

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ALMACENADORAS DE
BITUMEN EN LOS AFLORAMIENTOS UBICADOS HACIA EL NOROCCIDENTE
DE LA DORADA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA.

FREDY ALEXANDER HERNÁNDEZ SILVA
WILMAR ANDRÉS DE LA HOZ GAMBOA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2012

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ALMACENADORAS DE
BITUMEN EN LOS AFLORAMIENTOS UBICADOS HACIA EL NOROCCIDENTE
DE LA DORADA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA.

FREDY ALEXANDER HERNÁNDEZ SILVA
WILMAR ANDRÉS DE LA HOZ GAMBOA

Trabajo de Grado para optar al título de
Geólogo

Director

FRANCISCO ALBERTO VELANDIA
M.Sc Geología

Codirector

JOSE RICARDO SANDOVAL
Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2012



HOJA DE RESUMEN - Entregables de Convenios -

1. ENTIDADE(S) Y NÚMERO DEL CONVENIO: UIS-ICP No 003 de 2011

2. TÍTULO DEL PROYECTO DEL ICP QUE APOYA: Proyecto Arenas Bituminosas

3. CÓDIGO DEL PROYECTO: 8553

4. TÍTULO DE LA TESIS: Caracterización Geológica de las Rocas almacenadoras de Bitumen, en los afloramientos ubicados hacia el Noroccidente de La Dorada en el Departamento de Caldas, Colombia.

5. AUTOR(ES) E IDENTIFICACIÓN. WILMAR ANDRES DE LA HOZ C.C 1095918218, FREDY ALEXANDER HERNÁNDEZ C.C 1098676176

6. DEPENDENCIA DEL ICP: UIN UDE UST UGC OTRO

7. NIVEL DE CONFIDENCIALIDAD:

Para Consulta de: ECP ICP Coordinación Unidad Dirección Sin Confidencialidad:

Autoriza la Consulta: Líder del proyecto: Coordinador: Jefe Unidad: Director:

8. TIEMPO QUE EL INFORME CONSERVARÁ LA CONFIDENCIALIDAD:

Años: 5 Meses

9. TIPO DE DOCUMENTO: Informe impreso , CD-ROM , Videocinta ,
Anexos:(Cantidad) Mapa (Cantidad) , Planos (Cantidad) ,
Registros de Pozo (Cantidad) , Otros cuáles

10. QUÉ RESULTADOS SE OBTUVIERON: Caracterización sedimento – estratigráfica y petrofísica de las rocas almacenadoras de bitumen, cartografía a escala 1:25000, cuatro secciones estratigráficas a escala 1:50.

11. CÓMO SE APLICARON ESPECÍFICAMENTE AL PROYECTO DEL ICP (SINO HAN SIDO APLICADOS CUÁNDO SE APLICARÍAN): Los resultados obtenidos amplían el conocimiento geológico de zonas de reservorios de arenas bituminosas mediante la caracterización sedimento-estratigráfica y petrofísica.

12. BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS AL PROYECTO DEL ICP

(IMPACTO): Generar una caracterización geológica de manera generalizada y una visión general de la oportunidad exploratoria de yacimientos no convencionales como las arenas bituminosas.

13. PALABRAS CLAVES: Yacimiento no convencionales, arenas bituminosas, Grupo Honda, Formación Cambrás.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primordialmente a la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, por permitirme crecer como un profesional íntegro, gracias a la enseñanza completa que me brindo el excelente profesorado que la conforma.

A mi compañero de proyecto Fredy Hernández que siempre procuro el bienestar y el mejoramiento del mismo con sus grandes aportes y opiniones en todo momento.

Al profesor Francisco Velandia Director del proyecto que nos asesoró y orientó brindándonos su vasto conocimiento que se ve reflejado en la culminación del presente proyecto.

Al Geólogo José Ricardo Sandoval codirector del proyecto quien me brindó su total confianza para trabajar con el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) durante la elaboración del proyecto y por brindarnos su conocimiento y apoyo en el trayecto del mismo.

A mis compañeros en especial a Diego Armando Martínez por aportarnos sus conocimientos durante la fase de campo y a Juan Sebastián Luna y Alexandra Delgado quienes con sus conocimientos ayudaron a la culminación del presente proyecto.

Al Ingeniero Aristóbulo Bejarano que más que un amigo es un maestro, que me ha inculcado la importancia de mi profesión y sobretodo el amor por la misma, que con sus consejos, opiniones y discursos hacen ver que esta industria o mundo de los hidrocarburos que aunque tenga un camino difícil está lleno de muchas expectativas y esperanzas para los profesionales de esta rama.

Wilmar Andrés De la Hoz Gamboa

Agradezco enormemente a aquellas personas que de alguna forma u otra estuvieron ahí presentes en el desarrollo de este proyecto especialmente al Profesor Francisco por su apoyo y orientación, a José Ricardo por brindarnos esta grandiosa oportunidad de desarrollar este trabajo, su valioso aporte y consejo y a mi compañero Andrés por su constancia, dedicación y empeño.

Fredy Alexander Hernández Silva

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme en cada decisión que he tomado a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis padres por brindarme su apoyo y sus consejos que permitieron mi formación como persona y profesional, por estar presentes en cada paso importante durante esta ardua etapa de mi vida.

A mis hermanos por prestarme su apoyo en cada momento de felicidad y tristeza.

A Sigríd Alejandra Bejarano que siempre tuvo las palabras precisas para sobrepasar cualquier adversidad y que me ha brindado hermosos momentos.

A mis amigos quienes estuvieron en el paso de mis estudios pre universitarios y universitarios, que formaron gran parte de mi crecimiento integro.

Finalmente pero no menos importante a la familia Bejarano Arias quienes con su gran apoyo emocional e intelectual me ayudaron en la realización de una de mis principales metas, este proyecto.

Wilmar Andrés De la Hoz Gamboa.

A mis padres, porque creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fué lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

Fredy Alexander Hernández S.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	25
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
JUSTIFICACIÓN.....	28
OBJETIVOS.....	29
Objetivo general	29
Objetivos Específicos	29
1. METODOLOGÍA.....	30
1.1.1. FASE DE RECOPIACIÓN	30
1.1.2. Recopilación Bibliográfica	30
1.1.3. Recopilación de Cartografía e Imágenes	30
1.2. FASE DE CAMPO	31
1.2.1. Dificultades:.....	32
1.3. FASE DE ANÁLISIS	32
1.3.1. Laboratorio.....	32
1.3.2. Macroscopía.....	33
1.3.3. Interpretación de los datos obtenidos y elaboración del informe.....	33
2. GENERALIDADES.....	34
2.1. LOCALIZACIÓN	34
2.2. VÍAS DE ACCESO	36
3. MARCO TEÓRICO.....	37
3.1. SISTEMAS FLUVIALES	37
3.1.1. Sistemas de ríos trezados:.....	39
3.1.2. Litofacies Fluviales:	41
3.2. GENERALIDADES DE LAS ARENAS BITUMINOSAS	42
3.3. ARENAS BITUMINOSAS EN COLOMBIA.....	44
3.4. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO 45	
4. ANTECEDENTES	49

4.1. ANTECEDENTES REGIONALES	49
4.1.1. Estratigrafía y sedimentología del Sur de la cuenca VMM.	52
4.1.2. Evolución Tectono – Estratigráfica	54
4.2. ANTECEDENTES LOCALES	56
4.2.1. Síntesis de Antecedentes locales.....	60
5. RESULTADOS Y ANALISIS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN	61
5.1. RED DE DRENAJES Y LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES	61
5.2. Mapa de contactos mediante foto interpretación:	62
5.2. ANÁLISIS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN.....	63
6. ESTACIONES DE CONTROL GEOLÓGICO.....	66
6.1. PAB-1	69
6.2. PAB-5	70
6.3. PAB-6	70
6.4. PAB-7	71
6.5. PAB-8	72
6.6. PAB-11	72
6.7. PAB-15	74
6.8. PAB-17:	74
6.9. PAB-22:	76
6.10. PAB-23:	78
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA FASE DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL. ..	79
7.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL FASE CAMPO:.....	79
7.1.1. Punto de control PAB-8:	79
7.1.2. Punto de control PAB-11:	79
7.2. Geología Estructural fase laboratorio:	82
7.2.1. Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-5:	85
7.2.2. Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-6:	86
7.2.3. Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-8	88
7.2.4 Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-15	90
7.3. Análisis Estructural.	92

8. RESULTADOS DE SEDIMENTO – ESTRATIGRAFÍA	95
8.1. Complejo Cajamarca:	96
8.2. Parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás):	97
8.2.1. Sección Estratigráfica SE-1:.....	104
8.2.2. Sección Estratigráfica SE-2:.....	111
8.2.3. Sección Estratigráfica SE-3:.....	113
8.2.4. Sección Estratigráfica SE-4:.....	117
8.3.1. Arquitectura Facial.....	120
8.3.2. Interpretación de Elementos Arquitectónicos de la Sección estratigráfica SE-1.	121
8.3.3. Interpretación de Paleo-ambientes de la sección estratigráfica SE-1.	124
8.3.4. Interpretación de elementos arquitectónicos de la sección estratigráfica SE-2.	126
8.3.5. Interpretación de Paleo-ambientes de la Sección Estratigráfica SE-2.	128
8.3.6. Interpretación de Elementos Arquitectónicos de la Sección Estratigráfica SE-3.	128
8.3.7. Interpretación de Paleo-ambientes de la Sección Estratigráfica SE-3.	129
8.3.8. Interpretación de Elementos Arquitectónicos de la Sección Estratigráfica SE-4.	130
8.3.9. Interpretación de paleo-ambientes de la sección estratigraficaSE-4.	132
9. RESULTADOS DE PETROFÍSICA.....	132
9.1. Análisis de Petrofísica.	136
9.2. Resultados y Análisis de Radioactividad de la roca.....	138
10. DISCUSIÓN	139
11. CONCLUSIONES.	141
12. RECOMENDACIONES.....	143
BIBLIOGRAFÍA.....	144
ANEXOS.....	150

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Se observan las vías de acceso al área de estudio en las cercanías de Isaza.....	35
Figura 2. Imagen 2D, muestra las rutas principales de acceso a la zona de estudio, la imagen presenta una exageración en la vertical de 4m.....	36
Figura 3. Diferentes tipos de canales dentro de los sistemas fluviales.	38
Figura 4. El intervalo de modelos de canales aluviales. A) Los canales de carga de fondo, B) canales de carga mixta, C) canales de carga suspendida. Los cuatro estilos principales de canales son meandros (7, 8, 12,13), trenzados (3-5, 9, 10), anastomosados (14)	38
Figura 5. Estructuras de barras en ríos trenzados. La secuencia A es dominada por migración de gravas de barra longitudinal. La secuencia B registra depositación de una barra transversal sucesiva de sets de capas cruzadas a un canal trenzado.	40
Figura 6 . Distribución de depósitos de arenas bituminosas en Colombia.	44
Figura 7. Estereoscopio de espejos utilizado en la foto interpretación de imágenes aéreas.....	46
Figura 8. Lupa Nikon para análisis macro de las muestras de mano.....	46
Figura 9. Medición de la radioactividad mediante un centellometro o contador Geiger de mano.	47
Figura 10. Se muestra el taladro eléctrico y la bomba de inyección de agua	48
Figura 11. Ubicación general de la cuenca VMM, donde se observan los principales rasgos en cuanto a litologías y tipos de estructuras presentes en zonas aledañas.....	50

Figura 12. Mapa de las principales estructuras como las Fallas Bituima, Cambao y Honda además de las unidades litológicas de la zona. Se observa también <i>oil seeps</i>	51
Figura 13. Columna generalizada del sector sur de la cuenca VMM donde se observa la secuencia principal de rocas, además de diagramas rosas mostrando paleo corrientes presentes en las diferentes formaciones.	53
Figura 14. Evolución tectono-estratigráfica de la parte sur del VMM, se observa como las fallas asociadas al levantamiento de la Cordillera Central desaparecen al estabilizarse el orógeno y no son reactivadas por el levantamiento de la Cordillera Oriental. También se muestra los tipos de formaciones o grupos de rocas depositados durante este periodo de tiempo.	55
Figura 15. Mapa donde se muestra la relación entre lineamientos, red de drenajes y rezumaderos de la ANH.	62
Figura 16. Mapa foto geológico, con la red de drenaje y lineamientos. Se muestra el contacto entre el Grupo Honda, Formación Mesa y el Complejo Cajamarca.....	63
Figura 17. Mapa que muestra las principales estaciones de control geológico realizadas durante la campaña de campo.	68
Figura 18. Afloramiento presente en la estación PAB-1 se observa la intercalación mencionada. La foto presenta una dirección en azimut de 260°.	69
Figura 19. Afloramiento de la estación PAB-7 donde se muestra la distribución de rocas mencionadas con anterioridad. Azimut de la foto 135°.	71
Figura 20. Estructura tipo Augen observada en la estación PAB-11.....	73
Figura 21. Roca metamórfica impregnada por crudo ubicada en la base del afloramiento de la estación PAB-11.....	73
Figura 22. Afloramiento de la estación PAB-17 donde se observan estructuras de canales y nódulos en la base del estrato superior. Azimut de la foto 94°.	75
Figura 23. Relleno de canales conglomeráticos. Se presentan canales clasto soportados sin bitumen a la base y canales conglomeráticos bituminosos como el canal superior. Azimut de la foto 94°.	76
Figura 24. Afloramiento de la estación PAB-22. Azimut de la foto 25°.....	77

Figura 25. Afloramiento de la estación PAB-23, se muestran los nódulos con cemento calcáreo. Azimut 18° .	78
Figura 26. Se observa la ubicación de las estaciones de control geológico utilizadas para la determinación del Lineamiento principal de la zona (Lineamiento Mulatos).	80
Figura 27. Se observa el afloramiento de la estación PAB-11 y un zoom del plano de la estría de falla. La foto presenta una dirección en azimut de 342°	81
Figura 28. Asociación de datos de diaclasas para la zona “E” del lineamiento Mulatos. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas	82
Figura 29. Asociación de datos de diaclasas para la zona “W” del lineamiento Mulatos. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas	83
Figura 30. Asociación de datos de diaclasas para las Rocas sedimentarias de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.	83
Figura 31. Asociación de datos de diaclasas para las Rocas del Basamento de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.	84
Figura 32. Asociación de datos de diaclasas para las rocas del basamento y rocas sedimentarias de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.	84
Figura 33. Afloramiento de areniscas ligeramente conglomeráticas de la estación PAB-5, también se observa un rezumadero de crudo. La foto presenta una dirección en azimut de 141°	85
Figura 34. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-5 y rocas sedimentarias de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.	86
Figura 35. Afloramiento de rocas pertenecientes al basamento de la estación PAB-6. La foto presenta una dirección en azimut de 62°	87

Figura 36. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-6. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.....	88
Figura 37. Afloramiento de rocas del basamento de la estación PAB-8, principalmente esquistos micáceos, zona de intenso diaclasamiento. La foto del afloramiento presenta una dirección en azimut de 4°.....	89
Figura 38. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-8. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.....	90
Figura 39. Se observa el afloramiento de la estación PAB-15. La foto del afloramiento presenta una dirección en azimut de 350°.....	91
Figura 40. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-15. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.....	92
Figura 41. Dirección de Tensores principales obtenidas en las estaciones mencionadas. Se muestran las diferencias locales entre los tensores de las paradas PAB-5, PAB-6, PAB-8 y PAB-15, en la última el color verde indica planos de diaclasa en rocas sedimentarias.....	94
Figura 42. Algunas características de las rocas del Complejo Cajamarca. 39 A) roca ígnea alterada con fenocristales de plagioclasas. 39B) esquistos micáceos impregnados de crudo.....	97
Figura 43. Conglomerado donde se observan fragmentos de roca (F.R)	98
Figura 44. Características importantes de la Formación Cambrás. 44 A) petróleo soportada, en la muestra PAB-13-M3 tomada en la lupa estereoscópica marca Nikon con el aumento normal (0,8X) 44B) madera carbonizada en la base de la estación PAB-1. 44C) laminación.	100
Figura 45. Panorámica de terrazas de sedimentos rojos al tope de la Formación Cambrás. La dirección de la foto en azimut es 16°. Esta foto fue tomada en la estación PAB-21.....	101
Figura 46. Ubicación de las secciones estratigráficas (SE) de la zona de estudio.....	102

Figura 47. Columna generalizada de la zona de estudio donde se observan arenas bituminosas.....	103
Figura 48. Forma externa lenticular en la facies Gt visto en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1	105
Figura 49. Laminación en artesa de la facies St vistas en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.....	106
Figura 50. Coset de laminacion de la facies Sr vistas en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1	107
Figura 51. Laminación inclinada de bajo ángulo para la facies Sl vista en la estación PAB-22 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.	108
Figura 52. Características de las facies finas Fl. 52 A) Grietas de desecación encontradas ocasionalmente en facies Fl. 52B) laminación de las facies finas Fl vistas en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1	109
Figura 53. Coloraciones presentes en la facies Fsm vistas en la estación PAB-22 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.....	110
Figura 54. Laminación presente en la facies Fl. Se obseva en la estación PAB-7 perteneciente a la sección estratigráfica SE-2.....	112
Figura 55. Gradación normal presente en facies Gmg. Se observa en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3.....	114
Figura 56. Laminación difusa de la facies Sh. Se observa en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3.....	115
Figura 57. Rombos de desecación en el tope de un estrato de facies Sm. Se observan en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3.	116
Figura 58. Características de las facies finas Fsm. 58A) Lentes de materiales finos. 58B) Nódulos de facies finas. Se observan en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3.....	117
Figura 59. Principales características de la facies Gcm. Se observan en la estación PAB-17 perteneciente a la sección estratigráfica SE-4.	119

Figura 60. Modelo 3, corrientes trenzadas dominadas por arenas y algunas gravas, para la parte basal de la sección estratigráfica SE-1 (PAB-1) y la sección estratigráfica SE-2 (PAB-7).....	125
Figura 61. Modelo 6, Corrientes meandricas, para la parte media y superior de la sección estratigráfica SE-1 (PAB-22 y PAB-23).....	126
Figura 62. Modelo 1 de ríos trenzados dominados por gravas con flujos gravitacionales para la sección estratigráfica SE-3 (PAB-13) y SE-4 (PAB-15 y PAB-17)	130
Figura 63. Gráfico de Winland con R35 constante para la determinación de las petrofacies de las muestras plugs tomadas en campo.	135
Figura 64. Grafico K vs PHI, con líneas de R35 de Winland constantes para los <i>plugs</i> analizados.	136

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Protocolo de campo utilizado para la realización de las estaciones de control geológico.....	32
Tabla 2. Clasificación y códigos de facies y su respectiva interpretación.....	41
Tabla 3. Equivalencias entre nomenclaturas lito estratigráficas empleadas en las rocas del Terciario de la zona de estudio.	59
Tabla 4. Significado geológico y geomorfológico de los patrones de drenaje.	65
Tabla 5. Estaciones de control geológico distribuidas en la zona de interés.....	67
Tabla 6. Datos promedio de rumbo de diaclasas y de esfuerzos en las estaciones nombradas.	93
Tabla 7. Muestras tomadas durante las campañas de campo.	95
Tabla 8. Relación entre las secciones estratigráficas y las estaciones de control geológico.	101
Tabla 9. Elementos arquitectónicos.....	121
Tabla 10. Elementos arquitecturales para la sección estratigráfica SE-1.....	122
Tabla 11. Elementos arquitecturales para la sección estratigráfica SE-2.....	127
Tabla 12. Elementos arquitecturales de la sección estratigráfica SE-3.....	128
Tabla 13. Elementos arquitecturales de la sección estratigráfica SE-4.....	131
Tabla 14. Listado de plugs para las diferentes secciones estratigráficas realizadas en la zona de interés.....	132

Tabla 15. Datos de petrofísica básica para los <i>plugs</i> de la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.....	134
Tabla 16. Clasificación de las petrofacies de acuerdo a la garganta de poro.....	134
Tabla 17. Relación entre petrofacies, litofacies y saturación de aceite para los <i>plugs</i> extraídos.....	137

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Mapa geológico de Las inmediaciones de la zona de estudio.....	150
Anexo B. Columna estratigráfica donde se relaciona porosidad, permeabilidad, radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.	151
Anexo C. Columna estratigráfica donde se relaciona radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.	152
Anexo D. Columna estratigráfica donde se relaciona radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.	153
Anexo E. Columna estratigráfica donde se relaciona radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.	154
Anexo F. Catálogo de muestras.....	155

RESUMEN.

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ALMACENADORAS DE BITUMEN EN LOS AFLORAMIENTOS UBICADOS HACIA EL NOROCCIDENTE DE LA DORADA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA.*

AUTORES: Wilmar Andrés De la Hoz Gamboa**, Fredy Alexander Hernández Silva**

PALABRAS CLAVES: Yacimientos No Convencionales, Arenas bituminosas, Grupo Honda, Formación Cambrás.

DESCRIPCIÓN

En el presente proyecto se realizó la caracterización sedimentológica, estratigráfica y petrofísica a la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás) de edad del Mioceno medio a tardío, que afloran en la parte sur de la cuenca VMM en las inmediaciones de la Vereda Isaza, Caldas.

La clasificación sedimentológica permite determinar que las Arenas bituminosas varían en composición de Litarenitas a Litarenitas Feldespáticas para el caso de las rocas de tamaño de grano arena y conglomerados Líticos a Sublitoconglomerados para el caso de las rocas de tamaño de grano grava.

Las facies encontradas en las Arenas Bituminosas son facies arenosas de tipo Sh, St, Sm y Sr y facies gravosas de tipo Gmg y Gt. Mediante la asociación de facies realizadas por Miall, (1996) se determinan elementos arquitecturales que permiten inferir ambientes de depósito de ríos de corrientes trenzadas dominados por arenas y algunas gravas, para el caso de las Arenas Bituminosas de la sección estratigráfica SE-1 y SE-2 y ríos de corrientes trenzadas dominados por gravas con flujos gravitacionales para las Arenas Bituminosas de la sección estratigráfica SE-3 y SE-4.

Los análisis de petrofísica básica realizados a trece *plugs* de SE-1 a las Arenas Bituminosas arrojaron petrofacies megaporosas con porosidades entre 35,3% y 39,2% con permeabilidad entre 7165 y 20990 mD y petrofacies macroporosas con porosidades entre 35,6% y 36,4% y permeabilidad entre 1071 y 2746mD, que dan una calidad de roca reservorio buena a muy buena pues estas facies son las de mayor garganta poral.

Análisis de datos estructurales indican que para las rocas del Mioceno medio a tardío los principales esfuerzos de deformación son de tipo compresivo y según los diagramas ciclográficos y de rosetas realizados para la zona de estudio el tensor de esfuerzos presenta variaciones locales de dirección NW a NE.

* Proyecto de Grado. Modalidad: Investigación

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: M.Sc Francisco Velandia. Codirector: José Ricardo Sandoval

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE STONES STORING OF BITUMEN IN THE OUTCROPS THE NORTH-WEST OF VILLAGE LA DORADA, PROVINCE OF CALDAS, COLOMBIA*.

AUTHORS: Wilmar Andrés De la Hoz Gamboa**, Fredy Alexander Hernández Silva**

KEY WORDS: Unconventional resources, Bituminous Sands, Honda Group, Cambrás Formation.

DESCRIPTION

In this investigative project was performed the sedimentological, stratigraphic and petrophysical characterization of lower Honda Group rocks (Cambrás Formation) related to an age of middle-late Miocene, these rocks outcrop in the south of the Basin Middle Magdalena Valley nearly of the village Isaza, province of Caldas.

As a result of the sedimentologic characterization of the samples, it was possible to determine the main storing rocks of bitumen in the area which are Litharenite to Feldspathic Litharenite for the case of sands and for the conglomerates are Lithic conglomerates to Sublithic conglomerates.

For the facies of the Bituminous Sands for the case of sands sizes are Sh, St, Sm and Sr but for the gravel sizes (Bituminous Gravel) are Gmg. When to compare the facies association proposed by Miall, 1966 and to see the architectural elements was possible to infer deposit environments system braided rivers dominated for sands and gravels, for the stratigraphic sections SE-1 and SE-2; and for the stratigraphic sections SE-3 and SE-4 system braided rivers dominated for gravels with gravitational flows.

The analysis of the petrophysical basic was performed to 13 plugs the station PAB-1, the petrofacies for the bituminous sands were megaporous with porosities between 35, 3% to 39, 2% and permeabilities between 7165 to 20990mD and macroporous petrofacies with porosities between 35,6% to 36,4% and permeabilities between 1071 to 2746mD; these petrofacies allow inferring reservoir rock quality good to very good for these facies are the most poral throat.

Analysis of structural data indicate that the rocks of the middle-late Miocene corresponding to the basal part of the Honda Group (Cambrás Formation) the major stress are of compressive deformation and by graphiccycles and rosettes made in the study area it was determined that the stress tensor has local variations NW to NE.

* Research project

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Francisco Alberto Velandia Associate Professor of Geology.

INTRODUCCIÓN

La zona hacia NW de La Dorada (Caldas) se encuentra localizada en el extremo Sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM), en las estribaciones Orientales de la Cordillera Central en donde estudios previos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) ha reportado la presencia de rezumaderos de bitumen. Jiménez & Cruz (2004) evalúan el yacimiento de asfaltitas en sectores aledaños, donde estos depósitos han sido utilizados como materia prima para el arreglo de vías de zonas colindantes.

Debido a la carencia de propiedades que cuantifiquen la calidad de estas rocas almacenadoras de bitumen para poder determinarlas como un reservorio de Arenas Bituminosas, ha sido indispensable realizar un trabajo que incluya diferentes factores para caracterizar este tipo de yacimiento, mediante parámetros geológicos como cartografía, levantamiento de secciones estratigráficas, análisis de propiedades petrofísicas y petrográficas de la roca almacén con el fin utilizar estos productos en la industria energética del país.

En el presente trabajo se realizó una cartografía a escala 1:25.000 para determinar la distribución espacial de las rocas almacenadoras de bitumen y mediante la integración de los datos sedimento-estratigráficos, se generó una propuesta del ambiente de depósito de estos cuerpos. Además se evaluó la calidad de la roca reservorio mediante la interpretación y análisis de los datos Petrofísicos (Porosidad, permeabilidad y Saturación de Aceite).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Pregunta de Investigación:

¿Cuál es la disposición estratigráfica y propiedades petrofísicas que determinan la calidad del reservorio de las rocas almacenadoras de bitumen localizadas hacia el NW de la Dorada Caldas?

Son evidentes los descensos de las reservas de hidrocarburos no solo en Colombia sino a nivel mundial, ya que se han venido descubriendo cada vez menos yacimientos, y los pocos encontrados no presentan abundancia o no son viables debido a su dificultad para la explotación, su gran impacto socio-ambiental y por el alto costo que esto demanda.

Debido a la necesidad de encontrar y explotar nuevas fuentes de energía, los Yacimientos de Hidrocarburos No Convencionales han tomado importancia en la actualidad. Estos están caracterizados por ser fuentes energéticas líquidas y gaseosas compuestas químicamente por Carbono e Hidrogeno, que difieren del petróleo crudo y gas natural los cuales son extraídos tradicionalmente del subsuelo mediante pozos (Incera, 2007).

Entre los Yacimientos de Hidrocarburos No Convencionales se incluyen Crudos pesados y extra pesados, Arenas Bituminosas (*Oil Sands*), Gas en mantos de Carbón, *Shale* Gas, Hidratos de Gas y Arenas apretadas (*Tight Sands*) (Repsol, 2011)

Las Arenas Bituminosas (*Oil Sands*) son una mezcla de arena, agua, arcilla y una forma densa y viscosa de petróleo técnicamente referido como bitumen. Este bitumen puede refinarse para obtener de él diversos productos orgánicos tal y como se hace en las refinerías de petróleo actualmente. La extracción de estas arenas se obtiene por medio de minería a cielo abierto y en algunos casos donde éstas se encuentran a profundidades mayores se realizan perforaciones para

extraer el bitumen por medio de una inyección de vapor de agua (Briceño & Ortiz, 2009)

El principal problema en Colombia en este tipo de yacimientos es el escaso conocimiento geológico. En la zona de estudio que se encuentra al NW de La Dorada, Caldas, el desconocimiento de la estratigrafía, las características sedimentológicas y la calidad de los reservorios potenciales de arenas bituminosas es el inconveniente primordial.

JUSTIFICACIÓN

El sector petrolero en Colombia ha sido motor para el desarrollo económico a lo largo del tiempo, pero el aumento del consumo de energía y la disminución de reservas y nuevos hallazgos conducen a la necesidad de encontrar alternativas de energías fósiles, como lo son las arenas bituminosas (*oil sands*).

El entendimiento de los factores geológicos que controlan las acumulaciones de bitumen en el área de estudio ayudará a la evaluación del potencial de este tipo de recursos. La caracterización sedimento - estratigráfica y petrofísica de las rocas aflorantes permitirá a Ecopetrol tener un panorama global de la oportunidad exploratoria de estos recursos no convencionales.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Caracterizar sedimentológica, estratigráfica y petrofísicamente las rocas almacenadoras de Bitumen al NW de la Dorada, Caldas.

Objetivos Específicos

- Reconocer la distribución espacial de las facies que componen la roca almacenadora de Bitumen.
- Identificar los ambientes de depositación de las rocas almacenadoras de Bitumen.
- Identificar las relaciones existentes entre las características sedimentológicas y petrofísicas de las rocas almacenadoras de bitumen.
- Realizar la Cartografía Geológica de aproximadamente 25Km² a escala 1:25.000
- Levantar secciones estratigráficas representativas a una escala detallada (1:50)
- Analizar los esfuerzos estructurales dominantes en la zona mediante estudio de rosetas, polos y planos de diaclasas.

1. METODOLOGÍA

1.1.1. FASE DE RECOPIACIÓN

1.1.2. Recopilación Bibliográfica

Se realizó la recopilación de diversos documentos que permitieron el entendimiento geológico desde un nivel macro a uno detallado de la zona de estudio.

Para esto se accedió a fuentes tales como la Data Base de la *American Association of Petroleum Geologists (AAPG)*, *Society of Exploration Geophysicists (SEG)*, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo (ACGGP), Centro de Información Técnica (CIT) del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Se aludirá a dichos artículos en el desarrollo del trabajo en el capítulo de Antecedentes.

1.1.3. Recopilación de Cartografía e Imágenes

Mapas: Para la obtención de mapas, se recopilaron de Ingeominas la plancha Geológica 188 (La Dorada, Caldas) a una escala 1:100.000 (Barrero, 2009) y el cuadrángulo geológico K9 (Armero) y J9 (La Dorada) a escala 1:100.000 (Barrero, 1976.)

Fotogeología: La fotogeología de la zona de estudio se realizó previamente a la campaña de campo con el propósito de identificar lugares importantes para el levantamiento de columnas estratigráficas, asimismo presentar una idea previa de los contactos geológicos, teniendo en cuenta la tipología de los drenajes, y determinar lineamientos que permitan desarrollar una idea del control estructural de la zona y su relación con los rezumaderos previamente reportados por la ANH y/o las previas comisiones de campo de tesis de maestría.

Esta fase se realizó mediante el análisis del vuelo C-2210 en las fotografías aéreas 0026, 0027 y 0028, utilizando un estereoscopio de espejos.

Imágenes de Satélite: Se desarrolló la recopilación de imágenes satelitales de tipo L7ETM y ETM obtenidas de la página de la *United States Geological Service (USGS)* en su enlace <http://earthexplorer.usgs.gov/> para la determinación de rasgos geológicos generales en el área de estudio. Cabe resaltar que estas imágenes son gratuitas y se pueden descargar libremente.

1.2. FASE DE CAMPO

Se realizaron dos campañas de campo en el NW de La Dorada (Caldas), en las inmediaciones del Corregimiento de Isaza, Municipio Victoria (Caldas)

La primera tuvo una duración de 15 días donde se realizó la cartografía de la zona, aproximadamente 90km cuadrados, a una escala 1:25.000, mediante la elaboración de estaciones de control hechas con el protocolo de campo previamente establecido (Tabla 1), estas estaciones sirvieron para la obtención de muestras de mano y determinación de puntos estratégicos para el levantamiento de secciones estratigráficas a mayor detalle.

La segunda campaña tuvo una duración de seis (6) días, en esta campaña se suplieron las necesidades planteadas después de culminada la anterior. Éstas fueron el levantamiento de secciones estratigráficas a una escala detallada (1:50), toma de *plugs* para análisis petrofísicos y la determinación de estructuras sedimentarias para el planteamiento de facies y asociaciones faciales que permitirían inferir los ambientes de depósitos de las rocas de interés.

1.2.1. Dificultades: Se presentaron dificultades para la elaboración de puntos de control debido a los escasos afloramientos presentes en la zona y al poco acceso a diferentes lugares, ya que estos eran de propiedad privada.

Tabla 1. Protocolo de campo utilizado para la realización de las estaciones de control geológico.

PROTOCOLO DE CAMPO
1. Nomenclatura de la estación
2. Localización del afloramiento en coordenadas GPS
3. Localización en términos geográficos (vía, finca, quebrada, etc.)
4. Localización del punto en el mapa topográfico
5. Descripción geomorfológica de la zona
6. Esquema geológico del afloramiento
7. Descripción litológica (tamaño de grano, estructuras, espesores, texturas, composición, etc.)
8. Toma de datos estructurales
9. Toma y registro fotográfico (afloramiento, detalle, panorámicas)
10. Toma de especímenes (relacionar en el esquema y asignar nomenclatura)
11. Levantar columna estratigráfica (si es necesario)
12. Toma de datos Gamma Ray (Si es necesario)
13. Extracción de <i>plugs</i> (si es necesario)
14. Revisión de los ítems anteriores

Fuente: Este trabajo.

1.3. FASE DE ANÁLISIS

1.3.1. Laboratorio.

Se enviaron 13 *plugs* al laboratorio de 44 obtenidos durante la segunda campaña de campo, los cuales fueron elegidos por representar un mejor detalle las rocas almacenadoras de bitumen en la columna representativa de la zona. Estos *plugs*

fueron extraídos mediante un taladro de mano con una broca punta de diamante de una pulgada.

Se realizaron análisis petrofísicos de permeabilidad, saturación de fluidos y de porosidad en los laboratorios del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Los registros Gamma Ray fueron tomados mediante un Centellometro en la fase de campo para construir la curva de contenido de radioactividad de las rocas en los lugares de levantamiento de columnas estratigráficas, estos datos se presentan en cuentas por segundo (c/s) y la medición se hizo cada 10cm sobre una sección vertical de cada columna estratigráfica. Esta curva fue utilizada para corroborar las litologías de las diferentes secciones.

1.3.2. Macroscopía

Las muestras se analizaron en el laboratorio de estereomicroscopía de la escuela de geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS) mediante las lupas marca Nikon. Se determinaron las respectivas propiedades sedimentológicas de las muestras de mano (tamaños de grano, forma de los granos, fábrica, matriz, composición, etc.)

1.3.3. Interpretación de los datos obtenidos y elaboración del informe.

Los resultados de los anteriores análisis se utilizaron para desarrollar las conclusiones correspondientes a las fases nombradas con anterioridad.

2. GENERALIDADES

2.1. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio, se encuentra localizada geográficamente en el flanco oriental de la Cordillera Central de Colombia en jurisdicción de la Vereda Isaza, municipio Victoria, oriente del departamento de Caldas (Figura 1).

Corresponde a una franja de dirección Norte-Sur, comprendida dentro de la plancha número 188 II-A y 188 II-C de 1961 a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el área consta aproximadamente de 90 km² y está localizada entre las coordenadas planas referidas a Bogotá.

X1: 914217

Y1: 1112323

X2: 921796

Y2: 1112323

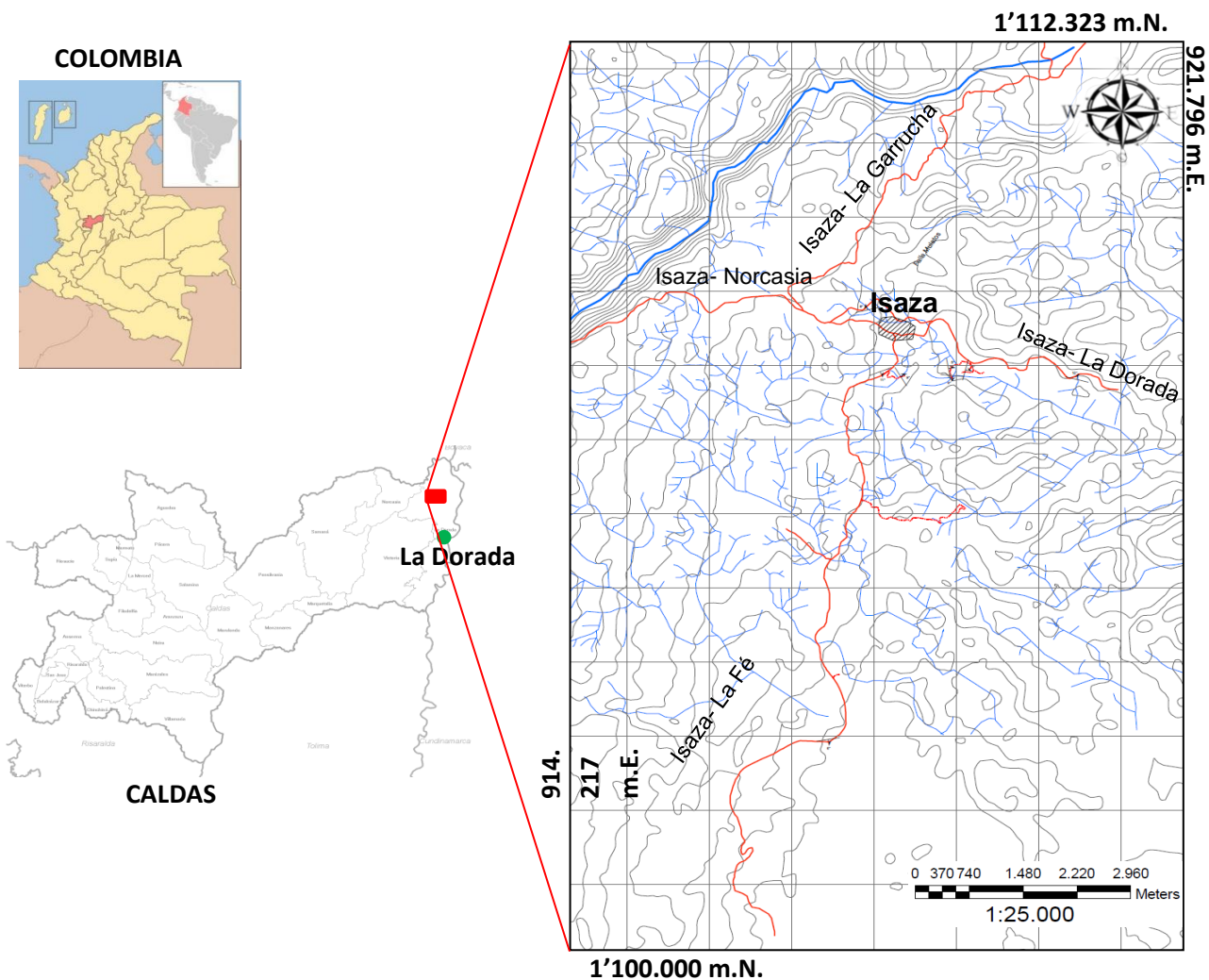
X3: 921796

Y3: 1100000

X4: 914217

Y4: 1100000

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Se observan las vías de acceso al área de estudio en las cercanías de Isaza.

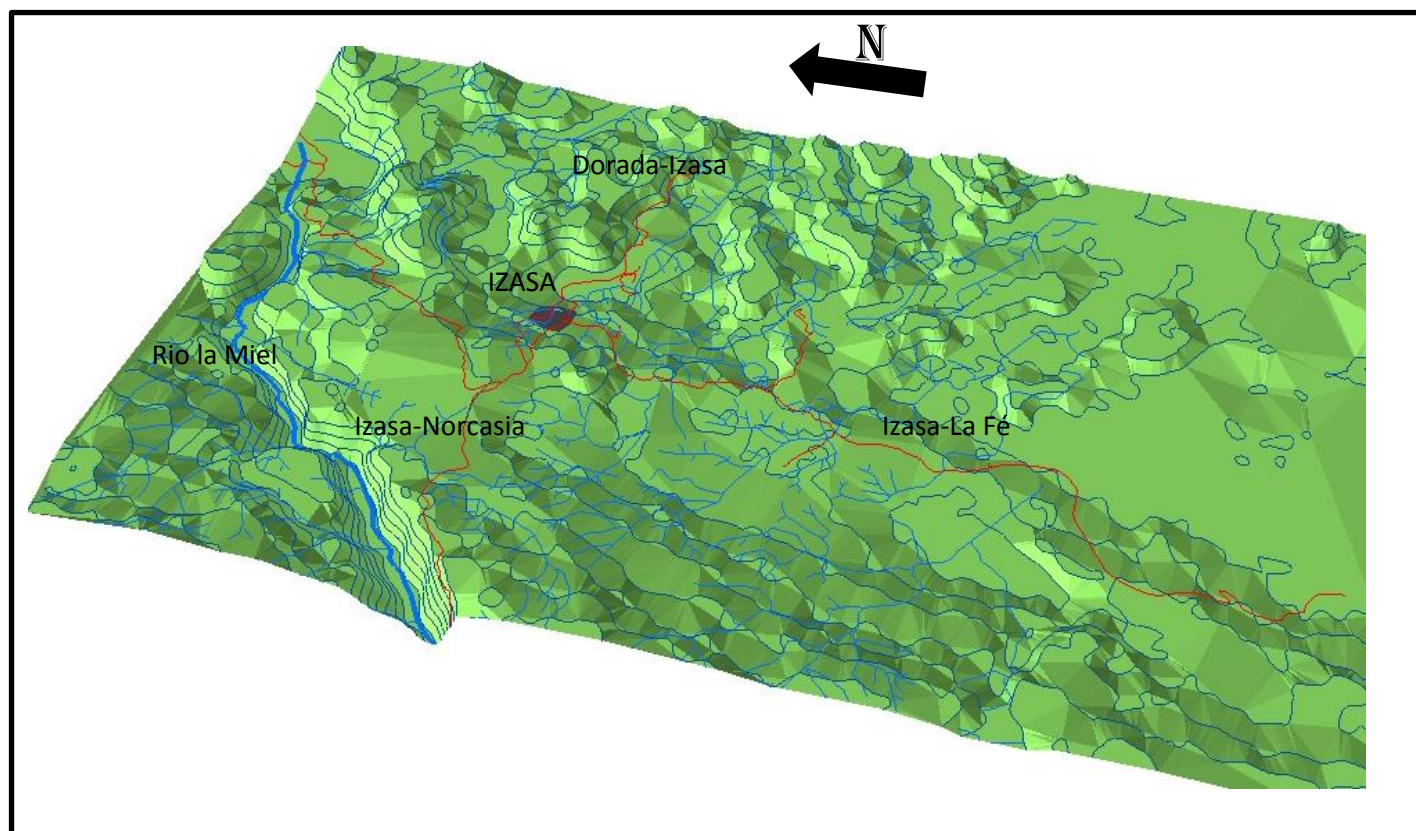


Fuente: Este trabajo.

2.2. VÍAS DE ACCESO

Las principales rutas de acceso a la zona de estudio se encuentran en un estado moderado ya que son carreteras destapadas; estas vías corresponden, al NE la ruta que conduce el Municipio de La Dorada con la Vereda Isaza, hacia el NW se encuentra el tramo que comunica la vereda Isaza con la vereda Norcasia y hacia el Sur está la vía que comunica Isaza con la Vereda La Fé; éstas fueron utilizadas para llegar a los principales afloramientos del área. (Figura 2)

Figura 2. Imagen 2D, muestra las rutas principales de acceso a la zona de estudio, la imagen presenta una exageración en la vertical de 4m.



Fuente: Este trabajo.

3. MARCO TEÓRICO

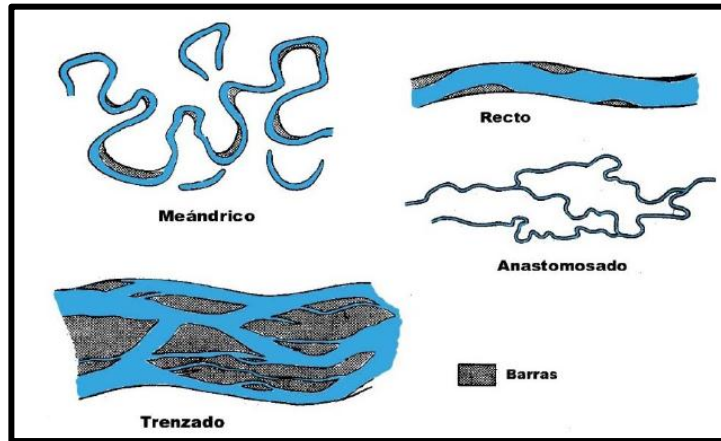
Teniendo en cuenta la geología del área de estudio y los principales reportes geológicos anteriores al presente proyecto, que se mencionan en el capítulo de Antecedentes, se tiene que las rocas aflorantes, pertenecientes a la Formación Cambrás, parte basal del Grupo Honda, depositada durante el Mioceno medio a tardío donde se tenía una cuenca intermontana entre la Cordillera Central y el principal levantamiento de la Cordillera Oriental donde la actividad tectónica compresiva aumentó para este tiempo y se invirtieron estructuras pre-existentes. Este evento de levantamiento es considerado como la orogenia andina, a partir de la cual se desarrolló la configuración actual de la cuenca del VMM.

Analizando lo anterior la zona de interés se desarrolló en un ambiente netamente fluvial, por esta razón en el presente capítulo solo se hace alusión a este tipo de ambientes excluyendo los demás.

3.1. SISTEMAS FLUVIALES

Los depósitos fluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos. Estos depósitos se generan en diversas condiciones climáticas, desde desérticas hasta glaciales, sin embargo, en función de su sinuosidad (longitud del canal/longitud del valle) se reconocen tres sistemas fluviales bien definidos: sistema de ríos trenzados (*braided*), sistema de ríos meandros (*meandering*) y sistema de ríos anastomosados (Figura 3). Se incluyen también dentro de la clasificación de depósitos fluviales a los procesos de deslizamiento por gravedad asociados (sistemas de abanicos aluviales) (Miall, 1977).

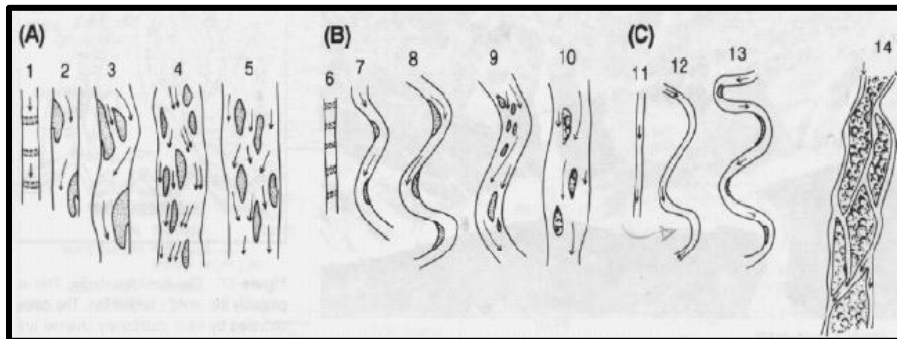
Figura 3. Diferentes tipos de canales dentro de los sistemas fluviales.



Fuente: Miall, 1977

De estos tipos, los ríos rectos son poco frecuentes y los ríos anastomosados pueden ser considerados como un tipo especial de río meandriforme que tiene relativamente un sistema permanente y estable de canales con alta sinuosidad, con bancos cohesivos y separados por islas grandes, estables y cubiertas de vegetación (Miall, 1977). Por lo tanto, los ríos trezados y los ríos meandriformes se consideran como los dos principales tipos de ríos (Walker, 1984) (Figura 3 y 4)

Figura 4. El intervalo de modelos de canales aluviales. A) Los canales de carga de fondo, B) canales de carga mixta, C) canales de carga suspendida. Los cuatro estilos principales de canales son meandros (7, 8, 12,13), trezados (3-5, 9, 10), anastomosados (14)



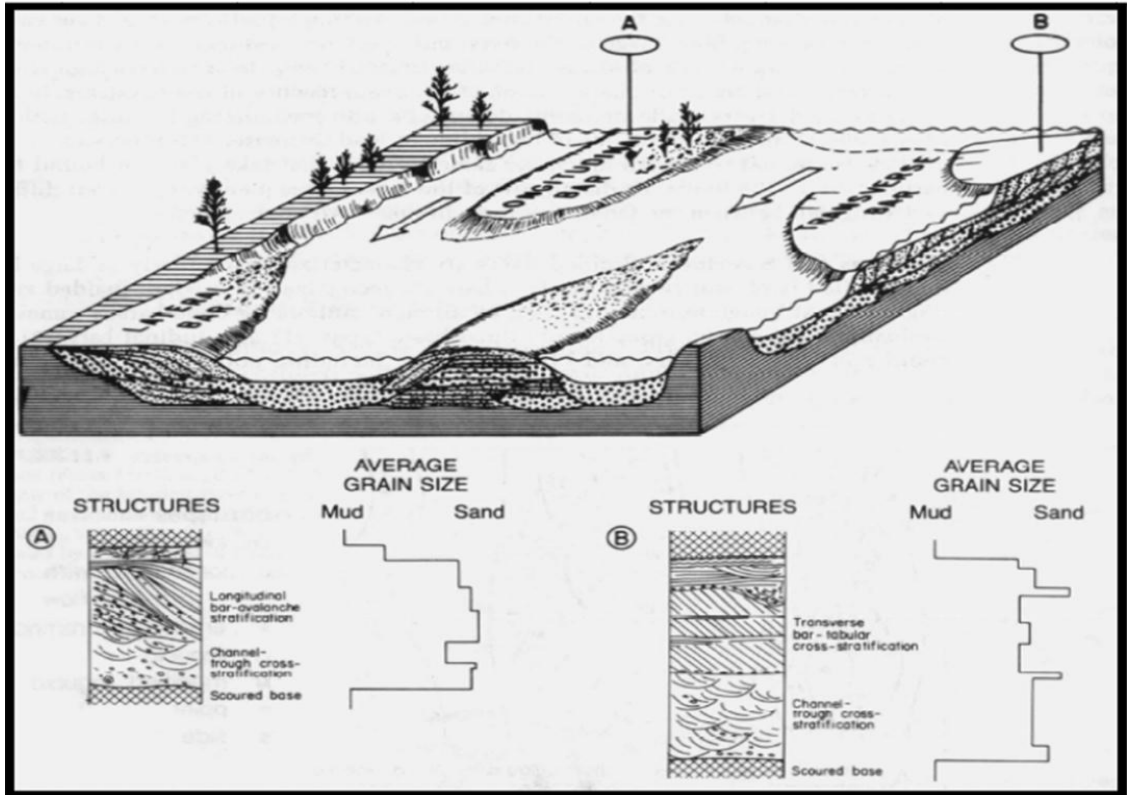
Fuente: Tomado de Miall, 1992.

3.1.1. Sistemas de ríos trezados: Configuración y procesos de depositación: los ríos trezados se distinguen de los ríos meandriformes por su menor sinuosidad, la cual se define como la relación entre la longitud del canal y la longitud del valle sobre el cual se desarrollan (Einsele, 1992) (Figura 3 y 4).

Un sistema fluvial trezado es caracterizado por muchos canales separados por barras y pequeñas islas (Figura 5). Los ríos trezados se desarrollan mejor en las partes distales de los abanicos aluviales, en las llanuras glaciales y alcanzan sistemas de ríos de montañas. En estas áreas los sedimentos son abundantes, las descargas de agua son altas y comúnmente esporádicas, y la poca vegetación podría dificultar la esorrentía. Bajo estas condiciones, los ríos son generalmente sobrecargados con sedimentos; conduciendo a la rápida depositación. Durante los periodos de descarga alta, la corriente en los canales es rápidamente sobrecargada de sedimentos gruesos, formando barras alrededor de las cuales la corriente se desvía; un desarrollo repetitivo de estas barras y la separación consecuente de los canales, genera el aspecto trezado de este sistema fluvial.

Los sistemas de ríos trezados son definidos a partir de los diferentes tipos de barras que en ellos se generan, y que pueden ser agrupadas en tres tipos básicos: Barras longitudinales, Barras transversales y Barras laterales (Figura 5) (Miall, 1977).

Figura 5. Estructuras de barras en ríos trenzados. La secuencia A es dominada por migración de gravas de barra longitudinal. La secuencia B registra depositación de una barra transversal sucesiva de sets de capas cruzadas a un canal trenzado.



Fuente: Miall 1977

3.1.2. Litofacies Fluviales: Las principales litofacies y estructuras sedimentarias que caracterizan los depósitos fluviales se resumen en la Tabla 2.

El análisis de facies fluviales en este trabajo se basó en la clasificación establecida por Miall(1996) en la Tabla 2, la cual es usada ampliamente para el estudio de afloramientos en superficie y análisis de núcleos en el subsuelo. Para el presente proyecto se tuvo en cuenta el término nombrado como estratificación en dicha tabla como laminación ya que hace alusión a la estructura interna de la roca.

Tabla 2. Clasificación, códigos de facies y su respectiva interpretación.

CODIGO DE FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	INTERPRETACION
Gmm	Grava masiva, matriz soportada	Gradación pobre	Flujo de detritos plástico (alta resistencia, viscoso)
Gmg	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal	Flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia, viscoso)
Gci	Grava clasto soportada	Gradación inversa	Flujo de detritos rico en clastos (alta resistencia) o flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia)
Gcm	Grava masiva clasto soportada	Ninguna	Flujo de detritos pseudoplástico (carga de fondo inercial, flujo turbulento)
Gh	Grava con estratificación gruesa clasto soportada	Estratificación horizontal, imbricación	Estructuras sedimentarias longitudinales, depósitos de lag, depósitos de sieve
Gt	Grava estratificada	Estratificación en artesas	Colmatación de canales menores
Gp	Grava estratificada	Estratificación cruzada planar	Estructuras sedimentarias transversales, crecimientos deltaicos de remanentes de antiguas barras
St	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación en artesas solitarias o agrupadas	Dunas de cresta sinuosa o lingüiforme (3 - D)
Sp	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación cruzada planar solitarias o agrupadas	Estructuras sedimentarias transversas o lingüiformes (dunas 2 - D)
Sr	Arena, fina a muy gruesa.	Estratificación cruzada con ondulitas	Ondulitas (régimen de flujo bajo)
Sh	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	Laminación horizontal, particionada o de corriente	Flujo de estratificación planar (flujo crítico)
Sl	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	estratificación cruzada de bajo ángulo (< 15°)	Llenado de estructuras erosivas, humpback o lado stoss de dunas, antidunas
Ss	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	estructuras erosivas de fondo (desbaste) anchas y someras	Llenado de estructuras erosivas
Sm	Arena, fina a muy gruesa.	Laminación masiva o poco clara	Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales
Fl	Arena, limo, fango	Laminación fina, ondulitas muy pequeñas	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de inundación en su etapa final
Fsm	Limo, fango	Masiva	Pantano o canal abandonado
Fm	Fango, limo	Masiva, grietas de secamiento	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de drape
Fr	Fango, limo	Masiva, raíces, bioturbación	Capas de raíces, suelo incipiente
C	Carbón, fango carbonáceo	improntas de plantas en el fango	Depósitos de pantanos ricos en vegetación
P	Carbonato paleosol (calcita, siderita)	Características pedogénicas: nódulos, filamentos	Suelo con precipitación química

Fuente: Modificado de Miall, 1996

3.2. GENERALIDADES DE LAS ARENAS BITUMINOSAS

Las arenas bituminosas, también llamadas arenas de alquitrán y arenas petrolíferas, son arenas impregnadas de petróleo compuestas por arena, arcilla, agua y bitumen, son consideradas una fuente de energía no renovable y no convencional (Chilingarian, 1978). Estas arenas son depósitos de betún, un pesado, negro y viscoso aceite que debe ser tratado rigurosamente para convertirlo en un crudo mejorado antes de que pueda ser utilizado por las refinerías para producir gasolina (OCDE/AIE, 2007).

El bitumen extraído de este material es una combinación compleja de alto peso molecular de compuestos orgánicos con un número de carbonos superior a C16 (en la tabla periódica), tiene alto contenido de carbono y es bajo en contenido de hidrógeno; también contiene pequeñas cantidades de diversos metales como el níquel, hierro y vanadio. Este bitumen es muy pesado, con una densidad mayor a 960 kilogramos por metro cúbico comparada con la densidad del crudo ligero de 790 kilogramos por metro cúbico, lo que hace necesario que se apliquen una serie de procedimientos con el fin de que fluya y pueda ser tratado como un crudo convencional (Incera, 2007).

El grupo al que pertenece un crudo, es decir, liviano, pesado o extra-pesado se define por la densidad que este tenga, dada usualmente en términos de grados API (Instituto Americano del Petróleo) y está relacionada con la gravedad específica; mientras más denso es el petróleo, más baja es la densidad API. El Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica (DOE, por sus siglas en inglés), define al petróleo pesado como aquél que presenta densidades API entre 10.0° y 22,3°; los crudos intermedios se sitúan entre 22,3° y 26° API y los livianos son aquellos que tiene más de 26° API (tomado de Almanza y Pulido, 2009). Según Syncrude (2009) las arenas bituminosas están consideradas dentro del grupo de crudos pesados y en algunos casos extra-pesados con densidades menores a 10°API.

La mayoría de los petróleos pesados y asfalto contienen una cantidad significativa de asfaltenos, a menudo tan alta como 22% en peso. La presencia del asfaltenos es la razón principal de la alta viscosidad de estos aceites (Yildirim ,2003).

Las arenas bituminosas se califican dentro de la categoría de “Lignito” el cual es un carbón no aglomerante con un valor calorífico bruto menor a 4165 kcal/kg y más de 31% de materia volátil cuando se encuentra en condiciones secas y libres de materia mineral (OCDE/AIE, 2007).

En promedio, el bitumen extraído contiene 83,2% de carbón, 10,4% de hidrógeno, 0,94% de oxígeno, 0,36% de nitrógeno y 4,8% de azufre.

A finales del siglo XIX, las arenas bituminosas habían sido investigadas superficialmente, excavadas y drenadas en pozos perforados a mano en países como Francia, Polonia, Rumania, Rusia, Oriente Medio y Lejano Oriente; pero fue hasta la Segunda Guerra Mundial (1941) que se desarrolló la explotación tecnificada de las arenas debido a la posibilidad de escasez de petróleo por la amenaza de Japón de paralizar el transporte marítimo del crudo (Kirk, 1961).

En 1950, a través del informe de S. M. Blair se demostró que la explotación de arenas bituminosas podía ser una actividad provechosa para la obtención de petróleo (Kirk, 1961).

En 1964, se inició la explotación de la reserva más grande del mundo de arenas bituminosas ubicada en la Provincia de Alberta, Canadá, debido a que la industria petrolera se dio cuenta de la riqueza de estas tierras (Chilingarian, 1978).

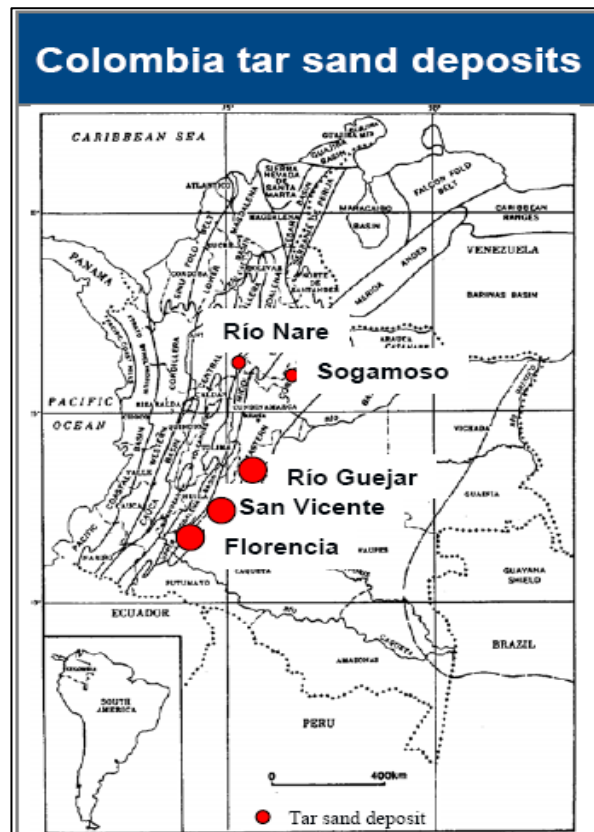
Debido a la importancia de utilizar fuentes alternas al petróleo, en los últimos años, se han descubierto más reservas de arenas bituminosas en países como Venezuela, Estados Unidos, Malasia, Rusia, Portugal, España, Rumania, México, Chile, Madagascar, entre otros.

3.3. ARENAS BITUMINOSAS EN COLOMBIA

Los estudios sobre la presencia de arenas bituminosas en el país son recientes, no se tienen cifras exactas de la cantidad de estas reservas pero sí la ubicación y la estimación de las minas.

La Figura 6 muestra los depósitos de arenas bituminosas en Colombia, indicados por los círculos rojos. Las mayores reservas se encuentran en el departamento de Caquetá en las regiones de San Vicente y Florencia. En el departamento del Meta se encuentra otro depósito de superficie junto al Río Guejar y hacia al centro del país están los depósitos de Sogamoso y Río Nare en los departamentos de Boyacá y Santander respectivamente (Guzmán, 2008).

Figura 6 . Distribución de depósitos de arenas bituminosas en Colombia.



Fuente. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2008.

3.4. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Para la fotogeología se utilizó un estereoscopio de espejos (Figura 7) que además de los lentes, posee dos prismas de reflexión y dos espejos laterales. Los rayos de luz de las fotografías son reflejados a través de los grandes espejos, fijados a 45° de la horizontal y luego nuevamente por los prismas de reflexión colocados en posición paralela a los espejos. La trayectoria final de los rayos es paralela a su dirección primitiva (vertical).

La separación entre los prismas está determinada por la distancia interpupilar del observador. Con este sistema, la separación de las fotografías está definida por la separación de los espejos grandes, permitiendo un área de visión estereoscópica mucho mayor en comparación con el estereoscopio de lentes. Un par estereoscópico visualizado con este aparato aparecerá muy pequeño; razón por la cual se intercalan unas lentes entre los ojos y los prismas de reflexión. Si se requiere un aumento mayor se pueden adaptar binoculares entre las lentes y los ojos. En estos casos el campo visual disminuye notablemente y es necesario desplazar el estereoscopio para observar el modelo estereoscópico total. (Sifuentes y Vásquez, 1987).

En la fase de análisis macro de las muestras se utilizó una lupa estereoscópica marca Nikon, esta lupa presenta un aumento de 7,5X y una distancia de trabajo de 115mm, tiene un prisma de reflexión total que produce imágenes más brillantes con un contraste más alto, para la determinación de características sedimentológicas (Figura 8.)

Figura 7. Estereoscopio de espejos utilizado en la fotointerpretación de imágenes aéreas.



Fuente: Este trabajo.

Figura 8. Lupa Nikon para análisis macro de las muestras de mano.



Fuente: Este trabajo.

El registro Gamma Ray se tomó en la fase de campo con el equipo Centellometro o contador Geiger (SPP2 *survey meter*, *High-sensitivity survey meter*) que mide en unidades C/S que corresponden a la desintegración radioactiva por cada segundo (Figura 9), este equipo pertenece a la Universidad Industrial de Santander y con el cual se realizaron varias medidas a la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás) en intervalos de cada 10cm en la vertical dichos datos se graficaron y se adjuntaron a las secciones estratigráficas.

Figura 9. Medición de la radioactividad mediante un Centellometro o Contador Geiger de mano.



Fuente: Este trabajo.

Se utilizó un taladro eléctrico, donde es necesario una bomba de inyección de agua para la extracción de *plugs*, muestras cilíndricas cuyo volumen depende de la broca utilizada para la perforación, en este caso se utilizó una broca de una pulgada para obtener una muestra representativa del afloramiento (Figura 10)

Figura 10. Se muestra el Taladro eléctrico y la bomba de inyección de agua



Fuente: Este trabajo.

Posteriormente estos *plugs* fueron llevados al laboratorio de petrofísica del ICP para los respectivos procedimientos y obtener finalmente los datos de porosidad, permeabilidad y saturación de fluidos.

4. ANTECEDENTES

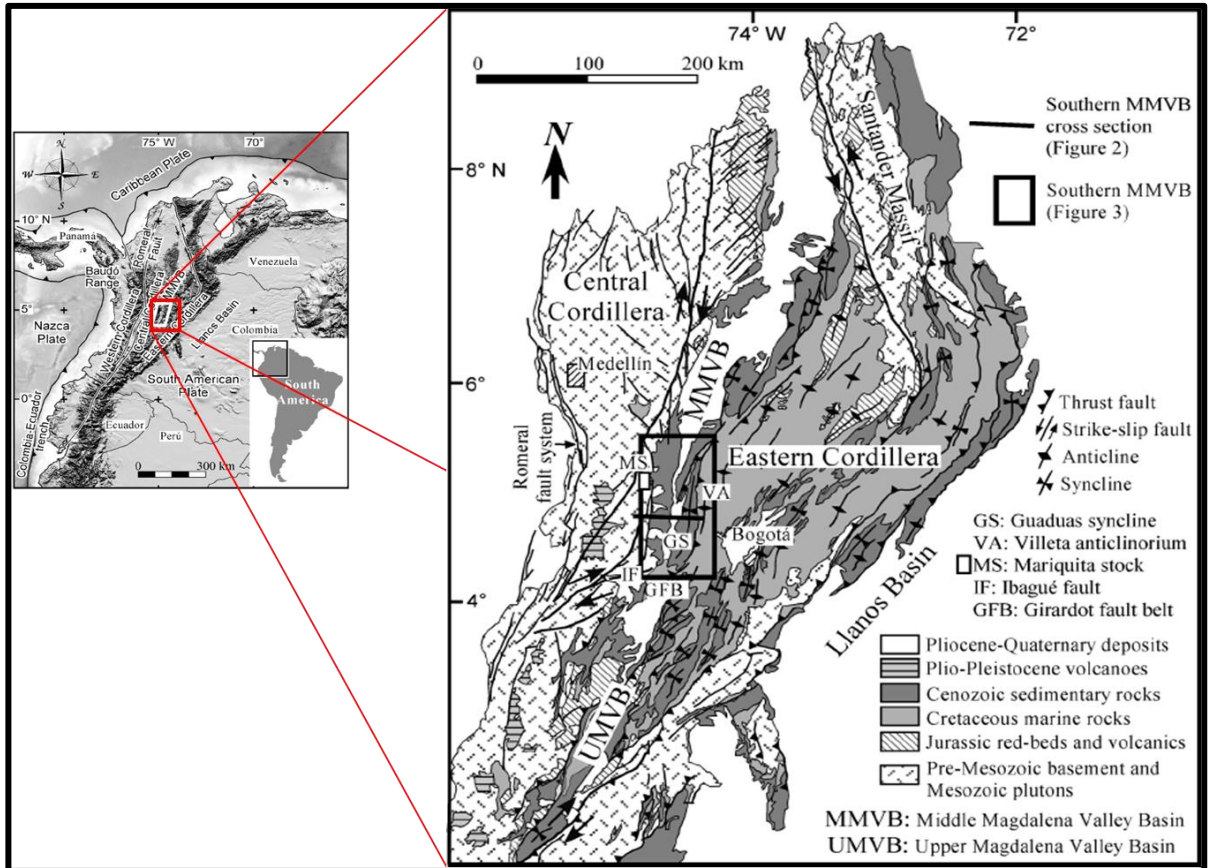
4.1. ANTECEDENTES REGIONALES

El área de interés se encuentra ubicada en el extremo sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) donde es considerada como una subcuenca, la cual se hace más profunda hacia el este y está limitada hacia el Oeste por la Cordillera Central y hacia el Este por el cinturón cabalgado de las estribaciones Occidentales de la Cordillera Oriental (Figura 11.)

Morales, 1958 menciona en su artículo "*General geology and oil occurrences of middle magdalena valley, Colombia*" la evolución de la cuenca VMM y corrobora lo dicho por L.G. Weeks, 1952, sobre una cuenca tipo graben específicamente un "*half graben*"; ésta configuración se pudo originar en la orogenia que se dio a finales del Cretácico, pero menciona que la configuración actual se da por los movimientos tectónicos al final del Mioceno, que dieron como resultado el empuje del fallamiento y el levantamiento del Este de la Cordillera de los Andes, donde los principales esfuerzos son compresivos.

El VMM constituye una depresión asimétrica con márgenes diferentes. Al Occidente es un borde pasivo, encontrándose en parte sobre materiales de la Cordillera Central y que se caracteriza por una geometría monoclinial, con importantes truncaciones de las formaciones Cretácicas, que desaparecen en dirección a la cordillera bajo un progresivo recubrimiento (onlap) de los sedimentos del Cenozoico, que buzcan preferencialmente hacia el oriente, pero con algunas interrupciones causadas por fallas y flexuras (Taborda, 1965). Por el Contrario, hacia la Cordillera Oriental la deformación se incrementa de manera continua y pasa a un complicado margen compresional.

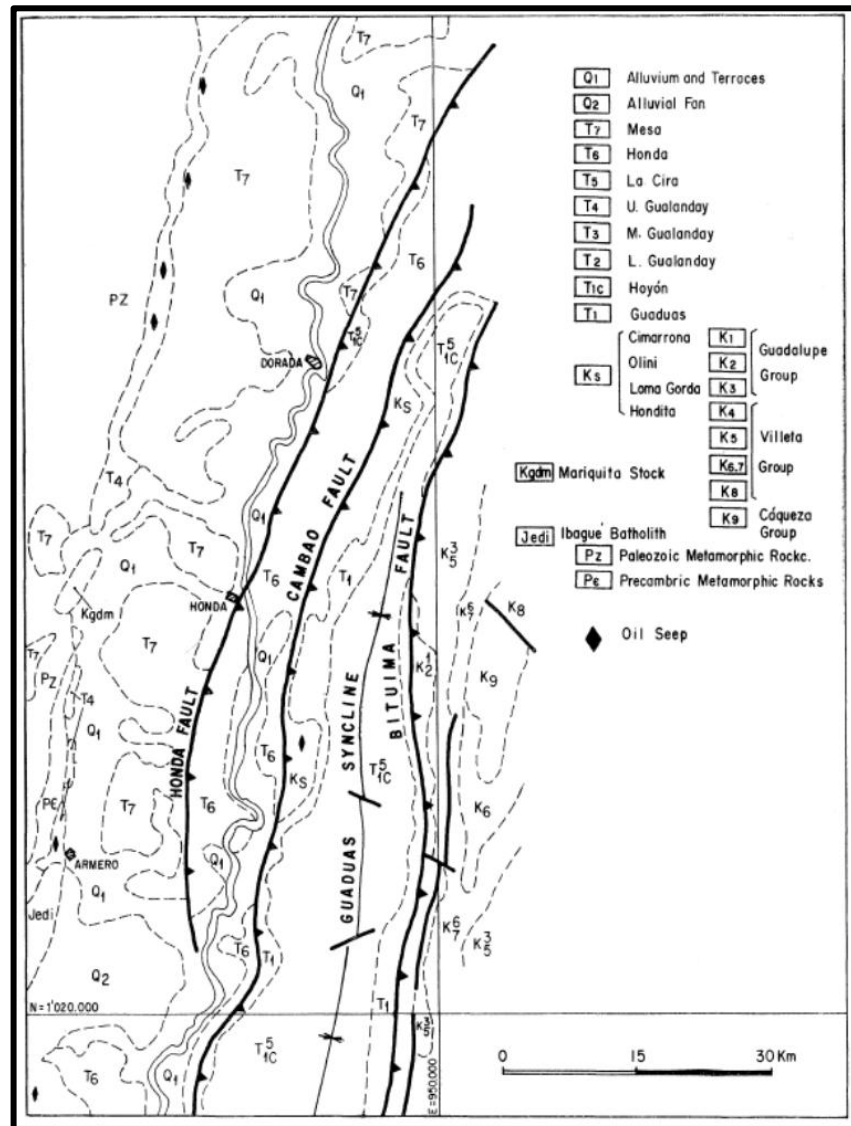
Figura 11. Ubicación general de la cuenca VMM, donde se observan los principales rasgos en cuanto a litologías y tipos de estructuras presentes en zonas aledañas.



Fuente: Tomado de Gómez, 2003

Acosta & Obando, 1984 Describen en la zona sur del VMM diversas estructuras compresivas hacia el sureste en las estribaciones occidentales de la cordillera Oriental tales como el Sinclinal de Guaduas y el Anticlinorio de Villeta limitados por fallas de carácter inverso como lo son las fallas de Honda, Cambao y Bituima, respectivamente. Estas fallas se asocian a otras menores y conforman sistemas que guardan estrecha relación con la distribución de los sedimentos post paleocenos, en general estas estructuras presentan una orientación de N 20 E (Figura 12.)

Figura 12. Mapa de las principales estructuras como las Fallas Bituima, Cambao y Honda además de las unidades litológicas de la zona. Se observa también *oil seeps*.



Fuente: Tomado de Acosta & Obando, 1984

4.1.1. Estratigrafía y sedimentología del Sur de la cuenca VMM.

El registro sedimentario muestra una sucesión de depósitos continentales del Neógeno donde el espesor promedio de la cobertera sedimentaria es de 6500 m, correspondiendo a rocas sedimentarias siliciclasticas depositadas principalmente bajo condiciones continentales, abanicos aluviales y con una variedad de cuerpos fluviales con alguna influencia volcánica, y descansando discordantemente sobre cuerpos ígneos plutónicos de composición ácida con influencia de metamorfismo dinámico, los cuales afloran sobre ambos flancos de la cordillera central (sensu Barrero & Vesga, 1978; González, 1990) y sobre rocas metamórficas paleozoicas, cartografiadas como el Complejo Cajamarca, el cual aflora desde la falla Mulatos, en cercanías de la población Mariquita (Barrero & Vesga, 1976) hasta la falla San Jerónimo, al oriente de Manizales.

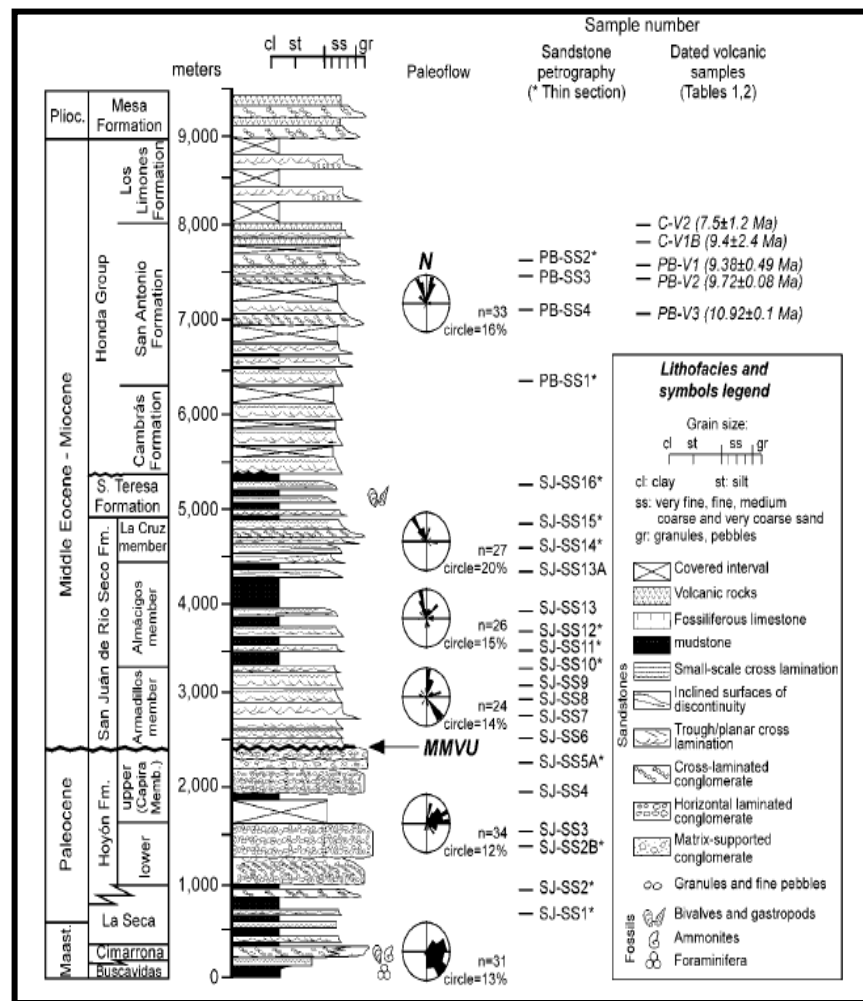
Las rocas del Paleozoico corresponden a las metamorfitas del Complejo Cajamarca. Se observan en contacto discordante con depósitos continentales del Neógeno y en contacto intrusivo localmente con un conjunto de plutones de composición ácida y diques hipoabisales de composición básica no cartografiables. Litológicamente está constituida por esquistos grafitosos, esquistos micáceos y esquistos cuarzosos que alcanzan uniformemente las facies de esquistos verdes (González, 1980).

Los cuerpos ígneos se encuentran en contacto aparentemente neto (contacto visible) intrusivo con las rocas metamórficas del complejo Cajamarca, a su vez también aparecen en contacto discordante con depósitos continentales del Neógeno. Se presentan como una roca fanerítica mesocrática de grano medio a grueso, inequigranular e hipidiomórfica, formada por cristales de cuarzo, plagioclasas, biotita parda, clorita, epidota, feldespato y hornblenda; el cuerpo ígneo ocasionalmente se presenta impregnado de asfalto, principalmente aprovechando la porosidad secundaria como diaclasas o fracturas (Jiménez & Cruz, 2004).

Las rocas pertenecientes al Neógeno están representadas por el Grupo Honda y la Formación Mesa. El Grupo Honda descansa en un contacto discordante con rocas del basamento y presenta un contacto superior con la Formación mesa y de manera sectorizada un contacto discordante con depósitos aluviales (Jiménez & Cruz, 2004).

La figura 13 muestra una columna generalizada hacia el Sureste de la zona de interés donde hay mayor registro sedimentario.

Figura 13. Columna generalizada del sector sur de la cuenca VMM donde se observa la secuencia principal de rocas, además de diagramas rosas mostrando paleo corrientes presentes en las diferentes formaciones.



Tomado de Gómez *et al.*, 2003

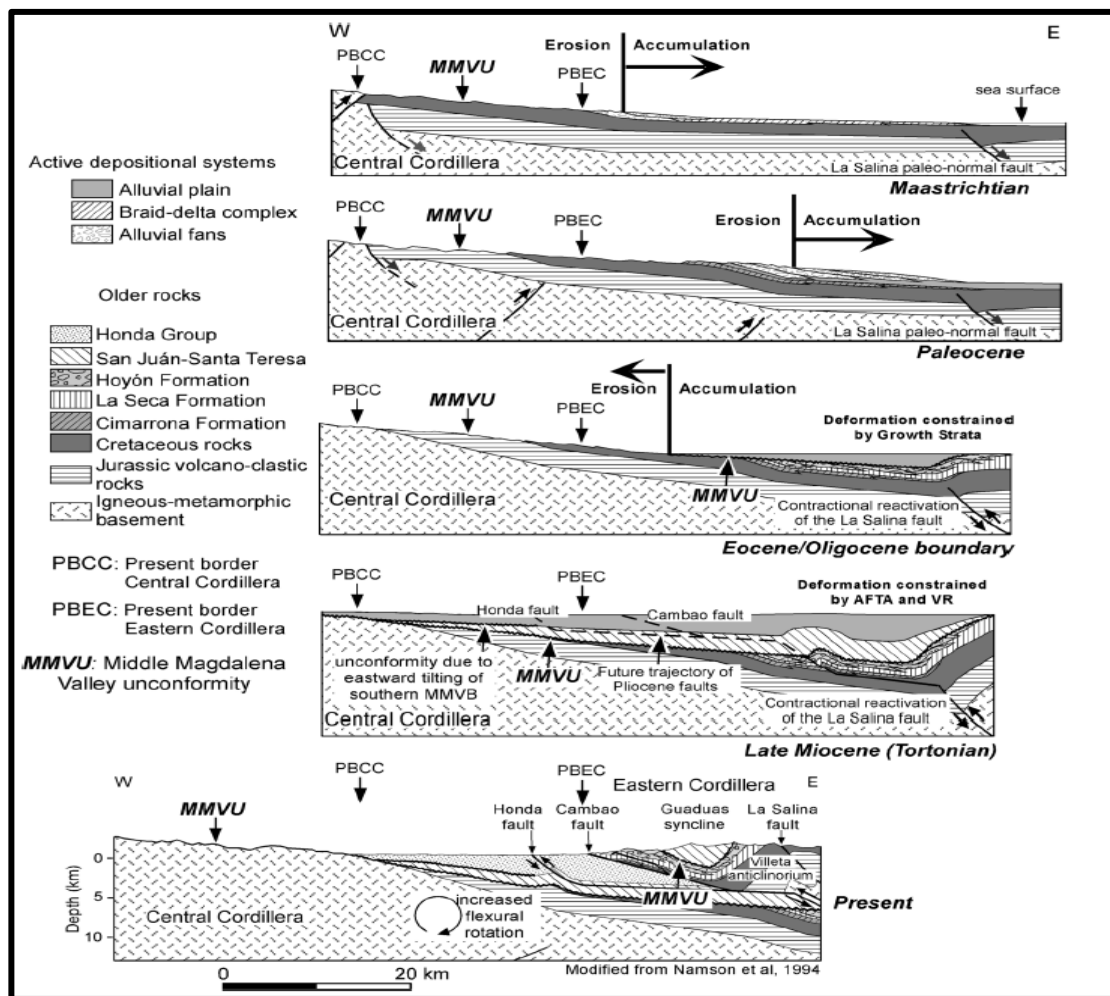
4.1.2. Evolución Tectono – Estratigráfica

La evolución del Grupo Honda y demás unidades Mesozoicas se remonta desde el Cretáceo Tardío al Eoceno temprano el cual fué un periodo transgresivo con migración hacia el este de la deformación de la Cordillera Central y consecuentemente la formación hacia el Oeste del expandimiento de la zona de pedimento con niveles de erosión del basamento cristalino de la Cordillera Central. Como resultado de largo plazo de denudación, el relleno sedimentario del VMM lleva una fuerte influencia de la Cordillera Central porque la erosión de 7 – 13 km de roca suministró grandes cantidades de sedimento desde el Cretáceo tardío (Gómez, 2003) que formó una importante Inconformidad regional (Figura 14)

Esta Inconformidad es designada por Gómez (2003), como MMVU (*Middle Magdalena Valley Unconformity*) el cual une la historia de exhumación de la Cordillera Central con la historia de llenado de la cuenca. La inconformidad buza hacia el este y está compuesta de dos superficies discretas: (1) Las estribaciones orientales de la Cordillera Central, la cual es una superficie geomórfica y (2) una prominente inconformidad estratigráfica en la sub-superficie de la cuenca, en la base de la sobreposición de estratos del Mioceno Medio al Neógeno.

En contraste, la configuración de los estratos del Eoceno medio a Neógeno está caracterizada por un engrosamiento hacia el este y sugiere subsidencia a largo plazo provocado por el acortamiento y sobrecarga de la Cordillera Oriental durante la erosión de la Cordillera Central. Luego de esto, la deformación de la Cordillera Oriental también controló la geometría interna del relleno sintectónico en el Eoceno medio al Holoceno, el cual sobrepone la inconformidad porque la deformación determinó la locación y dirección de los drenajes fluviales de la cuenca y la estructura de las inconformidades (Gómez, 2003).

Figura 14. Evolución tectono-estratigráfica de la parte sur del VMM, se observa como las fallas asociadas al levantamiento de la Cordillera Central desaparecen al estabilizarse el orógeno y no son reactivadas por el levantamiento de la Cordillera Oriental. También se muestra los tipos de formaciones o grupos de rocas depositados durante este periodo de tiempo.



Fuente: Tomado de Gómez *et al.*, 2003.

4.1.2.1. Síntesis de la evolución Tectono-estratigráfica de la parte sur de la cuenca VMM.

En el presente trabajo hemos adoptado la metodología propuesta por Cooper (1995) para la evolución tectono-estratigráfica de la cuenca VMM, Llanos y la Cordillera Oriental (CO), Villamil (1999) y posteriormente Gómez (2003), donde enfatiza en el sector Sur de la cuenca VMM en la cual se ubica la zona de estudio.

La evolución se remonta al Cretácico tardío (Maastrichtiano), donde ocurre un evento de transgresión hacia el este de la CC, en este tiempo también se da el levantamiento de esta cordillera, aportando así una gran cantidad de sedimentos, dando origen a la inconformidad denominada por Gómez, 2003 como "MMVU". Los estratos del Eoceno medio al Neógeno, se caracterizan por un engrosamiento al Este debido a la sobrecarga ocasionada por el levantamiento de la CO en el Eoceno medio al Holoceno.

Actualmente la cuenca presenta dos tipos de bordes: al W un borde pasivo (Cordillera Central) y al E un borde activo, debido a la compresión ocasionada por el levantamiento de la CO.

4.2. ANTECEDENTES LOCALES

La zona exactamente se ubica al NW de La Dorada, Caldas en las inmediaciones de la vereda de Isaza en el Municipio Victoria.

En esta zona los principales afloramientos corresponden a rocas del basamento pertenecientes al Complejo Cajamarca y rocas del Neógeno pertenecientes al Grupo Honda.

El Grupo Honda aflora en importantes localidades a lo largo del Valle del río Magdalena entre la Cordillera Central y Oriental, aunque la localidad tipo (Hettner, 1892) se encuentra cerca de las poblaciones de Honda y La Dorada en el Valle Medio del Magdalena.

Aunque no existen muchas secciones estratigráficas con datos sobre los espesores del Grupo Honda, los datos publicados hasta el momento permiten dar una idea general de esta cuenca. Las secciones más meridionales corresponden a las de la Quebrada Guandinosa y al W de Campoalegre con espesores de 1449 y 2600 m respectivamente. En el Campo Dina, situado entre Neiva y Villavieja, el espesor del Honda es de 1.200 m según Wellman y pasa a 704 m en Las Ventas. A partir de esta localidad hacia el N los datos conocidos son prácticamente nulos. Se reducen al espesor señalado por Stirton (1953) en el sinclinal de Carmen de Apicalá donde el Grupo Honda sólo mide 112 m. Ni de Coyaima ni de los alrededores de Girardot existen datos a este respecto.- la disposición de los espesores parece indicar que el Honda adelgaza de S a N.

Gross (1935), extiende sus estudios hacia la Dorada y denomina "Piso de Honda" a unas secuencias de areniscas grises con intercalaciones de conglomerados y lodolitas que se encuentran suprayaciendo al Grupo Gualanday.

Butler (1942), describe dos secciones: una al este de Honda y otra a unos 36km al norte de Honda (a lo largo del ferrocarril de Cundinamarca) y divide las "Series de Honda" (Grupo Honda) en miembro inferior (no andesítico) y miembro superior (andesítico), el límite entre estas "series" lo ubica por el cambio composicional que presentan.

De Porta (1966), realiza un trabajo sedimentológico y estratigráfico en el extremo sur del VMM y distingue el Grupo Honda y la Formación Mesa. Al Grupo Honda lo divide en tres formaciones: Formación Cambras, Formación San Antonio, la cual la subdivide en tres miembros de base a techo como miembro Flor Colorada (con bajo porcentaje de rocas efusivas), miembro los Cocos (predominio de clastos de

rocas sedimentarias) y miembro La Ceibita (con un mayor porcentaje de clastos efusivos). El tope del Grupo Honda lo denomina como la Formación Los Limones, caracterizada por facies rojas de areniscas y lutitas.

Wellman (1970) analiza el Grupo Honda en la Cuenca de Neiva y lo divide en dos Formaciones: Formación La Dorada y Formación Villavieja. La primera la subdivide en Miembro Puerto Salgar (conformado por sedimentos rojizos) y Miembro Perico (areniscas grises con estratificación inclinada y nódulos alargados cortando la estratificación). La Formación Villavieja la subdivide en dos miembros: Miembro Baraya y Miembro Cerro Colorado.

González (1990), afirma que el Grupo Honda aflora en cercanías de la Dorada como una sucesión de areniscas conglomeráticas y conglomerados que yacen discordantemente sobre las metamofitas del Grupo Cajamarca.

Guerrero (1993), propone introducir una nueva formación denominada “Formación La Victoria” (aplicada a la parte inferior del Grupo Honda expuesto al Sur del área de Honda y VSM) esta formación está constituida principalmente por litoarenitas volcánicas grises intercaladas con lutitas abigarradas.

Villaroel *et al.*, 1996 sugiere que el uso de la Formación La Dorada debe ser abandonado no solo en el VSM, sino también en el VMM ya que según este autor Wellman, no estableció claramente los límites de las unidades en estas cuencas.

Jiménez & Cruz (2004), realizan una caracterización y evaluación del yacimiento de Asfaltitas en el sector de Isaza, Municipio de Victoria en el Departamento de Caldas. Concluyen que las rocas impregnadas de hidrocarburo corresponden a la Formación La Victoria, parte inferior del Grupo Honda, y que los ambientes de depósito son de tipo fluvial (canales, barras y formas de fondo de gravas, lechos de arena y depósitos finos de desbordamiento) con aporte piroclástico y evidencia de una actividad volcánica.

En la Tabla 3 se observa la equivalencia entre las nomenclaturas litoestratigráficas del Grupo Honda realizada por diferentes autores.

Tabla 3. Equivalencias entre nomenclaturas litoestratigráficas empleadas en las rocas del Terciario de la zona de estudio.

Edad	Butler (1942)	Fields (1959)	Beltrán & Gallo (1959)	De Porta (1965)	Wellman (1968)	Wellman (1970)	Hoffstetter & Rage (1977)	Wiel(1991) ; Wiel & Berg(1992)	Takai et al (1992)	Guerrero (1994)	Villaroel et al (1996)																			
NEÓGENO	Honda Superior Andesítico	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA	HONDA																			
												Honda Inferior No Andesítico	GRUPO	FORMACIÓN	GRUPO	FORMACIÓN	GRUPO	FORMACIÓN	GRUPO	FORMACIÓN	GRUPO	FORMACIÓN								
																							Arenitas y Arcillolitas Las Mesitas	Formación Limones	Miembro Villavieja	Miembro Capas Rojas de Cerro Colorado	Formación Villavieja	Formación Las Mesitas	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado
																							Capas Rojas Superiores	Miembro la Ceibita	Miembro Villavieja	Miembro Volcánico de Baraya	Miembro Villavieja	Miembro Tatacoa	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado
																							Unidad entre Capas Superiores e Inferiores	Formación San Antonio	Formación Villavieja	Miembro Volcánico de Baraya	Formación Villavieja	Miembro las Lejas	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado
																							Capas Rojas Inferiores	Miembro los Cocos	Formación Villavieja	Miembro Capas Rojas Cerro Colorado	Formación Villavieja	Miembro los Mangos	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado
	Arenas Ferruginosas	Miembro Flor Colorada	Formación Villavieja	Miembro Capas Rojas Cerro Colorado	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																						
	Unidad Anterior a Capas Fish	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																						
	Capas Fish	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																						
	Unidad Inferior Capas Fish	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																						
	Unidad Monkey	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																						
	Arcillolitas San Nicolás	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																						
Arcillolitas & Gravas El Libano	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																							
Gravas & Arcillolitas El Libano	Formación Cambrás	Formación Villavieja	Miembro Volcánico Baraya	Formación Villavieja	Miembro Molina	Miembro Cerro Colorado	Miembro Cerro Colorado																							

Modificado de Jimenez & Cruz (2004)

Fuente: Modificado de Jiménez y Cruz, 2004.

La principal estructura presente en la zona de estudio se denomina Lineamiento Mulatos.

Este lineamiento fue definido inicialmente por Feininger (1970), esta estructura limita el borde occidental del Valle del Magdalena con la Cordillera Central. La define como una falla que afecta metamorfitas Paleozoicas y rocas intrusivas Mesozoicas, que constituyen el basamento de la cordillera.

González (1995), describe la Falla Mulatos en el departamento de Caldas, como un fallamiento con direcciones variables entre NNE-SSW que coinciden con las direcciones generales de los sistemas tectónicos de la cadena andina.

Al este del departamento de Caldas, en la depresión morfológica del Valle del Magdalena, posee un borde recto en el piedemonte de la Cordillera Central

marcado por la Falla Mulatos, de componente inversa durante el Paleógeno y normal durante el Neógeno, sin embargo, la expresión de la falla no es muy clara lo cual permite discrepancia de opiniones sobre el origen del Valle del Magdalena (González, 1995).

4.2.1. Síntesis de Antecedentes locales.

Teniendo en cuenta la subdivisión más usada para el Grupo Honda en la parte sur del Valle Medio del Magdalena realizada por De Porta (1965), quien nombra la parte basal del Grupo Honda como la Formación Cambrás, que corresponde al Honda inferior denominado por Butler como miembro no andesítico (según la definición de Butler este miembro corresponde a areniscas, areniscas ligeramente conglomeráticas y conglomerados con nada o bajo porcentaje de clastos de origen volcánico), la Sección tipo se encuentra en la estación Cambrás, a lo largo del ferrocarril de Cundinamarca unos 36 km al N de Honda. Su base se encuentra a unos 60 m al E del km 4 de Puerto Liévano según Butler (1942, pp. 814-815). Butler la ha descrito como una sucesión en la que predominan las areniscas, shales, shales y arcillitas sobre los conglomerados. Las arcillas de color rojo y marrón son muy comunes. La característica más importante es la ausencia de rocas volcánicas entre los conglomerados. Butler le atribuye a esta unidad un espesor de 1600m en la localidad tipo.

Partiendo de lo anterior las rocas del Neógeno encontradas en la zona de estudio pertenecen a la Formación Cambrás ya que no se observaron cantos de andesitas ni dacitas en los afloramientos, aun así no se puede determinar la ausencia de éstos pues no se realizaron secciones delgadas que corroboren esta teoría, los cuales son típicos de las formaciones suprayacentes a dicha formación, otra característica es el contacto discordante con las rocas del basamento de la Cordillera Central.

5. RESULTADOS Y ANALISIS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN

En el presente trabajo se realizó un estudio previo, donde se incluye el análisis de fotografías aéreas mediante un estereoscopio de espejos perteneciente a la Universidad Industrial de Santander, para la realización de mapas de contactos geológicos y lineamientos estructurales que sirvieron como apoyo en el transcurso de las dos campañas de campo.

Se utilizó el vuelo C-2210 que pertenece a la zona de las inmediaciones del Municipio Victoria en el departamento de Caldas. Las fotografías específicas de la zona fueron la 0026, 0027 y 0028, donde se tenía estereoscopía sobre la fotografía 0027.

5.1. RED DE DRENAJES Y LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES

Ésta interpretación se hizo mediante el análisis de la fotografía en la cual se tenía visión estereoscópica (0027), para la realización de la red de drenajes del área de interés.

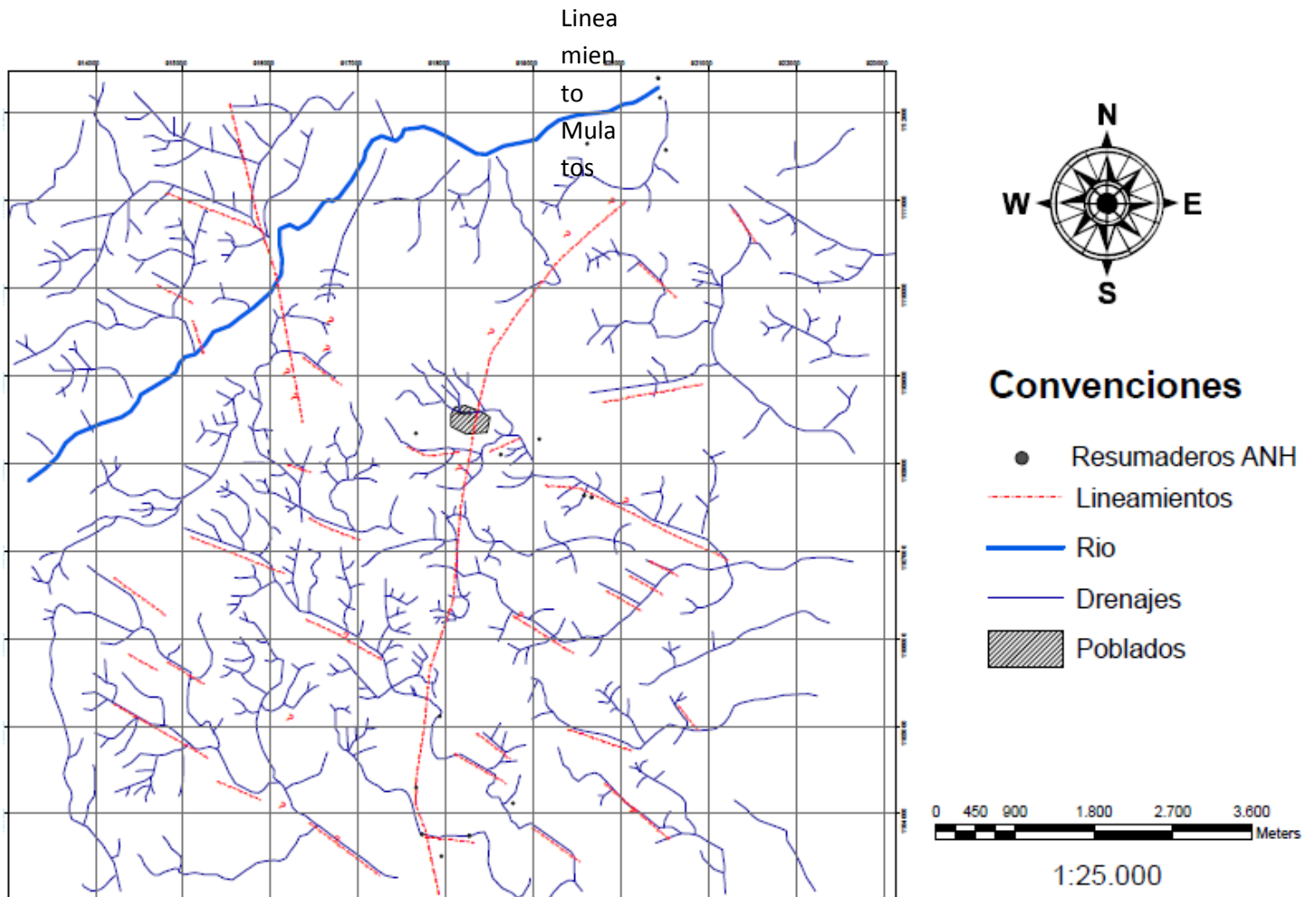
Posteriormente se revisaron las deflexiones presentes en los drenajes y su continuidad en el área de estudio para poder así determinar los diferentes lineamientos estructurales presentes.

Para establecer la relación entre lineamientos y rezumaderos, se adjuntaron los presentados por la ANH, Ronda 2010.

A continuación se muestra el mapa con la red de drenajes, lineamientos estructurales y los rezumaderos presentados por la ANH. (Figura 15)

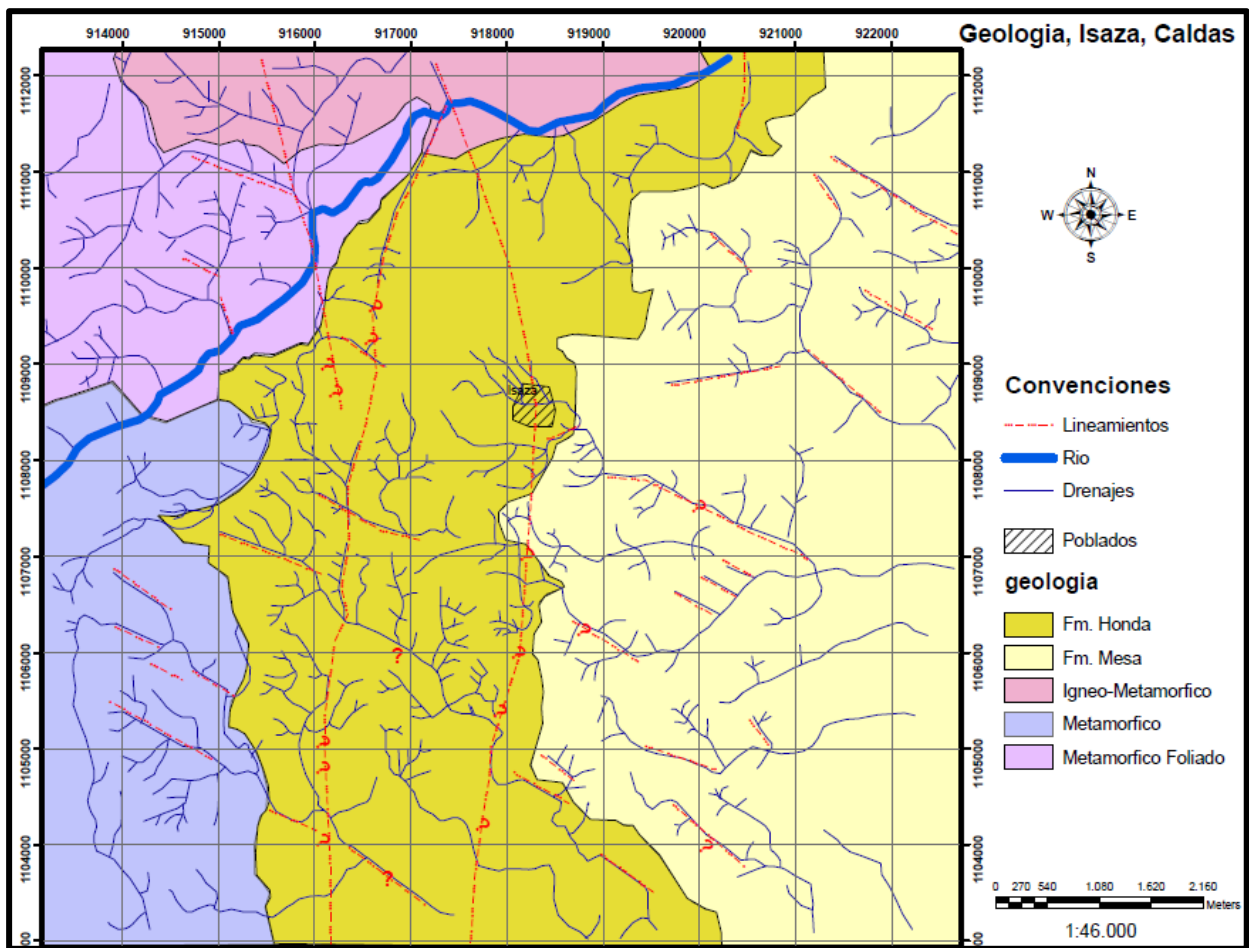
Figura 15. Mapa donde se muestra la relación entre lineamientos, red de drenajes y rezumaderos de la ANH.

Red de Drenajes y Lineamientos Estructurales, Isaza, Caldas



Fuente: Este trabajo.

Figura 16. Mapa fotogeológico, con la red de drenaje y lineamientos. Se muestra el contacto entre el Grupo Honda, Formación Mesa y el Complejo Cajamarca



Fuente: Este trabajo.

5.2. ANÁLISIS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN

La determinación de la geología mediante el análisis de fotografías aéreas mostrada en la figura 16, se construyó mediante el análisis del patrón de drenajes (figura 15) realizado con el estereoscopio de espejos.

Para las rocas metamórficas e ígneas pertenecientes al basamento se determinó un patrón de drenajes tipo Dendrítico subparalelo, que se desarrollan por erosión aleatoria de arroyos insecuentes sobre rocas de igual resistencia, con frecuencia

se forma sobre estratos horizontales, masivos ígneos o rocas metamórficas (Howard, 1967).

En la figura 16 se muestra una subdivisión de las Rocas del Basamento ya que se tiene de manera sectorizada drenajes tipo contorsionado que se forman entre otras sobre rocas metamórficas foliadas como el cuerpo denominado Metamórfico foliado en dicha figura, una mezcla entre drenajes sub paralelo y contorsionado para el cuerpo denominado Metamórfico y un patrón de drenajes subparalelo dendrítico para el cuerpo Ígneo – metamórfico, ésto sumado a la división que se presenta en la plancha geológica 188 (Barrero & Vesga, 1976)

En cuanto a las rocas pertenecientes a la cobertera sedimentaria se determinaron patrones de drenajes tipo Subparalelo a Dendrítico y de manera sectorizada drenajes tipo rectangular, los drenajes subparalelos dendríticos se presentan entre otras en rocas con buzamientos muy bajos horizontales a sub horizontales (Tabla 4)

El contacto entre la formación Mesa y el Grupo Honda se trazó teniendo en cuenta las texturas, tonos y cambios de pendientes observados en las fotografías y determinando rasgos típicos de la formación Mesa como lo son las mesetas. Estos contactos se modificaron luego de realizar la primera campaña de campo y generar el mapa geológico de la zona de estudio (ver Anexo A), el contacto basamento con el Grupo Honda se realizó por la diferencia textural mostrada en las fotografías aéreas y se mantuvo y se corroboró al finalizar la primera campaña de campo (ver Anexo A).

Tabla 4. Significado geológico y geomorfológico de los patrones de drenaje.

Patrón básico	Interpretación	Modificado del básico	Interpretación o significancia local del patrón modificado
Dendrítico	Indican homogeneidad de la roca y falta de control estructural, se caracteriza porque los tributarios se unen a la corriente principal a ángulos agudos; se desarrollan por erosión aleatoria de arroyos insecuentes sobre rocas de igual resistencia, con frecuencia se forma sobre estratos horizontales, masivos ígneos o rocas metamórficas	Subdendrítico Pinnado Anastomosado Distributivo	Control estructural secundario. Materiales finos impermeables y erosionables. Plan de inundación, deltas y pantanos mareales. Abanicos aluviales y deltas.
Paralelo	Corrientes que fluyen en direcciones casi paralelas unas a otras, sus cursos son controlados por una dirección general de la cuesta, o por rasgos paralelos o subparalelos de la topografía, no son muy comunes y son limitados con frecuencia a una cierta área.	Subparalelo Colineal	Laderas pendiente media o controlada por geoformas subparalelas. Entre crestas de arena y loes lineales.
Trellis	Rocas volcánicas, sedimentarias o metasedimentarias de bajo grado inclinadas o plegadas y con erosión diferencial; zonas de fallas paralelas; fondos marinos, lacustres levantados limitados por crestas de playas. Pequeños tributarios de casi la misma longitud en los lados opuestos de corrientes subsecuentes largas y paralelas.	Subtrellis. Trellis Direccional Trellis recurved Trellis fallado Trellis diaclasado	Geoformas elongadas paralelas. Homoclinales suaves o laderas suaves con crestas. Pliegues con cabeceo. Fallas ramificadas, semiparalelas convergiendo o divergiendo. Fallas o diaclasas rectas paralelas.
Rectangular	Consiste de tributarios que se unen a ángulos rectos a las corrientes principales, también exhiben ángulos rectos en sus canales como resultado de la intersección de arroyos subsecuentes al intersectar fallas, se desarrollan sobre sistemas fallados, estos sirven como indicador de sistemas fracturados.	Angular.	Existencia de fallas o diaclasas que se intersectan a ángulos diferentes al ángulo recto. En muchos casos es común un patrón combinado rectangular y angular.
Radial	Los arroyos consecuentes fluyen desde un área principal en todas las direcciones, se desarrollan a grandes alturas sobre formas recientemente levantadas, tales como conos volcánicos, domos intrusivos, por lo general este drenaje fluye hacia abajo con la cuesta inicial. También se puede presentar en colinas o montañas residuales. En terrenos volcánicos se puede repetir y se denomina multiradial.	Centrípeto.	Se presenta en cráteres, calderas, y otras depresiones. Un complejo de patrones centrípetos en áreas de muchas depresiones se llamaría multicentrípeto.
Anular	Se forma exclusivamente en estructuras anulares (de ahí su nombre) producidas por extrusiones ígneas que han causado el levantamiento periférico de las formaciones sedimentarias o volcanoclasticas que originalmente cubrían la zona.		Los tributarios más largos que entregan a las corrientes anulares subsecuentes, indican la dirección de buzamiento y permiten la distinción en domo y basin.
Multibasinal	Se utiliza este nombre para el drenaje que ocurra en un patrón de múltiples depresiones. Se puede formar en depósitos superficiales de terreno ondulado, generado también por erosión diferencial o depósitos de remoción en masa reciente, volcanismo, permafrost y zonas de disolución de calizas.	Glacial desordenado. Cárstico. Termocárstico. Alongado en bahías.	Erosión o deposición glacial. Presencia de rocas calizas en el subsuelo. Presencia de permafrost. Deltas y planicies costeros.
Contorsionado	Se forma en rocas metamórficas gruesamente foliadas y replegadas. Las capas resistentes las pueden originar dikes o bandas de migmatitas. Se diferencia del trellis recurvado en que carece del orden regional y la discontinuidad de crestas y valles de este. Se presenta en pequeña escala.		Los tributarios más largos que entregan a las corrientes subsecuentes curvas, generalmente indican el buzamiento de las capas metamórficas y permiten distinguir entre anticlinales y sinclinales cabeceantes.

Fuente: Howard, 1967.

6. ESTACIONES DE CONTROL GEOLÓGICO

Para el levantamiento de las estaciones de control geológico se utilizó la metodología nombrada en el capítulo de “Metodología” y se ilustra en la tabla 1, del mismo capítulo; se realizaron 23 estaciones de control que abarcaron la mayoría de la zona de interés. Se presentaron inconvenientes de acceso a ciertas locaciones debido a que en su mayoría estas eran de propiedad privada y tenían acceso restringido. Las estaciones se pueden observar en la tabla 5 y en la figura 17.

Las coordenadas se tomaron con un GPS calibrado con proyección “Transverse Mercator”, con datum Observatorio de Bogotá y falso E y N fueron 1'000.000, 1'000.000 respectivamente, en donde las estaciones se encuentran distribuidas en las planchas 188-II-C y 188-II-A del IGAC.

La nomenclatura utilizada durante la fase de campo fué la siguiente:

Las siglas PAB significan Proyecto Arenas Bituminosas y es utilizada para nombrar las estaciones, el número que lo acompaña significa el número de estación; la anterior sigla puede también estar acompañada por una M (muestra) y un número que significa el número de la muestra en la estación o por una P (*plug*) y un número que corresponde al número del *plug* en la estación.

Los estratos de las Rocas sedimentarias presentan bajos ángulos de buzamiento que oscilan en promedio a 8° en dirección SE por lo que se consideran Subhorizontales. En algunos puntos de control geológico fué complicado la toma de datos tanto estructurales como de estratificación debido al estado de los afloramientos.

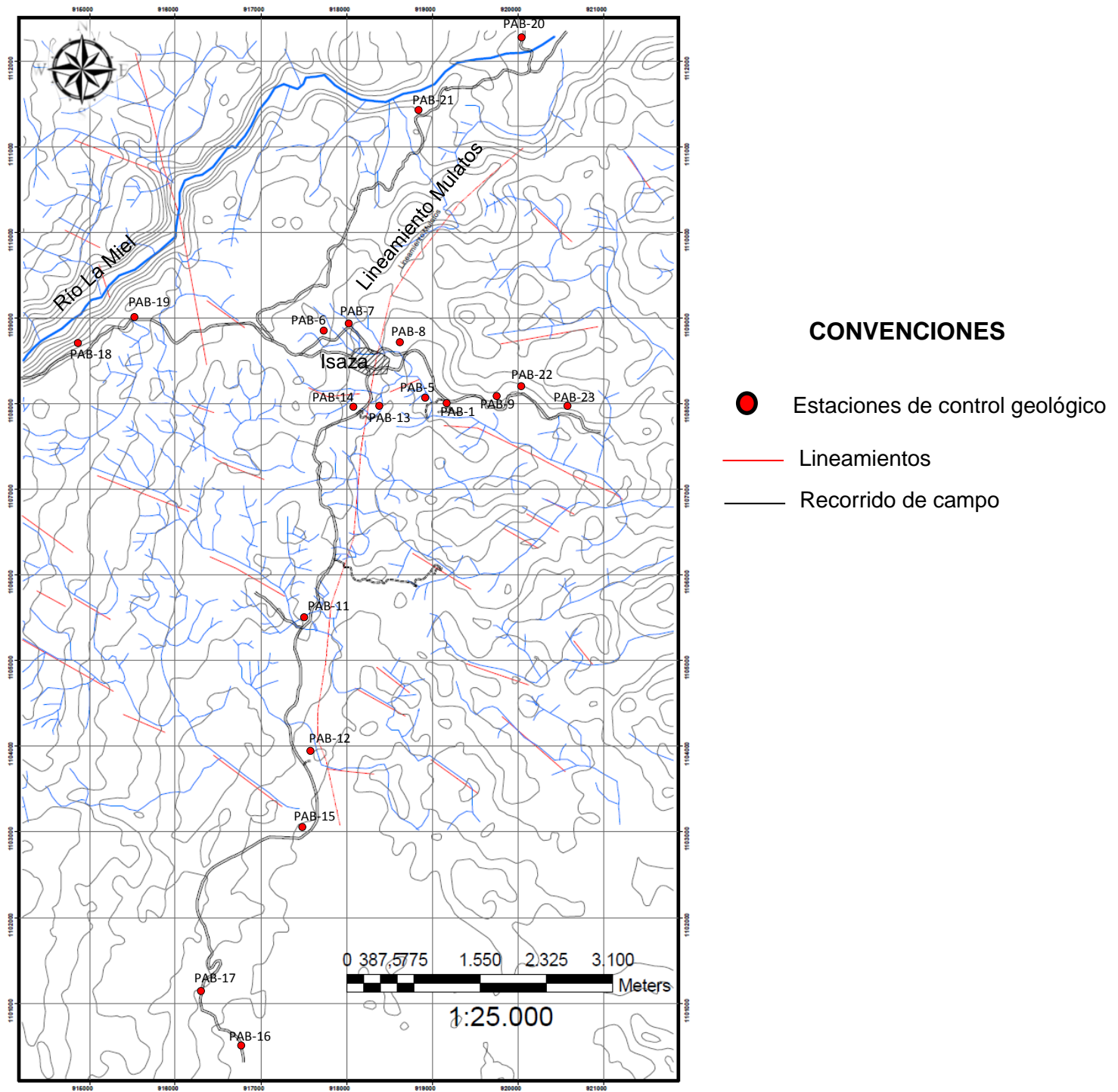
Tabla 5. Estaciones de control geológico distribuidas en la zona de interés.

ESTACION	COORDENADA E	COORDENADA N	ALTURA (m.s.n.m)	ERROR GPS +/- m
PAB-1	918758	1108400	237	3
PAB-2	918541	1108190	244	3
PAB-3	918510	1108304	241	3
PAB-4	918531	1108332	244	3
PAB-5	918515	1108345	237	5
PAB-6	917300	1109144	335	3
PAB-7	917495	1109152	307	3
PAB-8	918108	1108967	275	3
PAB-9	919299	1108325	233	3
PAB-10	918564	1106386	257	3
PAB-11	917154	1105801	269	3
PAB-12	917151	1104191	228	3
PAB-13	917948	1108229	265	3
PAB-14	917676	1108240	303	3
PAB-15	917041	1103278	224	3
PAB-16	916322	1100791	217	4
PAB-17	915867	1101374	241	4
PAB-18	914432	1108964	359	4
PAB-19	915111	1109214	402	2
PAB-20	919598	1112560	205	4
PAB-21	918389	1111705	314	3
PAB-22	919533	1108467	250	4
PAB-23	920516	1108034	268	3

Fuente: Este trabajo.

A continuación se presenta un resumen de la agenda de campo donde se describen las estaciones de control geológico más relevantes de la zona de estudio.

Figura 17. Mapa que muestra las principales estaciones de control geológico realizadas durante la campaña de campo.



Fuente: Este trabajo.

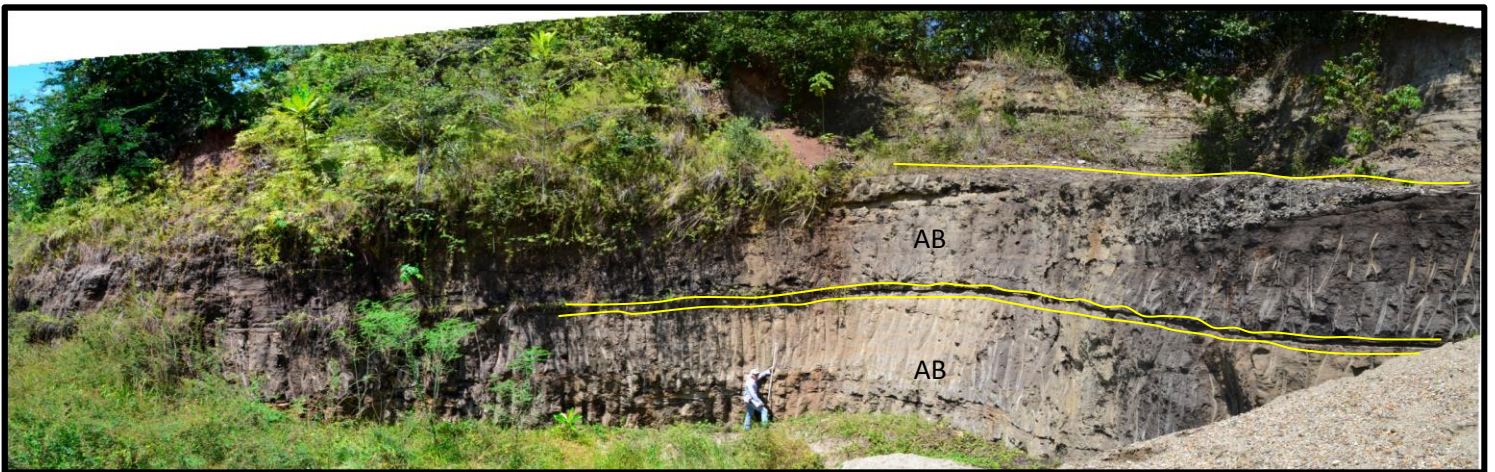
6.1. PAB-1

Presenta coordenadas planas 1'108.314 **N**, 918.743 **E**, con 238 m.s.n.m y un error de +/- 3m. Geográficamente se encuentra en el carreteable La Dorada-Isaza, exactamente en la Mina ColAsfaltos. (Figura 17).

Se observa un afloramiento realizado por la actividad minera que se lleva a cabo en este lugar por parte de la empresa ColAsfaltos S.A.

El afloramiento tiene aproximadamente 10m de altura y presenta intercalaciones de areniscas gruesas, areniscas conglomeráticas, limolitas y arcillolitas. La mayor parte del afloramiento corresponde a Arenas Bituminosas (AB) (Figura 18)

Figura 18. Afloramiento presente en la estación PAB-1 se observa la intercalación mencionada. La fotografía presenta una orientación en Azimut de 260°.



Fuente: Este trabajo.

En el afloramiento se tomaron ocho (8) muestras que se observan en la Tabla 7 del capítulo "Resultados de Sedimento - Estratigrafía" y la descripción de las mismas se observa en el Anexo F (Catálogo de Muestras) y su ubicación estratigráfica se encuentra en el Anexo B (Sección Estratigráfica Uno).

En este afloramiento se realizó la toma de *plugs* para los análisis petrofísicos en donde se recolectaron 14 *plugs* que se observan en la Tabla 14 en el capítulo de “Resultados de Petrofísica”

6.2. PAB-5

Presenta Coordenadas planas 1'108.345 **N**, 918.515 **E**, con 237 m.s.n.m y un error de +/- 3m. Geográficamente la estación se encuentra aproximadamente a unos 250m en dirección SW de la mina ColAsfaltos, en cercanías del valle de la quebrada el Águila (Figura 17)

El afloramiento tiene aproximadamente 2m de altura, donde se observa una gradación normal de base a techo de areniscas a conglomerados. El afloramiento se presenta diaclasado y se observa un rezumadero de hidrocarburos.

La estación de control sirvió de ayuda para construir el capítulo de “Resultados de la fase estructural” y la fotografía del afloramiento se observa en la figura 33 del mismo capítulo.

Se recolectaron dos muestras (Tabla 7) y la descripción de las mismas se encuentra en el Anexo F.

6.3. PAB-6

Presenta Coordenadas planas 1'109.144 **N**, 917.300 **E**, se encuentra a 335 m.s.n.m. y el GPS registró un error de +/- 3m. Se encuentra sobre el carretable que conduce La Dorada con el Municipio de Norcasia sobre una variante (hacia el N) del Caserío de la Vereda Isaza (Figura 17)

El afloramiento tiene aproximadamente 6m de altura y se compone por rocas del basamento principalmente de rocas polimetamórficas y neises. Se observan

algunas partes del afloramiento con impregnación de crudo local, y se recolectaron dos (2) muestras las cuales se nombran en la Tabla 7 y su descripción se presenta en el anexo F

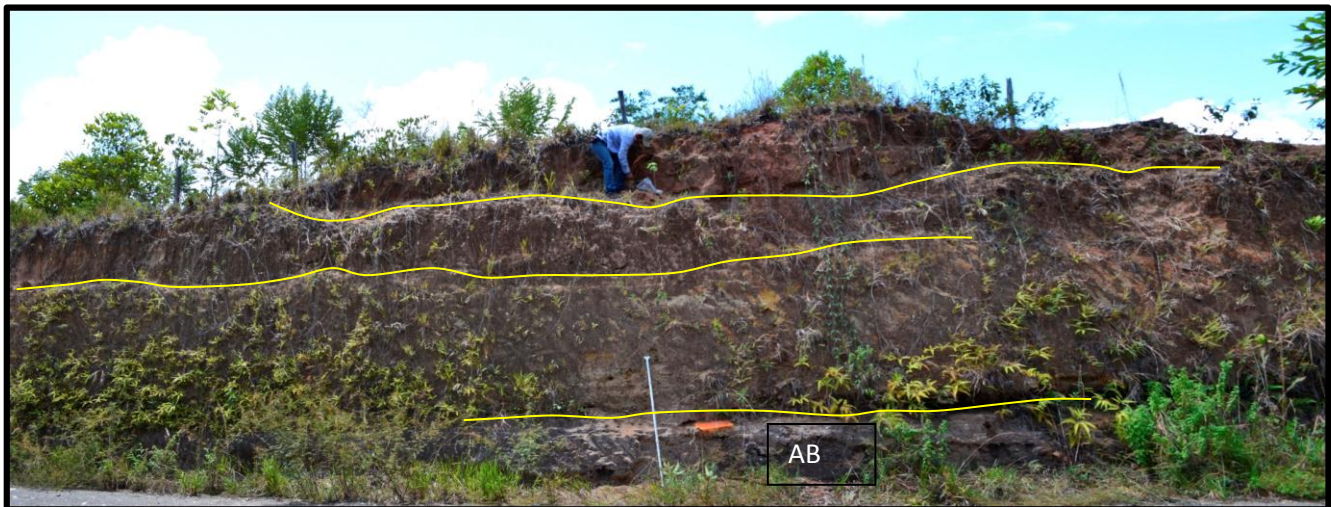
La estación fue de ayuda para la elaboración del capítulo “Resultados de la fase estructural”, en éste se observa la fotografía del afloramiento (Figura 35).

6.4. PAB-7

Presenta coordenadas planas 1'109.152 N, 917495 E, se encuentra a 307 m.s.n.m. donde el GPS registra un error de 3m. El afloramiento se encuentra sobre la variante a la vereda Isaza en el trayecto La Dorada-Norcasia (Figura 17).

El afloramiento presenta aproximadamente 5m de altura y está compuesto por una intercalación de areniscas conglomeráticas, areniscas limosas y limolitas arenosas; a la base se observa un estrato de Arenas Bituminosas (AB) de unos 90 cm de espesor (Figura 19).

Figura 19. Afloramiento de la estación PAB-7 donde se muestra la distribución de rocas mencionadas con anterioridad. Azimut de la foto 135°.



Fuente: Este trabajo.

Esta estación fué de ayuda para la realización de la Sección Estratigráfica (SE) SE-2. (Ver Anexo C)

Se tomaron cuatro (4) muestras presentes en la Tabla 7 y su descripción se observa en el Anexo F. Además de esto se extrajeron 3 *plugs* que se nombran en la Tabla 14.

6.5. PAB-8

Se encuentra localizado en las coordenadas planas 1'108.967 **N**, 918.108 **E**, a 275 m.s.n.m, donde el GPS registro un error de +/- 3m. Geográficamente la estación se localiza a unos 50m después de la Y entre los carretables La Dorada- Isaza y La Dorada-Norcasia (Figura 17)

El afloramiento presenta aproximadamente unos 12m de altura y está compuesto por rocas del basamento, principalmente de rocas metamórficas (Esquistos micáceos), que a la base del afloramiento se observan impregnados de crudo.

La estación sirvió como ayuda para la elaboración del capítulo “Resultados de la fase estructural” y se observa en la figura 37 del mismo.

Se tomaron dos muestras representativas del afloramiento que se muestran en la Tabla 7 y se describen en el Anexo F.

6.6. PAB-11

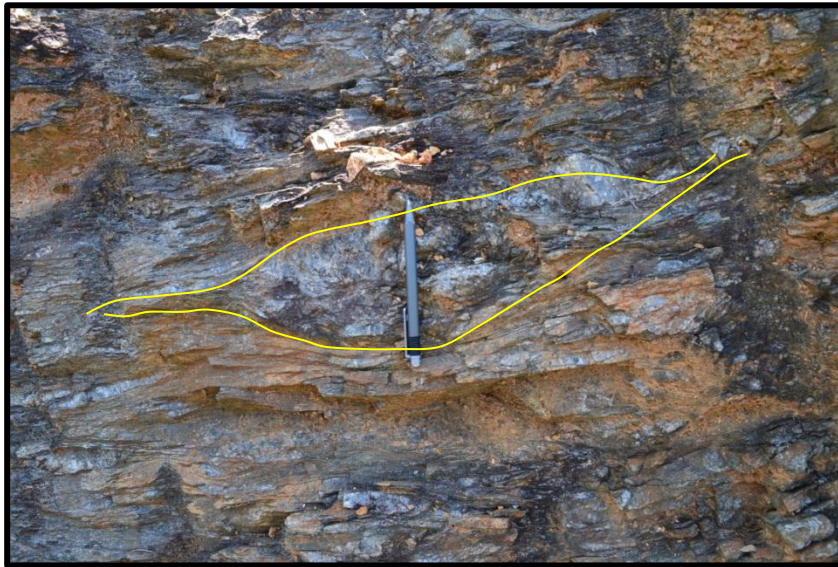
Estación localizada en las coordenadas planas 1'105.801 **N**, 917.154 **E**, a 269 m.s.n.m, donde el GPS registro un error de +/- 3m. Geográficamente se ubica en la vía que conduce Isaza con la Vereda La Fé, sobre la quebrada conocida como El Neme (Figura 17).

El afloramiento presenta aproximadamente unos 15m de altura y está compuesto en su totalidad por rocas del basamento, se encuentra también muy diaclasado y se observa una estría de falla que presenta un plano con 115/59 en Azimut de

Rumbo, la fotografía del afloramiento con el plano de estría de falla se localiza en el capítulo “Resultados de la Fase estructural” en la figura 27.

En el afloramiento se observaron estructuras tipo *Augen* como se muestra en la figura 20 y a la base del afloramiento las rocas metamórficas se mostraban impregnadas de crudo (figura 21)

Figura 20. Estructura tipo *Augen* observada en la estación PAB-11.



Fuente: Este trabajo.

Figura 21. Roca metamórfica impregnada por crudo ubicada en la base del afloramiento de la estación PAB-11.



Fuente: Este trabajo

Esta estación fue de utilidad para la elaboración del capítulo “Resultados de la fase estructural” ya que muestra evidencias del lineamiento principal de la zona.

Se recolectaron dos muestras que se observan en la Tabla 7 en el capítulo de “Resultados de sedimento - estratigrafía”.

6.7. PAB-15

Se encuentra en las coordenadas planas 1'103.278 **N** 917.041 **E**, se encuentra a 224 m.s.n.m, el GPS registro un error de +/- 3m. Geográficamente la estación se localiza en la vía que conduce Isaza con la Vereda La Fe cruzando el puente del Rio Pontóná (Figura 17)

En el afloramiento se observa la inconformidad presente en la zona entre las rocas del basamento (Complejo Cajamarca) y las Rocas del Neógeno. En el basamento se observan rocas metamórficas principalmente esquistos micáceos, se observa también un intrusivo Ígneo granitoide; en las rocas sedimentarias de base a techo se ve un estrato de lodolita arenosa grisácea infrayaciendo un estrato de arenas bituminosas conglomeráticas. La fotografía de este afloramiento se observa en el capítulo de “Resultados de la fase estructural” en la figura 39.

Se tomaron cinco (5) muestras las cuales se nombran en la Tabla 7 del capítulo “Resultados de sedimento - estratigrafía” y se extrajeron dos *plugs* que se nombran en la Tabla 14 del capítulo de “Resultados petrofísicos”

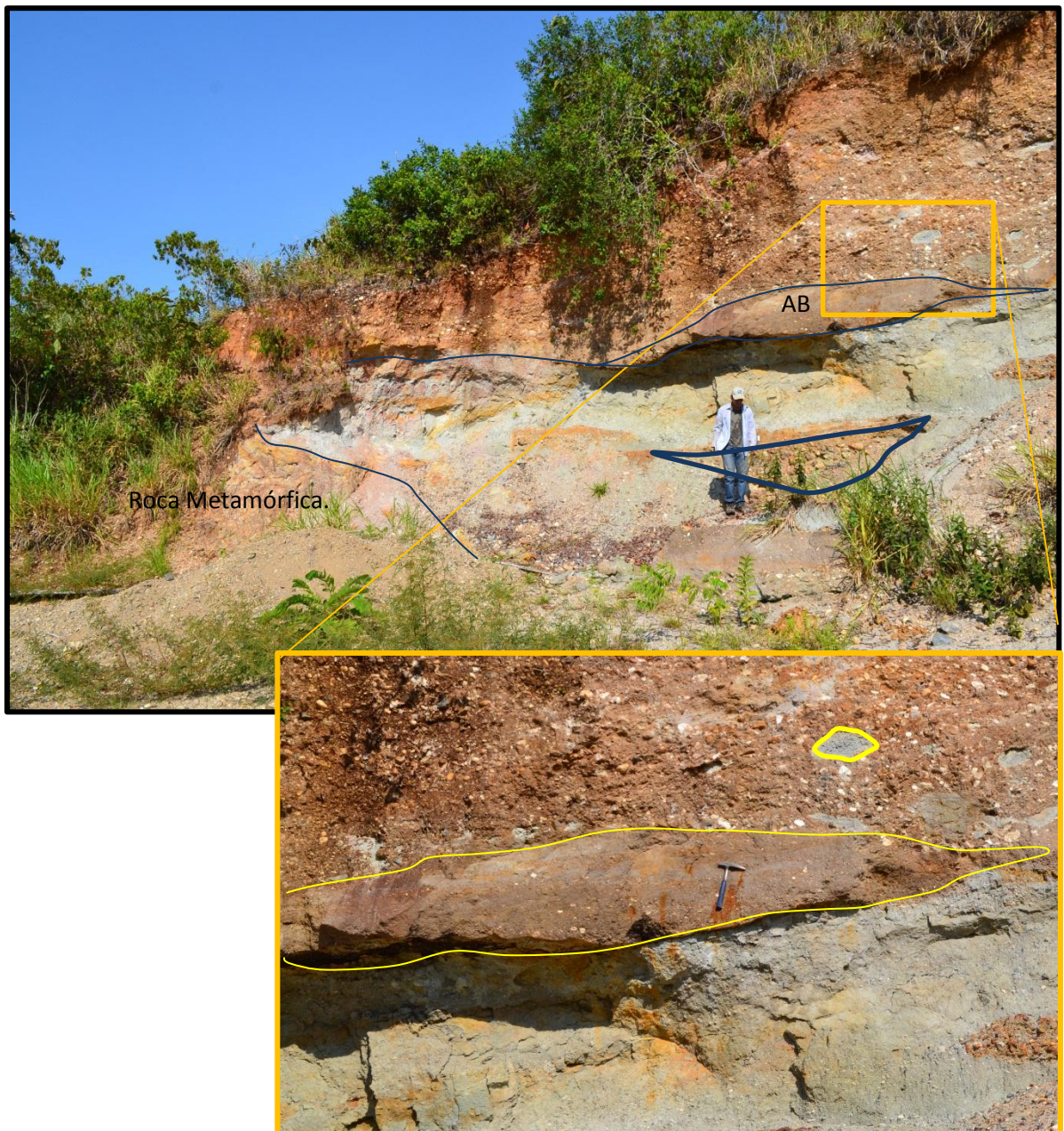
6.8. PAB-17: Se encuentra en las coordenadas planas 1'101.374 **N** 915.867 **E**, se encuentra a 241 m.s.n.m, el GPS registro un error de +/- 4m. Geográficamente se localiza en la vía que conduce Isaza con la Vereda La Fe a aproximadamente 2Km del puente del Rio Pontóná (Figura 17).

En el afloramiento se continúa viendo la inconformidad anteriormente mencionada. Las rocas sedimentarias presentan estructuras de relleno de canales

conglomeráticos (figura 23) y se observa una intercalación entre dos estratos; uno inferior de lodolita arenosa ligeramente conglomerática y uno superior de areniscas conglomeráticas a la base de este se observan unos nódulos de material gris verdoso y de tamaños finos (figura 22) y un relleno de canal de areniscas conglomeráticas bituminosos.

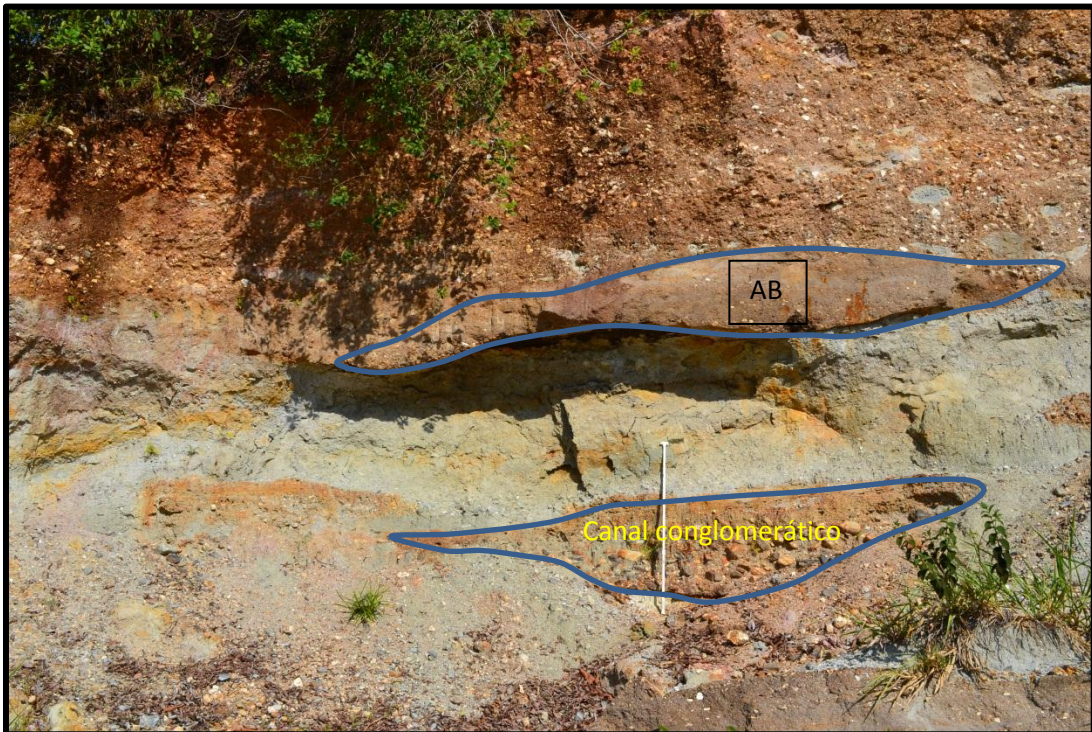
Se tomaron dos (2) muestras que se nombran en la Tabla 7 del capítulo “Resultados de sedimento - estratigrafía”

Figura 22. Afloramiento de la estación PAB-17 donde se observan estructuras de canales y nódulos en la base del estrato superior. Azimut de la foto 94°.



Fuente: Este trabajo.

Figura 23. Relleno de canales conglomeráticos. Se presentan canales clasto soportados sin bitumen a la base y canales conglomeráticos bituminosos como el canal superior. Azimut de la foto 94°.



Fuente: Este trabajo.

6.9. PAB-22: Se encuentra en las coordenadas planas 1'108.467 N 919.533 E, se encuentra a 250 m.s.n.m, el GPS registro un error de +/- 4m. Geográficamente la estación se encuentra en el trayecto Isaza - La Dorada a unos 100m después de la Hacienda el Roció (Figura 17)

En el afloramiento se observa una intercalación de areniscas de grano medio y estratos delgados de limolita arenosa, presenta una altura de aproximadamente 18m (figura 24)

Los estratos de arenisca llegan a tener aproximadamente 3,5m de espesor.

Se tomaron dos muestras que se nombran en la Tabla 7 del capítulo “Resultados de sedimento - Estratigrafía” y se extrajeron cinco (5) *plugs* que se nombran en la Tabla 14.

Figura 24. Afloramiento de la estación PAB-22. Azimut de la foto 25°.



Fuente: Autores, 2012.

6.10. PAB-23: Se encuentra en las coordenadas planas 1'108.034 N 920.516 E, se encuentra a 268 m.s.n.m el GPS dio un error de +/- 3m. Geográficamente se encuentra en el recorrido La Dorada-Isaza a unos 500m después de la entrada de la Hacienda La Argentina (Figura 17)

En el afloramiento se observan estratos de rocas sedimentarias subhorizontales con una altura de aproximadamente 7m. Se aprecia una intercalación de areniscas, en donde a la base empieza un estrato de areniscas de grano medio y lo suprayace un estrato de areniscas de grano medio con laminación cruzada de bajo ángulo y presencia de nódulos alargados con cemento carbonatado (figura 25). Éste afloramiento sirvió para la realización de la sección estratigráfica SE-1 y de esta se extrajeron cuatro (4) *plugs* que se muestran en la Tabla 14.

Figura 25. Afloramiento de la estación PAB-23, se muestran los nódulos con cemento calcáreo. Azimut 18°.



Fuente: Este trabajo.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA FASE DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

La geología estructural se llevó a cabo en dos etapas que se presentan a continuación:

7.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL FASE CAMPO: En esta etapa se hicieron estaciones de control para la recopilación de datos estructurales como diaclasas y estrías de falla. Debido a que la zona no es un área tan afectada estructuralmente, esto hizo que fuera complicada la densidad de datos de diaclasas y estrías de falla.

Los datos obtenidos fueron los de diaclasas que principalmente se encontraban en las rocas pertenecientes al basamento (Complejo Cajamarca).

En campo se determinó la principal estructura local denominada Lineamiento Mulatos (figura 26). El lineamiento afecta metamorfitas Paleozoicas y rocas intrusivas Mesozoicas que constituyen el basamento de la cordillera; ésta se siguió mediante el levantamiento geológico y el seguimiento de la expresión superficial como zonas de intenso diaclasamiento y estrías de falla en las siguientes estaciones de control:

7.1.1. Punto de control PAB-8: Presenta coordenadas planas 918108 E, 1108967 N y 275 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) (figura 26)

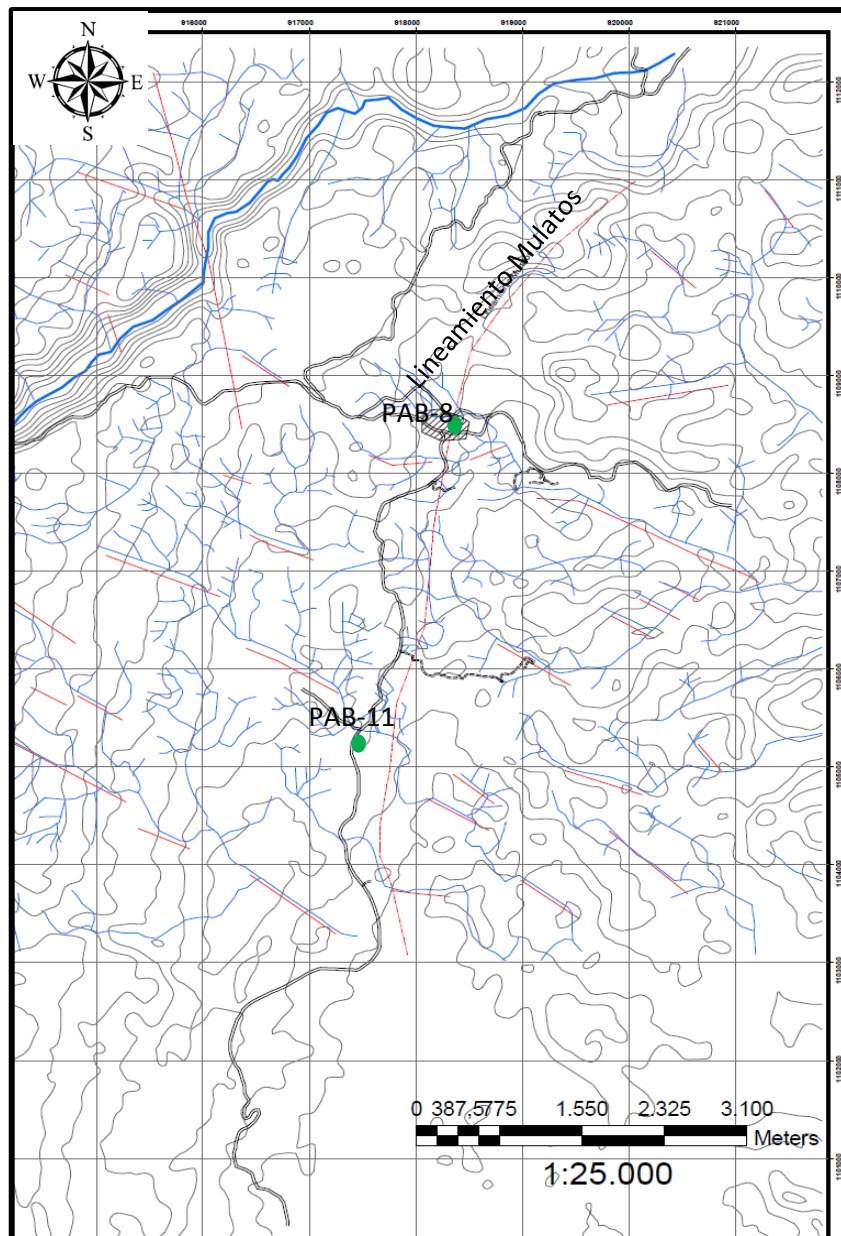
En esta estación se observan rocas metamórficas principalmente esquistos micáceos, en la base del afloramiento esquistos impregnados (se observa una descripción más detallada en el resumen de la libreta de campo y en la figura 37 en el presente capítulo). Es una zona de intenso diaclasamiento.

7.1.2. Punto de control PAB-11: Presenta coordenadas planas 917154 E, 1105801 N y 269 m.s.n.m. (Figura 26)

En esta estación se observa un afloramiento de rocas metamórficas pertenecientes al basamento principalmente esquistos micáceos, en algunas

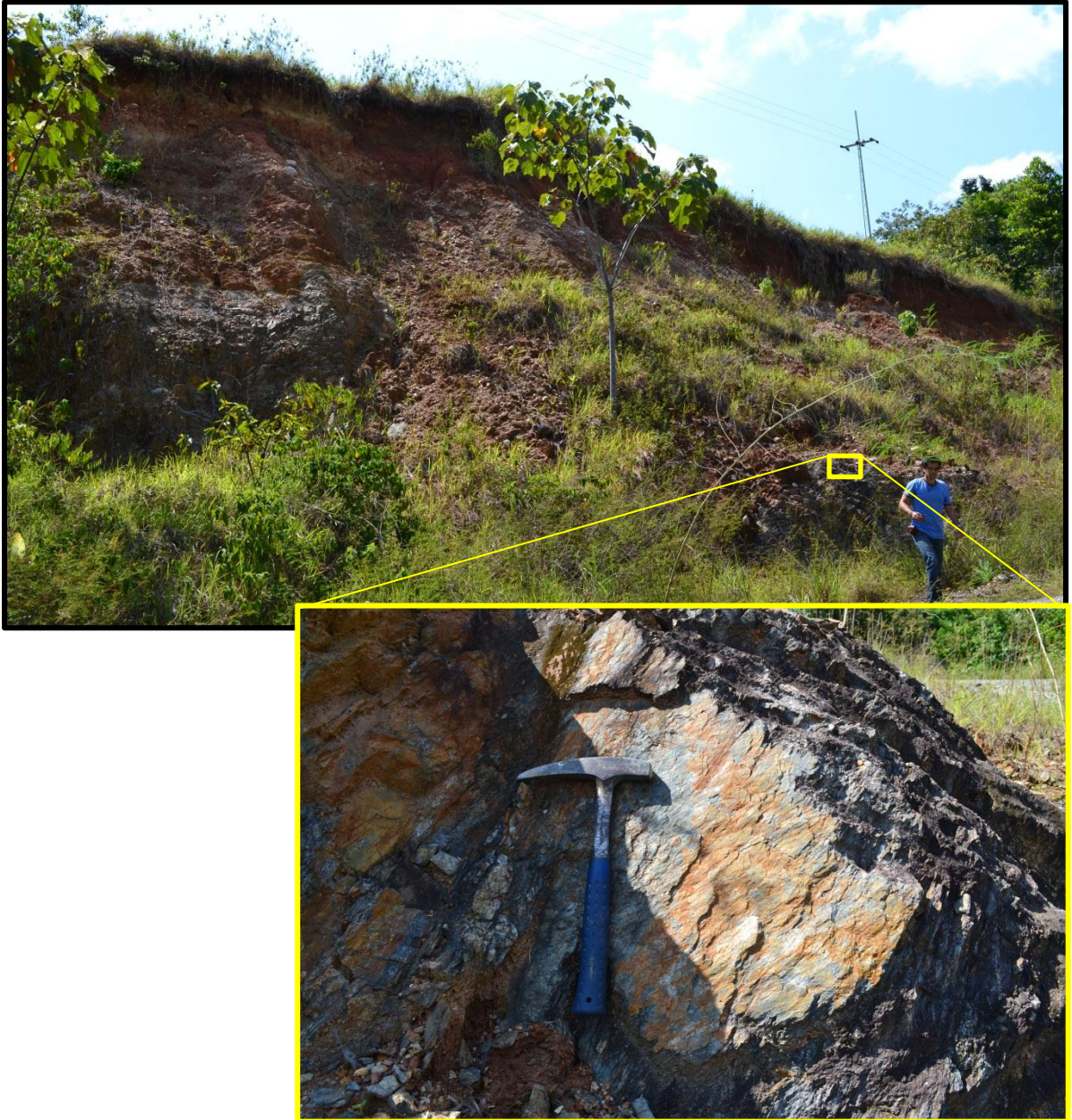
zonas del afloramiento principalmente en la base de este se observa impregnación de hidrocarburos. En el afloramiento se localizó una estría de falla con dirección de plano de falla de 115/59 (Figura 27).

Figura 26. Se observa la ubicación de las estaciones de control Geológico utilizadas para la determinación del Lineamiento principal de la zona (Lineamiento Mulatos).



Fuente: Este trabajo.

Figura 27. Se observa el afloramiento de la estación PAB-11 y un zoom del plano de la estría de falla. La foto presenta una dirección en azimut de 342°



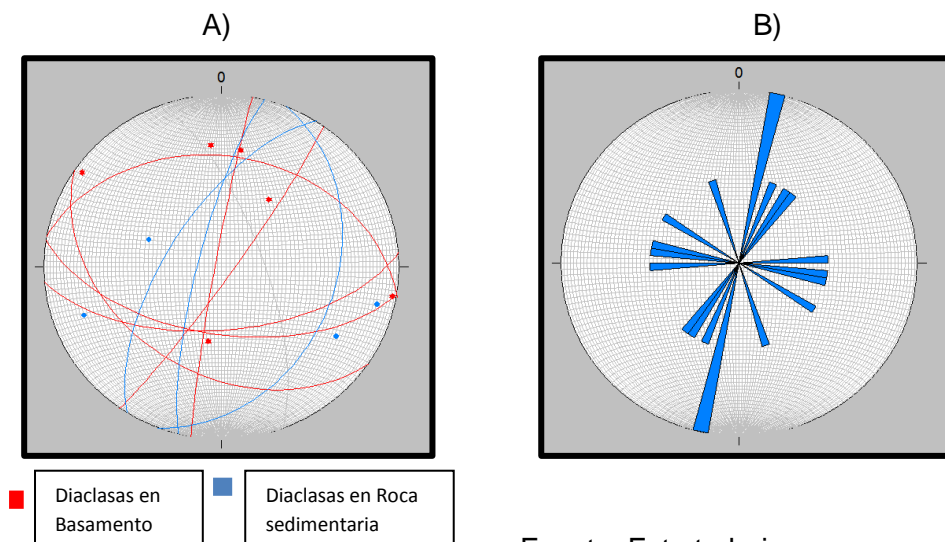
Fuente: Este trabajo.

Los rasgos morfológicos más notables de la falla, tanto en fotografías aéreas como en el reconocimiento de campo son: Deflexión en los drenajes, colinas alineadas, valles rectilíneos y una serie de cambios altimétricos (Figura 15).

7.2. Geología Estructural fase laboratorio: En esta etapa se presentan los diagramas obtenidos mediante el software Stereonet para el análisis de datos estructurales como diaclasas. Se elaboraron cinco (5) tipos de asociaciones de datos de manera general para, el campo de esfuerzos al cual se encuentra sometida la zona de interés.

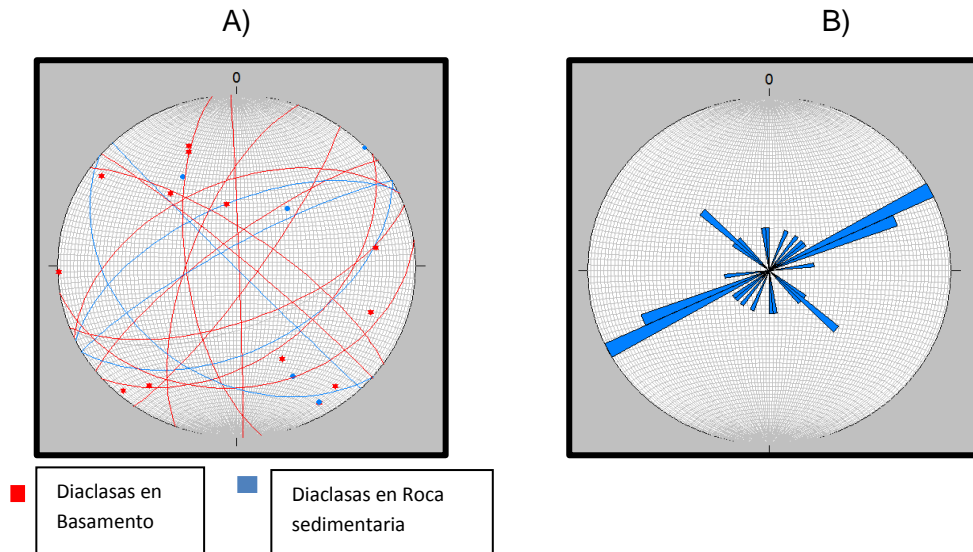
Las asociaciones fueron: diagramas de ciclográficas (planos y polos) rosetas para diaclasas al “E” del lineamiento Mulatos, diagramas de ciclográficas (planos y polos) y rosetas para diaclasas al “W” del lineamiento Mulatos, diagramas de ciclográficas (planos y polos) y rosetas para las diaclasas encontradas en rocas sedimentarias, diagramas de ciclográficas (planos y polos) y rosetas para diaclasas encontradas en rocas del basamento y por ultimo diagramas de ciclográficas (planos y polos) y rosetas para todas las diaclasas encontradas en la zona (Figuras 28, 29, 30, 31 y 32)

Figura 28. Asociación de datos de diaclasas para la zona “E” del lineamiento Mulatos. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas



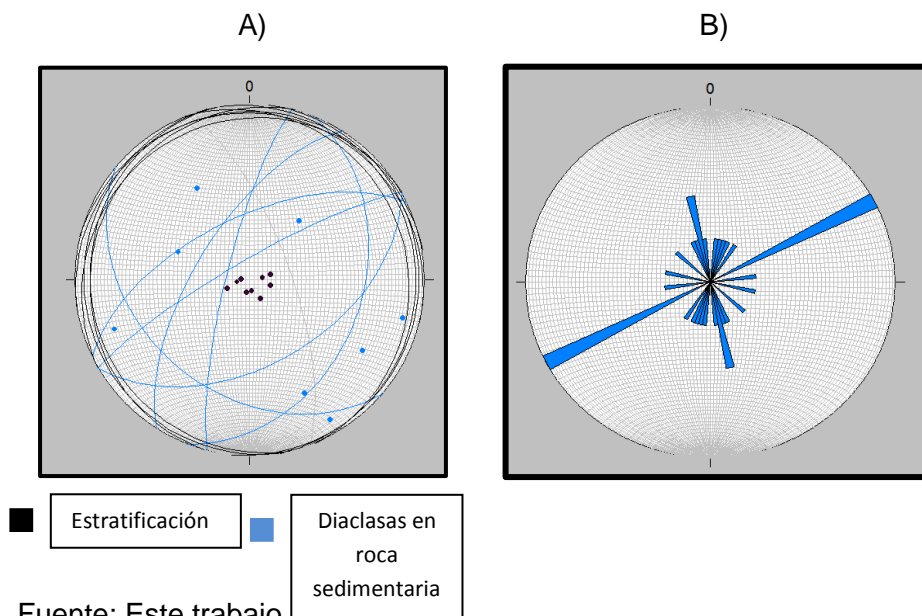
Fuente: Este trabajo.

Figura 29. Asociación de datos de diaclasas para la zona “W” del lineamiento Mulatos. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas



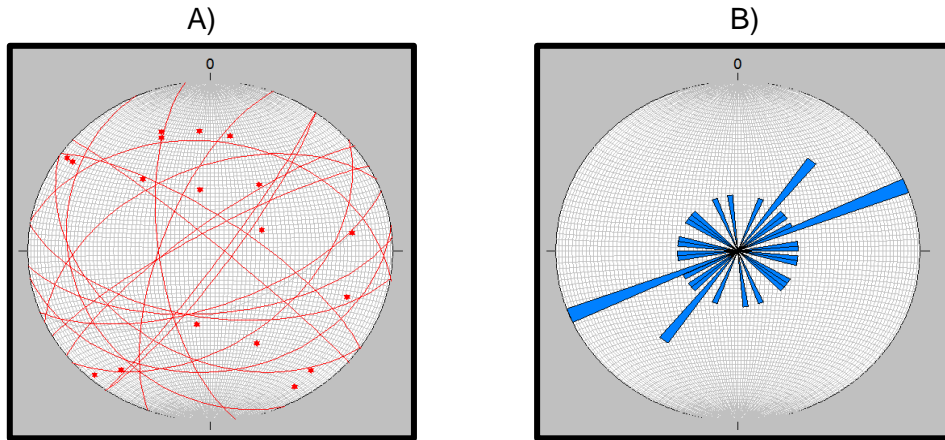
Fuente: Este trabajo.

Figura 30. Asociación de datos de diaclasas para las Rocas sedimentarias de la zona de estudio. A) Diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) Diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.



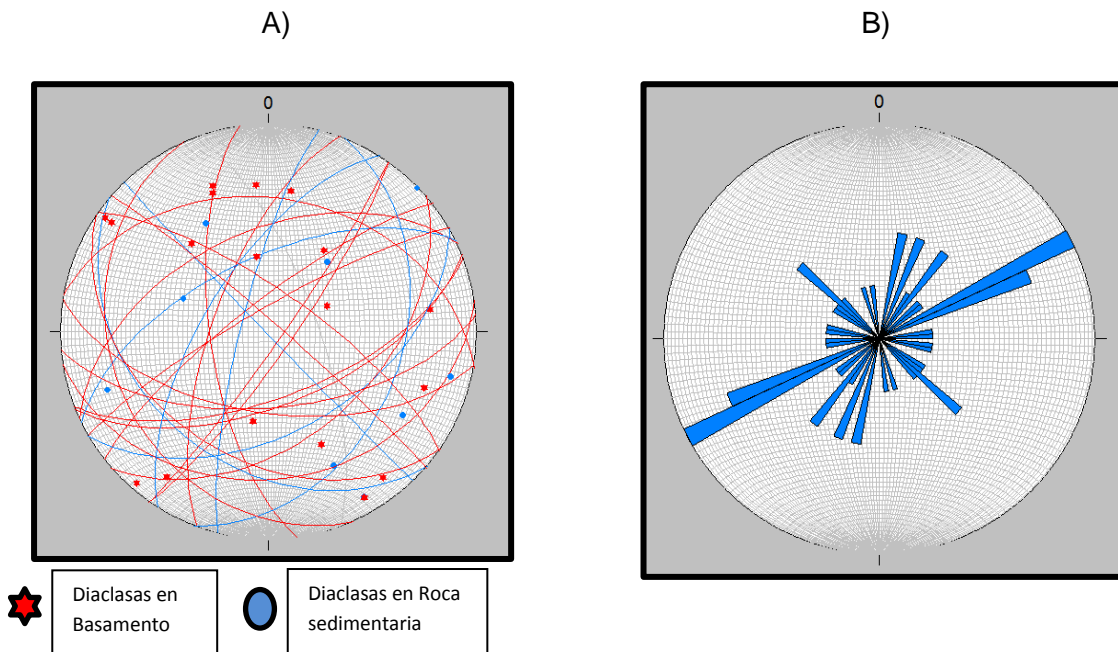
Fuente: Este trabajo.

Figura 31. Asociación de datos de diaclasas para las Rocas del Basamento de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.



Fuente: Este trabajo.

Figura 32. Asociación de datos de diaclasas para las rocas del basamento y rocas sedimentarias de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.

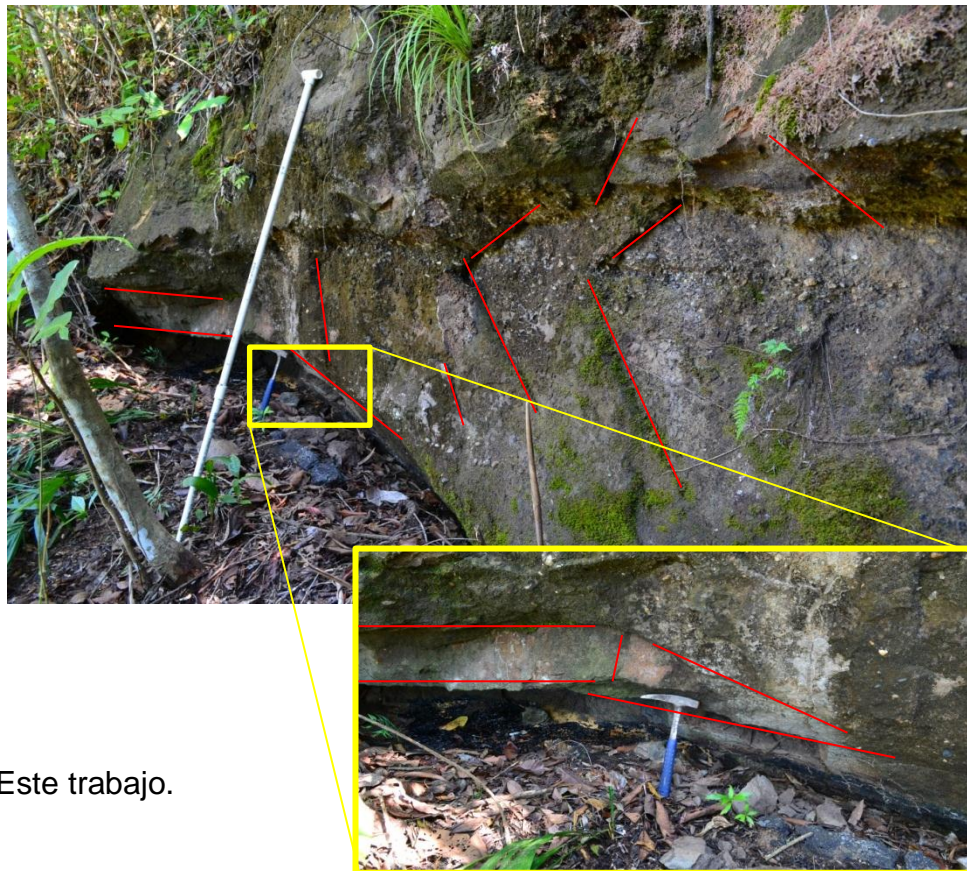


Fuente: Este trabajo.

De manera detallada se realizaron asociaciones de datos para la generación de diagramas polo, planos de diaclasas y rosetas para las paradas más significativas de la zona (mayor densidad de datos de diaclasas) las cuales fueron la PAB-5, PAB-6, PAB-8 y PAB-15 para la determinación individual de los esfuerzos en cada zona del área.

7.2.1. Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-5: en esta estación se observa un afloramiento de rocas sedimentarias (Areniscas ligeramente conglomeráticas) que presentan diaclasamiento (figura 33). Sobre la diaclasa 284/79 se presenta un rezumadero de crudo muy viscoso.

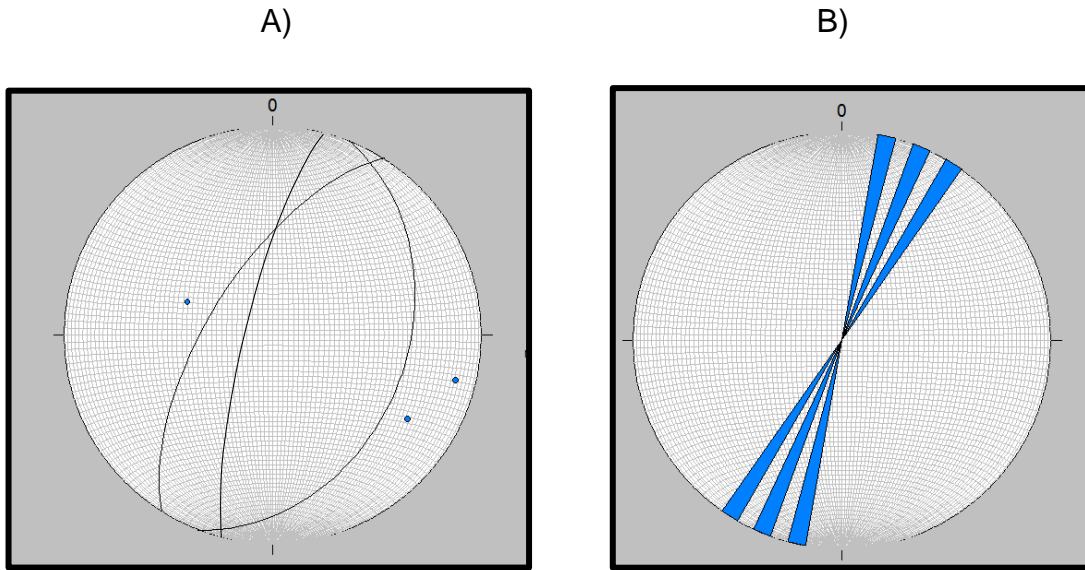
Figura 33. Afloramiento de areniscas ligeramente conglomeráticas de la estación PAB-5, también se observa un rezumadero de crudo. La foto presenta una dirección en azimut de 141°.



Fuente: Este trabajo.

En la figura 34 se observa los diagramas de asociación de datos de diaclasas de esta estación.

Figura 34. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-5 y rocas sedimentarias de la zona de estudio. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.

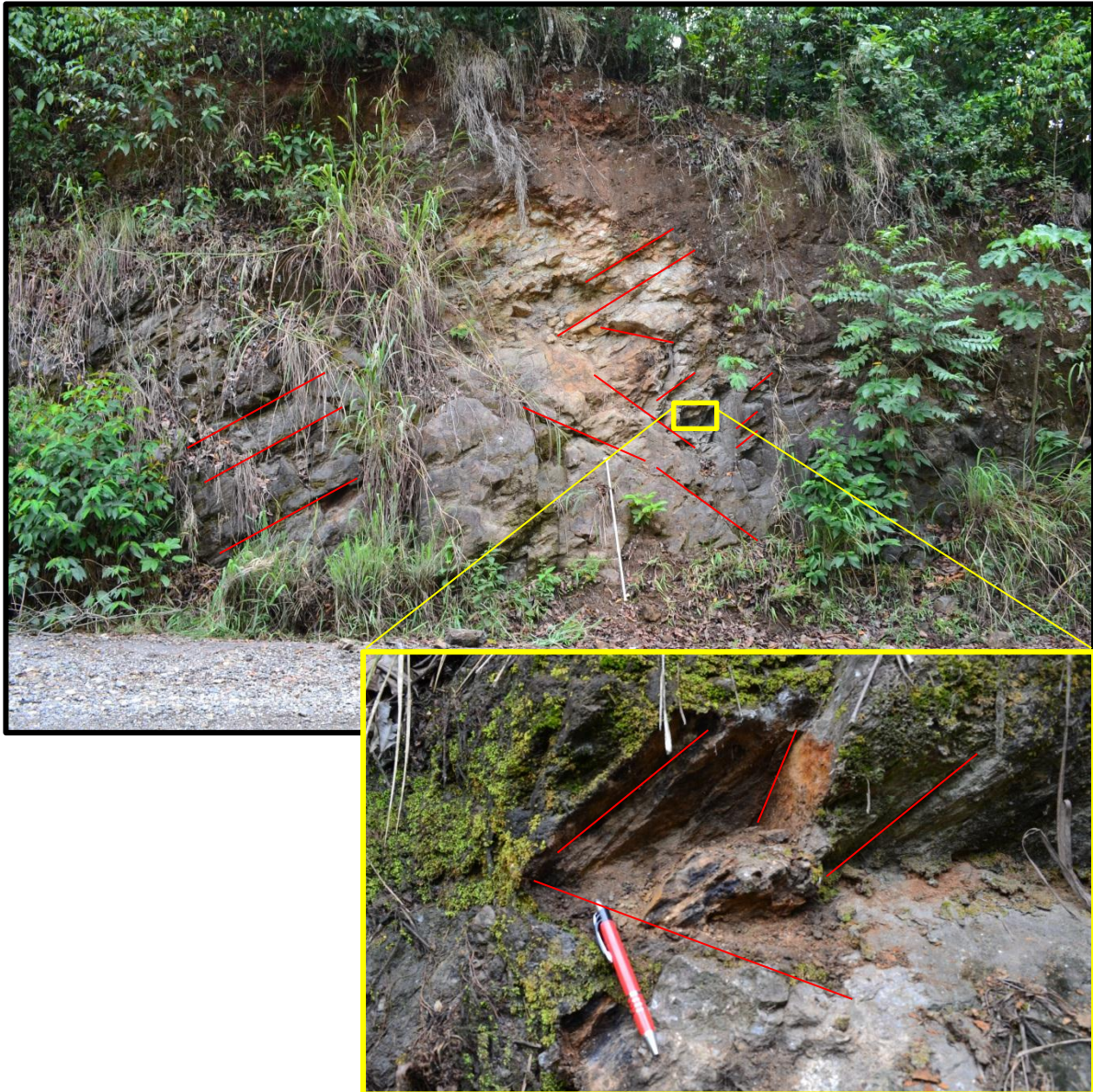


Fuente: Este trabajo.

7.2.2. Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-6: Se presenta un afloramiento de rocas pertenecientes al basamento, principalmente rocas poli metamórficas; este afloramiento presenta poca densidad de diaclasamiento en cuanto a la variedad de familias que presenta.

Las rocas poli metamórficas presentan contenido de crudo que se observa asociado al diaclasamiento principalmente 246/25 (Figura 35).

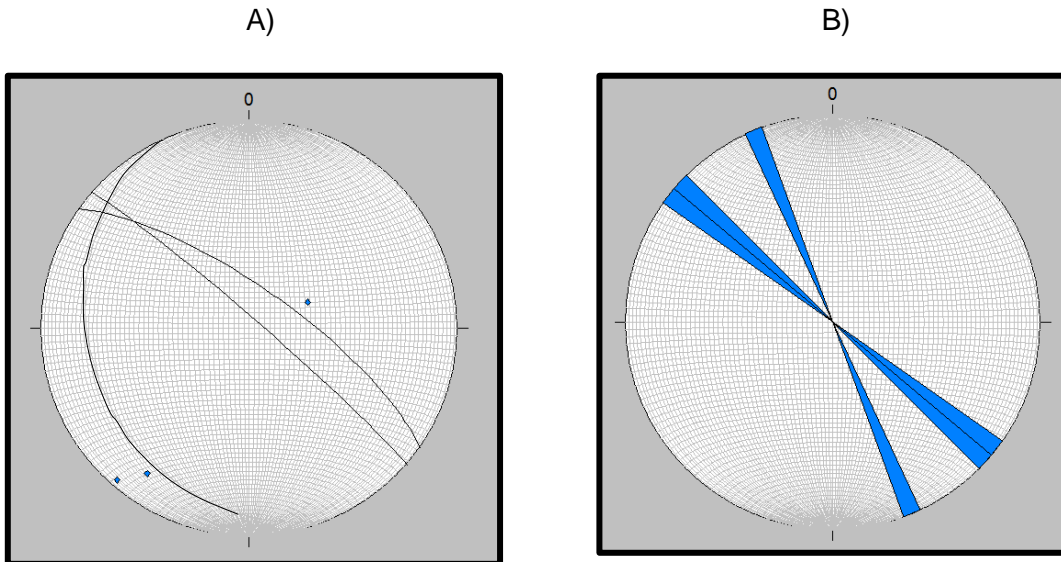
Figura 35. Afloramiento de rocas pertenecientes al basamento de la estación PAB-6. La foto presenta una dirección en azimut de 62°.



Fuente: Este trabajo.

En la figura 36 se puede observar los diagramas que representan la asociación de datos de los planos de diaclasas en esta estación.

Figura 36. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-6. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.



Fuente: Este trabajo.

7.2.3. Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-8: Se observa un afloramiento perteneciente al basamento con rocas principalmente esquistosas, a la base de este afloramiento se observa el esquisto impregnado de crudo, al parecer los planos de migración corresponden a la esquistosidad de 265/14.

En el afloramiento se observa una vena de cuarzo con una orientación 260/75.

El afloramiento se encuentra bastante diaclasado (zona de intenso diaclasamiento) debido al paso del Lineamiento Mulatos (Figura 37).

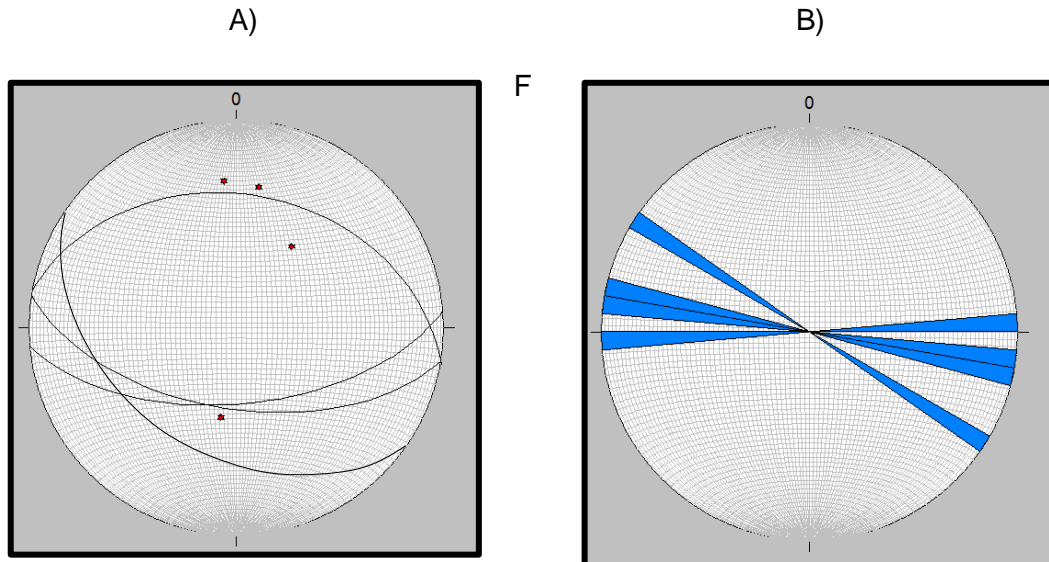
Figura 37. Afloramiento de rocas del basamento de la estación PAB-8, principalmente esquistos micáceos, zona de intenso diaclasamiento. La foto del afloramiento presenta una dirección en azimut de 4°.



Fuente: Este trabajo.

Para esta estación se realizaron los diagramas de ciclográficas de planos de diaclasas y de rosetas estos se pueden observar en la figura 38.

Figura 38. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-8. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.



Fuente: Este trabajo.

7.2.4 Asociación de datos de diaclasas para la estación PAB-15: Se observa un afloramiento que presenta la inconformidad entre la cobertera sedimentaria y rocas del paleozoico (basamento), en este se ven varias familias de diaclasas que afectan a los dos tipos de roca.

Se observan arenas bituminosas al techo y a la base unas areniscas limosas con trazas de hidrocarburos que se encuentran dispuestas en la laminación, las rocas del basamento son rocas ígneas (granitoides) bastante alteradas con texturas porfíricas con matriz afaníticas, los principales fenocristales son de plagioclasa y rocas poli metamórficas con alto contenido de micas muscovita. Las rutas de migración posiblemente son por la inconformidad y por algunas diaclasas (figura 39)

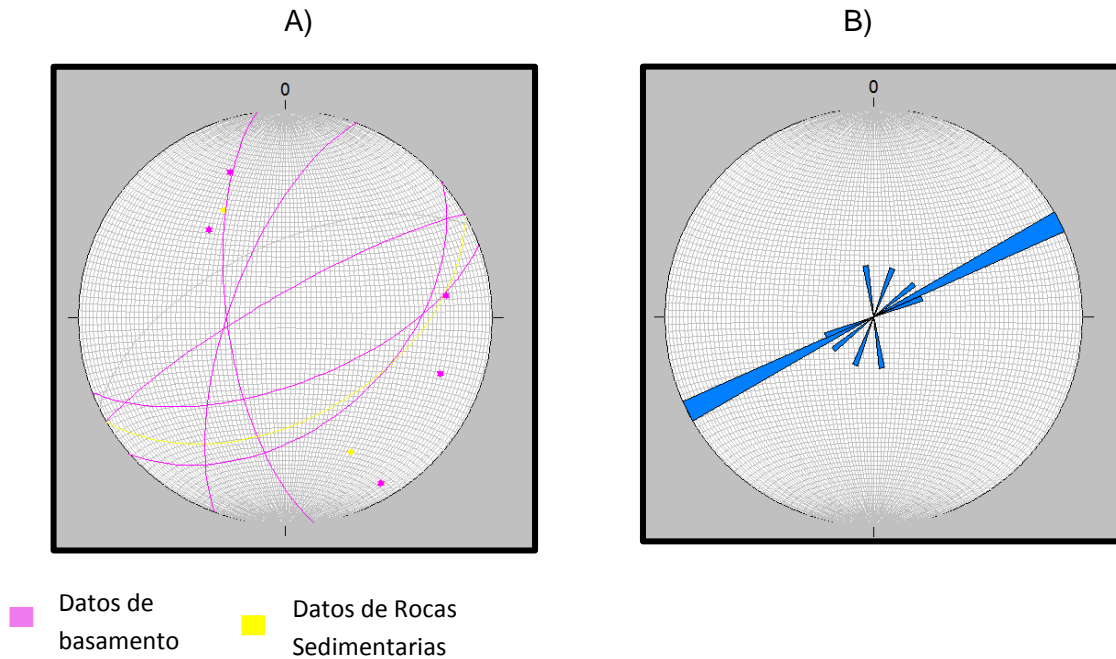
Figura 39. Se observa el afloramiento de la estación PAB-15. La foto del afloramiento presenta una dirección en azimut de 350°.



Fuente: Este trabajo.

La asociación de datos de diaclasas se presenta en la figura 40.

Figura 40. Asociación de datos de diaclasas para las rocas de la estación PAB-15. A) diagrama de ciclográficas de planos de diaclasas B) diagrama de rosetas para los planos de diaclasas.



Fuente: Este trabajo.

7.3. Análisis Estructural.

Teniendo en cuenta las figuras 28 a la 32 que corresponden a diagramas de ciclográficas y rosetas para el estudio general de los datos de diaclasas tomados en campo, se puede inferir que los principales esfuerzos a los cuales la zona de estudio se encuentra sometida son de tipo compresivo, lamentablemente la cantidad de datos vistos en campo no son lo suficientes para dar un análisis más concreto ya que solo se cuenta con planos de diaclasas. Éstas figuras muestran un tensor de deformación con una dirección promedio de N50°E. Según Cortes *et*

al., 2005 propone un tensor de esfuerzos para las rocas del Neógeno del Sinclinal de Guaduas de N72°W y para las rocas del Cretácico tardío, en las inmediaciones a la Falla de Cambao de N67°W. Estas dos zonas se encuentran relativamente próximas al Municipio de La Dorada, Caldas. Teniendo en cuenta estas diferencias mostradas se puede inferir cambios locales en cuanto a la deformación de las rocas del Neógeno pertenecientes al Grupo Honda ya que estas rocas son de edades de Mioceno medio a tardío (13.5ma-11.5ma) como se puede observar en la figura 41.

Teniendo en cuenta las figuras 34, 36, 38 y 40 que corresponden a diagramas de ciclográficas y rosetas, de las estaciones PAB-5, PAB-6, PAB-8 y PAB-15 respectivamente, se determinaron los datos promedio de rumbo para planos de diaclasa según la tabla 6.

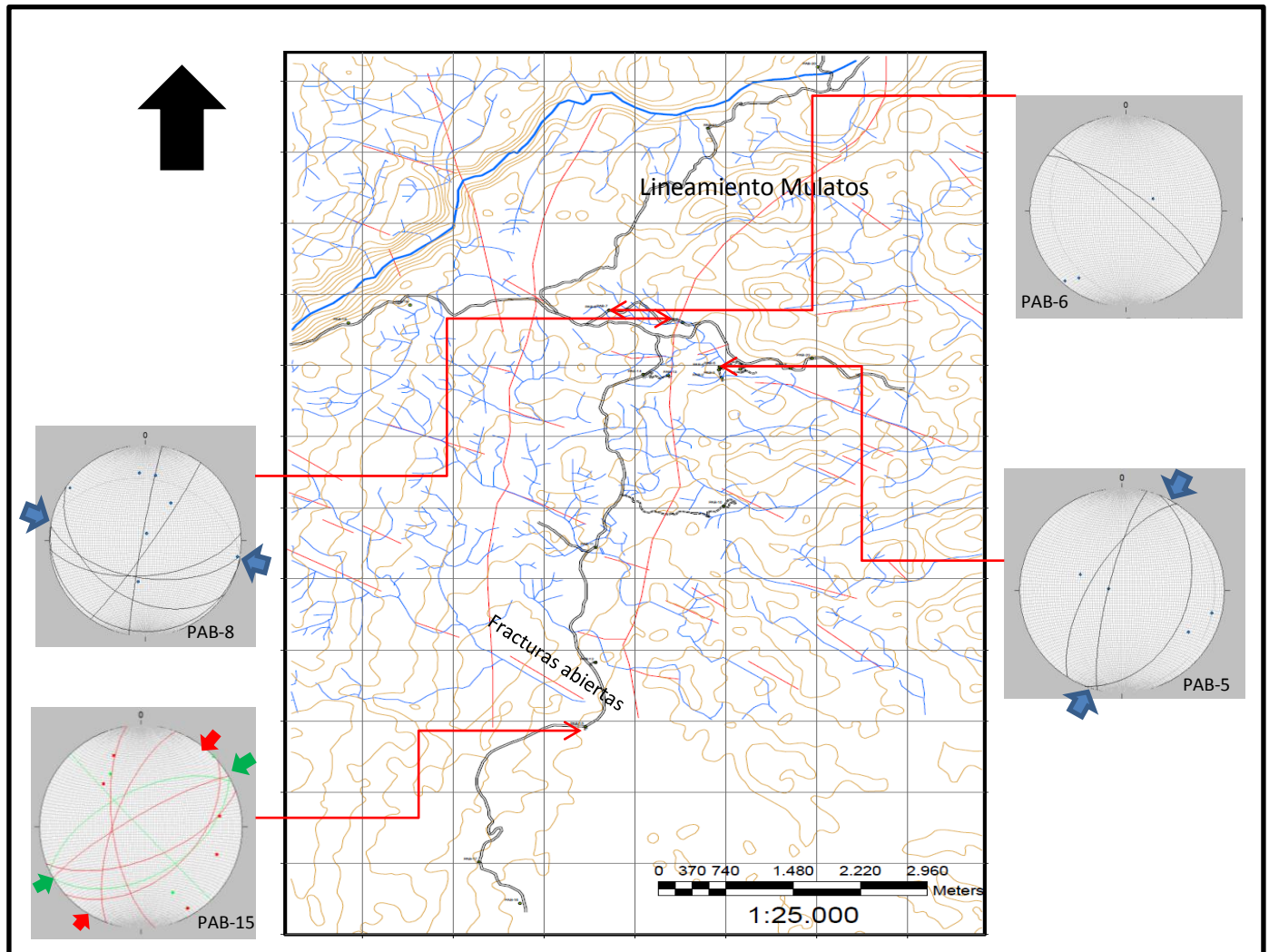
Tabla 6. Datos promedio de rumbo de diaclasas y de esfuerzos en las estaciones nombradas.

ESTACION	TENSOR EN BASAMENTO	TENSOR EN ROCA SEDIMENTARIA	PRINCIPAL RUMBO
PAB-5		N35°E	N20°-30°E.
PAB-6			N20°-45°W.
PAB-8	N80°W		N80°W.
PAB-15	N30°E	N55°E	N50°E

Fuente: Este trabajo.

Para visualizar de una manera más ilustrativa la dirección del tensor de esfuerzos de la zona de estudio se generó un mapa estructural (figura 41) donde se pueden ver los diagramas de ciclográficas de manera conjunta.

Figura 41. Dirección de Tensores principales obtenidas en las estaciones mencionadas. Se muestran las diferencias locales entre los tensores de las paradas PAB-5, PAB-6, PAB-8 y PAB-15, en la última el color verde indica planos de diaclasa en rocas sedimentarias



Fuente: Este trabajo.

Aunque se tienen cambios locales entre las estaciones de control geológico mencionadas se asume el tensor principal de la zona propuesto por Cortes *et al.*, 2005, hacia el NW debido a la compresión del bloque Chocó, de esta manera se tienen fracturas abiertas con dirección principal NW-SE que sirven para el posible tránsito de hidrocarburos.

8. RESULTADOS DE SEDIMENTO – ESTRATIGRAFÍA

Para el desarrollo de la fase de resultados sedimentológicos se describieron las muestras recolectadas en campo en las estaciones de control geológico, algunas estaciones no presentan muestras ya que eran estaciones panorámicas. A continuación en la tabla 7 se presenta el listado de muestras obtenidas en la campaña de campo; las muestras se encuentran dentro de la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás) en el caso de las rocas sedimentarias y en el Complejo Cajamarca en el caso de las rocas metamórficas e ígneas (basamento).

Tabla 7. Muestras tomadas durante las campañas de campo.

Numero de muestra	Nombre de Muestra	Tipo de Roca	Formación
1	PAB-1-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás ColAsfaltos
2	PAB-1-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
3	PAB-1-M3	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
4	PAB-1-M4	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
5	PAB-1-M5	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
6	PAB-1-M6	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
7	PAB-1-M7	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
8	PAB-1-M8	Sedimentaria	Formación Cambrás Mina ColAsfaltos
9	PAB-2-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
10	PAB-2-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
11	PAB-3-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
12	PAB-3-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
13	PAB-3-M3	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
14	PAB-4-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
15	PAB-4-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
16	PAB-5-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
17	PAB-5-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías ColAsfaltos
18	PAB-6-M1	Metamórfica	Complejo Cajamarca paralela Isaza
19	PAB-6-M2	Metamórfica	Complejo Cajamarca paralela Isaza
20	PAB-7-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás paralela Isaza
21	PAB-7-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás paralela Isaza
22	PAB-7-M3	Sedimentaria	Formación Cambrás paralela Isaza
23	PAB-7-M4	Sedimentaria	Formación Cambrás paralela Isaza
24	PAB-8-M1	Metamórfica	Complejo Cajamarca paralela Isaza
25	PAB-8-M2	Metamórfica	Complejo Cajamarca paralela Isaza
26	PAB-11-M1	Metamórfica	Complejo Cajamarca Quebrada el Neme
27	PAB-11-M2	Metamórfica	Complejo Cajamarca Quebrada el Neme

28	PAB-12-M1	Metamórfica	Complejo Cajamarca vía Isaza-La Fe
29	PAB-12-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás vía Isaza-La Fe
30	PAB-12-M3	Sedimentaria	Formación Cambrás vía Isaza-La Fe
31	PAB-13-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías Isaza
32	PAB-13-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías Isaza
33	PAB-13-M3	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías Isaza
34	PAB-13-M4	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías Isaza
35	PAB-14-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás cercanías Isaza
36	PAB-15-M1	Ígnea	Complejo Cajamarca Río Pontoná
37	PAB-15-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás Río Pontoná
38	PAB-15-M3	Metamórfica	Complejo Cajamarca Río Pontoná
39	PAB-15-M4	Sedimentaria	Formación Cambrás Río Pontoná
40	PAB-17-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás vía La Fe
41	PAB-17-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás vía La Fe
42	PAB-18-M1	Metamórfica	Complejo Cajamarca vía Norcasia
43	PAB-20-M1	Ígnea	Complejo Cajamarca vía La Garrucha
44	PAB-22-M1	Sedimentaria	Formación Cambrás Ha Roció
45	PAB-22-M2	Sedimentaria	Formación Cambrás Ha Roció

Fuente: Este trabajo

La descripción sedimentológica de las muestras de campo mencionadas en la tabla anterior se presenta en el Anexo F, esto se hizo con el fin de realizar la determinación de facies y asociación de las mismas para inferir de ambientes de sedimentación.

8.1. Complejo Cajamarca: Para el complejo Cajamarca se encontraron rocas metamórficas en contacto neto con algunos intrusivos y en contacto discordante con las rocas de la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambras), principalmente compuestas por esquistos micáceos, rocas poli deformadas y en menor proporción algunos neises. Algunos de estos esquistos micáceos presentaban impregnación de crudo dispuesta entre la foliación que en promedio tenía un dato en azimut de rumbo de 265/14 (figura 42A).

Se encontraron rocas ígneas dispuestas de manera de intrusivo en contacto neto con rocas metamórficas y en contacto discordante con rocas pertenecientes a la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás), este cuerpo se encontraba sobre el puente del Río Pontoná y estaba muy alterado por esto sus colores

naranjas, presenta una textura porfirítica con fenocristales de aproximadamente 0,5cm generalmente de plagioclasas alterada y de matriz fanática (figura 42B).

Figura 42. Algunas características de las rocas del Complejo Cajamarca. 39 A) roca ígnea alterada con fenocristales de plagioclasas. 39B) esquistos micáceos impregnados de crudo.

42 A)



42B)



Fuente: Este trabajo

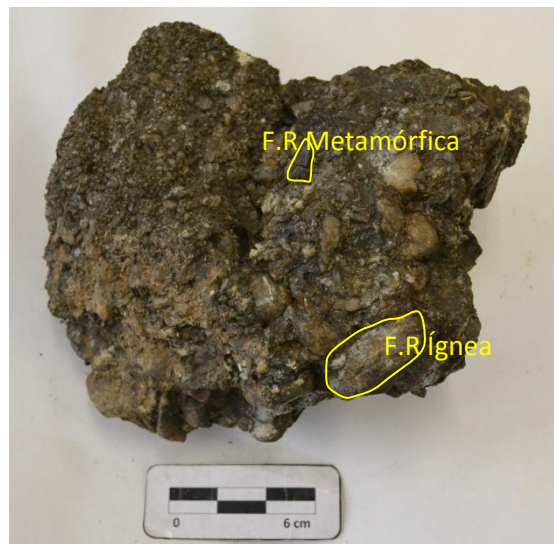
8.2. Parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás): Para esta formación se recolectaron 34 muestras (tabla 7) las estaciones donde se tomaron se observan en la figura 33, y se le realizó la respectiva descripción sedimentológica mediante la metodología planteada en el manual de descripción y clasificación de rocas terrígenas (Cruz & Caballero., 2007) y por la clasificación según Folk, 1974 (Anexo F).

Las características de las rocas pertenecientes a la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás), presentan variedad de tamaño de grano, que van desde limolitas, arenas en mayor proporción y conglomerados.

Las rocas que presentan impregnación de crudo se encuentran en la parte basal de la Formación Cambrás y se disponen en contacto discordante con rocas del basamento pertenecientes al Complejo Cajamarca (figura 30)

Las rocas impregnadas de crudo presentan una clara influencia de la denudación ya que contienen alto contenido de líticos, entre los cuales se aprecian fragmentos de rocas metamórficas como esquistos (abunda el contenido de fragmentos de cuarzo), fragmentos de rocas ígneas, y en menor proporción fragmentos de rocas sedimentarias, estos varían de formas sub angulares a sub redondeados (figura 43). Las rocas presentan variedad en la selección de muy pobre a bien seleccionada, en el anexo de columnas estratigráficas se pueden observar curvas de selección, cementación y saturación visual de bitumen además de las propiedades petrofísicas.

Figura 43. Conglomerado donde se observan fragmentos de roca (F.R)



Fuente: Este trabajo.

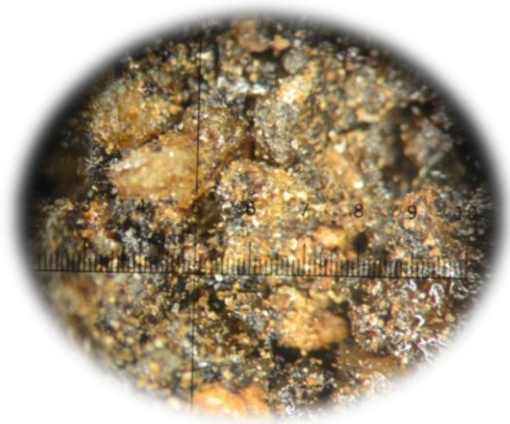
Durante la descripción de las muestras se encontraron características particulares de las rocas, como “Bitumen soportada” un nuevo concepto utilizado en el presente proyecto para definir el tipo de fabrica de las rocas bituminosas que se encuentran soportadas en su mayoría por bitumen, se puede observar en la figura 44A en la base de la estación PAB-1(ver mapa de estaciones figura 17) se observa madera carbonizada la cual fue de ayuda para determinar ambientes de depósito (figura 44 B).

También se puede observar una laminación de un material azufroso en la base de la SE-1 (figura 44C), este material presenta un color blanco. En la parte media de la estación PAB-23 se presentan unos nódulos de areniscas con cemento calcáreo con formas ovaladas alargadas (figura 44D).

En la parte norte de la zona de estudio específicamente hacia la vereda La Garrucha, se observan terrazas de sedimentos rojos (Figura 45), en esta zona se observan morfologías más abruptas que corresponden a la parte con más altitud de la zona de interés, al parecer estos sedimentos corresponden al tope de la Formación Cambrás.

Figura 44. Características importantes de la Formación Cambrás. 44 A) Bitumen soportada, en la muestra PAB-13-M3 tomada en la lupa estereoscópica marca Nikon con el aumento normal (0,8X) 44B) madera carbonizada en la base de la estación PAB-1. 44C) Laminación inclinada en artesa de material azufroso. 44D) Nódulos ovalados alargados de areniscas con cemento cálcico.

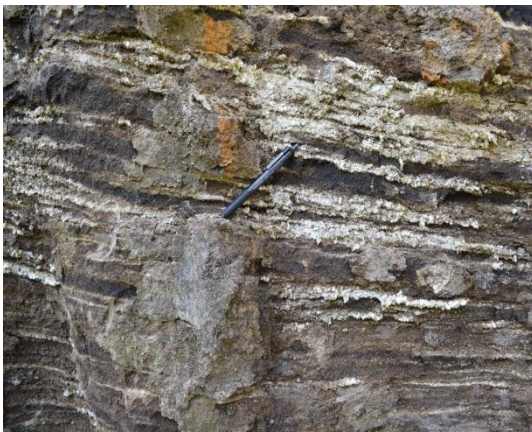
44 A



44B



44C



44D



Fuente: Este trabajo.

Figura 45. Panorámica de terrazas de sedimentos rojos al tope de la Formación Cambrás. La dirección de la foto en azimut es 16°. Esta foto fue tomada en la estación PAB-21.



Fuente: Este trabajo.

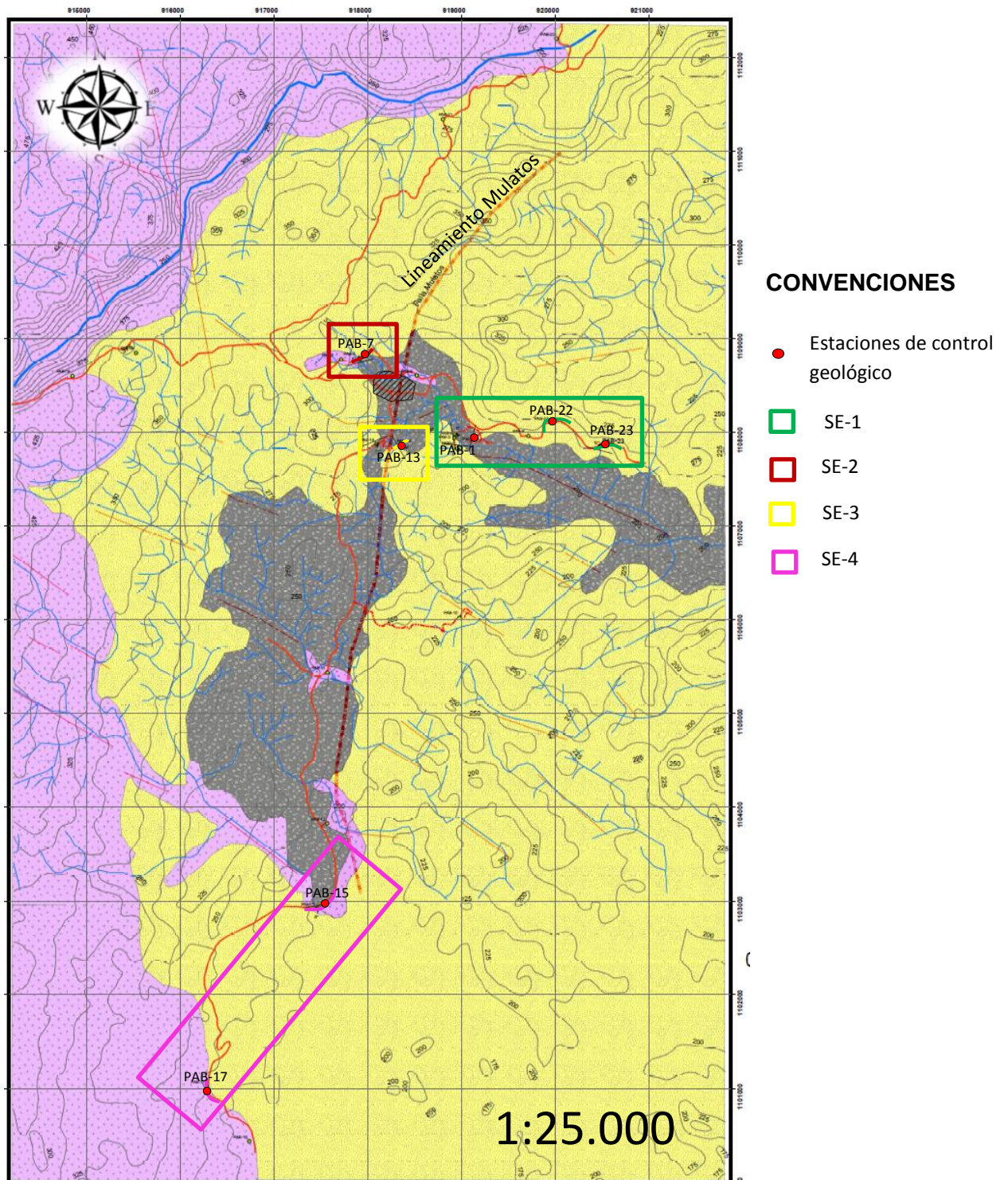
Durante la fase de campo se levantaron cuatro secciones estratigráficas (SE-1, SE-2, SE-3 y SE-4) las cuales mostraban poco espesor, debido a que las rocas presentaban poca inclinación, se construyeron teniendo en cuenta el ascenso topográfico y estratigráfico particular de la zona, por esto algunas secciones se componen de varias estaciones de control geológico (Tabla 8), la ubicación de éstas se observa en la figura 46.

Tabla 8. Relación entre las Secciones estratigráficas y las estaciones de control geológico.

SECCION ESTRATIGRAFICA	ESTACIONES DE CONTROL GEOLOGICO
SE-1	PAB-1, PAB-22 y PAB-23
SE-2	PAB-7
SE-3	PAB-13
SE-4	PAB-15 y PAB-17

Fuente: Este trabajo.

Figura 46. Ubicación de las Secciones Estratigráficas (SE) de la zona de estudio.



Fuente: Este trabajo.

8.2.1. Sección Estratigráfica SE-1: Esta sección comprende las estaciones de control geológico PAB-1, PAB-22 y PAB-23, que se encuentran sobre la vía que conduce La Dorada-Isaza (Figura 46).

Presenta un espesor total de 32,40m en donde los estratos son sub-horizontales con un buzamiento promedio de 6°SE, éstos varían sus espesores desde estratos medios a muy gruesos, con formas tabulares y lenticulares con variaciones en su estructura interna y externa como contactos plano difuso algo irregulares y planos netos. La descripción de tallada de la sección estratigráfica SE-1 se muestra en el Anexo B.

8.2.1.1. Facies de la sección Estratigráfica SE-1: Teniendo en cuenta la estructura interna de los estratos pertenecientes a esta sección estratigráfica se determinaron facies conglomeráticas, arenosas y finas que se describen teniendo en cuenta el código de facies propuesto por Miall para ambientes fluviales (Tabla 2)

Facies Conglomeráticas:

- **Gt:** Grava matriz soportada, con clastos dispuestos en artesa, estos clastos son de tamaños guijas a guijarros con formas esféricas, sub-angulares a sub-redondeados, principalmente son de cuarzos (lechoso, metamórfico entre otros), fragmentos de rocas metamórficas como esquistos y de rocas ígneas en menor proporción, geometría externa lenticular (figura 48), presenta un grado de consolidación moderado a alto debido al alto contenido de bitumen (crudo pesado) presente.

Teniendo en cuenta la variedad de clastos que presenta esta facies es un conglomerado polimíctico, donde los tamaños de su matriz varían de arenas medias a gruesas, composicionalmente corresponde a un Conglomerado Lítico.

Figura 48. Forma externa lenticular en la facies Gt visto en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1



Fuente: Este trabajo.

Facies Arenosas:

- **St:** Estratos de areniscas que varían su tamaño de grano de arena media a gruesa, principalmente presentan laminación en artesa solitaria o agrupada (figura 49), en la base de la SE-1 en donde ésta laminación se diferencia por el contenido visible de bitumen (variación de colores). Presentan un calibrado de moderado a bueno, con colores grisáceos (N7) .

Figura 49. Laminación en artesa de la facies St vistas en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.



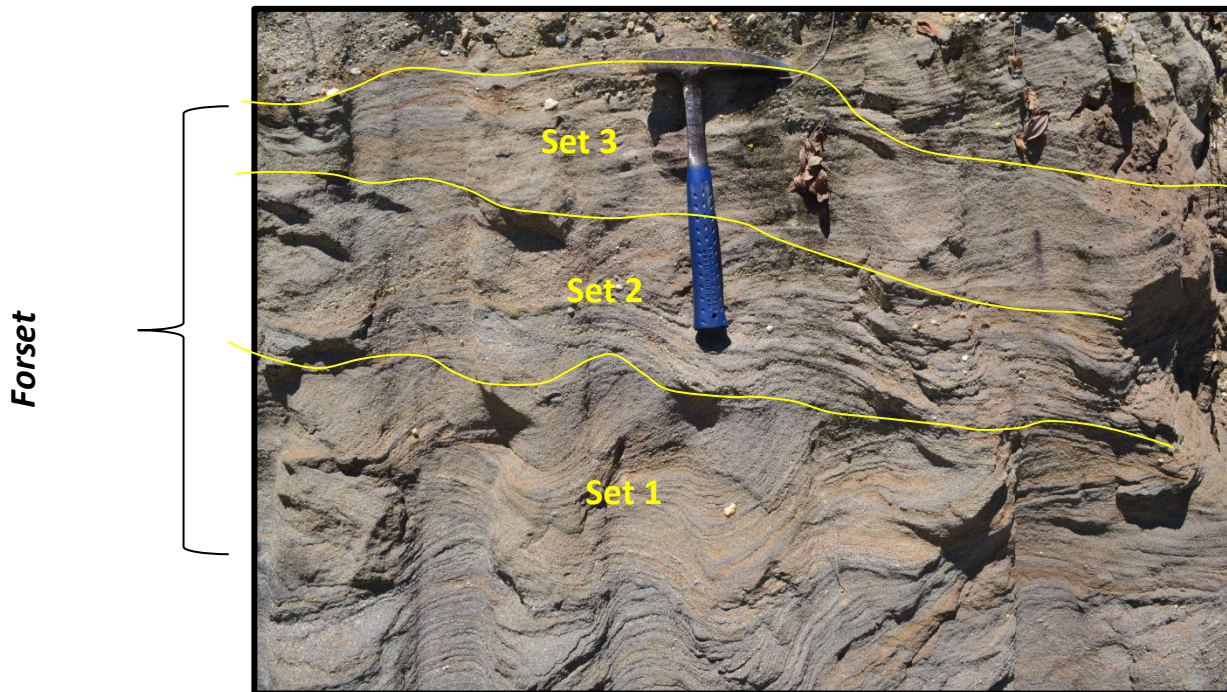
Fuente: Este trabajo.

Su composición macroscópica se encuentra en el rango de Litarenita a Arenitas líticas cuarzosas, este tipo de facies se encuentran asociadas a facies arenosas (Sm y Sr) y a facies finas (FI), estas facies se encuentran en mayor ocurrencia en la base de la SE-1, al tope son muy escasas.

- **Sr:** Estrato de arenisca con tamaño de grano grueso a muy grueso, presenta variación en la laminación representada por un grupo de sets (Coset) que muestran un cambio en el flujo (figura 50), este tipo de estructura interna es muy

escasa ya que se observa sólo en la parte basal de SE-1 asociada a facies arenosas (Sm y St).

Figura 50. Coset de laminación de la facies Sr vistas en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1



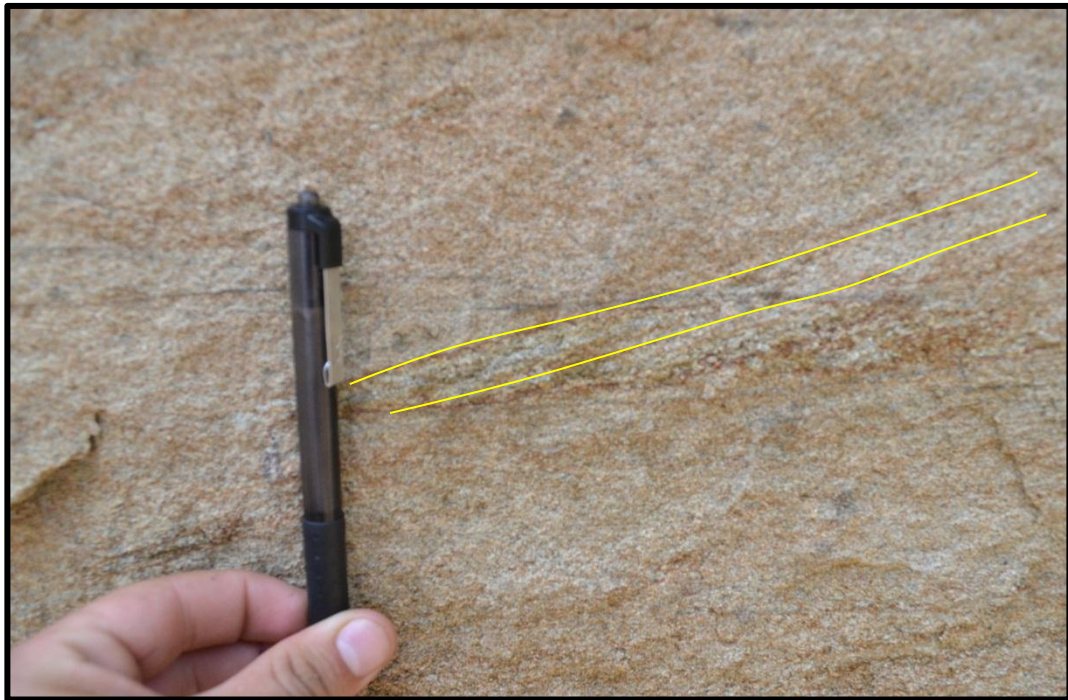
Fuente: Este trabajo.

Presenta una saturación de bitumen moderado lo que hace que tenga una cementación de moderada, debido a esto su color es N6 (gris marrón) según la tabla de colores de Munsell (2009) la selección de los granos es de moderada a buena. Su composición macroscópica es Sublitarenita, por el gran contenido de fragmento de roca y de cuarzo.

- **SI:** Corresponde a estratos de arenisca de grano medio a grueso con laminación inclinada de bajo ángulo (figura 51.) presenta un calibrado bueno, con

cementación moderada, esta facies no presenta impregnación de bitumen y se encuentra en la parte media y superior de la SE-1. Los estratos son sub-horizontales y presentan espesores mayores a 1,5m.

Figura 51. Laminación inclinada de bajo ángulo para la facies SI vista en la estación PAB-22 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.



Fuente: Este trabajo.

Composicionalmente corresponden a Sublitarenita, por el porcentaje entre fragmentos de roca y cuarzo. Esta facies se encuentra generalmente asociada a facies arenosas (Sm) y a facies finas (Fsm).

- **Sm:** Estratos de areniscas de grano grueso, presentan laminación poco clara a masiva, presentan una selección buena y el color predominante es grisáceo y es la facies más abundante de la SE-1, se observa de base a techo.

De acuerdo a su composición varia de Litarenita feldespática a la base de SE-1 a Sublitarenita al techo, se sigue presentando la gran influencia de la denudación de rocas preexistentes por el contenido de fragmentos de roca (líticos).

A la base de SE-1 estas facies se encuentran con una impregnación de bitumen moderada (Arena bituminosa), mientras que al tope esa impregnación desaparece.

Facies Finas:

- **FI:** Estratos de rocas de grano fino como Limolita arenosa, Arenisca Limosa o Lodolitas, están caracterizadas por presentar una laminación fina (figura 51B), los colores varían de grises verdosos (10Y 7/4) a grises oscuros (5GY 6/1) algunos estratos presentan grietas de desecación (figura 52A). Algunos estratos poseen niveles de arenas finas de escalas milimétricas y algunos clastos esporádicos de tamaños guijos.

Figura 52. Características de las facies finas FI. 52 A) Grietas de desecación encontradas ocasionalmente en facies FI. 52B) laminación de las facies finas FI vistas en la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1

52 A)



52B)

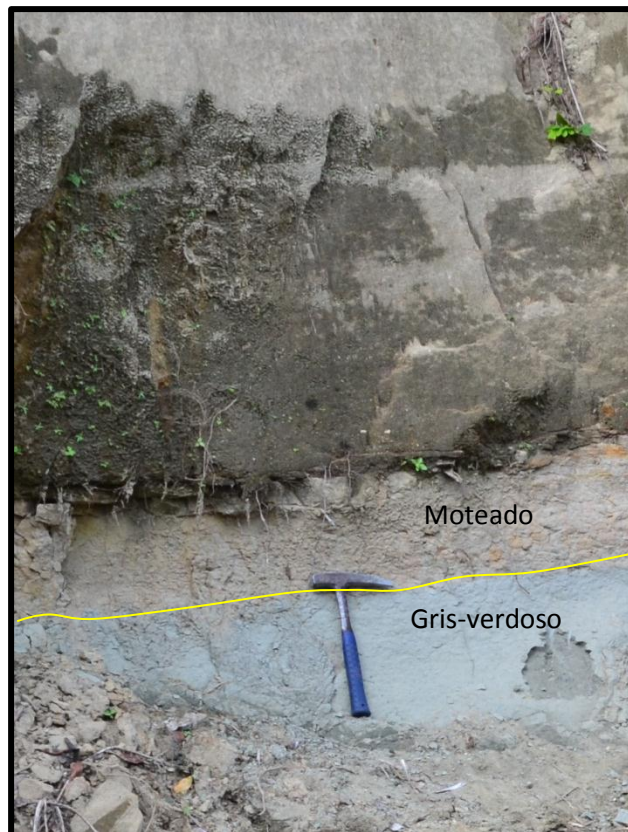


Fuentes: Este trabajo.

Estas facies son muy abundantes en SE-1 y en ocasiones se encuentra en contacto erosivo con facies arenosas. En algunas ocasiones presentan trazas de hidrocarburos dispuestos entre la laminación, esto se observa con frecuencia en los estratos a la base de SE-1.

- **Fsm:** Paquetes de Limolita arenosa con forma externa tabular, se encuentran en la parte media de SE-1 y presenta colores verdosos y moteados (figura 53). Presentan una consolidación moderada y estos no presentan ninguna impregnación de hidrocarburos.

Figura 53. Coloraciones presentes en la facies Fsm vistas en la estación PAB-22 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.



Fuente: Este trabajo.

8.2.2. Sección Estratigráfica SE-2: Esta sección corresponde a la estación de control geológico PAB-7, que se encuentra localizada en la vía alterna al Caserío de Isaza que conduce al Municipio Norcasia (figura 46)

Presenta un espesor total de 5.3m, los estratos son sub-horizontales y presentan un buzamiento promedio de 9°SE, se observa variaciones en el espesor de los estratos que varían de medios a muy gruesos, con formas tabulares donde los contactos entre planos son irregulares difusos y plano neto. La descripción detallada de la presente columna se observa en el Anexo C.

8.2.2.1. Facies de la Sección Estratigráfica SE-2: Se observan facies arenosas y facies finas que se describen a continuación.

Facies Arenosas

- **St:** Estrato de arenisca conglomerática, donde los conglomerados son de tamaños guijos a guijarros y son principalmente de cuarzo lechoso, fragmentos de rocas metamórficas y en menor proporción de rocas ígneas. El calibrado es malo a moderado y presenta una consolidación de moderada a buena por el contenido de bitumen, está caracterizada por presentar laminación en artesa solitaria difusa. Su estructura externa es tabular con contacto plano neto y corresponde a la base de SE-2.

Composicionalmente es una Litarenita conglomerática por el contenido abundante de líticos (fragmentos de roca).

- **Sm:** Corresponden a estratos de areniscas que varían de grano fino a medio, presentan un calibrado de moderado a bueno, la cementación es moderada a baja y se caracterizan por ser masivas donde no se le observa ningún tipo de laminación, esta facies no presenta contenido alguno de hidrocarburos en esta sección estratigráfica (SE-2). Su estructura externa es

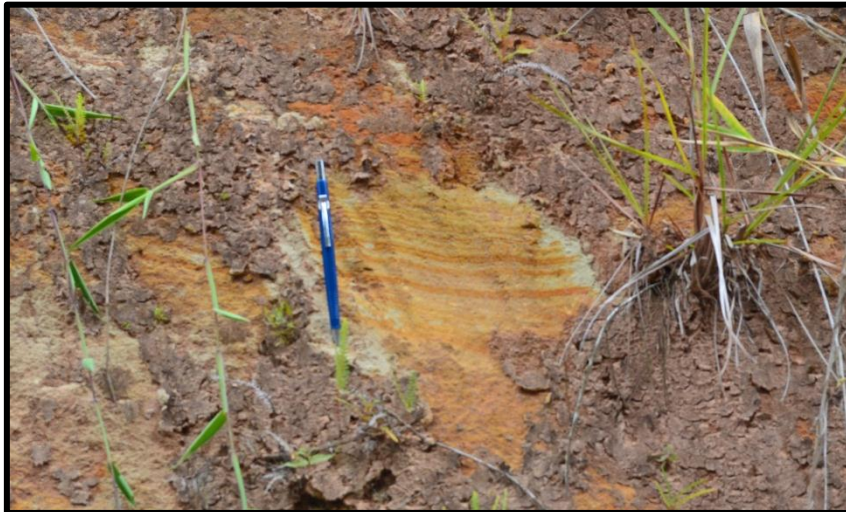
tabular con estratificación irregular difusa en algunos casos presenta límites erosivos con facies finas (fsm).

Composicionalmente son arcosas líticas por el alto contenido de feldespato, debido a esto presentan colores más rojizos.

Facies Finas.

- **FI:** Se observan estratos de areniscas de grano fino limoso de colores amarillos quemado y se caracteriza por presentar laminación fina inclinada de bajo ángulo que es notoria por los colores de oxidación (figura 54). La cementación es de moderada a baja, presenta estructura externa tabular y contactos difusos.

Figura 54. Laminación presente en la facies FI. Se observa en la estación PAB-7 perteneciente a la sección estratigráfica SE-2.



Fuente: Este trabajo.

- **Fsm:** Estratos delgados de limolitas arenosas de colores verdosos a moteados, que se disponen de manera tabular con contactos irregulares difusos. Composicionalmente corresponden a cuarzo arenitas limosas. En esta sección estratigráfica no contienen impregnación alguna de hidrocarburos.

8.2.3. Sección Estratigráfica SE-3: La estación que corresponde a esta sección es la PAB-13, que se encuentra localizada vía La Fé como se mencionó con anterioridad (Figura 46).

El espesor total es de 9,36m, los estratos presentes son sub-horizontales y presentan un buzamiento promedio de 7°SE, que varían de espesores de medio a muy grueso, con formas tabulares que presentan contactos plano neto y plano difuso y en menor proporción irregulares difusas y bases erosivas. La descripción detallada de la columna se observa en el Anexo D.

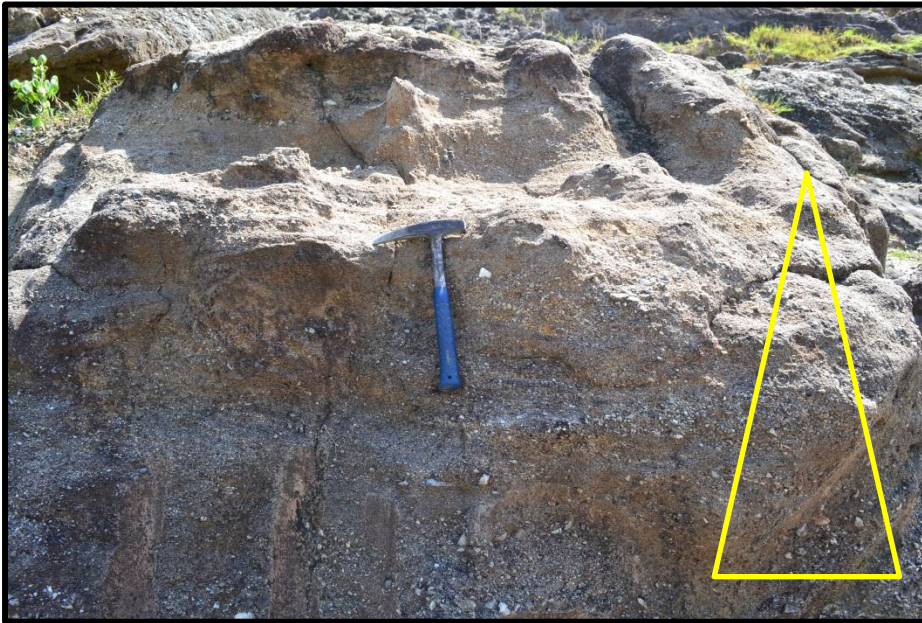
8.2.3.1. Facies de la Sección Estratigráfica SE-3: En esta sección estratigráfica se observan facies conglomeráticas, arenosas y facies finas que se describen a continuación.

Facies Conglomeráticas

- **Gmg:** Conglomerados arenosos a areniscas de grano grueso ligeramente conglomeráticas que se caracterizan por presentar una estructura interna de gradación normal (figura 54). Estratos con estructura externa tabular, en algunos casos se observan límites inferiores erosivos en facies finas (Fsm), presentan contenidos de bitumen que actúan como material cementante para esta sección estratigráfica.

La roca presenta clastos tipo polimíctico (clastos de composición variante entre rocas metamórficas como esquistos o neises, rocas ígneas y rocas sedimentarias), estos clastos varían su tamaño de guijas a guijarros.

Figura 55. Gradación normal presente en facies Gmg. Se observa en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3.



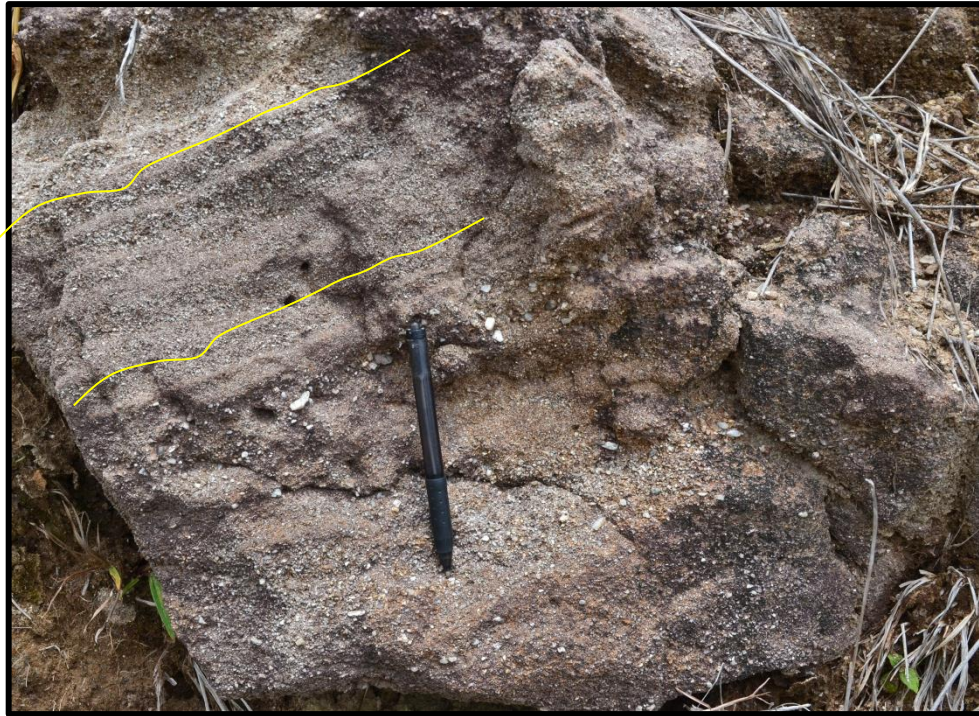
Fuente: Este trabajo

Facies Arenosas.

- **Sh:** Estratos de arenisca de grano medio a grueso ligeramente conglomeráticos con estructura externa tabular, presenta límites difusos con facies finas (Fsm), y se caracteriza por presentar una estructura interna de laminación horizontal, esta se observa por el cambio de coloración y por diferencias de tamaños (figura 56). Estos estratos presentan un contenido moderado a bajo de bitumen que actúa como materia cementante.

Contiene clastos de tamaños guijas orientados en la laminación, estos clastos son de tipo polimíctico en cuanto a la variedad de su composición.

Figura 56. Laminación difusa de la facies Sh. Se observa en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3



Fuente: Este trabajo.

- **Sm:** Estratos de areniscas de grano medio a grueso con formas externas tabulares, se caracteriza por presentar una estructura interna de laminación poco clara a masiva. Estos estratos presentan contenidos moderados de bitumen que actúan como material cementante en esta sección estratigráfica.

En algunos estratos se observan rombos de desecación al tope (figura 57)

Figura 57. Rombos de desecación en el tope de un estrato de facies Sm. Se observan en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3



Fuente: Este trabajo.

Facies finas.

- **Fsm:** Estratos de limolitas arenosas con límites irregulares, de colores 10Y 6/2 (verdoso), se caracterizan por presentar texturas masivas y en algunos sectores se encuentran de manera de nódulos o lentes en facies conglomeráticas (Gmg) y facies arenosas (Sm) (figura 58A y 58B).

Figura 58. Características de las facies finas Fsm. 58A) Lentas de materiales finos. 58B) Nódulos de facies finas. Se observan en la estación PAB-13 perteneciente a la sección estratigráfica SE-3.

58A)



58B)



Fuente: Este trabajo.

8.2.4. Sección Estratigráfica SE-4: Las estaciones PAB-15 y PAB-17 hacen parte de la construcción de dicha sección estratigráfica, ésta se encuentra en la vía que conduce a La Fé después del puente del Rio Pontoná (Figura 46).

El espesor total es de 9.4m, en este afloramiento se observa la inconformidad presente en la zona entre el Complejo Cajamarca y las rocas sedimentarias de la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás); los estratos son sub-horizontales y presentan buzamiento promedio 5°SE, con espesores entre medios y muy gruesos, presentan formas tabulares y lenticulares. La descripción detalla de la SE-4 se presenta en el Anexo E.

8.2.4.1. Facies de la Sección Estratigráfica SE- 4: Se observan facies conglomeráticas y finas que se describen a continuación.

Facies conglomeráticas.

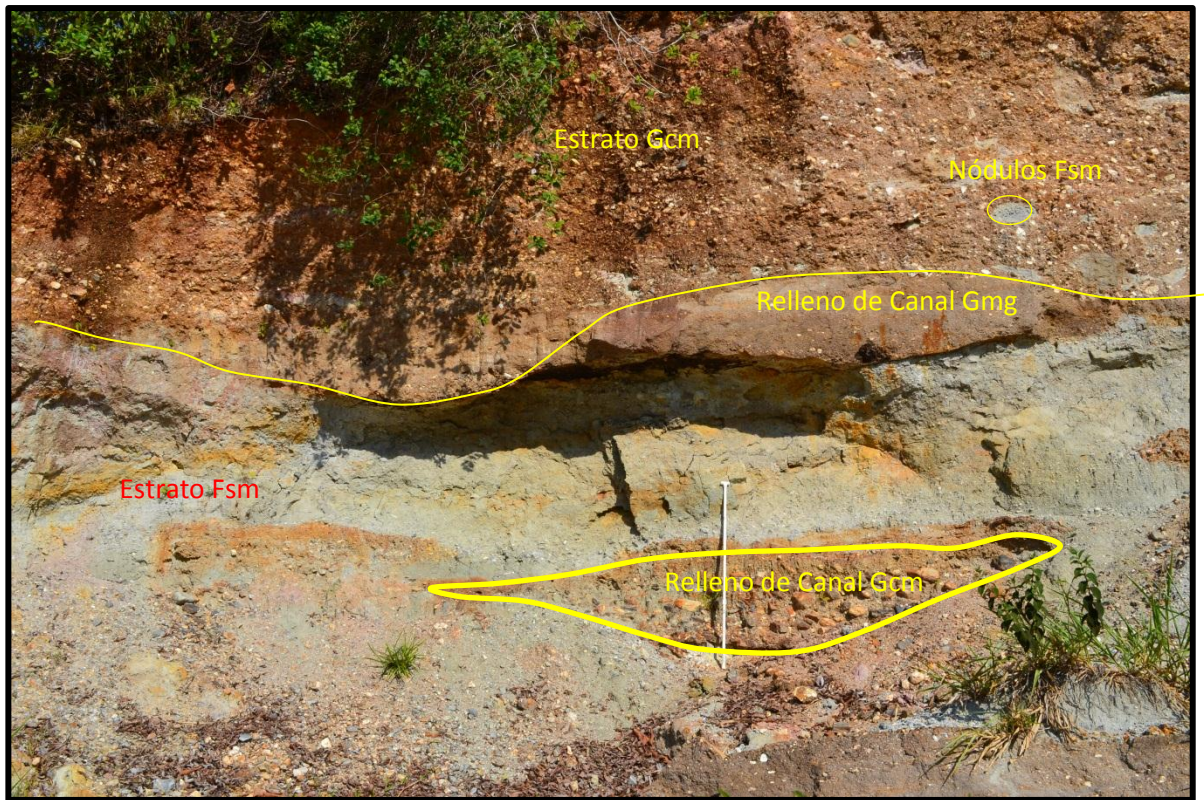
- **Gmg:** Estos estratos se caracterizan por presentar una gradación normal que varía de conglomerados arenoso a areniscas ligeramente conglomeráticas, estos clastos son polimíctico debido a la variedad en su composición y presentan tamaños de guijas y guijarros en poca proporción.

Los estratos presentan estructuras externas tabulares y lenticular (se encuentran en contacto con facies Fsm y Gcm) (figura 59), presentan una acumulación moderada a alta de bitumen debido a su color negro intenso en esta sección estratigráfica.

- **Gcm:** estratos de conglomerados, con estructura externa lenticular (se encuentran dentro de las facies Fsm) y tabular, presentan clastos que varían su tamaño de guijas a guijarros y su composición por lo cual son de tipo polimíctico.

Se caracterizan por tener una textura masiva, los estratos tabulares presentan borde inferior erosivo y algunos nódulos de facies finas (Figura 59) (Fsm)

Figura 59. Principales características de la facies Gcm. Se observan en la estación PAB-17 perteneciente a la sección estratigráfica SE-4.



Fuente: Este trabajo.

Facies finas.

- **FI:** Estratos de lodolitas arenosas con estructura externa tabular de colores grises, se caracterizan por presentar una laminación plano paralela, contienen trazas de hidrocarburos que se disponen entre la laminación y se encuentran en contacto discordante con rocas del basamento principalmente con rocas ígneas. Corresponde a areniscas limosas según la clasificación textural de Folk, 1974

- **Fsm:** Estratos de limolitas arenosas conglomeráticas con estructura externa tabular, presenta un calibrado muy pobre que varían los tamaños de lodos a

guijas, se observan colores verdes y en algunos sectores rojizos moteados también se observan nódulos en facies conglomeráticas (Gcm). Se pueden observar estructuras de canal de facies conglomeráticas (Gcm) en el interior del estrato. Este se encuentra en contacto discordante con rocas del basamento principalmente rocas metamórficas (esquistos micáceos).

8.3 Análisis de Sedimento – estratigrafía.

Teniendo en cuenta la descripción de las muestras tomadas en campo (Anexo F), las arenas bituminosas presentan una clasificación según Folk, 1974 principalmente desde Litarenitas a Litarenitas feldespáticas para el caso de los tamaños tipo arena y conglomerados líticos a sublitoconglomerados para el caso de tamaños grava.

Teniendo en cuenta la anterior clasificación para las arenas bituminosas, las que presentan un mayor contenido visual de bitumen según su color son las rocas de tamaños gravas, presentan colores según el código de color presentado por Munsell, 2009 N1, para las rocas de tamaño arenas se observan colores más claros como marrones oscuros (5YR 4/1) según la tabla de color de Munsell, 2009.

8.3.1. Arquitectura Facial

La arquitectura facial es el término utilizado para agrupar la geometría y el arreglo interno de los cursos fluviales y de las llanuras de inundación en una secuencia fluvial; la arquitectura fluvial se caracteriza por poseer un distintivo conjunto de facies, geometría interna, forma externa y en algunas instancias un perfil vertical (Miall, 1996).

De manera similar a las litofacies Miall, 1996 propone un sistema de códigos para catalogar los distintos tipos de elementos arquitecturales, mostrados en la tabla 9, donde se muestran los elementos arquitecturales, con sus respectivos códigos, agrupación de litofacies y la geometría y relaciones que pueden presentar

Tabla 9. Elementos arquitectónicos.

ELEMENTO	SÍMBOLO	FACIES PRINCIPALES	GEOMETRÍA Y RELACIONES
Canales	CH	Cualquier combinación	Cuñas, lentes o láminas; base erosional cóncava hacia arriba, escala y forma altamente variable; comúnmente superficies de erosión interna cóncavas hacia arriba.
Barras y formas de fondo de gravas	GB	Gcm, Gp, Gt	Lentes, mantos; cuerpos usualmente tabulares; comúnmente interestratificados con SB.
Lechos de arena	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes, láminas, mantos, cuñas, se presentan como rellenos de canal, rotura de diques y barras pequeñas.
Macroformas de acreción	A	Sl, Sh, Sr, Sm, St	Lentes, cuñas, lóbulos que descansan sobre bases acanaladas o planares, con superficies de erosión interna de tercer orden.
Flujos gravitacionales	SG	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Lóbulos, láminas; típicamente interestratificado con GB.
Láminas de arena	LS	Sh, Sl; menor Sp, Sr	Láminas, mantos.
Depósitos finos de desbordamiento	OF	Fsm, Fl	Mantos delgados y espesos, comúnmente interestratificado con SB; pueden rellenar canales abandonados.

Tomado de Jiménez y Cruz, 2004.

8.3.2. Interpretación de Elementos Arquitectónicos de la Sección estratigráfica SE-1.

Esta sección estratigráfica se caracteriza por presentar facies arenosas en una mayor proporción conformadas por las siguientes litofacies: St, Sr, Sl, Sm; facies finas constituidas por litofacies Fl y Fsm y en una menor proporción facies gravosas como la litofacies Gt (Anexo B).

Dichas litofacies se asociaron de la siguiente manera para generar los elementos LS, OF, CH, SB (Tabla 10).

Tabla 10. Elementos arquitecturales para la sección estratigráfica SE-1.

ELEMENTO	SIMBOLO	FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Canales (<i>chanel</i> s)	CH	Gt	Geometría de capas lenticulares, que representan canales de escalas métricas de hasta 1,2m de espesor.
Lechos de Arena (<i>sandy bedforms</i>)	SB	Principalmente Sm	Geometría de capas tabulares masivas se presentan como barras pequeñas.
Láminas de Arena (<i>laminated sand sheets</i>)	LS	Sl, Sr, St y en menor proporción Sm	Geometrías de capas tabulares, con una distribución de laminaciones variables.
Depósitos finos de desbordamiento (<i>overbank fines</i>)	OF	Fl y Fsm	Geometrías de capas tabulares, en algunas ocasiones en forma de nódulos y lentes asociados a facies conglomeráticas y arenosas.

Fuente: Modificado de Miall, 1996.

- LS (capas de arenas laminadas):** Se compone de litofacies Sl, Sr, St y en menor proporción Sm. Corresponde a un elemento arquitectural de arenas laminadas, presenta espesores métricos de hasta 4m; se encuentra asociado a elementos arquitecturales como OF y SB. En esta sección se vieron arenas de tamaños medios a gruesos ligeramente conglomeráticas con principal laminación en artesa, inclinada y sinuosa, que fueron descritas en el capítulo de resultados de sedimento- estratigrafía en la parte basal se observa una laminación de un material azufroso. Estas arenas presentan contenidos de bitumen, este es el principal material cementante que le da una mayor consolidación a la roca (petróleo soportado), la laminación se puede observar por el cambio de contenido

visual de bitumen dependiendo del color y hace que este sea menos que en algunas rocas masivas sin ninguna laminación.

Este elemento se interpreta como el producto de inundaciones rápidas “*flash flood*” que depositan arenas bajo un régimen de flujo alto (Miall, 1977, 1984; Thunbridge, 1981, 1984; Sneh, 1983).

- **SB (lechos de arena):** Se compone principalmente de litofacies Sm para nuestra zona de estudio. Corresponde a un elemento arquitectural de lechos de arena, se presenta en espesores métricos que varían de 1,50m hasta 8m, asociados a elementos OF y CH.

Generalmente este elemento se compone de areniscas de tamaño medio a grueso, en la base de la sección se encuentran impregnadas de bitumen, en algunos sectores son areniscas masivas pero también se puede encontrar laminación inclinada de bajo ángulo.

Este elemento se caracteriza por darse en una amplia variedad de características fluviales y muestra un rango de asociación y secuencias verticales. Representa formas de fondo de canal y en menor proporción corresponden a láminas de arenas distales en corrientes meandricas acumuladas, predominantemente por agradación vertical (Miall, 1996).

- **OF (depósitos finos de planicies de inundación):** Se compone principalmente de litofacies finas como Fsm y FI. Corresponde a un elemento arquitectural de depósitos finos de planicies de inundación, se presenta en espesores decimétricos de hasta 90cm, asociados a elementos LS y SB.

Se compone principalmente de limolitas arenosas y láminas de areniscas muy finas. En algunos sectores se presenta laminación fina horizontal y otras de manera masiva y colores verdosos y moteados.

A la base de la sección estratigráfica se observa madera carbonizada y algunas grietas de desecación.

Este elemento se interpreta como depósitos de “*overbank*” producto de la sedimentación vertical en zonas inundadas con pantanos y canales abandonados (Miall, 1996).

- **CH (canal):** Se compone de litofacies gravosas Gt. Corresponde a un elemento arquitectural de canal, se presenta en espesores métricos de hasta 1,50m en su parte más profunda, se encuentra asociado a elementos SB y OF.

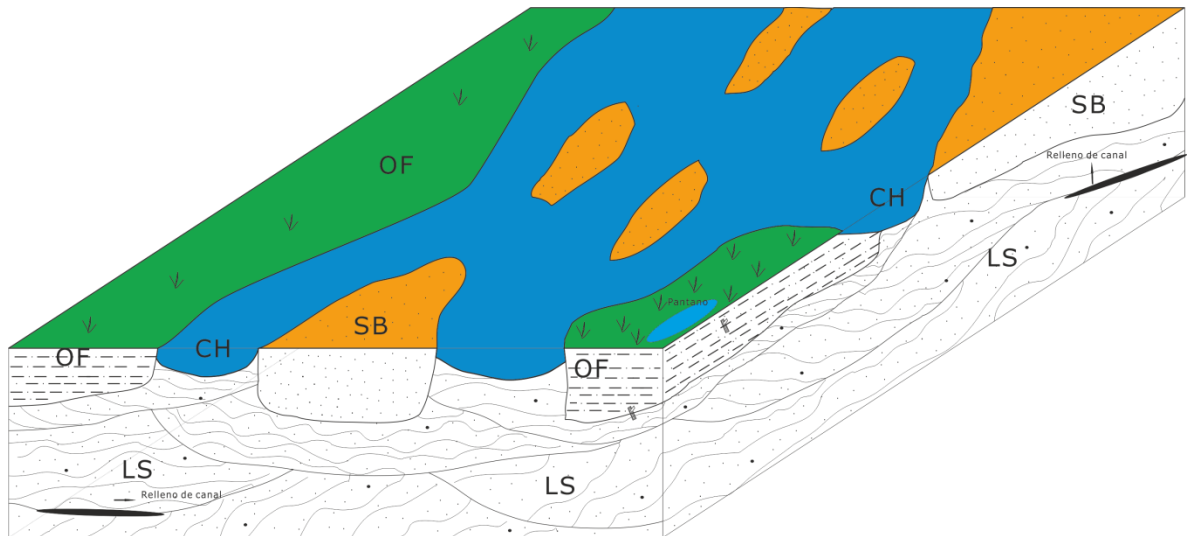
Presenta forma externa lenticular, con estratificación interna en artesa de conglomerados. Este se observa a la base de la sección estratigráfica.

8.3.3. Interpretación de Paleo-ambientes de la sección estratigráfica SE-1.

La sección en su parte basal se caracteriza por presentar elementos arquitecturales principalmente LS, OF y en menor proporción SB y CH, en la parte media de la sección se observan elementos OF, LS y SB principalmente y al tope se presentan elementos SB únicamente, donde se observan nódulos de areniscas calcáreas con formas ovaladas irregulares.

Esto sugiere dos tipos de modelos de depósitos: hacia la parte basal se presenta asociaciones arquitecturales particulares del modelo 3 de los estilos fluviales propuestos por Miall (1996), el cual sugiere que la depositación de sedimentos se asoció a un sistema fluvial de baja a intermedia sinuosidad dominada por ríos trezados dominados por arenas, representado por una sucesión de tipo “*fining upward*” que muestra facies más finas al tope de la parte basal de SE-1. Esta corresponde a formas de fondo de canal, láminas de arenas distales y depósitos de *overbank* producto por la sedimentación en zonas inundadas con pantanos (restos de madera orgánica y laminación de material azufroso) (figura 60)

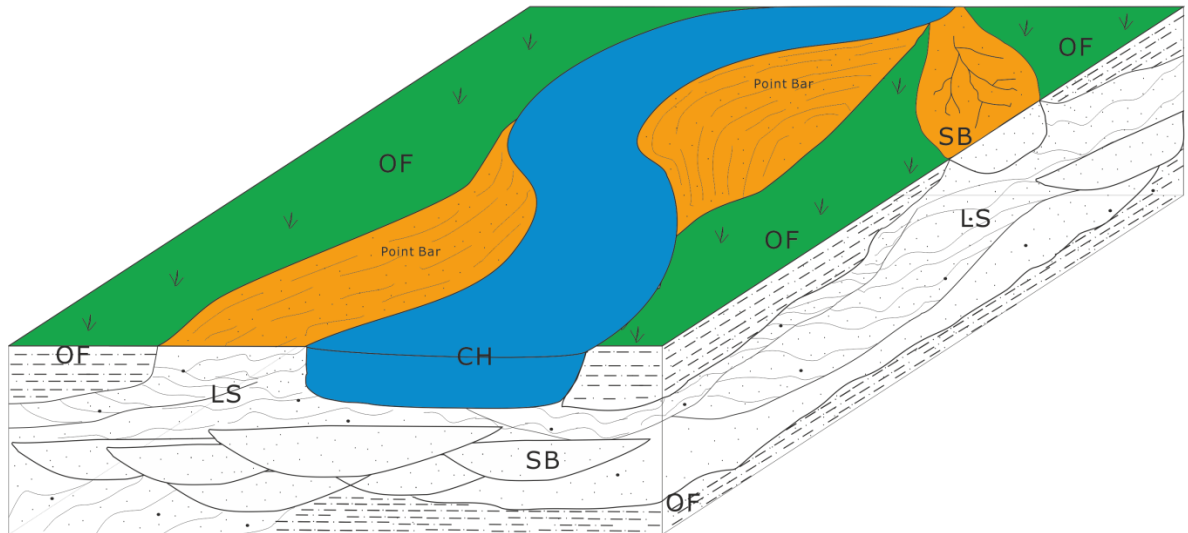
Figura 60. Modelo 3, corrientes trenzadas dominadas por arenas y algunas gravas, para la parte basal de la sección estratigráfica SE-1 (PAB-1) y la sección estratigráfica SE-2 (PAB-7).



Fuente: modificado de Miall, 1996.

Hacia la parte media y superior de la sección estratigráfica SE-1, se presenta una asociación de modelos arquitecturales relacionados al modelo 6 propuestos por Miall (1996), que sugiere una clásica secuencia de corrientes meandricas, con sinuosidad alta y parámetros trenzados bajos. Los depósitos de llanura de inundación incluyen depósitos tipo *overbank* de colores verdosos y algunos moteados y areniscas con laminación inclinada de bajo ángulo sugieren depósitos de lecho de arena (figura 61).

Figura 61. Modelo 6, Corrientes meandricas, para la parte media y superior de la sección estratigráfica SE-1 (PAB-22 y PAB-23)



Fuente: Modificado de Miall, 1996.

8.3.4. Interpretación de elementos arquitectónicos de la sección estratigráfica SE-2.

Esta sección estratigráfica se compone principalmente de facies arenosas que contienen litofacies St y Sm; y facies finas que corresponden a litofacies Fsm y Fl (Anexo C).

Las anteriores litofacies se asociaron para generar los siguientes elementos arquitecturales: LS, OF y SB (Tabla 11).

Tabla 11. Elementos arquitecturales para la sección estratigráfica SE-2.

ELEMENTO	SIMBOLO	FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Lechos de arena (<i>Sandy bedforms</i>)	SB	Sm	Geometría de capas tabulares masivas se presentan como barras pequeñas.
Láminas de arena (<i>laminated sand sheets</i>)	LS	St	Geometrías de capas tabulares.
Depósitos finos de desbordamiento (<i>overbank fines</i>)	OF	Fsm y FI	Geometrías de capas tabulares, en algunas ocasiones en forma de nódulos y lentes asociados a facies conglomeráticas y arenosas.

Fuente. Modificado de Miall, 1996

- **LS (arenas laminadas):** Se compone principalmente de litofacies St. Corresponde a arenisca de grano grueso conglomeráticas con laminación en artesa o curvada difusa, presenta una impregnación de bitumen alta, con estructura externa tabular de 90cm de espesor. Corresponde a la parte basal de SE-2. Se encuentran asociados a elementos arquitecturales OF.

- **SB (lechos de arena):** corresponde a litofacies arenosas Sm. Estratos de arenisca con espesores métricos de hasta 1.4m con estructuras externas tabulares; compuesto principalmente por areniscas de grano fino a medio sin ninguna laminación. Se encuentran asociados a elementos arquitecturales OF.

- **OF (depósitos finos de planicies de inundación):** corresponde a litofacies Fsm y FI. Presenta espesores de desde 50cm hasta 1,40m. principalmente compuesto de areniscas lodosas a limolitas que presentan colores verdosos (10Y 7/4) generalmente. Se observa laminación inclinada de bajo ángulo; asociado a elementos arquitecturales SB y LS.

8.3.5. Interpretación de Paleo-ambientes de la Sección Estratigráfica SE-2.

Esta sección se caracteriza por presentar elementos arquitecturales LS, OF y SB. Esta asociación de elementos arquitecturales sugiere un modelo de depósito 3 según la clasificación de Miall (1996), al igual que la parte basal de la sección estratigráfica SE-1, donde se presenta un río principalmente con corrientes trenzadas, de baja a intermedia sinuosidad, presenta una sucesión de depósitos tipo *fining upward*. Corresponden a la base una arenisca conglomerática y lo superpone depósitos de *overbank* y depósitos de lechos de arena, los cuales se presentan en una menor proporción (bajos espesores) (figura 60).

8.3.6. Interpretación de Elementos Arquitectónicos de la Sección Estratigráfica SE-3.

En esta sección se presentan principalmente facies gravosas conformadas por litofacies Gmg, con algunos intervalos de facies finas Fsm (Anexo D).

Las anteriores litofacies se asociaron para generar elementos arquitecturales SG, OF y LS (Tabla 12)

Tabla 12. Elementos arquitecturales de la sección estratigráfica SE-3.

ELEMENTO	SIMBOLO	FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Flujos gravitacionales (<i>sediment gravity flow deposits</i>)	SG	Gmg	Geometrías tabulares, con gradación normal.
Láminas de arena (<i>laminated sand sheets</i>)	LS	Sh	Geometrías de capas tabulares.
Depósitos finos de desbordamiento (<i>overbank fines</i>)	OF	Fsm	Geometrías de capas tabulares, en algunas ocasiones en forma de nódulos y lentes asociados a facies conglomeráticas y arenosas.

Fuente: Modificado de Miall, 1996.

- **SG (depósitos de flujos gravitacionales):** Se componen de litofacies gravosas Gmg y litofacies arenosas Sm principalmente en la zona de estudio. Corresponde a un elemento arquitectural de depósitos de flujo gravitacional. Se presenta en espesores métricos de hasta 2,20 m principalmente compuesto por conglomerados arenosos matriz soportado con gradación normal a areniscas de grano grueso ligeramente conglomeráticas.

Se observa que la roca presenta impregnación de bitumen, el cual le da una mayor consolidación (petróleo soportado). Se encuentra asociados a elementos arquitecturales OF.

Depósitos interpretados como flujos gravitacionales pseudoplásticos de baja energía desde muy viscosos a turbulentos, que sugieren corrientes trenzadas de grava y abanicos aluviales (Miall, 1996).

- **OF (depósitos finos de planicies de inundación):** Se compone de litofacies finas Fsm. Presenta espesores de hasta 80cm compuestos principalmente de areniscas de grano muy fino limosas y lodolitas masivas de colores generalmente verdosos. Se encuentra asociado a elementos SG y LS.

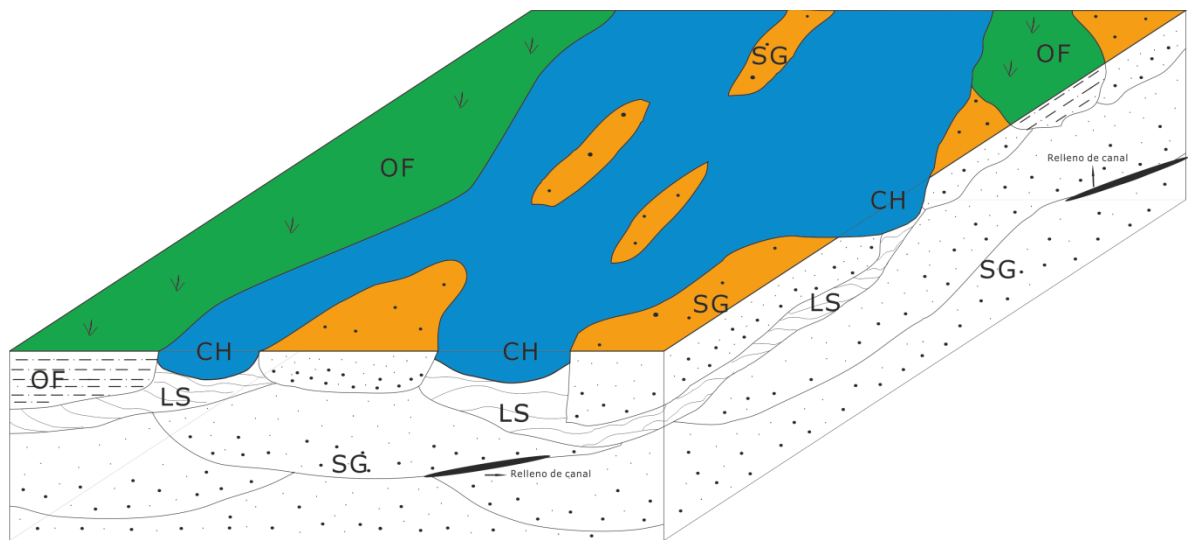
- **LS (arenas laminadas):** Se compone de litofacies arenosas Sh. Presenta espesores de aproximadamente 60cm compuestos de arenisca de grano grueso ligeramente conglomerática con laminación plano paralela difusa. Este elemento se encuentra en el tope de SE-3 y está asociado a elementos OF.

8.3.7. Interpretación de Paleo-ambientes de la Sección Estratigráfica SE-3.

Esta sección se caracteriza por presentar elementos arquitecturales SG, OF y en menor proporción LS. Esta asociación de elementos arquitecturales sugiere un modelo de depósito 1 según la clasificación de Miall (1996), donde se presenta una sinuosidad baja, un patrón trenzado alto, con sedimentos principalmente gravosos y en menor proporción sedimentos de tamaño arena. Es característico de regiones proximales a abanicos aluviales. Se observan tipos de depósito

gravitacionales asociados con corrientes laminares y llanuras de inundación debido a la fluctuación en el régimen de flujo de moderado a alto. También son característicos de ríos que drenan las regiones volcánicas activas (figura 62).

Figura 62. Modelo 1 de ríos trenzados dominados por gravas con flujos gravitacionales para la sección estratigráfica SE-3 (PAB-13) y SE-4 (PAB-15 y PAB-17)



Fuente: modificado de Miall, 1996.

8.3.8. Interpretación de Elementos Arquitectónicos de la Sección Estratigráfica SE-4.

Se presentan litofacies principalmente gravosas Gcm y Gmg y facies finas Fsm y en menor proporción Fl (Anexo E).

Las anteriores litofacies se agrupan en elementos arquitecturales OF, SG y CH (Tabla 13).

Tabla 13. Elementos arquitecturales de la sección estratigráfica SE-4.

ELEMENTO	SIMBOLO	FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Canales (<i>chanel</i> s)	CH	Gmg, Gcm	Geometría lenticular perteneciente a canales de escala métrica.
Flujos gravitacionales (<i>sediment gravity flow deposits</i>)	SG	Gmg, Gcm	Geometrías tabulares, con gradación normal y masiva.
Depósitos finos de desbordamiento (<i>overbank fines</i>)	OF	Fsm y FI	Geometrías de capas tabulares, en algunas ocasiones en forma de nódulos y lentes asociados a facies conglomeráticas y arenosas.

Fuente: Modificado de Miall, 1996

- **OF (depósitos finos de planicie de inundación):** se compone de litofacies finas Fsm y en menor proporción FI. Presenta espesores de hasta 2,24m el más representativo y se compone de Lodolitas conglomeráticas de color gris verdoso y a la base de la sección se presenta una capa de arenisca muy fina con laminación plano paralela y de espesor de 40cm. Se encuentra asociado a elementos CH y SG.
- **CH (canal):** se encuentran litofacies conglomeráticas tipo Gcm y Gmg con estructura externa lenticular. Uno de estos canales corresponde a arenas bituminosas (petróleo soportado) que presenta una gradación normal de conglomerado a arenisca muy gruesa ligeramente conglomerática. Se encuentra asociado a elementos OF y SG.
- **SG (depósitos de flujos gravitacionales):** Se compone principalmente de litofacies Gcm y Gmg, con estructura externa tabular, está compuesto por conglomerados arenosos, a la base de la sección se observan impregnado de bitumen y con gradación normal; al tope de la sección son conglomerados arenosos clasto soportados de manera masiva y con lentes de materiales finos, con base erosiva.

8.3.9. Interpretación de paleo-ambientes de la sección estratigráfica SE-4.

Esta sección se caracteriza por presentar elementos arquitecturales OF, SG, CH; lo que sugiere un modelo de depósito 1 según la clasificación de modelos fluviales de Miall, 1996. Se observan depósitos de canal conglomeráticos, depósitos de flujos gravitacionales y depósitos de *overbank* (figura 61)

Se caracterizan por presentar baja sinuosidad y alto patrón de trenzado al igual que la sección estratigráfica SE-3.

9. RESULTADOS DE PETROFÍSICA.

Para este capítulo se tuvieron en cuenta los *plugs* extraídos durante la campaña de campo, que en su totalidad fueron 43, estos se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Listado de plugs para las diferentes secciones estratigráficas realizadas en la zona de interés.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA	CODIGO DE PLUG	NUMERO DE PLUG
SE-1	PAB-1-P1	1
	PAB-1-P2	2
	PAB-1-P3	3
	PAB-1-P4	4
	PAB-1-P5	5
	PAB-1-P6	6
	PAB-1-P7	7
	PAB-1-P8	8
	PAB-1-P9	9
	PAB-1-P10	10
	PAB-1-P11	11
	PAB-1-P12	12
	PAB-1-P13	13
	PAB-1-P14	14
	PAB-22-P1	15
	PAB-22-P2	16
	PAB-22-P3	17
	PAB-22-P4	18
	PAB-22-P5	19
	PAB-23-P1	20
	PAB-23-P2	21

	PAB-23-P3	22
	PAB-23-P4	23
SE-2	PAB-7-P1	24
	PAB-7-P2	25
	PAB-7-P3	26
SE-3	PAB-13-P1	27
	PAB-13-P2	28
	PAB-13-P3	29
	PAB-13-P4	30
	PAB-13-P5	31
	PAB-13-P6	32
	PAB-13-P7	33
	PAB-13-P8	34
	PAB-13-P9	35
	PAB-13-P10	36
	PAB-13-P11	37
	PAB-13-P12	38
	PAB-13-P13	39
	PAB-13-P14	40
	PAB-13-P15	41
SE-4	PAB-15-P1	42
	PAB-15-P2	43

Fuente. Este trabajo, 2012

Se realizaron análisis de petrofísica básica a los *plugs* que se encuentran subrayados en la Tabla 14, pues estos corresponden a rocas impregnadas de bitumen objeto de interés (Arenas Bituminosas) de la sección estratigráfica SE-1 la cual es la columna más representativa de la zona de estudio. El *plug* de código PAB-1-P1 no pudo ser analizado ya que presentaba una forma irregular y se desintegro durante el proceso de limpieza en el laboratorio.

Estos análisis fueron realizados en el laboratorio de análisis petrofísicos básicos del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) que se muestran en la Tabla 15.

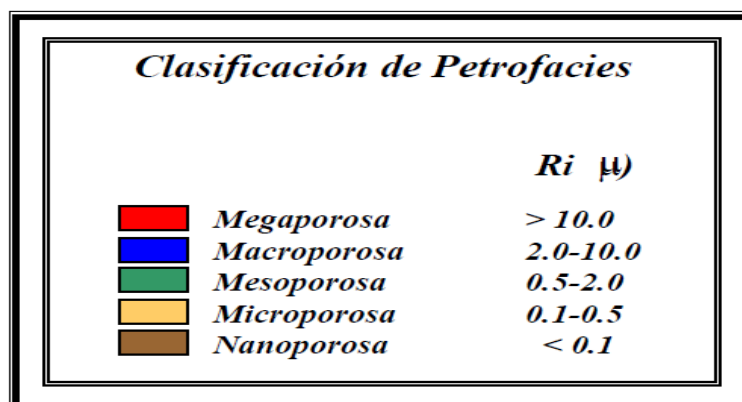
Tabla 15. Datos de petrofísica básica para los *plugs* de la estación PAB-1 perteneciente a la sección estratigráfica SE-1.

Sample ID	Identificación	Profundidad		Presión de Confinamiento		Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Vol. Total (cm ³)	Vol. Poroso (cm ³)	Vol. de Granos (cm ³)	Densidad de Granos (g/cm ³)	Densidad Total (g/cm ³)	Saturación de fluidos (%)		Porosidad Convencional %	Permeabilidad Convencional mD
		(ft)	(m)	(psi)	(MPa)								Aceite	Agua		
200798771	PAB1P2	NA	NA	400	2,758	4,795	3,042	34,85	12,29	22,56	2,69	1,92	27,6	23,6	35,3	7165
200798772	PAB1P3	NA	NA	400	2,758	2,231	3,058	16,39	5,78	10,61	2,69	1,98	49,9	19,0	35,3	4390
200798773	PAB1P4	NA	NA	400	2,758	5,961	2,976	41,46	14,91	26,55	2,73	1,84	17,2	10,1	36,0	20990
200798774	PAB1P5	NA	NA	400	2,758	3,296	2,963	22,73	8,85	13,88	2,70	1,77	19,1	14,7	38,9	12100
200798775	PAB1P6	NA	NA	400	2,758	3,850	3,052	28,17	10,87	17,30	2,69	1,74	17,1	8,3	38,6	18886
200798776	PAB1P7	NA	NA	400	2,758	3,449	3,051	25,22	9,73	15,49	2,70	1,76	14,3	14,4	38,6	16713
200798777	PAB1P8	NA	NA	400	2,758	3,398	3,080	25,32	9,41	15,91	2,70	1,82	27,2	6,4	37,2	11271
200798778	PAB1P9	NA	NA	400	2,758	4,613	3,039	33,46	12,05	21,41	2,69	1,80	16,9	5,0	36,0	16977
200798779	PAB1P10	NA	NA	400	2,758	5,134	3,130	39,50	14,33	25,17	2,69	1,82	19,9	11,9	36,3	7436
200798780	PAB1P11	NA	NA	400	2,758	1,796	3,102	13,57	5,32	8,25	2,70	1,70	14,3	3,8	39,2	9388
200798781	PAB1P12	NA	NA	400	2,758	1,967	3,065	14,51	5,28	9,23	2,58	1,91	6,1	66,3	36,4	1071
200798782	PAB1P13	NA	NA	400	2,758	2,229	3,117	17,01	6,06	10,95	2,65	1,89	47,5	5,0	35,6	2746
200798783	PAB1P14	NA	NA	400	2,758	2,989	3,041	21,71	7,80	13,91	2,64	1,81	17,6	15,4	35,9	2024

Fuente: Laboratorio de análisis petrofísicos básicos (ICP-ECOPETROL), 2012.

Los datos mostrados en la tabla anterior son de utilidad para determinar la calidad de la roca reservorio en este caso Arenas Bituminosas. Para esto se utilizó la determinación de petrofacies, este concepto define una unidad de roca con propiedades petrofísicas similares y una relación consistente entre porosidad, permeabilidad, saturación de agua y radio de garganta de poros, estas representan unidades con capacidad de flujo similar (Tabla 16).

Tabla 16. Clasificación de las petrofacies de acuerdo a la garganta de poro

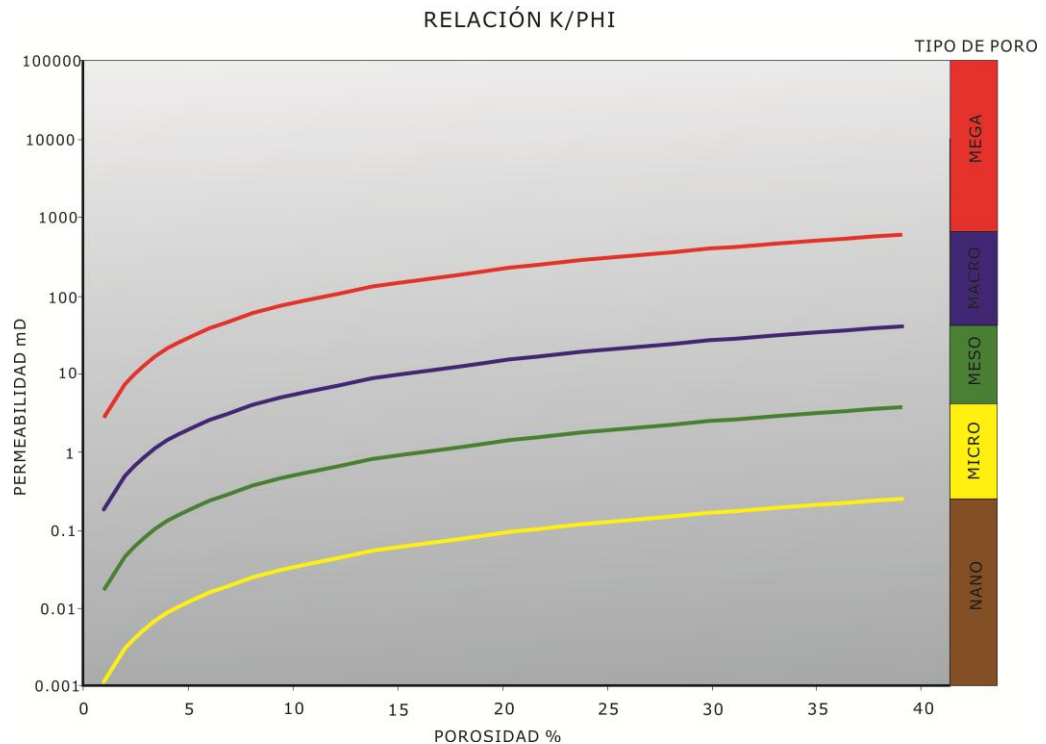


Fuente: Tomado de Cheng, 2003.

La mejor forma de calcular el radio de garganta de poros es a través de curvas de presión capilar obtenidas por pruebas de inyección de mercurio o análisis de secciones finas. Si no se poseen pruebas de inyección de mercurio o análisis de secciones finas se toma el radio de la garganta poral que domina al flujo cuando se tiene un 35% de saturación de mercurio (R35) mostrada por Winland, esta constante resulta ser la mejor manera de calcular el radio de garganta de poros si se tienen los datos de porosidad y permeabilidad convencionales (Tomado de Salazar, 2004).

La anterior cita es el caso del presente proyecto ya que no se cuenta con curvas de presión capilar obtenidas por inyección de mercurio o análisis de secciones finas, pero si se tienen los datos de porosidad y permeabilidad convencional de los *plugs* analizados, por lo cual se toma la ecuación R35 planteada por Winland, 1952 para la determinación de las petrofacies mediante la figura 63.

Figura 63. Gráfico de Winland con R35 constante para la determinación de las petrofacies de las muestras *plugs* tomadas en campo.

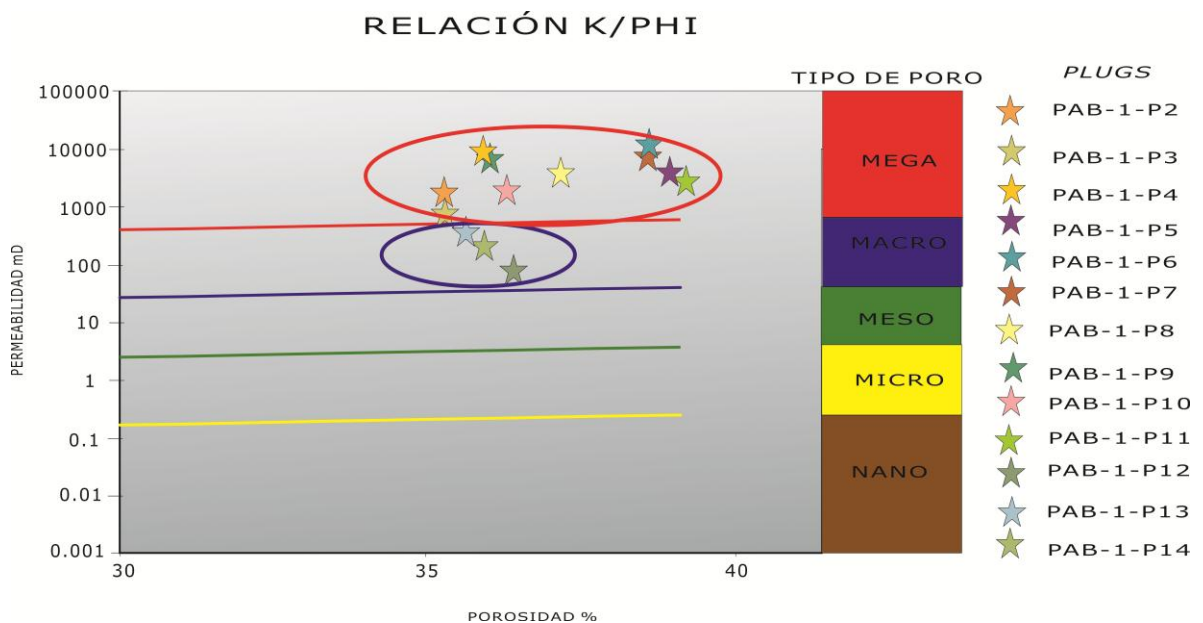


Fuente: Modificado de Winland, 1952

9.1. Análisis de Petrofísica.

Teniendo en cuenta los datos arrojados por el laboratorio de petrofísica básica del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) mostrados en la Tabla 15, se generó una gráfica de Permeabilidad convencional (K) vs porosidad convencional (PHI) para determinar las petrofacies de los *plugs* analizados como lo muestra la Figura 64.

Figura 64. Grafico K vs PHI, con líneas de R35 de Winland constantes para los *plugs* analizados.



Fuente: Este trabajo, 2012.

Partiendo de la Figura 63 se observan que para los *plugs* analizados se tienen dos petrofacies principales las cuales son Megaporosa y Macroporosa en menor proporción. Se tiene porosidades entre 35,3% y 39,2% y permeabilidad entre 7165mD y 20990mD para el caso de la petrofacies Megaporosa; para el caso de la

petrofacies Macroporosa se tienen porosidades entre 35,6% y 36,4% y permeabilidad entre 1071mD y 2746mD.

Se asociaron las petrofacies, litofacies y la saturación de aceite para cada *plug* extraído como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Relación entre petrofacies, litofacies y saturación de aceite para los plugs extraídos.

PLUGS	LITOFACIES	PETROFACIES	SATURACION DE ACEITE.	PERMEABILIDAD (mD)
PAB-1-P2	St	Megaporosa	27,6	7165
PAB-1-P3	St	Megaporosa	49,9	4390
PAB-1-P4	St	Megaporosa	17,2	20990
PAB-1-P5	Sm	Megaporosa	19,1	12100
PAB-1-P6	Sr	Megaporosa	17,1	18886
PAB-1-P7	St	Megaporosa	14,3	16713
PAB-1-P8	Sm	Megaporosa	27,2	11271
PAB-1-P9	St	Megaporosa	16,9	16977
PAB-1-P10	St	Megaporosa	19,9	7436
PAB-1-P11	St	Megaporosa	14,3	9388
PAB-1-P12	Fl	Macroporosa	6,1	1071
PAB-1-P13	Sm	Macroporosa	47,5	2746
PAB-1-P14	Sm	Macroporosa	17,6	2024

Fuente: Este trabajo, 2012.

Teniendo en cuenta la tabla anterior se puede determinar una relación directa entre las litofacies, permeabilidad y la saturación de aceite presente en los *plugs*, ya que en las facies arenosas se observa una mayor permeabilidad y saturación de aceite mientras que en las facies finas se tiene menos permeabilidad y muy baja saturación de aceite y alta saturación de agua.

En cuanto a la saturación de aceite no se tienen patrones específicos ya que se observan en intervalos dispersos como lo muestra la Tabla 17, esto puede atribuirse entre otras cosas al cambio de estructura interna de la roca en la vertical.

9.2. Resultados y Análisis de Radioactividad de la roca.

Mediante el Centellometro de mano se construyó una curva de radioactividad de la roca que sirvió de ayuda para corroborar las litologías presentes en las columnas estratigráficas (Anexos B, C, D y E), estas mediciones se realizaron cada 10cm en la vertical de los afloramientos levantados.

Mediante estos datos se observaron lugares de mayor radioactividad como son las rocas finas como las limolitas arenosas o los lodos que se encuentran asociados a facies finas Fl y Fsm y a elementos arquitecturales OF, como también láminas delgadas de materiales finos dentro de facies arenosas.

10. DISCUSIÓN

Partiendo de los análisis sedimento-estratigráficos realizados, se determinó que las rocas del Neógeno de la zona de estudio corresponden a la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás) esta formación la denomina De Porta (1966) ya que se observa la inconformidad con las rocas del basamento y en los conglomerados vistos en los diferentes puntos de control no se ven cantos de dacitas a simple vista; al contrario que Jiménez y Cruz (2004) ubican estas rocas en la Formación La Victoria propuesta inicialmente por Guerrero (1993) para la parte basal del Grupo Honda. En el presente trabajo no se apoya esta teoría ya que la nomenclatura de la Formación La Victoria es utilizada generalmente para el Valle Superior del Magdalena entre las zonas de Girardot, Cundinamarca hasta La Venta en el Departamento del Huila mientras que la Formación Cambrás perteneciente a la subdivisión realizada por De Porta (1966) es generalmente utilizada para la parte sur del Valle Medio del Magdalena.

Se puede determinar, que las rocas almacenadoras de bitumen (Arenas Bituminosas), se encuentran en la parte basal de dicha formación, las cuales están compuestas por areniscas, areniscas conglomeráticas y conglomerados, que presentan una composición principal de Litarenitas a litarenitas feldespáticas para las rocas de tamaño arena y para las rocas de tamaño grava varían de conglomerado líticos a sublitoconglomerados. Donde los líticos que componen la roca generalmente son de composiciones variadas de tipo polimíctico (rocas metamórficas como esquistos, rocas ígneas y rocas sedimentarias en menor proporción), producto de la denudación de la Cordillera Central, principal fuente de sedimentos de este tipo de rocas. Se determinaron también facies principalmente arenosas como Sm, St, Sr y en menor proporción facies gravosas Gt que es lo opuesto a lo que afirman Jiménez y Cruz, 2004 quienes proponen facies principalmente gravosas como Gmg para este tipo de arenas.

Dependiendo de la estructura interna de las capas de arenas bituminosas es posible determinar que el contenido visual de bitumen es mayor en aquellas capas masivas y en contraste con las capas que presentan estructuras internas (laminaciones) es menor, aunque al observar los datos petrofísicos no se puede determinar un patrón que relacione la saturación de aceite con el tipo de litofacies.

Teniendo en cuenta los datos de petrofísica básica se determinaron petrofacies Megaporosas y Macroporosas que le atribuyen una calidad como roca reservorio muy buena a las Arenas Bituminosas de la parte basal de la Formación Cambrás, aunque no se puede determinar una relación directa entre petrofacies y litofacies, las principales rocas que pertenecen a esta clasificación de Arenas Bituminosas son de facies arenosas, se deja este concepto como única opinión ya que ningún autor reporta datos alusivos de petrofísica a las Arenas Bituminosas. Las curvas de radioactividad de la roca sirvieron como apoyo en la descripción litológica de la roca, las partes de mayor radioactividad corresponden a facies finas FI y Fsm dispuestas de manera tabular en espesores de estratos o laminas delgadas que se intercalan principalmente con facies arenosas (S).

Teniendo en cuenta la evidencia de la existencia de la inconformidad del VMM y resaltando que en las estaciones de control geológico donde se encontró, se tiene presencia de crudo podemos inferir que las rutas de migración presentan un mayor control estratigráfico, ya que en esta zona la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás) no se encuentra lo suficientemente deformada, pero se observaron también algunas diaclasas con contenido de bitumen que se asocian a un tensor de esfuerzos de orientación principal NW visto en el mapa de lineamientos realizado mediante foto interpretación y se correlaciona con el tensor de esfuerzos propuestos por Gómez *et al.*, 2003 quien propone esta dirección para zonas lindantes al área de estudio como el Sinclinal de Guaduas y rocas asociadas a la Falla Cambao, cabe resaltar que esta dirección propuesta por Gómez presenta cambios locales de NW a NE como se muestra en el presente proyecto.

11. CONCLUSIONES.

- Se realizó una cartografía preliminar mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales, teniendo en cuenta parámetros geomorfológicos y texturales. Para el caso de rocas pertenecientes al basamento se determinó un patrón de drenajes tipo Dendrítico a sub paralelo y de manera sectorizada contorsionado, para las rocas de la cobertera sedimentaria se determinó un drenaje sub paralelo y de manera sectorizada drenajes tipo rectangular.
- Mediante la realización de las campañas de campo, se realizó una cartografía a escala 1:25.000 de la zona comprendida en las inmediaciones del caserío de Isaza en el Municipio de La Victoria en el Departamento de Caldas. se corroboró el contacto entre las rocas del basamento y el Grupo Honda y se modificó el contacto entre el Grupo Honda y la Formación Mesa.
- Se identificó la inconformidad del VMM entre las rocas del basamento pertenecientes al Complejo Cajamarca y las rocas de la parte basal del Grupo Honda (Formación Cambrás), mediante estaciones de control geológico realizadas en las campañas de campo.
- Se determinó que el Lineamiento Mulatos, lineamiento principal de la zona de estudio, es una falla de basamento, ya que la cobertera sedimentaria no se encuentra deformada, esto se hizo mediante el análisis de estaciones de control geológico realizadas en las campañas de campo.
- Se infiere mediante análisis de datos estructurales como planos de diaclasas tomados en campo, en el software gratuito Stereonet que el principal tensor de esfuerzos para las rocas de basamento de edad Paleozoico y las rocas de edades del Mioceno medio a tardío, presentan una variaciones en el campo de esfuerzos de manera local de NE a NW.
- Se elaboró un levantamiento de cuatro secciones estratigráficas a una escala detallada (1:50), denominadas SE-1, SE-2, SE-3 y SE-4 con

espesores de 32.40m, 5.25m, 9.36m y 9.39m respectivamente. En donde las arenas bituminosas se encuentran en la parte basal de la Formación Cambrás.

- Se determinó que la composición de las arenas bituminosas varía entre Lita arenitas a Litarenita feldespática para el caso de las rocas de tamaños arena y de Conglomerado lítico a Sublitoconglomerado para el caso de las rocas de tamaño grava.
- Las facies de las arenas bituminosas son principalmente facies gravosas tipo Gmg y facies arenosas tipo Sm, Sh, St y Sr, hacia la parte Norte y Central (SE-1, SE-2 y SE-3) estas rocas presentan una estructura externa tabular con bajo grado de buzamiento sub-horizontales en promedio 10°SE, mientras que hacia la parte Sur (SE-4) de la zona de estudio, estas rocas presentan estructura externa lenticular.
- Se identificaron dos tipos de ambientes para las arenas bituminosas, los cuales son: Ríos de corrientes trenzadas dominadas por arenas, con baja a intermedia sinuosidad y un patrón de trenzado de intermedio a alto para las arenas bituminosas de las secciones SE-1 y SE-2; y ríos trenzados dominados por gravas, con flujos gravitacionales, con baja sinuosidad y un patrón de trenzado alto para las arenas bituminosas de la sección SE-3 y SE-4.
- Se determinaron las petrofacies de las Arenas Bituminosas mediante el análisis de los datos de petrofísica básica, estas corresponden a petrofacies Megaporosas y Macroporosas en menor proporción, que le atribuyen una calidad como roca reservorio muy buena ya que estas petrofacies son las de mayor radio de garganta poral. Al igual que se determinó que las rocas con mayor contenido de radioactividad medido con el Centellometro de mano corresponden a facies finas Fl y Fsm dispuestas en las columnas estratigráficas con espesores variantes de láminas delgadas a capas.

12. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda la elaboración de un análisis estructural más detallado, donde se tenga una mayor densidad de datos de diaclasas, fracturas y estrías de falla que permitan generar un entendimiento en la variación local de la distribución de esfuerzos de las rocas del área de interés.
- Se debe realizar un análisis de DRX para determinar la composición del material azufroso que compone la laminación de la parte basal de la columna estratigráfica SE-1.
- Aumentar la densidad de los datos de petrofísica básica para un mejor entendimiento de las características físicas de las rocas almacenadoras de bitumen (Arenas Bituminosas).
- Realizar análisis de inyección de mercurio que permitan determinar la curva de presión capilar y poder graficar el coeficiente entre la saturación de mercurio y la presión capilar vs la saturación de mercurio, en donde el ápice de esta curva nos muestra la saturación de mercurio exacta de la fase no mojante que permitirá determinar el tamaño de la garganta poral exacto.
- Realizar análisis petrográficos a las rocas almacenadoras de bitumen para conocer en mayor detalle su composición mineral enfatizando en la variedad de líticas que contiene.
- Realizar análisis geoquímicos que nos permitan determinar el tipo de kerógeno de los fluidos que presentan dichas rocas e inferir la procedencia de estos.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)., (2008), Crudos Pesados. Presentación de la ANH.

http://www.anh.gov.co/media/salaPrensa/Crudos_pesados_ANH.pdf

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)., 2010. Mapa de Rezumaderos. Ronda 2010. <http://www.anh.gov.co/es/index.php?id=161>

ACOSTA, F & OBANDO, E., 1984. Structural Development of the Southermost Middle Magdalena Valley. 23th Field Conference Part Two. Empresa Colombiana de Petroleos Ecopetrol.

BARREDO, S., 2005. Rocas Sedimentarias. p 1-42

BARRERO, D., & VESGA, C., 1976. Mapa Geológico del Cuadrángulo K-9 – Armero y Parte Sur del J-9 La Dorada. Escala 1: 100000. Ingeominas. Bogotá

BARRERO, D., & VESGA, C., 1976. Geología de la Plancha 188 La Dorada, Escala 1: 100000 versión digital 2009. Ingeominas. Bogotá

BARRERO, D., & VESGA, C., 1978. Edades K/Ar en Rocas Igneas y Metamórficas de la Cordillera Central de Colombia y su implicación Geológica. Resúmenes II Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.

BOGGS, S.J., 2006. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Cuarta edición. Editorial Prentice Hall. New Jersey, 662 p.

BUTLER, J.W., 1942. Geology of Honda District, Colombia. American Association of Petroleum Geologist Bulletin., Vol 26. No. 5. P. 793-837, Tulsa.

CABALLERO, V. M., 2009. Notas de Geomorfología para estudiantes de Geología. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander.

CÁCERES, H., 1984. Surface Occurrences of Hydrocarbons in the Southern part of the Middle Magdalena Valley. 23th Field Conference Part Two. Empresa Colombiana de Petroleos Ecopetrol.

CHENG, F. J., 2003. Reinterpretación Petrofísica de las Arenas Basales de la Formación Paují y Fm Misoa del Campo Barúa, Cuenca del Lago de Maracaibo, Edo Zulia. Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela.

CHILINGARIAN, G. (1978), Developments in petroleum science 7. Essevier scientific publishing company. Primera edición.

COOPER, M. A. et al., 1995. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin.

CORTÉS, M., ANGELIER, J., COLLETTA, B., 2005. Paleostress Evolution of the Northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on Plate Kinematics of the South Caribbean Region. Tectonics vol 24.

CORPORACIÓN ZONA HISCA., 2005. Geomorfología. Tomo I

CRUZ, L. E & CABALLERO, V. M., 2007, Guías de Laboratorio de Petrología Sedimentaria. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander.

DE PORTA, S., 1965. La Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extremo S del Valle Medio del Magdalena. Bol. Geol. Universidad Industrial de Santander No 19. p. 5-30. Bucaramanga

DE PORTA, S., 1966. Geología del Extremo S del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataquí (Colombia). Bol. Geol. Universidad Industrial de Santander No 22-23. P. 1-138. Bucaramanga.

EINSELE, G., 1992. Sedimentary Basins: Evolution Facies and Sediment Budget. Springer-Verlag, Berlin, 628p.

FEININGER, T., 1970. The Palestine Fault. Colombia. Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 81. P. 1201-1227

FOLK, R. L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Texas. Hemphills's Pp. 154.

GÓMEZ, E., JORDAN, T., ALLIMENDIGER, R., 2003. Controls on Architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic Southern Middle Magdalena Valley Basin. GSA Bulletin.

GONZÁLEZ, H., et al., 1980. Geología de las Planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). Bol. Geol. Vol. 23 No. 1, 174 p. Ingeominas. Bogotá.

GONZÁLEZ, H., et al., 1990. Mapa Geológico del Departamento de Caldas escala 1:25000: Geología y Recursos Minerales. Memoria Explicativa. P62. Ingeominas. Medellín.

GONZÁLEZ, H., et al., 1995. Hallazgos fosilíferos en las sedimentitas de Santa Teresa (Tolima, Colombia). Un nuevo aporte al Conocimiento del Ordoviciano. Congreso Latinoamericano de Geología. Caracas.

GROSS, E., 1935. Geología del Sur de Colombia. Comp. Est. Geol. En Colombia. Título III. P 78-123. Bogotá.

GUERRERO, J., 1990. Stratigraphy and Sedimentary Environments of the Mammal bearing Middle Miocene Honda Group of Colombia. Master Thesis. Duke University Dept of Geology.

GUERRERO, J., 1993. Magnetostratigraphy of the Upper Part of the Honda Group and Neiva Formation. Miocene Uplift of the Colombian Andes. PhD Thesis. Duke University Dept of Geology.

GUZMAN, R. (2008), Opportunities and Challenges for the Development of Unconventional Hydrocarbon Resources in Colombia. ANH.

HOFFSTETTER, R., RAGE, J. C., 1977. Le Gisement de Vertébrés Miocènes de La Venta (Colombie) et sa Faune de Serpents. *Annal. Paléont.* T. 63. Fasc. 2. P. 161-190

INCERA H. (2007), Crisis Energética. Recuperado el 11 de Octubre de 2008, de <http://www.crisisenergetica.org/article.php>.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI., 2012. Aerofotografías vuelo C-2210. Escala 1: 44000. Bogotá

JIMENEZ, L., & CRUZ., M., 2004. Caracterización y Evaluación de Reservas del Yacimiento de Asfaltitas en el sector de Isaza, Municipio de Victoria, Departamento de Caldas – Colombia. Universidad de Caldas.

KIRK, R. (1961), Enciclopedia de tecnología química. Unión tipográfica. Primera Edición.

MIALL, A. D., 1977. A Review of the Braided River Depositional Environment. *Earth Sci. Rev.*13. p. 1-62

MIALL, A. D., 1984. Architectural – Element Analysis: A New method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *SEPM* 2012.

MIALL, A. D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer. New York.

MOJICA, J. & FRANCO, R., 1990. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. *Geol. Colom*, No 17. Bogotá

MONDRAGON, J.C., MAYORGA, M., RODRIGUEZ, G., 2009, Nuevas Perspectivas Exploratorias en el Sector Sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (Colombia). ACGGP. Bogotá Colombia.

MORALES, L. G., 1958. General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley. Colombia. Habitat of Oil. AAPG. Tulsa

MUNSELL., 2009. Geological Rock-Color Chart. Munsell Color.

OCDE/AIE., 2007. Manual de Estadísticas Energéticas.

http://www.iea.org/Textbase/stats/docs/NRJ_spanish_web.pdf.

SALAZAR, J. P., 2004. Aplicación de la Técnica de Resonancia Magnética Nuclear y su relación con la Calidad de Roca de Yacimiento en el pozo VLA-1326. Tesis Maestría. Universidad Central de Venezuela.

SIFUENTES, F. & VASQUEZ, R., 1987. Introducción a la Fotogrametría. General Duckworth & Co. Londres.

SLATT, R., 2006. Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists, Geophysicists, and Engineers. Elsevier.

SNEH, A., 1983. Desert Stream Sequences in the Sinai Peninsula. J Sediment Petrol. Vol. 53. P. 1271-1280.

SOUSA, G., 2005. Arenas Bituminosas. ppt

SYNCRUDE CANADA LTD., (2009), Fact Book, Harindar Parmar & Alain Moore, vol 3.

TABORDA, B., 1965. Guide Book to the Geology of the Mares Concession. 6th Field Conference ACGGP. Bogotá.

TUNBRIDGE, I. P., 1981. Sandy High Energy Flood Sedimentation – some criteria for recognition. *Sediment. Geol.* Vol. 28. p. 79-96.

TUNBRIDGE, I. P., 1984. Sandy High Energy Ephemeral Stream and Clay Playa Complex; The Middle Devonian Trentishoe Formation of North Devon, UK. *Sedimentology* Vol. 31. P. 697-716.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY., 2012. Fotografías Satelitales .

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

VILLAMIL, T., 1999. Campanian-Miocene Tectonostratigraphy, Tepocenter Evolution and Basin Development of Colombia and Western Venezuela. Advance Exploration Organization, Conoco Inc. Elsevier.

VILLAROEL, C., SETOGUCHI, T., et al., 1996. Geology of the Tatacoa “Desert” (Huila, Colombia): Precisions on the Stratigraphy of the Honda Group, the Evolution of the “Pata High” and the Presence of the La Venta Fauna. *Series Geolo. & Mineral.* Vol. LVIII. No. 1, 2. P. 41-66. Uni. Kyoto.

WALKER, R. G., 1984. *Facies Models*. Second Edition. Geoscience Canada. Reprint Series 1,318p

WELLMAN, S., 1970. Stratigraphy and Petrology of the Nonmarine Honda group (Miocene), Upper Magdalena Valley. *Geological Society of America Bulletin*, V 81, p. 2353 – 2374.

WEEKS, L. G., 1952. Factors of Sedimentary Basin Development that Control Oil Occurrence. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geolo.*, vol. 36, No II oo. 2071-2124

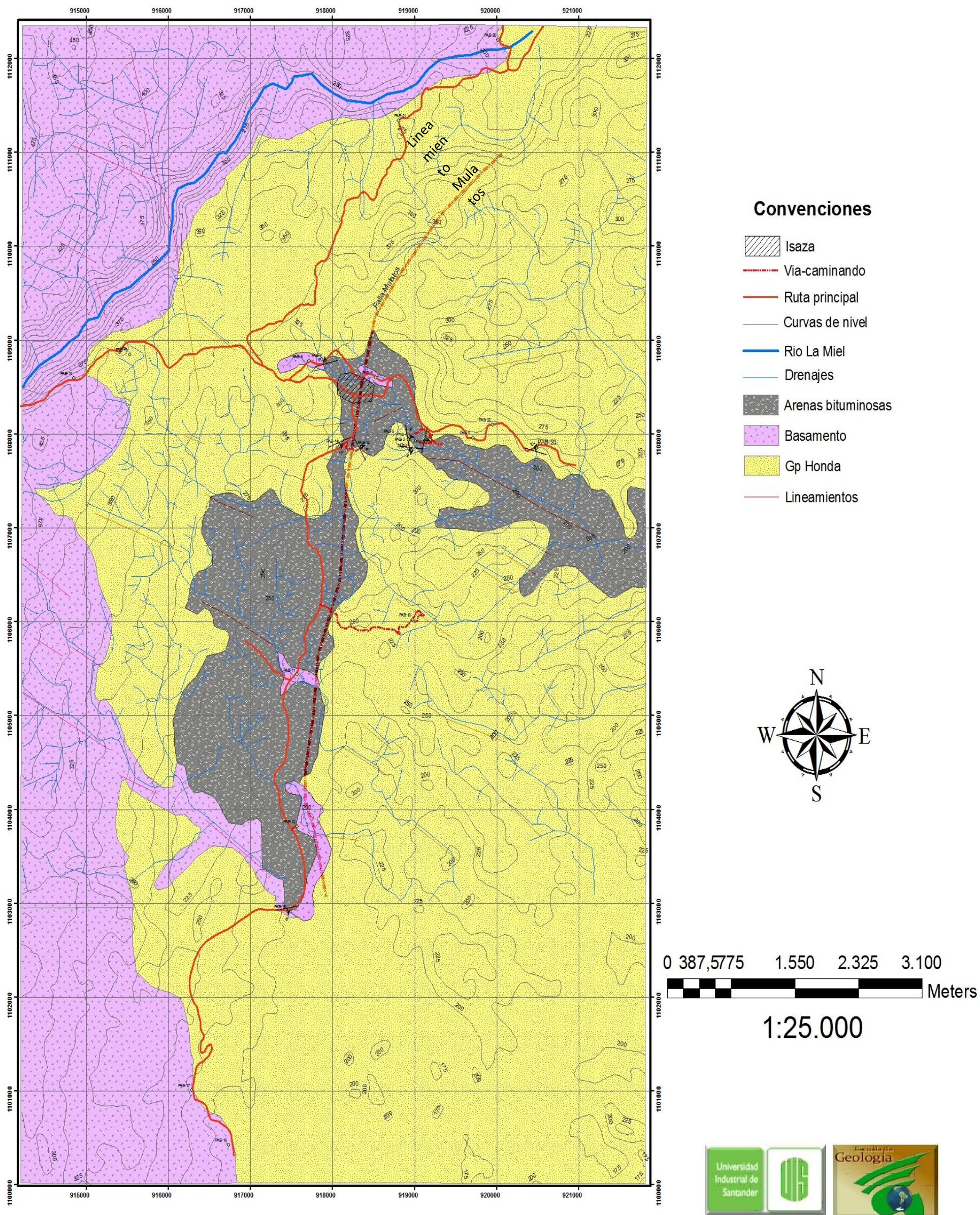
YILDIRIM, Y. (2003), Application of Vapex (Vapour extraction) process on carbonate reservoirs.

<http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/3/1206366/index.pdf>.

ANEXOS

Anexo A. Mapa geológico de las inmediaciones de la zona de estudio

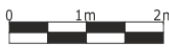
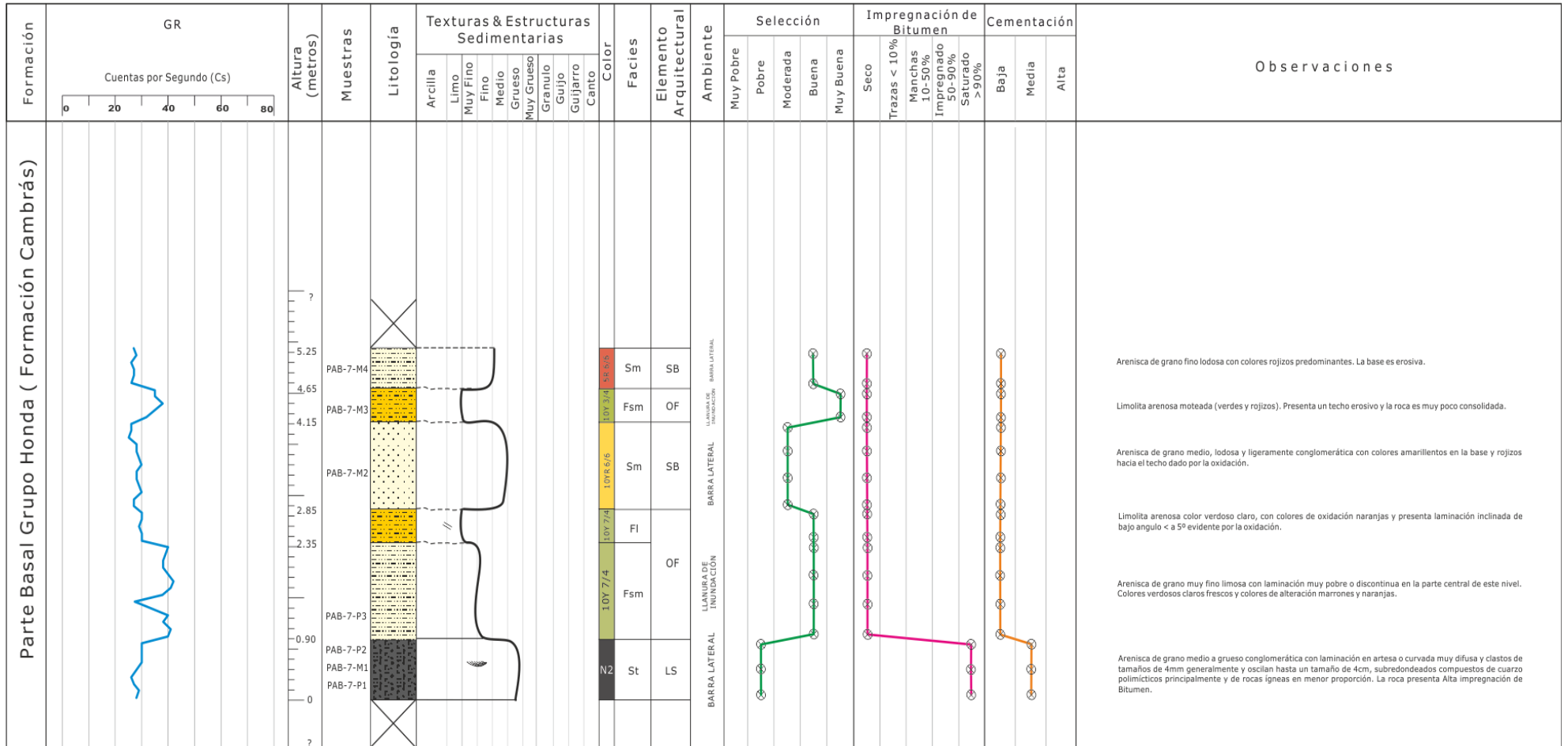
MAPA GEOLOGICO DEL NW DE LA DORADA, CALDAS



Anexo C. Columna estratigráfica SE-2 donde se relaciona radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.

Registro de Descripción Sedimentológica y Estratigráfica

Analizó: Fredy Hernández & Andrés de la Hoz Sección Estratigráfica: Dos (2)
 Espesor: 5.25 metros Cuenca: VMM
 Escala: 1:50 Formación: Grupo Honda
 Fecha: 03/10/2012



CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

<p>Estratificación</p> <ul style="list-style-type: none"> Relictos de estratificación Estratificación cruzada Cruzada en artesa a pequeña escala Cruzada en artesa amalgamada Cruzada en artesa a gran escala Cruzada en artesa con pebbles Cruzada en artesa en conglomerados Relictos de artesa 	<p>Laminación</p> <ul style="list-style-type: none"> Plana paralela Plana discontinua Wispky Lamination Ondulada Ondulada discontinua Flusser Lenticular Irregular Ondulada discontinua no paralela Laminación ondulosa no paralela (wavy) 	<p>Otras</p> <ul style="list-style-type: none"> Deformación penecontemporanea Laminación convoluta Escape de agua Intraclastos Ondulitas Laminación en artesa o curvada Laminación inclinada recta 	<p>ACCESORIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Nodulos Caliche Imbricación Ooides Pirita Pelets Yeso Estilolitos Dolomita Grietas de desecación Calcos de carga Fosfatos Materia Orgánica Azufre Oxidos de hierro Glauconita Trazas Moscovita Impregnación de aceite Calcita Fragmentos Material carbonoso
--	---	---	---

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS ORGANICAS

<p>Ichneológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Paleophycus Arenicolites Skolithos Bergueria Thalassinoides Paleosuelos Macaronichnus Anchonichnus Teichichnus Ophiomorpha Glossifungites Planolites Zoophycus Diplocraterion Madrigueras de cangrejo Madrigueras no diferenciadas Chondrites Rhizocorallium Conichnus Astrosoma Helminthopsis Rosselia Terebellina Bioturbación no diferenciada Foraminíferos Bivalvos Ostréidos Esponjas Equinodermos Briozoarios Algas Verdes Escamas de peces Numulites Discocyclina - Lepidocyclina Corales Fragmentos de conchas Espículas de esponja Rodolitos de algas rojas Espículas de Equinodermos Espinas de peces Vertebras de peces Fragmentos leñosos Algas rojas Fragmentos Estalactitas o estalagmitas Restos de hojas Raíces Ostrácodo Tallos de Crinoideos Restos de Pez Serpúlidos Fragmentos calcareos tamaño limo

INDICE DE BIOTURBACIÓN BASADO EN TAYLOR Y GOLDRING (1993)

Muy Alto	Corresponde a los grado 5 y 6, porcentaje bioturbado 91-100%
Alto	Corresponde al grado 4, porcentaje bioturbado 61 a 90%
Medio	Corresponde al grado 3. Porcentaje bioturbado 31 a 30%
Bajo	Corresponde a los grados 1 y 2. Porcentaje bioturbado 1 a 30%

ANÁLISIS

- Petrografía
- Geoquímica
- Palinología

FRACTURAMIENTO

<p>Perfil de Rugosidad</p> <ul style="list-style-type: none"> Re Recto S Sinuoso D Dentado 	<p>Morfología</p> <ul style="list-style-type: none"> ST Estriada SM Uniforme R Rugosa NO No Observable 	<p>Fractura</p> <ul style="list-style-type: none"> Cerrada Parcialmente Abierta Rellena Fragmentos Carbonosos
--	---	--

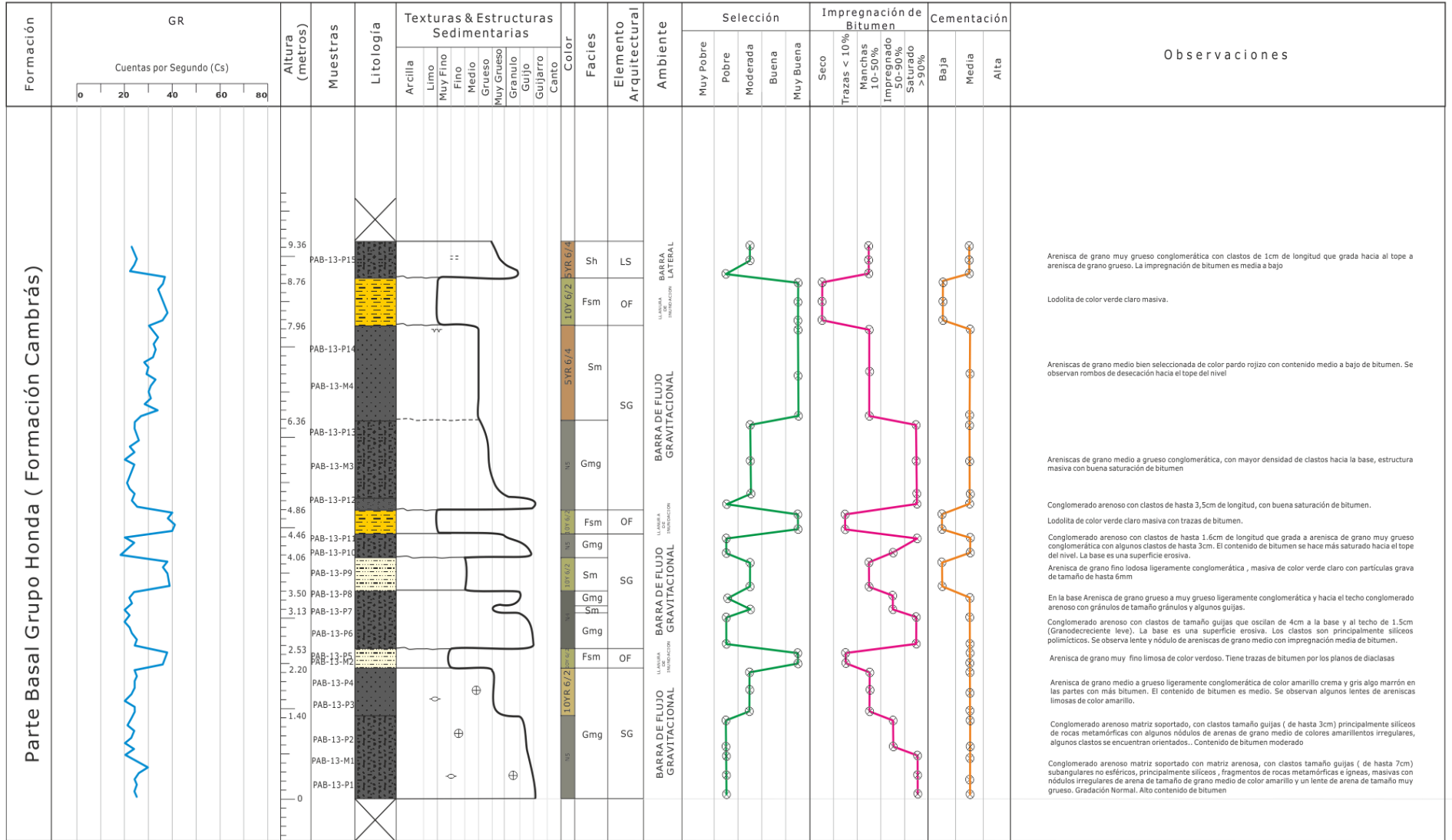
LITOLÓGICAS

<p>Calcáreas</p> <ul style="list-style-type: none"> Mudstone Wackestone Packstone Grainstone Caliza cristalina Arenisca Glauconítica Roca calcárea con terrigenos 	<p>Siliciclásticas</p> <ul style="list-style-type: none"> Arenisca Arenisca lodosa Arenisca conglomerática Arenisca calcárea Conglomerado Arenoso Carbón Limolita arenosa Arenisca impregnada de bitumen Conglomerado Arenoso impregnado de bitumen Arenisca conglomerática impregnada de bitumen 	<p>Basamento Igneo-Metamórfico</p> <ul style="list-style-type: none"> Basamento Igneo-Metamórfico 	<p>CONVENCIONES ESTRATIGRÁFICAS</p> <p>Contactos</p> <ul style="list-style-type: none"> Superficie de inconformidad Superficie de socavamiento (Scour) Neto Inferido Fallado 	<p>FACIES</p> <ul style="list-style-type: none"> Gmg: Grava matriz soportada. Gradación normal. Gt: Grava estratificada. Estratificación cruzada St: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Estratificación en artesa solitarias o agrupadas. Sr: Arena fina a muy gruesa. Estratificación cruzada con ondulitas. Sm: Arena fina a muy gruesa. Laminación masiva o poco clara. Si: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Estratificación cruzada de bajo ángulo Sh: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Laminación horizontal, particionada o de corriente Fi: Arena, limo, lodo. Laminación fina, ondulitas muy pequeñas. Fsm: Limo, lodo. Masivo. <p>ELEMENTO ARQUITECTURAL</p> <ul style="list-style-type: none"> CH: Channels GB: Gravelly bars and bedforms SB: Sandy Bedforms FM: Foreset Macroforms LA: Lateral Accretion Deposits SG: Sediment Gravity Flow Deposit LS: Laminated sand sheets OF: Overbank Fines
--	--	--	--	--

Anexo D. Columna estratigráfica SE-3 donde se relaciona radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.

Registro de Descripción Sedimentológica y Estratigráfica

Analizó: Fredy Hernández & Andrés de la Hoz Sección Estratigráfica: Tres (3)
 Espesor: 9.36 metros Cuenca: VMM
 Escala: 1:50 Formación: Grupo Honda
 Fecha: 03/10/2012



CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

Estratificación	Laminación	Otras
<ul style="list-style-type: none"> Relictos de estratificación Estratificación cruzada Cruzada en artesa a pequeña escala Cruzada en artesa amalgamada Cruzada en artesa a gran escala Cruzada en artesa con pebbles Cruzada en artesa en conglomerados Relictos de artesa 	<ul style="list-style-type: none"> Plana paralela Plana discontinua Wispny Lamination Ondulada Ondulada discontinua Flaser Lenticular Irregular Ondulada discontinua no paralela Laminación ondulosa no paralela (wavy) 	<ul style="list-style-type: none"> Deformación penecontemporanea Laminación convoluta Escape de agua Intraclastos Ondulitas Laminación en artesa o curvada

ACCESORIOS

<ul style="list-style-type: none"> Nodulos Caliche Imbricación Ooides Pirita Pelets Yeso Estilolitos Dolomita 	<ul style="list-style-type: none"> Grietas de desecación Calcos de carga Fosfatos Materia Orgánica Azufre Oxidos de hierro Glaucionita Trazas Moscovita 	<ul style="list-style-type: none"> Impregnación de aceite Calcita Fragmentos Material carbonoso
--	--	--

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS ORGANICAS

Ichnológicas	Fósiles
<ul style="list-style-type: none"> Paleophycus Arenicolites Skolithos Bergeria Thalassinoides Paleosuelos Macaronichnus Anchonichnus Teichichnus Ophiomorpha Glossifungites Planolites Zoophycus Diplocraterion Madrigueras de cangrejo Madrigueras no diferenciadas 	<ul style="list-style-type: none"> Chondrites Rhizocorallium Conichnus Asterosoma Helminthopsis Rossella Terebellina Bioturbación no diferenciada Foraminíferos Bivalvos Ostréidos Eponjas Equinodermos Briozoarios Algas Verdes Escamas de peces Numulites Discocyclina - Lepidocyclina Corales Fragmentos de conchas Espiculas de esponja Rodolitos de algas rojas Espiculas de Equinodermos Espinas de peces Vertebras de peces Fragmentos leñosos Algas rojas Fragmentos Algas rojas Estalactitas o estalagmitas Restos de hojas Raíces Ostrácodo Tallos de Crinoideos Restos de Pez Serpilidos Fragmentos calcareos tamaño limo

INDICE DE BIOTURBACIÓN BASADO EN TAYLOR Y GOLDRING (1993)

Muy Alto	Corresponde al grado 5 y 6, porcentaje bioturbado 91-100%
Alto	Corresponde al grado 4, porcentaje bioturbado 61 a 90%
Medio	Corresponde al grado 3, porcentaje bioturbado 31 a 30%
Bajo	Corresponde a los grados 1 y 2. Porcentaje bioturbado 1 a 30%

ANÁLISIS

■ Petrografía
■ Geoquímica
■ Palinología

FRACTURAMIENTO

Perfil de Rugosidad	Morfología	Fractura
Re Recto	ST Estriada	/ Cerrada / Parcialmente
S Sinuoso	SM Uniforme	/ Abierta // Rellena
D Dentado	R Rugosa	/ Rellena // Fragmentos Carbonosos
	NO No Observable	

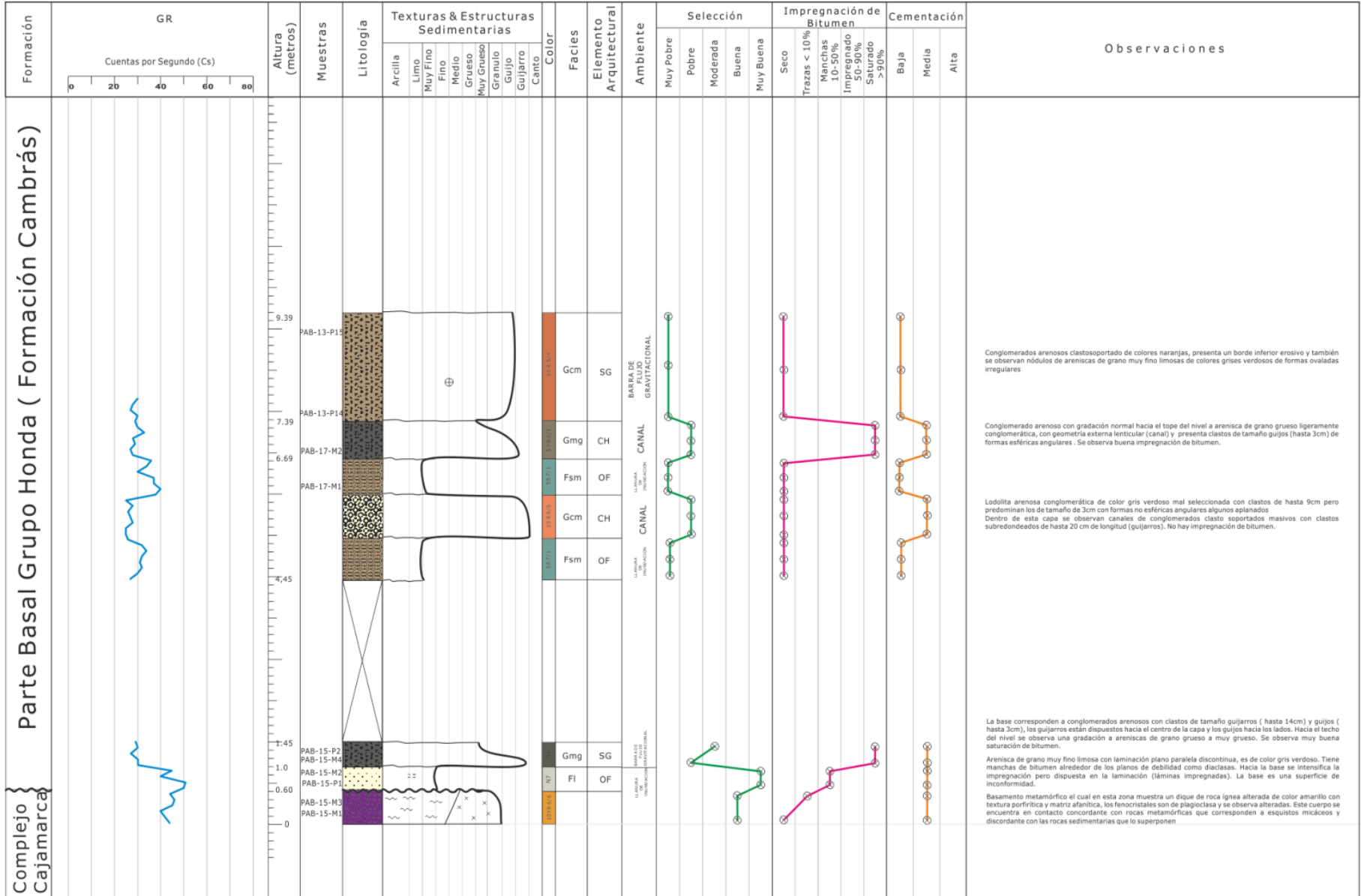
LITOLÓGICAS

Calcareas	Siiciclásticas	Basamento Igneo-Metamórfico
<ul style="list-style-type: none"> Mudstone Wackestone Packstone Grainstone Caliza cristalina Arenisca Glaucionita Roca calcárea con terrigenos 	<ul style="list-style-type: none"> Arenisca Arenisca lodosa Arenisca conglomerática Arenisca calcárea Conglomerado Arenoso Carbón Limolita arenosa Arenisca impregnada de Bitumen Conglomerado Arenoso impregnado de bitumen Arenisca conglomerática impregnada de bitumen 	<ul style="list-style-type: none"> Limolita arcillosa Arcillolita Lodolita conglomerática Conglomerado Brecha de Falla Arcillolita calcárea Limolita Limolita Calcárea
CONVENCIONES ESTRATIGRAFICAS		
Contactos		
<ul style="list-style-type: none"> Superficie de inconformidad Superficie de socavamiento (Scour) Neto Inferido Fallado 		
FACIES		
<ul style="list-style-type: none"> Gmg: Grava matriz soportada. Gradación normal. Gt: Grava estratificada. Estratificación cruzada St: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Estratificación en artesa solitarias o agrupadas. Sr: Arena fina a muy gruesa. Estratificación cruzada con ondulitas. Sm: Arena fina a muy gruesa. Laminación masiva o poco clara. Si: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Estratificación cruzada de bajo ángulo Sh: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Laminación horizontal, particionada o de corriente Fl: Arena, limo, lodo. Laminación fina, ondulitas muy pequeñas. Fsm: Limo, lodo. Masivo. 		
ELEMENTO ARQUITECTURAL		
<ul style="list-style-type: none"> CH: Channels GB: Gravelly bars and bedforms SB: Sandy Bedforms FM: Foreset Macroforms LA: Lateral Accretion Deposits SG: Sediment Gravity Flow Deposit LS: Laminated sand sheets OF: Overbank Fines 		

Anexo E. Columna estratigráfica SE-4 donde se relaciona radioactividad, sedimentología y estratigrafía de la roca.

Registro de Descripción Sedimentológica y Estratigráfica

Analizó: Fredy Hernández & Andrés de la Hoz Sección Estratigráfica: Cuatro (4)
 Espesor: 9.39 metros Cuenca: VMM
 Escala: 1:50 Formación: Grupo Honda
 Fecha: 03/10/2012



CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

Estratificación	Laminación	Otras
Relictos de estratificación	Plana paralela	Deformación penecontemporanea
Estratificación cruzada	Plana discontinua	Laminación convoluta
Cruzada en artesa a pequeña escala	Wispny Lamination	Escape de agua
Cruzada en artesa amalgamada	Ondulada	Intraclastos
Cruzada en artesa a gran escala	Ondulada discontinua	Ondulitas
Cruzada en artesa con pebbles	Flasser	Laminación en artesa o curvada
Cruzada en artesa en conglomerados	Lenticular	
Relictos de artesa	Irregular	
	Ondulada discontinua no paralela	
	Laminación ondulosa no paralela (wavy)	

ACCESORIOS

Nodulos	Grietas de desecación	Impregnación de aceite
Caliche	Calcos de carga	Calcita
Imbricación	Fosfatos	Fragmentos Material carbonoso
Ooides	Materia Orgánica	
Py	Azufre	
Pelets	Oxidos de hierro	
Yeso	Glauconita	
Estilolitos	Trazas	
Dolomita	Moscovita	

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS ORGANICAS

Ichnológicas	Fósiles
Paleophycus	Foraminíferos
Arenicolites	Bivalvos
Skolithos	Ostréidos
Bergueria	Eponjas
Thalassinoides	Equinodermos
Paleosuelos	Briozoarios
Macaronichnus	Algas Verdes
Anchonichnus	Escamas de peces
Teichichnus	Numulites
Ophiomorpha	Discocyclina - Lepidocyclina
Glossifungites	Corales
Planolites	Fragmentos de conchas
Zoophycus	Espículas de esponja
Diplocraterion	Rodolitos de algas rojas
Madrigueras de cangrejo	Espículas de Equinodermos
Madrigueras no diferenciadas	Espineras de peces
Chondrites	Vertebras de peces
Rhizocorallium	Tallos de Crinoideos
Conichnus	Restos de Pez
Asterosoma	Serpúgidos
Helminthopsis	Fragmentos calcareos tamaño limo
Rosselia	Estalactitas o estalagmitas
Terebellina	Restos de hojas
Bioturbación no diferenciada	Raíces
	Ostrácodo

INDICE DE BIOTURBACIÓN BASADO EN TAYLOR Y GOLDRING (1993)

Muy Alto	Corresponde a los grado 5 y 6, porcentaje bioturbado 91-100%
Alto	Corresponde al grado 4, porcentaje bioturbado 61 a 90%
Medio	Corresponde al grado 3. Porcentaje bioturbado 31 a 30%
Bajo	Corresponde a los grados 1 y 2.. Porcentaje bioturbado 1 a 30%

ANÁLISIS

Petrografía
Geoquímica
Palinología

FRACTURAMIENTO

Perfil de Rugosidad	Morfología	Fractura
Re Recto	ST Estriada	Parcialmente
S Sinuoso	SM Uniforme	Cerrada
D Dentado	R Rugosa	Abierta
	NO No Observable	Reliena
		Fragmentos Carbonosos

LITOLÓGICAS

Calcareas	Silicilásticas	Basamento Igneo-Metamórfico	FACIES
Mudstone	Arenisca		Gmg: Grava matriz soportada. Gradación normal.
Wackestone	Arenisca lodosa		Gt: Grava estratificada. Estratificación cruzada
Packstone	Arenisca conglomerática		St: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Estratificación en artesa solitarias o agrupadas.
Grainstone	Arenisca calcárea		Sr: Arena fina a muy gruesa. Estratificación cruzada con ondulitas.
Caliza cristalina	Conglomerado Arenoso		Sm: Arena fina a muy gruesa. Laminación masiva o poco clara.
Arenisca Glauconítica	Carbón		Sl: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Estratificación cruzada de bajo ángulo.
Roca calcárea con terrigenos	Limolita arenosa		Sh: Arena fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa. Laminación horizontal, particionada o de corriente.
	Arenisca impregnada de Bitumen		Fl: Arena, limo, lodo. Laminación fina, ondulitas muy pequeñas.
	Conglomerado Arenoso impregnado de bitumen		Fsm: Limo, lodo. Masivo.
	Arenisca conglomerática impregnada de bitumen		ELEMENTO ARQUITECTURAL
			CH: Channels
			GB: Gravelly bars and bedforms
			SB: Sandy bedforms
			FM: Foreset Macroforms
			LA: Lateral Accretion Deposits
			SG: Sediment Gravity Flow Deposit
			LS: Laminated sand sheets
			OF: Overbank Fines

Anexo F.Catálogo de muestras

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA			
CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Gruesa lodosa	Litarenita Feldespática



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón, con textura areno soportada con matriz lodosa, poco consolidada donde el material cementante es bituminoso. Posee una laminación plano paralela difusa, a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra presenta plagioclasas alteradas, que definen su laminación clara.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Gruesa bien calibrada	Litarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro, con textura areno soportada, presenta matriz bituminosa y la roca es cementada principalmente por bitumen. Posee una estructura masiva, a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra presenta madera carbonizada y en su base se observan unos lóbulos de materiales más finos (areniscas finas y limos) de colores grises verdosos.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M3	Roca Sedimentaria	Arenisca de grano grueso bien calibrada	Sublitarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón oscuro, con textura areno soportada con matriz bituminosa. Es una roca poco consolidada donde el principal material cementante es el bitumen. Posee una laminación plano paralela difusa, a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra presenta algunos gránulos en forma de artesas individuales (posibles estructuras de flujo).

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M4	Roca Sedimentaria	Limolita Arenosa	Limolita Arenosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso, con textura limo soportada mal cementada. Posee una estructura masiva en donde su laminación es muy pobre, a su vez posee un muy buen calibrado y no posee contenido de bitumen. Finalmente la muestra presenta manchas de color naranja en su estructura debido a la oxidación que presenta esta.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M5	Roca Sedimentaria	Arenisca Ligeramente Conglomeratica	Sublitarenita Ligeramente Conglomeratica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro, con textura areno - gravo soportada con matriz bituminosa, bien cementada en donde el material cementante es bituminoso. Posee una gradación normal muy leve a masiva en su estructura. A su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen alto. Finalmente la muestra al presentar tan alto contenido de bitumen hace difícil determinar la composición exacta de esta.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M6	Roca Sedimentaria	Conglomerado Arenoso	Conglomerado Lítico



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro, con textura gravo – areno soportada con matriz arenosa (Bitumen) en donde el material cementante es bituminoso. Posee una estructura masiva en su mayoría gravas. A su vez posee un mal calibrado y un contenido de bitumen alto. Finalmente se considera que la muestra hace parte de un canal gravoso observado en afloramiento en la fase de campo del presente estudio.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M7	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Arcosa lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso con manchas marrones y naranjas. La roca posee una textura areno soportada con matriz limosa donde la roca es moderadamente cementada (cemento ferruginoso y silíceo). Posee una laminación plano paralela difusa, a su vez posee un muy buen calibrado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente las manchas presentes en la roca de color marrón se asocian a trazas de hidrocarburos dispuestas entre las láminas y las manchas naranjas se relacionan a oxidación.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 1 – M8	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso, con textura areno - limo soportada, presenta una escasa matriz de limos y es una roca poco cementada. Posee una laminación plano paralela difusa, a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente la muestra presenta algunas trazas de hidrocarburos siguiendo la laminación de la roca.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 2 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso y en algunos lugares de color negro por su laminación. Posee una textura areno soportada con matriz areno - lodosa, moderadamente cementada (cemento silíceo). Posee una laminación plano paralela, a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente la muestra presenta contenido de bitumen hacia el techo dispuesta en su laminación.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 2 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa Conglomeratica	Litarenita Feldespática



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón, con textura areno – gravo soportada con matriz limosa, poco cementada. Presenta en su estructura un tamaño de grano decreciente. A su vez posee un calibrado moderado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente la muestra presenta un contenido de bitumen sectorizado.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 3 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Lodosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón oscuro, con textura areno soportada con matriz lodosa, la roca se presenta poco consolidada donde el material cementante es bituminoso. Posee una laminación en artesa difusa (poco clara), a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra presenta plagioclasas alteradas y a su vez plantas actuales se encuentran alterando la roca.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 3 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Ligeramente Conglomeratica	Litaarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro, con textura areno soportada con matriz bituminosa en donde la roca es cementada principalmente por bitumen. Posee un tamaño de grano el cual es grano creciente, a su vez posee un calibrado moderado y un contenido de bitumen alto. Finalmente la muestra presenta un contenido visual de bitumen alto.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 3 – M3	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color grisáceo, con textura arenosa soportada con matriz arenosa - limosa, poco cementada. Posee una estructura masiva, a su vez posee un buen calibrado y no posee contenido de bitumen. Finalmente la muestra no contiene presencia de bitumen y siendo así una arenisca limpia.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 4 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón, con textura areno soportada con matriz lodosa, poco consolidada donde el material cementante es bituminoso. Posee una estructura masiva y una laminación pobre, a su vez posee un muy buen calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra en el afloramiento exhibe de mejor manera su laminación, cabe resaltar que es poco consolidada ya que se disgrega con facilidad.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 4 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Litarenita Feldespática



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón claro y algunas manchas de color negro, con textura areno – limo soportada, no presenta matriz y la roca es poco cementada. Posee una laminación plano paralela difusa, a su vez posee un buen calibrado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente la muestra presenta grietas de desecación en la parte superior de algunas láminas y las manchas negras que posee son de trazas de hidrocarburos.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 5 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Conglomeratica	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de colores variantes debido a la laminación que posee la muestra (colores marrones oscuros y claros en su mayoría). Posee una textura areno - gravo soportada, se observa una matriz arenosa, y la muestra es moderadamente cementada, en donde el principal cementante es el bitumen. Posee una laminación plano paralela, a su vez posee un calibrado moderado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra presenta laminación en la cual se evidencia el contenido visual de bitumen, en donde en los niveles más oscuros existe mayor cantidad que en los niveles más claros.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 5 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa Conglomeratica	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón claro a gris oscuro, con textura areno soportada, presenta una matriz impregnada con bitumen, la roca es moderadamente mal cementada y los materiales que la cementan son bitumen y sílice. Posee un tamaño de grano el cual es grano decreciente, a su vez posee un calibrado moderado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente los colores presentes en la muestra son debidos a la impregnación del bitumen

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 6 – M1	Roca Metamórfica	Neis



OBSERVACIONES

Roca metamórfica con una intercalación de colores claros y oscuros, la cual presenta granos medios, a su vez presenta bandeamiento de composición mineral, granoblástica. Posee una estructura néisica y un contenido bajo de bitumen. Finalmente la muestra se encuentra diaclasada por donde se dispone el hidrocarburo.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 6 – M2	Roca Metamórfica	Roca Metamórfica Polideformada

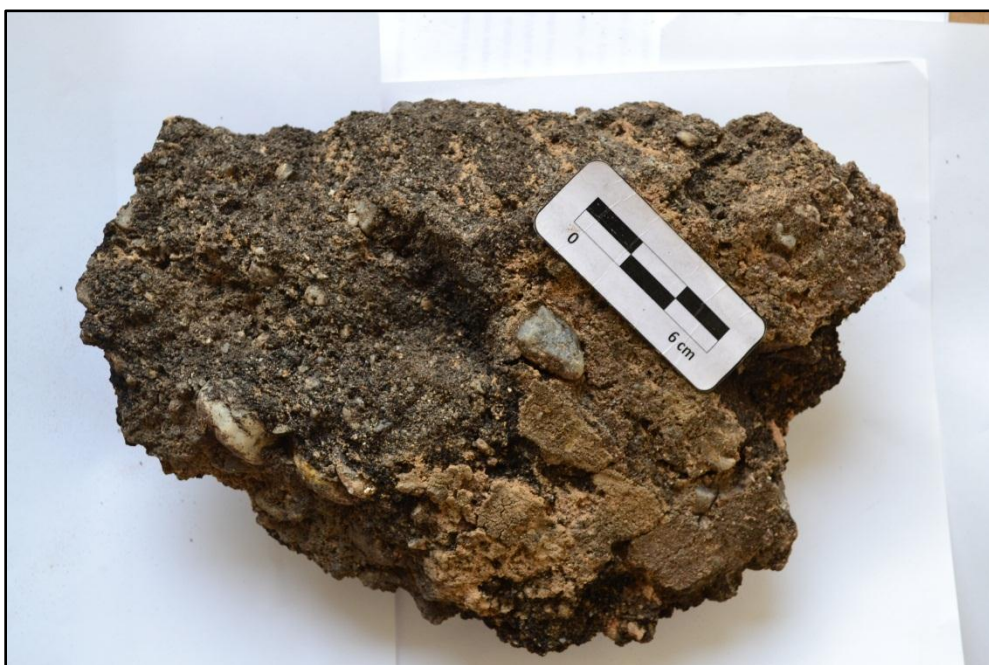


OBSERVACIONES

Roca metamórfica la cual presenta colores por el contenido mineral y negro por el contenido de bitumen. Presenta granos gruesos, y textura granoblástica. a su vez presenta bandeamiento de composición mineral, granoblástica. Finalmente la muestra presenta trazas de hidrocarburos y por ende los colores oscuros en la muestra.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 7 – M1	Roca Sedimentaria	Conglomerado Arenoso	Conglomerado Lítico



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro, con textura gravo - areno soportada con matriz arenosa (bitumen), roca cementada principalmente por bitumen. Posee una estructura masiva y a su vez posee un mal calibrado y un contenido de bitumen alto. Finalmente en la muestra el contenido de bitumen disminuye un poco al techo de esta, se observa una variación de color.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 7 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Limosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso, con textura areno - limo soportada, no presenta matriz y la muestra es poco cementada. Posee una estructura masiva y a su vez posee un buen calibrado y no posee contenido de bitumen. Finalmente en la muestra se observa una coloración naranja por la oxidación, la muestra se observa muy alterada debido al interperismo y a las raíces de las plantas actuales.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 7 – M3	Roca Sedimentaria	Lodolita	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso, con textura lodo soportada, no presenta matriz por el tamaño de las partículas además de ser una roca muy mal cementada. Posee una estructura masiva y a su vez posee un buen calibrado y no posee contenido de bitumen. Finalmente la muestra estaba expuesta al intemperismo y por ende los colores naranjas relacionados con oxidación.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 7 – M4	Roca Sedimentaria	Arenisca gruesa a muy gruesa moderadamente calibrada	Cuarzo Arenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color rojizo, con textura areno soportada con poca matriz areno lodosa y mal cementada. Posee una estructura masiva y a su vez posee un calibrado moderado y no posee contenido de bitumen. Finalmente la muestra tiene un color rojizo y comprende el tope de la sección, se encuentra muy alterado por el interperismo.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 8 – M1	Roca Metamórfica	Esquisto Micáceo Bituminoso



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color negro verdoso con granos finos, con orientación preferencial de minerales hojosos, lepidogranoblastica. Presenta una estructura esquistosa y posee contenido de bitumen en la foliación.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 8 – M2	Roca Metamórfica	Esquisto Micáceo



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color blanco vítreo, la foliación de la roca la dan principalmente los minerales hojosos de grano medio, lepidoblastica. Presenta una estructura esquistosa y los colores marrones presentes en la muestra son debido al interperismo al que esta expuesta la roca en afloramiento.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 11 – M1	Roca Metamórfica	Esquisto Micáceo



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color grisáceo algo verdoso, presenta granos finos, la roca esta conformada principalmente por minerales hojosos, lepidogranoblastica. Presenta un contenido bajo de bitumen en la cual los hidrocarburos se hospedaron en los planos de debilidad como diaclasas o foliación (esquistosidad).

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 11 – M1	Roca Metamórfica	Esquisto Micáceo



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color grisáceo algo verdoso, presenta granos finos, la roca esta conformada principalmente por minerales hojosos, lepidogranoblastica. Esta muestra no exhibe trazas de hidrocarburos.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 12 – M1	Roca Metamórfica	Roca Polideformada



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color marrón, presenta micas moscovitas, cuarzo y plagioclasas. Posee una estructura masiva y un contenido de bitume bajo. Se observa un contenido mayor de micas moscovitas en su composición y a su vez esta roca esta muy deformada, Finalmente presenta manchas de hidrocarburos en los planos de debilidad como por ejemplo en su foliación.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 12 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Fina Limosa	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso, con textura areno - limo soportada, con matriz limosa escasa. La roca se encuentra moderadamente cementada y su principal material cementante es silíceo. Posee una estructura masiva y a su vez posee un muy buen calibrado y un contenido bajo de bitumen. Finalmente la muestra exhibe colores naranjas debido a la oxidación presente en la roca y además posee manchas de hidrocarburos.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 12 – M3	Roca Sedimentaria	Conglomerado Arenoso	Sublito Conglomerado



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro y marrón, con textura gravo soportada, con matriz arenosa. La roca se encuentra moderadamente cementada y su principal material cementante es bitumen. Posee una estructura masiva y a su vez posee un mal calibrado y un contenido alto de bitumen. Finalmente la muestra presenta una buena saturación de bitumen pero se observan lugares que no se encuentran impregnados aunque tienen bastante matriz.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 13 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Conglomeratica	Arenisca Conglomeratica Lítica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón claro, con textura areno - gravo soportada, con matriz bituminosa y material cementante bituminoso. Posee un tamaño de grano el cual es granodecreciente y a su vez posee un calibrado moderado y un contenido de bitumen medio. Finalmente la muestra presenta líticos principalmente de rocas metamórficas en un estrato decreciente.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 13 – M2	Roca Sedimentaria	Limolita Arenosa	Sublitarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color verde, con textura areno soportada, con matriz lodosa y muy mal cementada. Posee una estructura masiva, un calibrado moderado y no posee contenido de bitumen. Finalmente la muestra presenta de forma masiva con granos muy finos los cuales presentan colores anaranjados debido a la oxidación que ha sufrido la roca.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 13 – M3	Roca Sedimentaria	Conglomerado Arenoso	Conglomerado Lítico Feldespático



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro a marrón, con textura areno – gravo soportada, la matriz se observa saturada de bitumen y el principal material cementante es el bitumen. Posee una estructura masiva, un mal calibrado y un contenido de bitumen alto. Finalmente la muestra presenta plagioclasas alteradas asociadas con la meteorización de la roca.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 13 – M4	Roca Sedimentaria	Arenisca de grano medio Bien calibrada	Litarenita Ligeramente Conglomeratica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón rojizo claro, con textura areno – gravo soportada, la matriz es areno lodosa, poco cementada (cemento silíceo). Posee un tamaño de grano el cual es grano decreciente, un buen calibrado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente en la muestra se observan algunos guijarros orientados representando estructuras de flujo (artesas individuales).

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 14 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Bien Calibrada	Litarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón claro, con textura areno soportada, posee una matriz limosa con contenido de bitumen y el material cementante es bituminoso. Posee una laminación plana paralela inclinada, un buen calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente cabe resaltar que la composición de la muestra es complicada de diferenciar por su contenido de bitumen.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 15 – M1	Roca Ígnea	Granitoide



OBSERVACIONES

Roca ígnea de color amarillento, la cual posee una textura porfirítica y una matriz fanática. Su estructura es masiva y a su vez la roca se encuentra muy alterada y su matriz es arcillosa y exhibe colores naranjas y amarillento relacionados con esta.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 15 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca de grano muy fino muy bien calibrada	Litarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color grisáceo con textura areno soportada, la matriz a la base de la muestra es bituminosa y al techo es lodosa y a demás su material cementante es silíceo. Posee una laminación plana paralela, un muy buen calibrado y un contenido de bitumen bajo. Finalmente en la muestra el contenido de bitumen se dispone entre las laminas, de esta manera en la base de esta es mucho mayor ya que

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 15 – M3	Roca Metamórfica	Esquisto Micáceo



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color blanco vítreo, posee granos finos, y una orientación preferencial de minerales hojosos, lepidogranoblastica. Presenta una estructura esquistosa y a su vez presenta algunas trazas de hidrocarburos que se disponen dentro de la esquistosidad.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 15 – M4	Roca Sedimentaria	Arenisca Ligeramente conglomeratica	Litarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color negro con textura areno- gravo soportada, con matriz bituminosa y al techo es lodosa y material cementante bituminoso. Posee una estructura masiva, un calibrado moderado y un contenido de bitumen alto. Finalmente esta muestra se encuentra en una capa de textura grano decreciente, cabe resaltar que su composición es complicada de observar por su alta saturación de aceite.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 17 – M1	Roca Sedimentaria	Arenisca Lodosa Ligeramente Conglomeratica	Litarenita Ligeramente Conglomeratica



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso con textura arenoso soportada, con matriz lodosa, poco consolidada y con material cementante silíceo. Posee una estructura masiva caótica, un mal calibrado y no posee contenido de bitumen. Finalmente esta muestra presenta un sorteamiento de tamaños de grano de partículas desde tamaño limo hasta guijarros.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 17 – M2	Roca Sedimentaria	Conglomerado Areno Lodoso	Conglomerado Lítico Feldespático.



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color marrón oscuro con textura gravo soportada (hasta tamaños guijos) , con matriz areno lodosa, moderadamente cementada en donde el principal material cementante es el bitumen. Posee una estructura masiva, un mal calibrado y un contenido de bitumen medio. Finalmente en esta muestra la imprgnacion de bitumen actua como agente cementante, no se observan poros pero se piensa que la impregnación de bitumen es buena ya que se observa la roca visiblemente bien saturada.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 18 – M1	Roca Metamórfica	Anfibolita



OBSERVACIONES

Roca metamórfica de color verde oscuro con alto contenido de anfíboles, nematoblastica. Esta muestra presenta estructura esquistosa y no presenta trazas de hidrocarburos.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
PAB – 20 – M1	Roca Ígnea	Granitoide



OBSERVACIONES

Roca ígnea de color blanco grisáceo de grano medio, compuesta principalmente por minerales hojosos y de textura fanerítica. Presenta una estructura masiva y un contenido de biotita, plagioclasas, cuarzo y de manchas naranjas debido a oxidación presente en la roca.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 22 – M1	Roca Sedimentaria	Limolita Arenosa	Limo Arenoso Lítico



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color gris verdoso con textura limo soportada, mal cementada (cemento silíceo). Posee una estructura masiva con laminación pobre, un muy buen calibrado y no tiene contenido de bitumen Finalmente esta muestra no presenta ninguna traza de hidrocarburos y el contacto entre las partículas que la conforman es cóncavo o convexo.

CATALOGO DE MUESTRAS AL NW DEL MUNICIPIO DE LA DORADA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

CODIGO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN TEXTURAL SEGÚN FOLK 1974	CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL SEGÚN FOLK 1974
PAB – 22 – M2	Roca Sedimentaria	Arenisca Gruesa A Muy Gruesa Bien Calibrada	Sublitarenita



OBSERVACIONES

Roca sedimentaria de color amarillo crema con textura areno soportada, presenta muy poca matriz limosa y muy mal cementada (cemento silíceo). Posee una estructura masiva, un buen calibrado y no tiene contenido de bitumen Finalmente esta muestra no presenta ninguna traza de hidrocarburos y sus tonalidades naranjas son debido a la oxidación que ha experimento esta.

