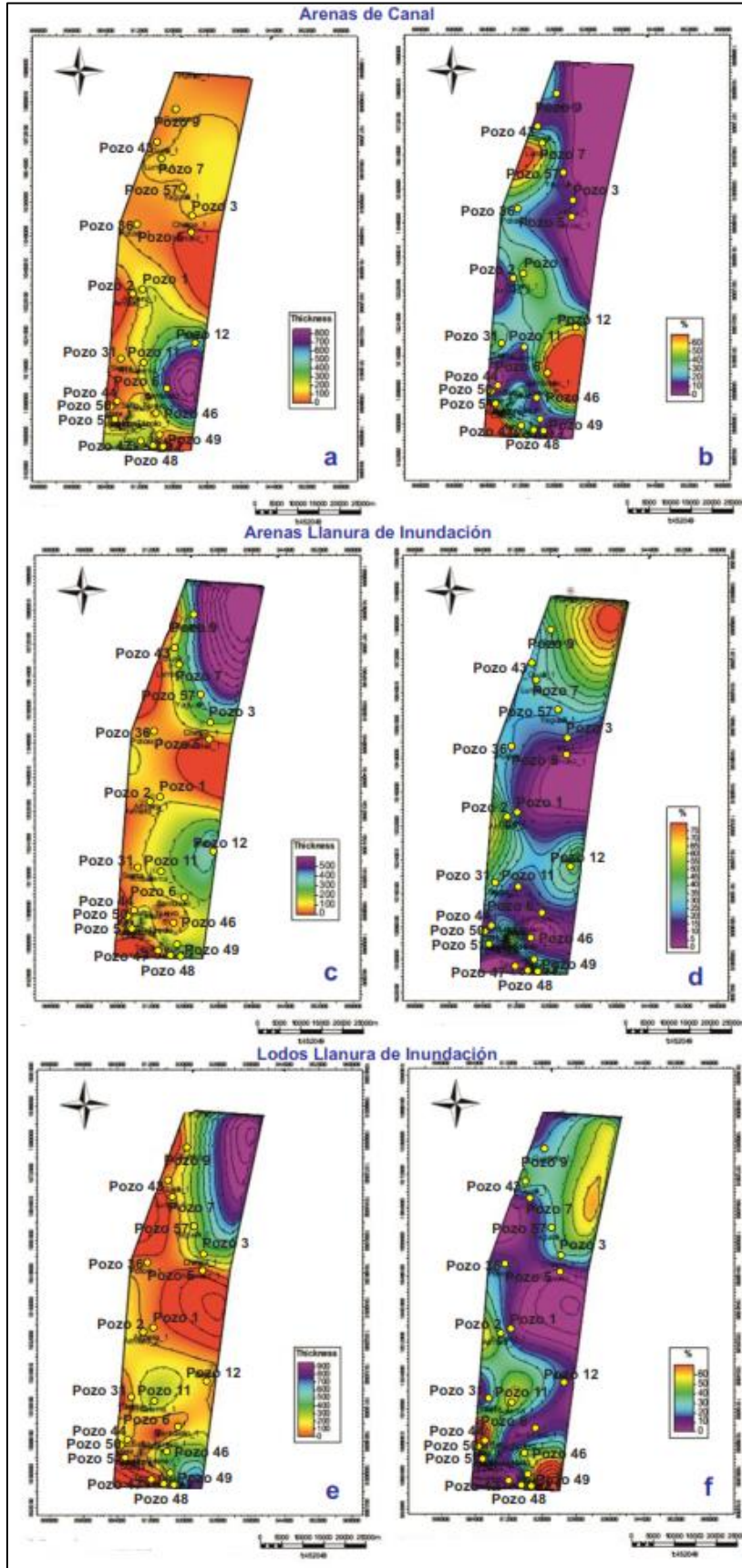


Figura 37. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-4. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.

Superficie de correlación SC-7:

Esta superficie de correlación hace referencia al tope del Grupo Honda y se encuentra parcialmente corazonada en los pozos 9 y 5, presenta contacto discordante en la infrayacente con la superficie de correlación SC-4 (Tope Formación Santa Teresa-Discordancia Grupo Honda) y en la suprayacente con la Formación Mesa o depósitos Cuaternarios.

Por medio de la interpretación de electrofacies y posterior generación de mapas de facies se determina que las facies de arenas de canal indican mayores tendencias de engrosamiento hacia el sureste mostrando porcentajes entre 50 y 60% en las inmediaciones de los pozos 1, 7 y hacia el sur del pozo 12 (Figura 38).

Por otra parte las facies de arenas de llanura de inundación presentan mayores espesores hacia el este del pozo 1 y alrededor del Pozo 12 exhibiendo porcentajes de 35 % sobre el total del espesor de la superficie en dirección sur del Pozo 9 y sobre los alrededores del Pozo 12 (Figura 38).

Mientras tanto las facies de lodos de llanura de inundación se presentan con mayor frecuencia en los alrededores del Pozo 1 y hacia el sur del Pozo 6, indicando porcentajes aproximados de 40% en dirección sureste desde el Pozo 1 hasta el Pozo 11 (Figura 38).

Lo cual sugiere que las facies de canal se ubican en la parte que abarca de centro a norte del área (al rededores del pozos 1 y 7, y sur del Pozo 12), las arenas de llanura de inundación al sureste del área (Pozo 12) y los lodos de llanura de inundación en la parte centro - sur del área de estudio (entre los pozos 1 y 11).

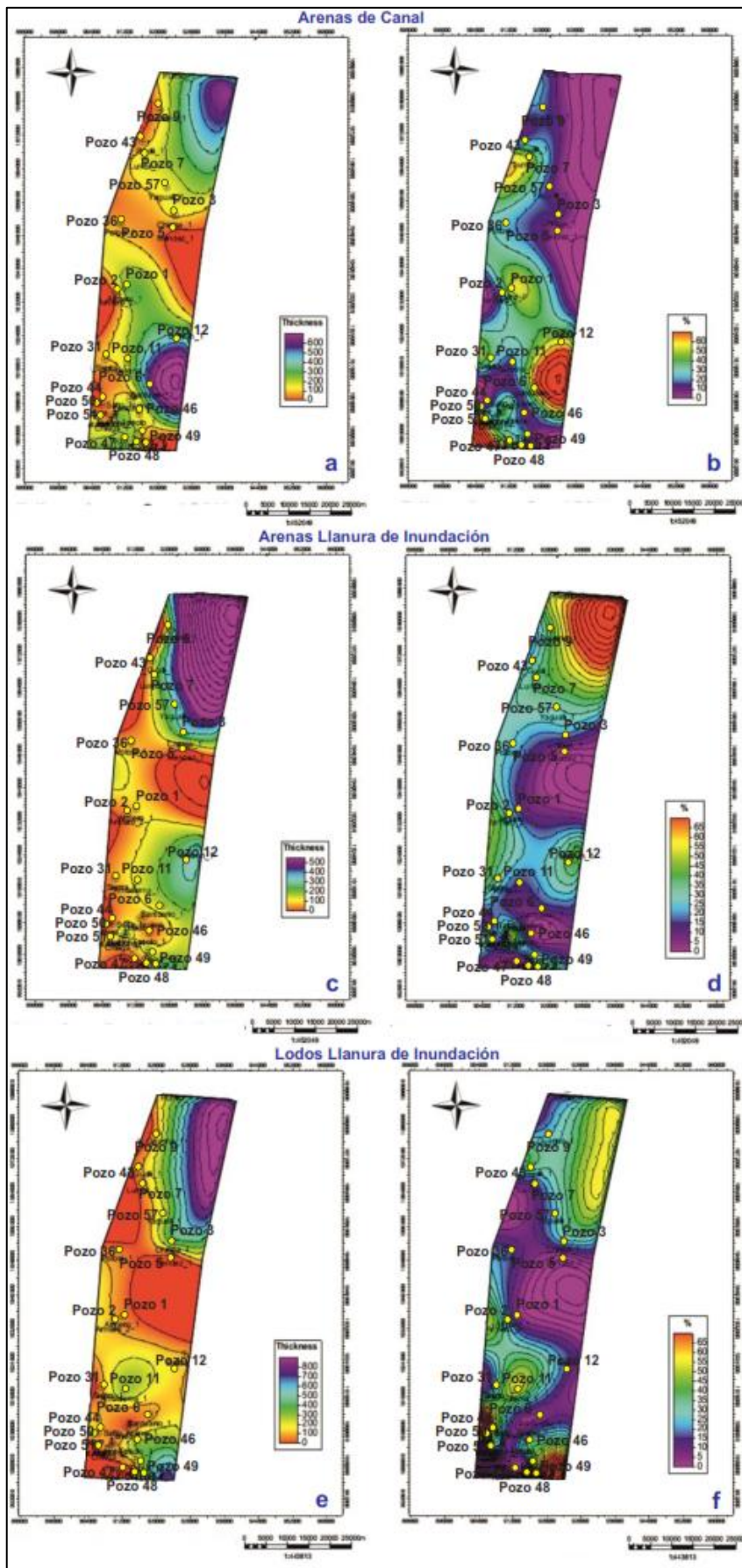


Figura 38. Mapas de espesor y porcentaje de facies para la superficie de correlación SC-7. En a, c, e) Mapas de espesor para cada depósito, en b, d, f) Porcentaje de facies para cada depósito.

5.2 Medición de Paleocorrientes

El estudio de paleocorrientes en la sucesión Cenozoica del sector sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, permitió establecer la dirección y sentido del transporte de los sedimentos en depósitos fluviales, como también la ubicación y composición de las áreas de aporte y su variación a través del tiempo; elementos necesarios para la reconstrucción paleogeográfica de cuencas sedimentarias.

El análisis de paleocorrientes integró dos metodologías de medición; una en superficie y la otra en subsuelo, utilizando registros dipmeter. A partir de estos resultados se obtuvo un modelo de paleocorrientes para la secuencia comprendida entre el Eoceno Superior – Plioceno Inferior (formaciones; San Juan de Rio Seco, Santa Teresa, Grupo Honda y Fm Mesa). Los resultados arrojaron como principal fuente de aporte a la cuenca, la ancestral Cordillera Central para la secuencia sedimentaria, excepto durante dos periodos; Mioceno Inferior (Formación Santa Teresa) y Mioceno Superior (Honda Superior) donde la fuente de aporte cambia de la ancestral Cordillera Central a la Cordillera Oriental.

Estas variaciones en las direcciones de los paleoflujos probablemente están asociadas con los primeros pulsos de levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Mioceno Inferior y Superior. Sin embargo la abundancia de materiales ígneos y metamórficos indican que la Cordillera Central continuo su actividad, aportando material a las formaciones depositadas durante estos periodos.

La recolección de la información de campo se realizó en cercanías a los municipios de Mariquita, Honda, Armero y caseríos de Armero-Guayabal, Lérída, Cambao y Méndez (Figura 39). Aunque en el área existe poca exposición de roca, los sectores donde se encontraron los mejores afloramientos del Grupo Honda con estratificación cruzada en artesa están localizados por la vía Honda-Bogotá y Mariquita-Méndez (Figura 39), rutas en rojo y amarillo respectivamente).

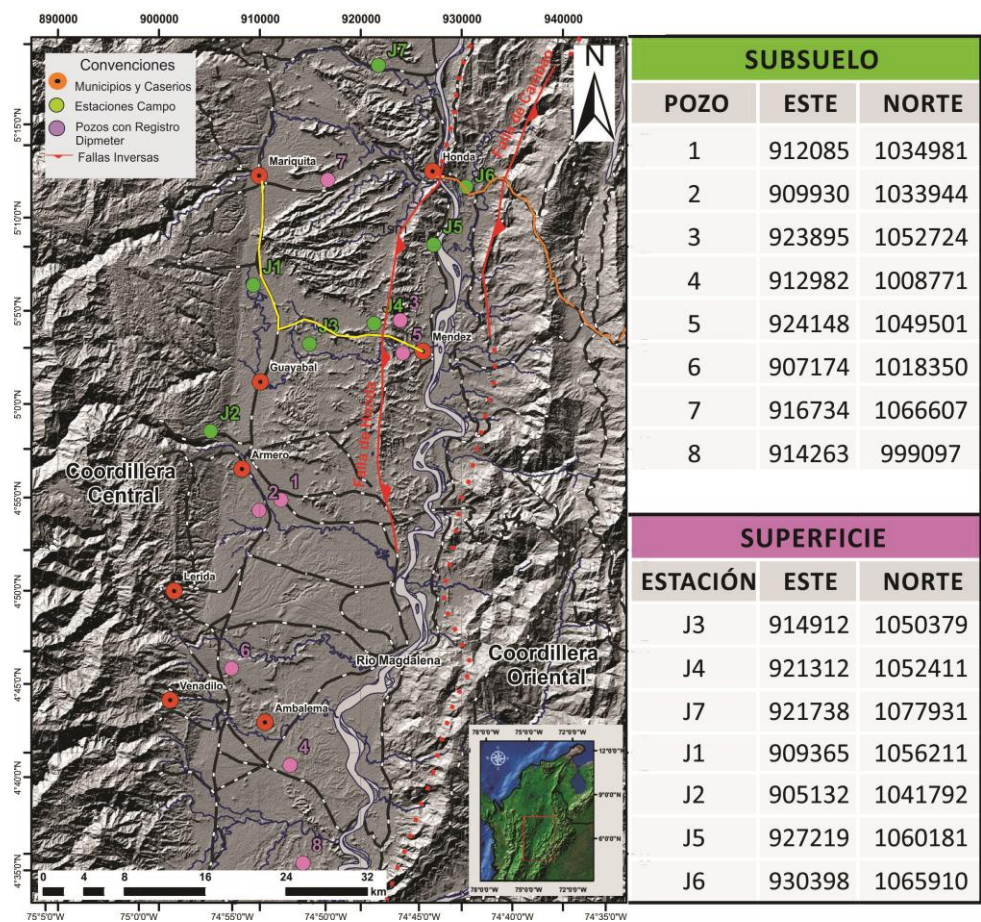


Figura 39. Mapa de ubicación con estaciones de paleocorrientes en campo (Verde) y pozos con registros de dipmeter (Morado), y Tablas con coordenadas, área Mariquita Tolima Colombia. En naranja y amarillo, rutas con las mejores exposiciones de roca.

La secuencia sedimentaria es atravesada por ocho (8) pozos perforados en esta área, mientras que en campo solo se evidencian la Fm Mesa que aflora hacia la parte Central del área y la parte inferior del Grupo Honda, el Honda Medio y Superior se encuentran erodados hacia el Oeste de la zona, único lugar donde se expone el Honda Inferior ocurriendo pinchamiento de toda la secuencia. De los ocho (8) pozos perforados únicamente tres (3) presentan algunos pies corazonados, en los cuales se hizo identificación de facies basados en el estudio de Olaya, I., *et al* (2001)

A partir del estudio de paleocorrientes en superficie y en subsuelo se deducen cambios importantes en la paleogeografía de las áreas fuente de sedimentos para la secuencia, en las tablas 7 y 8 se presentan los resultados estadísticos de las paleocorrientes en subsuelo y superficie respectivamente donde se obtuvo; para la

Formación San Juan de Rio Seco, no aflorante en superficie se evaluaron los paleoflujos a partir de los datos de subsuelo donde se encontró un valor medio de la paleocorriente de 61° azimut y una consistencia de 0.42 con poca dispersión (Tabla 7), lo cual sugiere como fuente de suministro de sedimentos para esta unidad la Cordillera Central. Posteriormente se depositó la Formación Santa Teresa, para esta época ocurrió un cambio significativo en el área fuente de sedimentos donde se obtuvo un valor medio del paleoflujo de 321° azimut y una consistencia de 0.43 (Tabla 7), con una dirección de la paleocorriente noroeste Siendo la principal fuente de aporte la Cordillera Oriental. Este evento es asociado posiblemente con los primeros pulsos de levantamiento de la Cordillera Oriental.

Tabla 7. Resultados estadísticos de las direcciones de paleocorrientes medidas en subsuelo en la zona a partir de los registros Dipmeter, Valor de la media del vector promedio (media en azimut y grados) y su relación de consistencia (CR).

Formación	Número de pozos	Número total de medidas	1		2		3		4		5		6		7		8		Total de medidas por Formación		Diferencia de ángulo entre las Formaciones	
			Media	CR	Media	CR	Media	CR	Media	CR	Media	CR	Media	CR	Media	CR	Media	CR	Media	CR		
Neogeno	Mesa	1	9	-	-	-	-	16,57	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,56	0,990	
	Honda Superior	2	86	309,5	0,81	-	-	33,07	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	351,00	0,745	24,00
	Honda Medio	6	369	266,4	0,89	-	-	218,7	0,46	163,2	0,68	71,677	0,48	10,4	0,266	68,24	0,84	-	-	103,09	0,123	112,00
	Honda Inferior	5	310	295,6	0,85	90,71	0,4	187	0,71	141,7	0,38	-	-	-	-	65,21	0,95	-	-	60,00	0,355	43,00
	Santa Teresa	8	1561	264,8	0,19	84,43	0,7	316,5	0,8	281,2	0,4	89,54	0,65	226,9	0,199	54,5	0,81	312,1	0,4	321,00	0,513	99,00
Paleogeno	San Juan de Rio Seco	8	765	233,1	0,63	70,62	0,8	57,39	0,11	207	0,29	72,931	0,79	346,2	0,138	51,29	0,87	70,628	0,44	52,00	0,422	91,00

Tabla 8. Resultados estadísticos de las direcciones de paleocorrientes medidas en superficie en la zona, Valor de la media del vector promedio (medida en azimut y grados) y su relación de consistencia (CR).

Formación	Punto	Este	Norte	Paleocorrientes		Media Paleocorriente	CR por Formación
				Rumbo	Buzamiento		
Fm Mesa	J3	914912	1050379	36	18	44	0,3
	J4	921312	1052411	93	1		
	J7	921738	1077931	266	3		
Gp Honda Inferior	J1	909365	1056211	0	13	351	0,95
	J2	905132	1041792	13	12		
	J5	927219	1060181	334	9		

	J6	930398	1065910	329	20		
--	----	--------	---------	-----	----	--	--

CR=Relación de consistencia

Tabla 9. Resumen de paleodirecciones para la secuencia sedimentaria.

Formación			Paleocorrientes Dipmeter (Grados)		Paleocorrientes Campo (Grados)	
Neogeno	Mioceno	Mesa	16	↗	44	↗
		Honda Superior	351	↖		
		Honda Medio	103	→		
		Honda Inferior	60	↗	169	↘
		Santa Teresa	321	↖		
Paleogeno	Oligoceno	San Juan de Rio Seco	61	↗		
	Eoceno					

Esta variación puede ser comparable con lo propuesto por Guerrero J. (1997), quien describe a partir del estudio de paleocorrientes en el área de Villavieja (al sur del área de estudio), que el levantamiento de la Cordillera Oriental ocurrió hace 12.9 a 11.8 Ma.

Para la Formación Honda Inferior los datos tomados en afloramiento y los de subsuelo arrojaron un valor de la media total 113° azimuth (Tabla 10) y una consistencia baja de 0.35, con fuente de aporte de sedimentos asociada a la Cordillera Central.

Tabla 10. Integración de resultados de paleodirecciones para las fms Mesa y Honda Inferior.

Formación	Número de pozos	Medidas en subsuelo	Medidas en superficie	Pelodirección por Formación (Θ)
Mesa	1	9	3	30
Real Inferior	5	310	4	113

Por otra parte Guerrero (1997) también concluyó que la depositación del Honda Inferior inicio durante una fase intensa de actividad volcánica y tectónica de la Cordillera Central, resultados que coinciden con el análisis estadístico de paleocorrientes del presente estudio (Tabla 7) donde las paleodirecciones indican su procedencia de la Central. Hettner (1892) tal vez fue el primero en proponer como fuente de aporte para el Honda Inferior a la ancestral Cordillera Central (De Porta J., 1966), basándose en el carácter arcósico de las areniscas, probablemente derivadas de la desintegración de las rocas ígneas asociadas a la Cordillera Central, información que también se corrobora con los datos de campo

donde se encontró predominancia de material volcánico, clastos ígneos y metamórficos provenientes muy probablemente de la Cordillera Central (Figura 40).

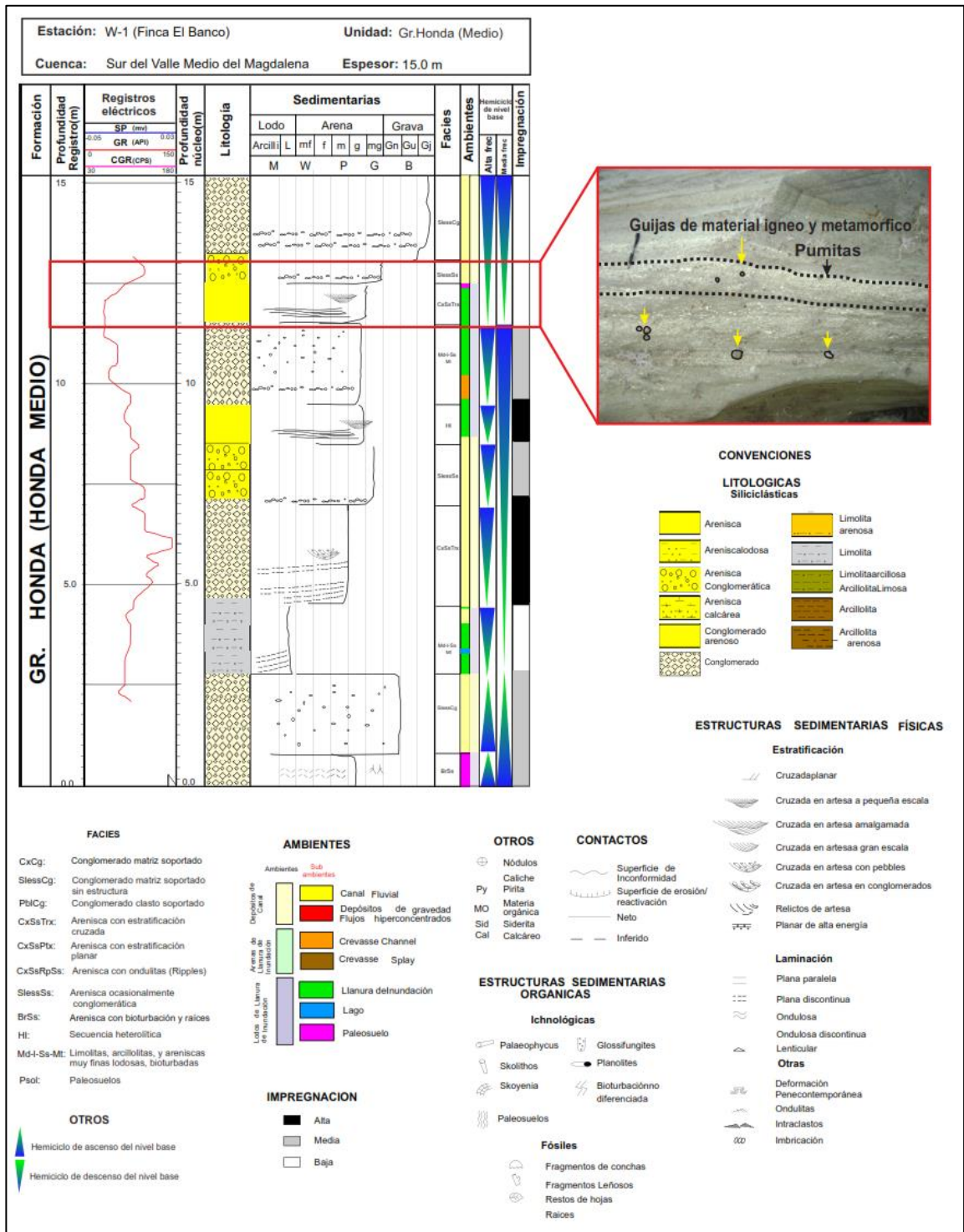


Figura 40. Columna estratigráfica estación W_1, donde se muestra el aporte de material ígneo-metamórfico proveniente de la Cordillera Central para la Formación Honda.

La Formación Honda Medio (Mioceno Medio) según el análisis estadístico de paleocorrientes tiene una paleodirección sureste de 103° azimut, con una consistencia baja de 0.123, que al igual que el Honda Inferior probablemente su fuente de aporte es la ancestral Cordillera Central. Posteriormente se depositó la Formación Honda Superior con una paleodirección de 351° azimut, en este caso la diferencia de los ángulos de la Formación Honda Medio y Superior es de 112° (Tabla 7) lo cual sugiere una disminución abrupta en el aporte de materiales volcánicos de la Cordillera Central y una nueva fuente de aporte a la cuenca (De Porta J., 1966) proveniente de la Cordillera Oriental, esto implica un nuevo pulso de levantamiento, teniendo en cuenta que el principal pulso se dio después del Mioceno (Gómez, *et al.*, 2003).

Por último se analizó la Formación Mesa, la cual cambia su fuente de aporte de sedimentos, de la Cordillera Oriental pasa nuevamente a la ancestral Cordillera Central. El análisis estadístico arrojó alta relación de consistencia de 0.99 y una dirección media de paleocorriente para esta formación de 30° azimut y (Tablas 7 y 10).

Los resultados de paleocorrientes indican que hubo cambios significativos en la paleogeografía de las áreas de aporte de los sedimentos para cada formación de la secuencia sedimentaria. Estos cambios obedecen posiblemente a los primeros pulsos de ascenso de la Cordillera Oriental durante el Mioceno Inferior (Formación Santa Teresa) y Mioceno Superior (Honda Superior) según el análisis estadístico de las paleocorrientes. Se interpreta que la Cordillera Central pudo ser la principal fuente de sedimentos seguida por la Cordillera Oriental, las cuales presentaron levantamientos relativos con tasas de sedimentación fuertes y subsidencia, en una cuenca aparentemente muy activa tectónicamente (Guerrero, 1997).

6. DISCUSIÓN

6.1 Mapas Paleoambientales

Para comprender la configuración de la secuencia sedimentaria del área comprendida entre las localidades de Mariquita y Venadillo, se realizó la evolución del área desde el Maastrichtiano – Paleoceno; Eoceno-Oligoceno, Mioceno Inferior, Mioceno Medio, Mioceno Superior – Plioceno, a continuación se explica la evolución de cada época basados en la información obtenida en el presente estudio (Anexo G).

6.1.1 Maastrichtiano-Paleoceno

Para comprender la configuración de la secuencia sedimentaria del área comprendida entre las localidades de Mariquita y Venadillo, se realizó la evolución del área desde el Maastrichtiano – Paleoceno basados en información existente debido a que los pozos perforados en la zona no reportan información para este periodo.

Durante este espacio de tiempo la cuenca estuvo sometida a un evento tensional que produjo fallas de tipo normal que buzaban hacia el este y afectaron las rocas desde el basamento hasta las depositadas en el Paleoceno (Acosta y Obando, 1984). Finalizando esta época la cuenca atraviesa por un periodo de levantamiento regional de la ancestral Cordillera Central (produjo la retirada del mar), erosión (discordancia del VMM) y acumulación de material a la cuenca, depositados en forma de deltas (Formación Cimarrona) los cuales progradan hacia el este de la cuenca, depositándose en un ambiente aluvial, deltas, planicies costeras (Gómez, *et al.*, 2003) y más hacia el centro de la cuenca el tipo de ambiente es litoral a sublitoral (Pérez y Salazar, 1973) en (Figura 41, Anexo 7).

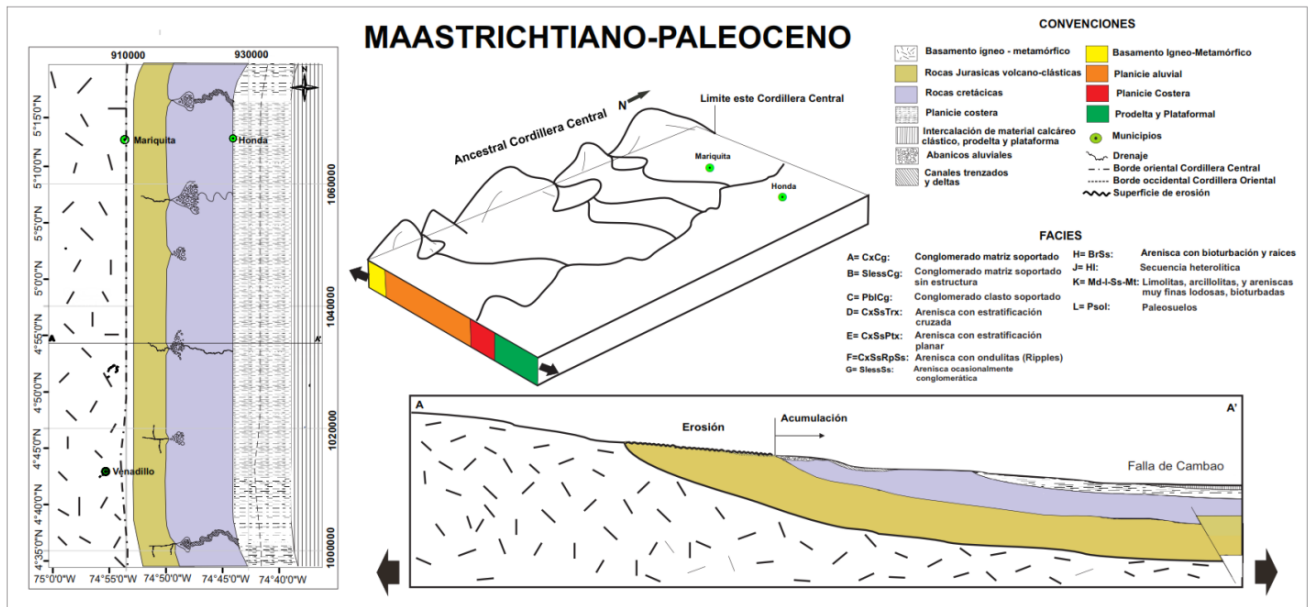


Figura 41. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir de información existente de la cuenca durante el Maastrichtiano – Paleoceno.

6.1.2 Eoceno –Oligoceno

La evolución paleoambiental del presente periodo se hizo basada en las características sedimentarias identificadas en la Formación San Juan de Río Seco, la cual se encuentra parcialmente corazonada, en los pozos 8 y 9 (Figura 42). En gran parte del área de estudio se ha perforado la Formación San Juan de Río Seco por pozos sin corazonar, donde se tomó la información de registros eléctricos para su estudio.

El criterio fundamental para definir la Formación San Juan de Río Seco fue su respuesta ante los registros (SP y *gamma-ray*) los cuales presentan un decrecimiento en el valor de la curva de GR e incremento en sus valores (SP) con respecto a la Formación Santa Teresa. Esta unidad (Formación San Juan de Río Seco) presenta en general un engrosamiento hacia el sureste del área correlación TEW_2 (pozos 51, 26 y 39, Figura 23), TEW_3 (pozos 31, 11, y 26, Figura 25) y TEW_4 (pozos 1, 2 y 12, Figura 24) y adelgazamiento hacia el suroeste del área correlación TNS_1 (pozos 2, 9, 7, 36 y 43, Figura 22).

Durante este periodo un evento compresivo controló el comportamiento de la cuenca y dio inicio a la deformación de la Cordillera Oriental desplazando su límite oeste hacia el occidente, al igual que el de la Cordillera Central (en la Figura 42 se toman los límites de las Cordilleras del trabajo de Gómez., *et al.*, 2003), bloqueando de esta manera los drenajes provenientes de la Cordillera Central y

los desvió hacia el norte (Acosta y Obando, 1984). Este comportamiento de los paleoflujos se evidencio a partir del modelo de paleocorrientes obtenido de los registros de *dipmeter*, el cual se observa en la Figura 42 (Anexo 8). Las flechas rojas indican las paleocorrientes obtenidas a partir del análisis estadístico de los registros eléctricos, en el cual los flujos toman una orientación sur-norte, con aporte principalmente de la Cordillera Central, arrojando un valor de la media de 61°azimut.

El levantamiento de la Cordillera Oriental fue contemporáneo con una subida global del nivel del mar, cuyo impacto se ve reflejado en la sedimentación de la planicie costera (Gómez, *et al.*, 2003) y desarrollo de ambientes de depósito fluviales (Figura 42) identificados a partir del análisis facial de los pozos 8 y 9. Se observó que se desarrollaron tres tipos de depósitos fluviales; depósitos de canal hacia el sur del bloquediagrama (Pozo 8), depósitos arenosos y lodosos de llanura de inundación en cercanías al Pozo 9, ubicado en la parte NE del bloquediagrama de la Figura 42.

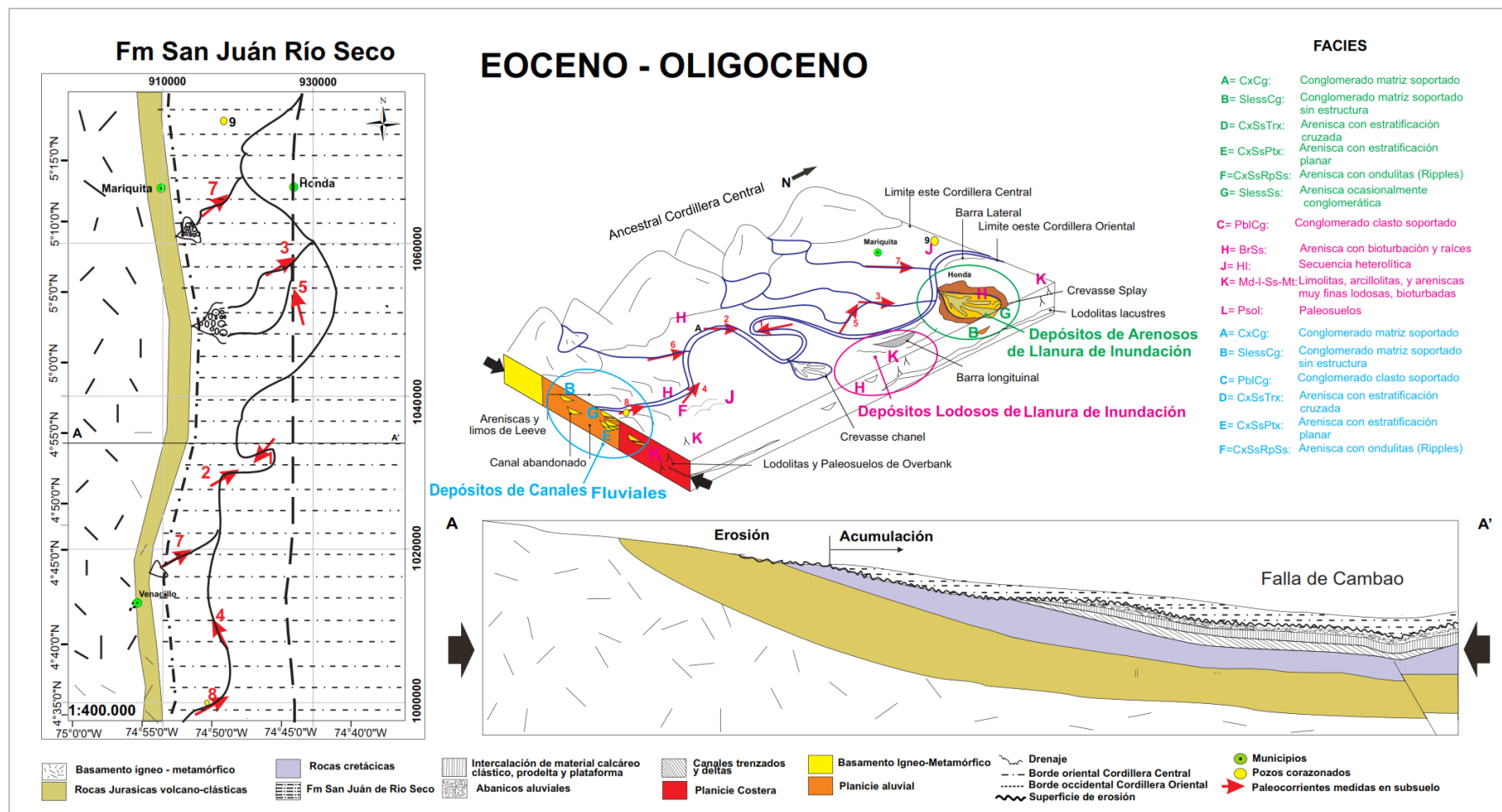


Figura 42. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante el Eoceno – Oligoceno.

6.1.3 Mioceno Inferior

La evolución paleoambiental del presente periodo se hizo basada en las características sedimento estratigráficas identificada en la Formación Santa Teresa, la cual se encuentra parcialmente corazonada, en los pozos 5 y 9 (Figura 43, Anexo 8). En gran parte del área de estudio se ha perforado la Formación Santa Teresa por pozos sin corazonar, donde se tomó la información de registros eléctricos para su estudio.

El criterio fundamental para definir esta unidad estratigráfica es el cambio del comportamiento de las curvas de los registros (SP y *gamma-ray*), los cuales presentan un incremento en el valor de la curva de GR y decrecimiento en sus valores (SP) con respecto al Grupo Honda. La Formación Santa Teresa presenta en general un engrosamiento hacia el sureste del área correlaciones TNS_1 (pozos 2, 7, 9, 31, 43, 36, y 51, Figura 23), TEW_2 (pozos 26, 39, 46 y 51, Figura 23). En la correlación TEW_3 (Pozo 26) no es posible definir muy claramente el espesor de la unidad, ya que esta es atravesada por la Falla de Honda. Localmente desaparece esta unidad cerca al Pozo 9.

Hacia el final del Mioceno Inferior ocurre un levantamiento regional importante, que se manifiesta hacia la base de la Formación Santa Teresa. El ambiente de depositación para esta unidad es de tipo fluvial, el cual se definió a partir de los registros eléctricos y pozos corazonados. Basados en la anterior información se construyeron mapas de

espesor y porcentaje de facies para cada uno de los ambientes sedimentarios depositados como son los depósitos de canal, arenas de llanura de inundación y lodos de llanura de inundación. En este ejercicio se observan excelentes desarrollos de arenitas de depósitos de canales (roca almacenadora) en la parte Central y sur del área de estudio.

En la Figura 43 se presenta la distribución de facies de acuerdo a los depósitos encontrados, se observa que para este periodo aumenta el aporte de sedimentos de la Cordillera Oriental para la cuenca. Según el análisis estadístico de los registros de *dipmeter* el mayor aporte proviene de la Cordillera Oriental, seguido por la Cordillera Central, lo cual favorece el desarrollo de abanicos aluviales, canales, meandros, depósitos de desborde de canal (*Crevasse splay*), componentes de un ambiente fluvial. El valor de la media de las paleocorrientes para la Formación Santa Teresa es de 321°azimut (Tabla 7).

En el corte transversal se observa la depositación de la Formación Santa Teresa, hacia la parte este se reflejó un leve levantamiento de la Cordillera Oriental. Los continuos esfuerzos de compresión por los cuales atravesó la cuenca provocaron desplazamiento de las rocas más antiguas (basamento ígneo – metamórfico, rocas jurásicas, rocas cretácicas y material calcáreo) hacia el este de la cuenca, por tal razón las formaciones que corresponden a estos tipos de rocas se observan al este de la Falla de Cambao (Figura 43, Anexo 8).

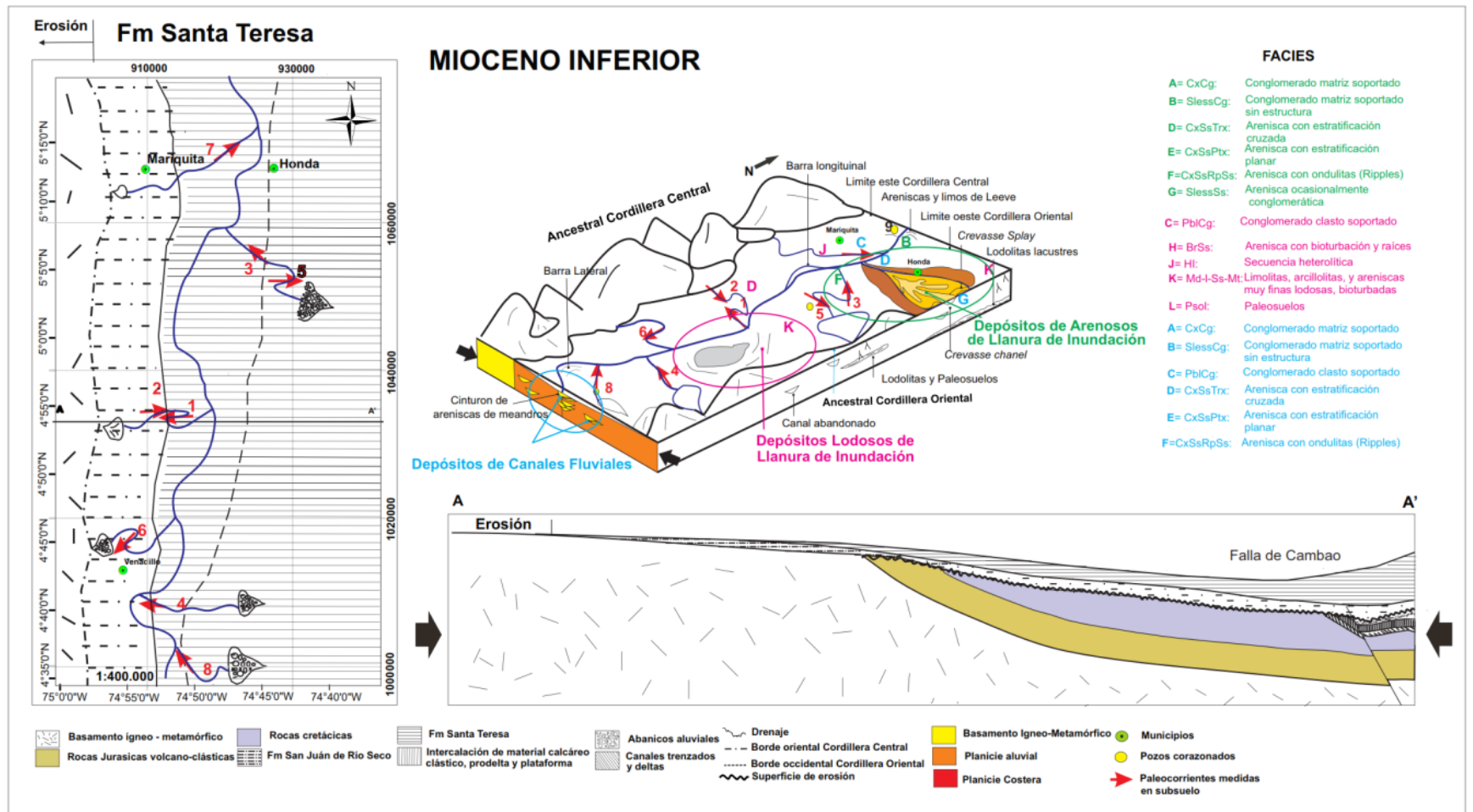


Figura 43. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante Mioceno Inferior.

6.1.4 Mioceno Medio

La evolución paleoambiental del presente periodo se hizo basada en las características sedimentarias estratigráficas identificadas en las divisiones Inferior y Medio del grupo Honda, las cuales se encuentran únicamente corazonadas en el Pozo 9 (Figura 44). En gran parte del área de estudio se ha perforado el Honda Inferior y Medio por pozos sin corazonar, donde se tomó la información de registros eléctricos para su estudio e información recopilada en campo donde aflora la Formación Honda Inferior.

Las formaciones Honda Inferior y Medio se han perforado en gran parte del área de estudio, su extensión areal es similar y levemente menor respecto a la Formación Santa Teresa, principalmente en la parte norte.

El criterio fundamental para definir la Formación Honda Inferior es el cambio del comportamiento de las curvas de los registros (SP y *gamma-ray*), los cuales presentan un incremento en el valor de la curva de SP (deflecta la curva hacia la izquierda), con respecto al Honda Medio. La Formación Honda Inferior presenta en general un aumento de espesor hacia el sureste correlación TEW_2 (pozos 26, 39, 46 y 51, Figura 23). De norte a sur, el espesor se muestra constante según la correlación TNS_1 (pozos 2, 7, 9, 31, 43, 36, y 51, Figura 23).

En cuanto al Honda Medio, el criterio fundamental para definir esta formación es el cambio del comportamiento de las curvas de los registros (SP y *gamma-ray*) los cuales presentan un incremento en el valor de la curva de GR y SP (deflexión de la curva a la izquierda, con respecto al Grupo Honda Superior. Al igual que el Honda Inferior, el Honda medio presenta sus mayores espesores hacia el sureste y se acuña hacia el oeste de la cuenca, correlación TEW_2 (pozos 26, 39, 46 y 51, Figura 23). De norte a sur, el espesor presenta un leve adelgazamiento según la correlación TNS_1 (pozos 2, 7, 9, 31, 43, 36, y 51, Figura 23).

En general para este periodo continuo la depositación en la cuenca, dando lugar a la sedimentación de la Formación Honda Inferior y Medio. Según el análisis facial y de registros eléctricos para estas dos formaciones el ambiente en el cual ocurrió la depositación de los sedimentos es de tipo fluvial, en depósitos de canal, arenas de llanura de inundación y lodos de llanura de inundación (Figura 44, Anexo 8). De acuerdo a lo anterior los mejores depósitos con características de roca reservorio son los depósitos de canales y en general presentan un engrosamiento hacia el sureste, caso contrario sucede con las arenas de llanura de inundación y con buenas características de roca sello las lodolitas de la llanura de inundación.

El modelamiento de paleocorrientes se hizo a partir de datos de subsuelo y superficie, los cuales indican que el mayor aporte de los sedimentos para estas formaciones proviene de la Cordillera Central, en menor proporción de la

Cordillera Oriental, dando como resultado una media de 113° azimut para el Honda Inferior (Tabla 10) y 103° para el Honda Medio (Tabla 9). A partir de estos resultados y del análisis de facies, se modelaron los elementos propios del ambiente fluvial (Figura 44).

La erosión hacia el oeste de la cuenca continua, mientras que hacia el este sigue la depositación, los esfuerzos compresionales por los cuales atraviesa la cuenca producen la prolongación de la Falla de Cambao hasta las unidades más superficiales y surgimiento de la Falla de Honda correlación TEW_4 (Pozo 12, Figura 24), estos fallamientos son de tipo inverso (Figura 44).

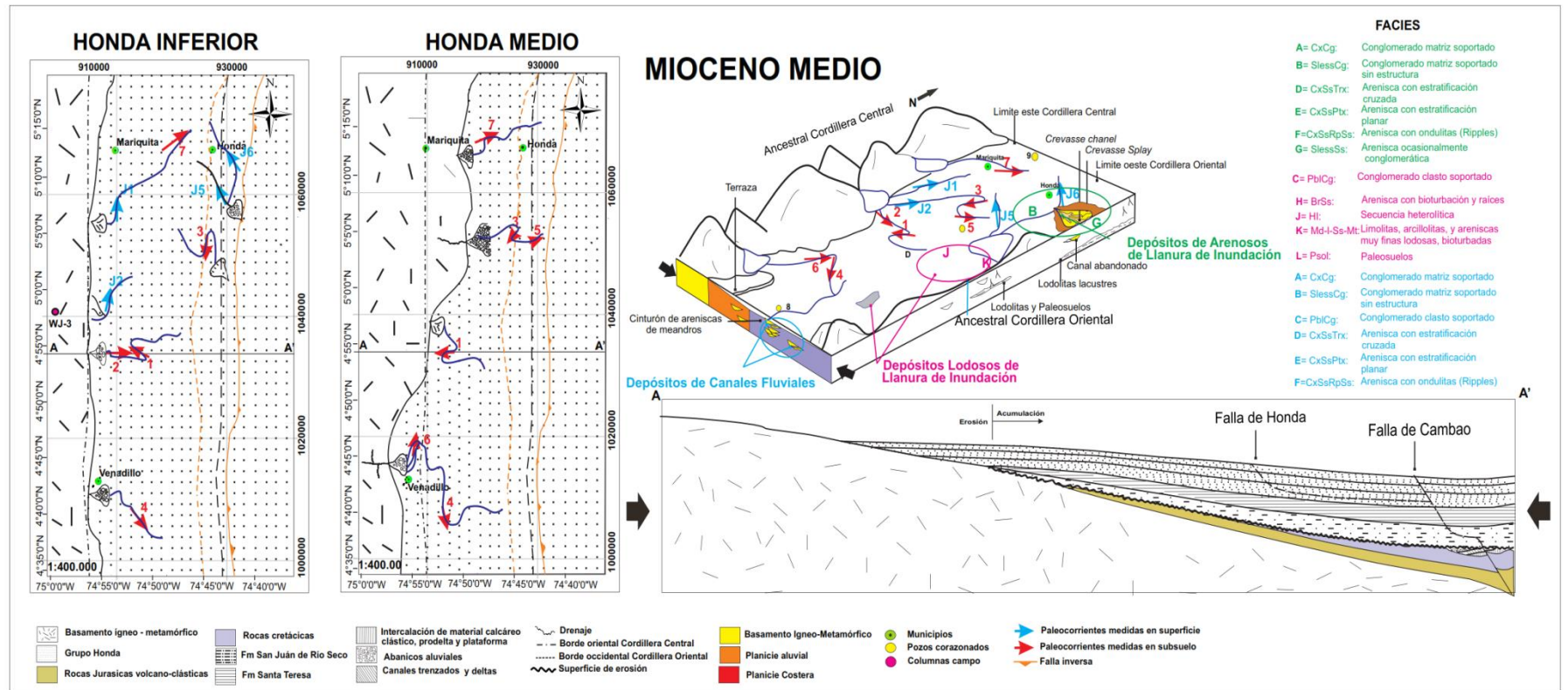


Figura 44. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante Mioceno Medio.

6.1.5 Mioceno Superior – Plioceno:

La evolución paleoambiental del presente periodo se hizo basada en las características sedimentarias estratigráficas identificadas en las formaciones Honda Superior y Mesa. El Honda Superior se encuentra únicamente corazonado en el Pozo 5 (Figura 45), en gran parte del área de estudio se ha perforado por pozos sin corazonar, donde se tomó la información de registros eléctricos para su estudio. La Formación Mesa se analizó fundamentada en observaciones hechas en campo (Figura 45), ya que es la única formación aflorante en superficie junto con el Honda Inferior.

La distribución areal de la Formación Honda Superior es menor con relación al Honda Medio, pero mayor que la unidad que la suprayace (Formación Mesa), esta última se presenta en forma discontinua en el área a causa de la erosión que ha sufrido desde su depositación (Plioceno).

El criterio fundamental para definir el Honda Superior es el cambio del comportamiento de las curvas de los registros (SP y *gamma-ray*), los cuales presentan un incremento en el valor de la curva de GR (deflecta la curva hacia la izquierda) y decrecimiento en sus valores SP. Esta formación (Honda Superior) presenta en general un aumento de espesor hacia el sureste correlación TEW_2 (pozos 26, 39 y 51, Figura 23), de norte a sur su espesor disminuye como se evidencia en la correlación TNS_1 (pozos 2, 31, 36, 50 y 51, Figura 23).

El principal aporte para el Honda Superior provino de la Cordillera Oriental, según el análisis estadístico de paleocorrientes, donde se obtuvo un valor de la media de 351° azimut, en la Figura 46 (Anexo 8) se presentan las direcciones de flujos para esta formación. El modelo paleoambiental representa los ambientes de depósitos por los cuales atravesó el área de estudio durante este periodo, donde según el análisis de facies y mapas de espesor de arenas se obtiene que; para las arenas de canal su porcentaje es del 50 - 60 % presentando sus mayores espesores en dirección sureste, las arenas de llanura de inundación obtienen sus mayores espesores hacia el este con porcentajes de 35% y los depósitos de lodos de llanura de inundación los cuales logran sus mejores espesores hacia el sureste, con un porcentaje de 40%.

Como se dijo anteriormente la Formación Mesa se encuentra distribuida en forma de parches por la zona de estudio, excepto en la parte central donde su aparición ocurre en forma continua, hacia el sur esta formación se encuentra erodada. El ambiente de depositación para esta unidad es de tipo fluvial, el cual a partir del modelamiento de paleocorrientes medidas en subsuelo (Figura 45, flechas rojas) y superficie (Figura 45, flechas azules) señalan como principal fuente de suministros la Cordillera Central, obteniéndose un valor de la media para esta unidad de 30° azimut (Tabla 10).

Para este periodo de tiempo la cuenca adquiere la configuración geológica que se tiene en la actualidad, tectónicamente la compresión de la cuenca continua, dando lugar al fracturamiento de la secuencia desde las rocas más antiguas, hasta la más reciente, estos fracturamientos se conocen hoy día como las fallas de Cambao y Honda, ambas de tipo inverso (Figura 45). La Falla de Cambao desplaza la secuencia más antigua hacia el este de la cuenca, por tal razón las perforaciones hechas en la zona no registran esta secuencia.

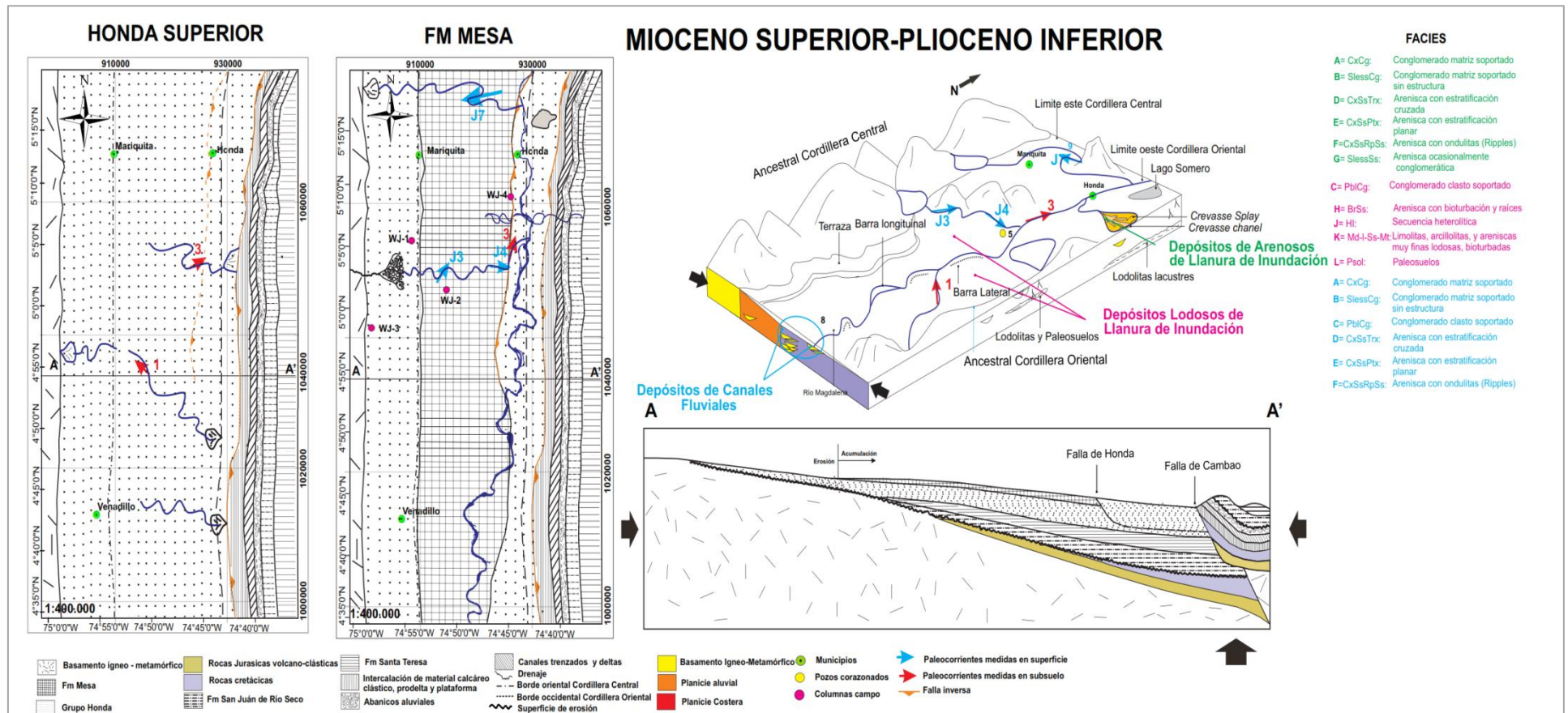


Figura 45. Reconstrucción paleoambiental realizada a partir del análisis de facies, durante Mioceno Medio.

7. CONCLUSIONES

Las características observadas en la secuencia, permiten concluir que los sedimentos analizados de cada una de las unidades se depositaron en un ambiente continental fluvial, donde se identificaron 11 facies, siendo la facies SlessSs (areniscas sin estructuras ocasionalmente conglomerática) la que presenta las mayores impregnaciones de hidrocarburo.

En términos generales se interpretan depósitos pertenecientes a tres tipos de subambientes: Depósitos de canal, lodos de llanura de inundación y arenas de llanura de inundación. Los depósitos de canal fluvial en los núcleos y columnas registradas durante la fase campo de las diferentes unidades estratigráficas, son los que presentan mayor porcentaje, mostrando similares características sedimentológicas.

De los pozos no corazonados la respuesta más característica observada de los registros SP y *gamma-ray* para los sedimentos de canal, son la forma de campana y esporádicamente la de cilindro aserrado. Dentro de los registros eléctricos no fue posible diferenciar los elementos de cada tipo de depósito como paleosuelos, desbordes del relleno de lagos entre otros, sin embargo basados en las características faciales y direcciones de flujo se modeló la distribución de los tres tipos de depósitos y sus facies en cada periodo.

El estudio de paleocorrientes en la sucesión Cenozoica del sector sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) integró dos metodologías de medición; una en superficie y la otra en subsuelo, utilizando registros *dipmeter*. A partir de estos resultados se obtuvo un modelo de paleocorrientes para la secuencia comprendida entre el Eoceno Superior – Plioceno Inferior. Los resultados arrojaron como principal fuente de aporte a la cuenca la ancestral Cordillera Central para la secuencia sedimentaria, excepto durante dos periodos; Mioceno Inferior (Formación Santa Teresa) y Mioceno Superior (Honda Superior) donde la fuente de aporte cambia de la ancestral Cordillera Central a la Cordillera Oriental. Estas variaciones en las direcciones de los paleoflujos probablemente están asociadas con los primeros pulsos de levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Mioceno Inferior y Superior. Sin embargo la abundancia de materiales ígneos y metamórficos indican que la Cordillera Central continuó su actividad, aportando material a las formaciones depositadas durante estos periodos.

Estas variaciones en las direcciones de los paleoflujos pueden ser comparables a lo propuesto por Guerrero J. (1997), quien describe a partir del estudio de paleocorrientes en el área de Villavieja (al sur del área de estudio), que el

levantamiento de la Cordillera Oriental ocurrió hace 12.9 a 11.8 Ma. Periodo que coincide con la sedimentación de la Formación Santa Teresa. Guerrero también concluyo que la depositación del Honda Inferior inicio durante una fase intensa de actividad volcánica y tectónica de la Cordillera Central, durante este periodo de tiempo, los ríos meandriformes que fluían en el área eran aparentemente continuos y fluían con una orientación oriente – suroriente.

Las direcciones suroriente propuestas por Guerrero J. (1997) para la Formación Honda Inferior, también tienen estrecha relación con los modelos de porcentajes de espesor de facies obtenidos en el presente trabajo, los cuales indican los mayores espesores de los depósitos de canales hacia el sureste del área, obedeciendo a un ambiente fluvial de canales amalgamados, esto se confirma con la información del Pozo 1, estas zonas presentan los mejores reservorios de arenas bituminosas aunque los canales son dispersos por ser un ambiente de depósito de tipo fluvial por ello se atribuye la mejor calidad de roca reservorio a las formaciones Santa Teresa, Honda Inferior y Medio. Con base en esta interpretación se deduce que la tectónica ejerció una fuerte influencia en la sedimentación de esta pila sedimentaria.

Según la interpretación sísmica junto con la interpretación de registros eléctricos se observó que las superficies estratigráficas se encuentran a lo largo del área formando principalmente *onlaps* hacia el oeste (Cordillera Central), se mantienen subparalelas en el área central y hacia el este aumentan en espesor. Estas superficies de correlación las encontramos con truncamientos erosionales hacia la franja oeste en mayor proporción que hacia el este, lo cual asociado a los cambios faciales o a acuñamientos contra el basamento hacen posible encontrar trampas estratigráficas favorables para el entrapamiento del hidrocarburo.

Según el análisis sedimento estratigráfico se concluye que los cuerpos almacenadores de hidrocarburos son la Formación Santa Teresa y Honda Inferior, las cuales se desarrollaron en un ambiente fluvial, siendo los depósitos de arenas de canal y facies LessSs los que cuentan con las mejores características para el almacenamiento de hidrocarburos. Sus mayores prolongaciones ocurren hacia el sureste de la zona pero su extensión se ve afectada, ya que por su misma naturaleza fluvial esta no permite que su continuidad lateral sea considerable en el yacimiento, por lo tanto para un posterior proceso exploratorio se hace necesario recurrir a técnicas de alto detalle como una sísmica 3D, lo cual lo hace un proyecto riesgoso.

REFERENCIAS

- Acosta, E., y Obando, E., 1984, Aporte de la Exploración Sísmica al Conocimiento de la Evolución Tectónica del Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. I Congreso Colombiano de Petróleo, El Centro. Ecopetrol p. 1 -27.
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Cartografía Geológica de 51267.45 km². En la cuenca Caguan – Putumayo a partir de sensores remotos a escala 1:100.000 y 739 km² con control de campo a escala 1:50.000 en las planchas IGAC 413 y 414 Departamentos de Meta, Caquetá, Putumayo UPTC (Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia), ANH agosto, 2009.
- Arthur D' Little 2008, Potencial de Recursos no Convencionales en Colombia. Reporte interno Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).
- Bengtson, C. A., 1982. Structural and Stratigraphic Uses of Dip Profiles in Petroleum Exploration in The Deliberated Search for the subtle Trap by (Halbouty M.T., ed), AAPG Mmoir, 32, p. 31 - 45.
- Bengtson, C. A., 1981. Statical Curvature Analysis Techniques for Strucural Interpretation of Dipmeter Data, AAPG Bull., V.65, p.312 - 332.
- Berg, Ch., R., 1998. Syntetic Deviation: A new Dipmeter Interprtation Method. AAPG Bull. Vol., 82 (6), Tulsa, p. 1133 - 1139.
- Boggs, S.J., 2006. Principles of sedimentology and Stratigraphy, Cuarta Edición, editorial Prentice Hall, New Jersey, p. 662 – 685.
- Butler, J.W., 1942, Geology of the Honda District, Colombia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 26, p. 793 – 837.
- Caballero, V., 2010. Evolución Tectono-Sedimentaria del Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Sedimentaria Valle Medio del Magdalena, Colombia, durante el Oligoceno-Mioceno. Tesis Maestría en Geología. Universidad Industrial de Santander, p. 6 – 30.
- Cateneanu, O., 2006. Principles of Sequence Stratigraphy, Editorial Elsevier, Amsterdam, p. 375.
- Cooper, M. A., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.J., and Taborda, A., 1995. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern

Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. USA: AAPG Bulletin, V. 79, p. 1421 - 1440.

- Decelles P., et al., 1983. Two New Methods of Paleocurrent Determination From Trough Cross-Stratification. USA, Journal of Sedimentary Petrology. V. 53, No.2, p. 629-642.
- De Porta J. y Tellez N.1966, La Geología del Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia No. 22-23, p. 189 – 305.
- De Porta, J., 1974. Colombie. Lexique Stratigraphique International. Volume V, Fascicule 4a., París, deuxième partie: p. 692.
- Delgado, A., Rubiano, J., 2008. Determinación de la dirección de las paleocorrientes y del área fuente de los sedimentos (Plioceno la Neógeno) en los campo de Lisama, Tesoro, Nutria y Peroles, Vale Medio del Magdalena, Colombia, Sur America. VI Ingepet, Informe Interno Ecopetrol-ICP, p. 14.
- Duque – Caro, H., 1990. El bloque Choco en el Noroccidente Suramericano: Implicaciones Estructurales, Tectonoestratigraficas y Paleogeograficas. Boletín Geológico de Ingeominas, V. 31 No.1, p. 47 – 71.
- Ecopetrol 2012a, Potencial de recursos no convencionales en Colombia, Reporte Interno, Instituto Colombiano de Petróleos, Ecopetrol-ICP.
- Ecopetrol 2012b, Potencial de recursos no convencionales en Colombia, Reconocimiento de campo, Áreas Rio Nare-Tolima, Reporte Interno, Instituto Colombiano de Petróleos, Ecopetrol-ICP.
- Ecopetrol – 2014, Potencial de recursos no convencionales en Colombia, Reporte Interno, Prospección de Recursos no convencionales en Colombia, Reporte Interno, Instituto Colombiano de Petróleos, Ecopetrol-ICP.
- Feininger, T., 1970. The Palestina Fault, Colombia. Geological Society of America Bulletin, 81 No 4, p. 1201-1216.
- Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., 1972. Geología de Antioquia y Caldas (Subzona II-B). Boletín Geológico Ingeominas, 20(2): p. 1-173. Bogotá.
- Fields, R. W. 1959. Geology of the La Venta badlands Colombia, South America. Universidad de California. Publicación Geologic Science., V.32, No 6 p. 405 – 444.

- Galvis, H., 2012. Reconstrucción Paleogeografica del Cretico Superior e implicaciones en el desarrollo de almacenadores de hidrocarburos (Cuenca Costa afuera-Brasil). Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, p. 64, Bucaramanga.
- Gómez, E, Jordan, T.E., Allmendiger, R.W.,Cardozo N., 2005, Development of the Colombian Foreland-basin System as a Consequence of Diachronous exhumation of the Northern Andes, Geological Society of America Bulletin, V. 117 No. 9/10, p. 1272-1292.
- Gómez, E, Jordan, T.E., Allmendiger, R.W., Hegarty K., Kelley S., Hiezler M., 2003. Controls on architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia, Geological Society of America Bulletin, V. 115; No. 2; p. 131–147.
- Gómez E., 2001, Tectonic Controls on the Late Cretaceous to Cenozoic Sedimentary Fill of the Middle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia, PhD. Thesis, Cornell University, USA, v. 1-2, 619pp.
- Guerrero, J. (1997) 'Stratigraphy, sedimentary environments, and the Miocene uplift of the Colombian Andes'. En: Kay RF, Madden RH, Cifelli RL, Flynn JJ. (Eds.) Vertebrate Paleontology in the Neotropics. The Miocene Fauna of La Venta, Colombia. Smithsonian Institution Press. p. 15-42.
- Hettner, A. 1892. Die Kordillere von Bogota, Patermanns Mitteil., Erg. Gotha, V. 22, No. 104, p. 131- 140.
- Miall, D., 1996. The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. p. 15 – 221.
- Miall, D., 1985. Architectural element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth Science Reviews No 22, p. 262 – 308.
- Mitchum et al., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. En: Payton, C.E., Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration, AAPG Memoir, V. 26, p. 117-133.
- Mojica, J., y Franco, R., 1990. Estructura y evolución del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. Geología Colombiana, No 17, p. 41- 63.
- Nuñez, A., 2001. Mapa Geológico del departamento del Tolima escala 1:250.000, Memoria explicativa, Ministerio de Minas y Energía, Colombia, p. 8 – 58.

- Olaya, I., Munar, F., Rubiano, J., Reyes, J., Galindo, M., Díaz, O., 2001, Estratigrafía de unidades reservorio y sellos en el límite de las cuencas VMM y VSM. Informe interno Ecopetrol – ICP. p. 120–134.
- Kendall, C., 2005. Variations in Sequence Stratigraphy. University of South Carolina, Spring 2006, Exposure 2007.
- Páez, L., 2013, Análisis Estratigráfico y de proveniencia del Miembro Superior de la Formación Amaga en los Sectores de la pintada y Valparaiso (Cuenca Amaga, Andes Noroccidentales), Universidad Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico (EAFIT). Tesis de Maestría, Medellín Colombia p. 22-125
- Potter, P.E. y Pettijohn, F., 1977. Paleocurrentes and basin analysis. Second, corrected and Updated Edition. Springer – Verlag. Berlin Heidelberg New York. p. 364 – 398.
- Pérez, G. y Salazar, A., 1973. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe, Geología Colombiana. No 10. Bogotá, p. 35 – 42.
- Royo J. y Gómez J., 1942 a. Contribución al conocimiento de la Geología del Valle Superior del Magdalena. Estudio Geológico Oficial de Colombia, Bogotá, p. 263 – 326.
- Rubiano J.L., 2009, Modelo Geológico de los Campos Maduros de Lisama, Tesoro, Nutria y Peroles, Valle Medio del Magdalena. Colombia, X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas Cartagena, Colombia. p. 2 – 7.
- Rubiano J.L., 1998. Determinación de las Dirección de las Direcciones de Paleocorrientes en el Campo Provincia, Valle Medio Del Magdalena. Ciencia, Tecnología y Futuro. V.1: No. 4, Piedecuesta/Santander, p 33-48.
- Stirton, R.A., 1951. Ceboid Monkeys from the Miocene of Colombia. University of California, Publication Bulletin. Department of Science, V. 28 No 11, p. 315 - 356.
- Toussaint, F.J., 1995. Evolución geológica de Colombia 2: Triásico-Jurásico. Universidad Nacional de Colombia, Medellín p. 99-103
- Tucker, M., 1982. The field description of sedimentary rocks. Geological Society of London Handbook Series.

- Van Houten F.B., Travis, R.B. 1968. Cenozoic deposits, Upper Magdalena Valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, (52), p. 675-702
- Van Wagoner, et al., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies, AAPG methods in Exploration Series, V. 7, p. 55.
- Vergara, H., 1988, Rasgos Neotectonicos en el Noreste del departamento del Tolima, Ministerio de Minas y Energía, informe No. 2089 P 6 – 30.
- Vergara, L., 1994. Stratigraphic, micropaleontologic and organic geochemical relations in the Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia. Geissener Geologische Schriften, V. 50, p. 179.
- Vera, J.A., 1994. Estratigrafía, Principios y métodos, Editorial Rueda, Madrid España, p 816 – 850.

ANEXOS

Anexo A. Columnas de campo estaciones W1, W2, W3 y W4.

Anexo B. Columnas de campo pozos 5, 8 y 9.

Anexo C. Ambientes de depósito en el Grupo Honda.

Anexo D. Correlaciones estratigráficas TNS_1, TEW_2, TNS_3 y TEW_4.

Anexo E. Marco cronoestratigráfico preliminar.

Anexo F. Mapas de espesor y porcentaje de facies.

Anexo G. Mapas Paleoambientales.