

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ALMACENADORAS DE
BITUMEN, EN LOS AFLORAMIENTOS UBICADOS HACIA EL
SUROCCIDENTE DE GUAYABAL EN EL DEPARTAMENTO DE TOLIMA,
COLOMBIA**

**MARÍA FERNANDA CALDERÓN GRANDE
LAURA MILENA MELÉNDEZ RUEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2013

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ALMACENADORAS DE
BITUMEN, EN LOS AFLORAMIENTOS UBICADOS HACIA EL
SUROCCIDENTE DE GUAYABAL EN EL DEPARTAMENTO DE TOLIMA,
COLOMBIA**

**LAURA MILENA MELÉNDEZ RUEDA
MARÍA FERNANDA CALDERÓN GRANDE**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
GEÓLOGO**

**DIRECTOR: LUIS ENRIQUE CRUZ GUEVARA
GEÓLOGO PHD.
CODIRECTOR: JOSE RICARDO SANDOVAL RUIZ
GEÓLOGO CANDIDATO A MSC.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por cada una de las cosas que me ha puesto en el camino.

A la Escuela de Geología y a la Universidad Industrial de Santander, por permitirme desarrollar mis estudios, a sus profesores por la formación académica y la calidad humana.

Al geólogo, José Ricardo Sandoval por darnos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto de grado con el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y por brindarnos su apoyo y conocimiento para el desarrollo del mismo.

Al geólogo Luis Enrique Cruz G. quien nos brindó su apoyo como director y guía para este trabajo de grado.

A mis compañeros y colegas, María Fernanda Calderón, Edgar Fernando Mendoza E, Juan Manuel Rozo, Rafael Junior Barrera, Leidy Julieth Plata, quienes vivieron conmigo esta experiencia, por su apoyo y su amistad.

A mi familia en general, en especial a mi primo Diego Fernando Rueda Arias, quien siempre estuvo pendiente de mí, durante todo este proceso para optar el título universitario.

A los geólogos, José Luis Saavedra A., Sergio Iván Nuncira Mayerly Nuñez Trigos y Ricardo Vargas Arévalo; de la misma forma a los Ingenieros, Juan Manuel Montoya, Roy E. Sandoval, Carlos Rodríguez y David Peña, quienes me brindaron su apoyo para finalizar este proyecto con éxito y me enseñaron las competencias de esta industria y a prepararme para ello.

Laura Milena Meléndez Rueda

DEDICATORIA

*A Dios por llenarme la vida de bendiciones, por amarme incondicionalmente,
por ir de mi mano a lo largo de mi vida.*

*A mis padres, Mary Lucrecia Rueda Suarez y Luis Felipe Meléndez, por su
apoyo incondicional, su formación personal y profesional, por cada consejo y
por velar por mi bienestar siempre, esto es de ustedes con el mayor amor del
mundo.*

*A mi hermana Paula Andrea Meléndez Rueda por siempre estar ahí, por el
amor y por tener las palabras justas para cada momento.*

*A mis abuelas, Socorro Meléndez Beltrán y Noema Suarez, que aunque no es
posible que vean esto, se que lo quisieron, por la admiración que siento hacia
sus vidas y porque sé que están tan felices y agradecidas como yo. Esto es
para ustedes.*

*A Andersson Ardila quien siempre me brindó su amor y apoyo en cada
momento.*

*A mis amigos quienes desde que inicié este camino de formación en la
Escuela Normal Superior de Bucaramanga, hasta el día de hoy cuando en
realidad comienza mi educación como geóloga en la industria, me brindaron su
amistad y apoyo en los diversos momentos de adversidad y alegría. En
especial a Paola Andrea Gómez Santoyo por ser tan incondicional.*

Laura Milena Meléndez Rueda

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por encima de todas las cosas, pues gracias a él puedo culminar mi carrera como Geóloga.

A la Escuela de Geología, y a profesores como José Luis Rubiano, Jairo Clavijo, Ricardo Mier, Mario García y Luis Enrique Cruz, quienes con el maravilloso arte de enseñar, cultivaron en mi un gran amor por la geología.

Al geólogo José Ricardo, por ser el codirector de este proyecto y haber confiado en nuestras capacidades como tesistas.

A mi compañera de trabajo, Laura Milena Meléndez por invitarme a participar en este gran proyecto, y por no abandonarlo tan fácilmente.

A la geóloga Clara Inés Torres por ayudarme con sus valiosos aportes para la culminación de esta tesis y a la geóloga Wendy Jahel Caballero.

A Rafael Barrera, por su increíble colaboración con este proyecto, por sus palabras de aliento a cada momento y por compartir conmigo esa afinidad para debatir e intercambiar conocimiento.

A todos los que contribuyeron de alguna u otra manera: MIL GRACIAS.

María Fernanda Calderón Grande

DEDICATORIA

Sin duda alguna, quiero dedicar este logro al eje de mi vida, a la mejor amiga y a la mejor mamá: Martha Patricia Grande Rojas. A ella por su amor y comprensión absoluta, por su sinceridad, paciencia, alegría, y apoyo incondicional en toda mi carrera profesional.

A mi padre Nelson Eduardo Calderón Báez por darme siempre las mejores palabras para salir adelante a pesar de las dificultades universitarias, por brindarme su amor y sus conocimientos justo en el momento preciso.

A mi Hermanita Andrea Patricia Calderón Grande, la “Súper busy lawyer” que quiero que sea, a ella por todas los bonitos momentos compartidos, y por el orgullo que siempre me generara su habilidad como profesional. Te amo Sis!

A Rafael Jr., por su amor, su paciencia y los buenos momentos compartidos.

Y en general a todos los amigos con lo que compartí durante este gran periodo de mi vida, y por su puesto a los que vienen desde hace más de 10 años conmigo. A ustedes.

María Fernanda Calderón Grande

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	22
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
JUSTIFICACIÓN	24
OBJETIVOS	25
OBJETIVO GENERAL	25
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
1. METODOLOGÍA	26
1.1 ETAPA DE RECOPIACIÓN	27
1.1.1 BIBLIOGRAFÍA	27
1.1.2 CARTOGRAFÍA Y FOTOGEOLOGÍA	27
1.2 ETAPA DE CAMPO	28
1.2.1 PRIMERA CAMPAÑA DE CAMPO	29
1.2.2 SEGUNDA CAMPAÑA DE CAMPO	29
1.3 ETAPA DE LABORATORIO	30
1.4 ETAPA DE OFICINA	31
1.5 PUNTOS DE INTERES	32
2. GENERALIDADES	34
2.1 LOCALIZACIÓN	34
2.2 VÍAS DE ACCESO	36
3. MARCO TEORICO	37
3.1 YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES	37
3.3 ANTECEDENTES	41
3.4 EVOLUCION TECTONICA	43
3.5 GEOLOGIA DEL EXTREMO SUR DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA	44
3.5 TECTONICA DEL SUR DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA	49
4. MODELO DE DATOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO.	52
4.1 MAPAS	52
4.2 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	54
4.3 DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DE ROCA	55
4.4 SECCIONES DELGADAS	56
4.5 ADQUISICION DE DATOS GAMMA RAY DE AFLORAMIENTO	59
4.6 TOMA DE PLUGS	59
5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	61
5.1 COMPLEJO CAJAMARCA	61

5.2 GRUPO HONDA – FORMACIÓN SAN ANTONIO Y GNEISES Y ANFIBOLITAS DE TIERRADENTRO	62
5.3 FORMACIÓN MESA	64
5.4 PRINCIPALES ESTRUCTURAS TECTÓNICAS	65
6. GEOMORFOLOGIA Y ESTACIONES DE CONTROL	67
6.2 DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES	72
7. MODELO ESTRATIGRÁFICO, SEDIMENTOLÓGICO Y AMBIENTES DE SEDIMENTACIÓN	91
7.1 LITOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA	91
7.1.1 GNEISES Y ANFIBOLITAS DE TIERRADENTRO	98
7.1.2 COMPLEJO CAJAMARCA. ROCAS CON METAMORFISMO REGIONAL POSTERIORMENTE AFECTADO POR METAMORFISMO DINÁMICO Y METAMORFISMO TÉRMICO	101
7.1.3 GRUPO HONDA (MIEMBRO SAN ANTONIO) (DE PORTA, 1966)	104
7.1.4 FORMACIÓN MESA	112
7.2 AMBIENTES DE SEDIMENTACIÓN	120
7.3 LITOFACIES Y ELEMENTOS ARQUITECTURALES	127
7.3.1 COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS	127
7.4 ARQUITECTURA FACIAL Y PALEOAMBIENTES	134
8. PETROGRAFIA DE LAS ARENAS	142
8.1 CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA PARA LAS MUESTRAS LM-12-4, LM-16-6, LM-16-7, LM-40-3, LM-40-4 ANALIZADAS. SEGÚN TRIANGULO Qz – F – L.(FOLK, 1974)	142
8.1.1 FORMACIÓN HONDA	142
8.1.2 FORMACIÓN MESA	145
9. CORRELACION ESTRATIGRAFICA	148
9.1 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS C-LM-1 Y C-LM-2, CORRESPONDIENTES A LAS SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS SE-1 Y SE-2 RESPECTIVAMENTE	148
10. ANALISIS PETROFISICOS	151
10.1 ANALISIS DE RADIOACTIVIDAD (DATOS GAMMA RAY)	162
11. CONCLUSIONES	164
12. RECOMENDACIONES	166
BIBLIOGRAFIA	167

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo referente a la metodología a realizar en este trabajo.....	29
Figura 2: Líneas de vuelo que existen para el área.	28
Figura 3: Mapa de control de contactos. En verde las estaciones realizadas a lo largo de la primera campaña de campo, las estrellas indican los lugares de levantamiento de columnas estratigráficas.	32
Figura 4: Mapa de localización del área de trabajo. (Ver mapa original del área en anexos, mapas)	38
Figura 5: Mapas adaptados de las vías destapadas y las carreteras principales de la zona de estudio.....	36
Figura 6: Compañías petroleras con bloques para la exploración de Arenas Bituminosas.	38
Figura 7. Mapa de las principales áreas de Arenas Bituminosas.....	43
Figura 8: Mapa del Valle Superior del Magdalena, Colombia, mostrando los límites de las cuencas, Honda, Girardot y Neiva. En verde una estimación de la zona de trabajo comprendida en la Sub cuenca Honda.....	42
Figura 9: Mapa geológico del extremo sur del Valle Superior del Magdalena. Se ilustra en rojo un área aproximada a la zona de trabajo, a la derecha se pueden ver las formaciones presentes en el área.	45
Figura 10: Columna estratigráfica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, mostrando en rojo las posibles litologías a encontrar en la zona de trabajo.	48
Figura 11: Principales estructuras que afectan el área de estudio. La estructura más próxima de nuestra área (indicada en rojo) se encuentra hacia el este de Armero Guayabal y corresponde a la Falla de Honda.	51
Figura 12: Mapas generados en este trabajo y explicados en los diferentes capítulos del libro. (Ver mapas originales en anexos, mapas.....	53
Figura 13: Imágenes de columnas generadas en este trabajo y explicadas en los diferentes capítulos. Ver todas las columnas en anexos.....	54
Figura 14: Ficha descripción de las muestras de roca en este trabajo. Ver anexos.	56
Figura 15: Algunas de las secciones delgadas elaboradas. Secciones correspondientes	57

Figura 16: Microscopio de luz polarizada analizada utilizado para realizar el conteo de puntos de las secciones delgadas.	58
Figura 17: Secciones delgadas analizadas bajo microscopio de luz polarizada analizada. Aumento de 5X. En la imagen se observa Cuarzo tipo policristalino.	60
Figura 18: Toma de datos de Gamma Ray con Centellometro o contador Geiger en campo.	59
Figura 19: Toma de Plugs en campo mediante taladro eléctrico.	60
Figura 20: Configuración actual de la parte sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Se observa el truncamiento del Grupo Honda con el basamento de la Cordillera Central hacia el límite occidental de la cuenca.	63
Figura 21: Deformación Presente en los estratos de la Formación Mesa. Falla inversa producto de la actividad tectónica del área debido a la estructura más cercana, la Falla Honda. Fotografía con azimut 185°.	64
Figura 22: Mapa de estaciones realizadas en la primera campaña de campo. Ver original en anexos.	68
Figura 23: Panorámica tomada desde la vía al municipio de San Pedro, se observa gran parte del área de estudio. N1Hm (Grupo Honda), NgM (Formación Mesa), Q (Cuaternario) y Pea (Neises y anfibolitas de Tierradentro). Fotografía con azimut de 295°.	70
Figura 24: Fotografía del Afloramiento del LM - 3. Fotografía con azimut de 95°.	73
Figura 25: Fotografía de detalle del afloramiento y de mostrando la litología en el lugar. Corresponde a los Neises y anfibolitas de Tierradentro (Pea).	74
Figura 26: Fotografía de parte del afloramiento presente en la Mina San Pedro. Se muestra la impregnación de hidrocarburo en las areniscas del Grupo Honda. Se evidencian los contactos entre las diferentes litologías. Fotografía con azimut de 210°.	76
Figura27: Detalle de la litología evidenciada en la Base de la columna estratigráfica, presentes en la mina San Pedro.	77
Figura 28: Conglomerados arenosos Asfálticas con contenido de azufre. Fotografía con azimut de 210°.	78
Figura 29: Areniscas conglomeráticas. Fotografía con azimut de 295°.	79
Figura 30: Contacto entre Arenisca Arcillosa (gris) con Arenisca conglomerática (marrón).	79

Figura 31: Fotografía de afloramiento que evidencia la presencia de diferentes tamaños de grano en las areniscas de la Formación San Antonio. Azimut de 85°	80
Figura 32: Afloramiento perteneciente al punto de control geológico LM-16, ubicado en la hacienda en banco. A) B) C). Fotografía con azimut de 285°	81
Figura 33: Detalle perteneciente a la región A. Arenisca Conglomerática con impregnación de bitumen. Fotografía con azimut de 200°	82
Figura 34: Conglomerado con impregnación de Bitumen	82
Figura 35: Afloramiento de las regiones B y C. Fotografía con azimut de 230°	83
Figura 36: Canales pertenecientes a la Formación Honda, los cuales se observan señalados en color rojo. Fotografía con azimut de 175°	87
Figura 37: Se observa la impregnación de bitumen en la muestra y el canal impregnado en el afloramiento.	89
Figura 38: Gneis de Tierradentro sobre la vía que de Guayabal conduce a Falan, perteneciente a la estación de control geológico LM-2, posee venillas de cuarzo paralelas al bandeamiento particular del afloramiento y se encuentra bastante deformado y plegado. Fotografía con azimut de 95°	99
Figura 39: Contacto discordante entre el basamento correspondiente a los Gneises y Anfibolitas de tierra adentro (A), y los estratos conglomeráticos de la Formación Honda, Miembro San Antonio Fotografía con azimut de 170°.(B), los cuales se encuentran suprayaciendo las rocas metamórficas. Mina San Pedro, estación de control geológico LM-12.....	101
Figura 40: Características del complejo Cajamarca. A: Morfología de montaña, laderas altas y presente sobre la topografía más alta de la zona de trabajo. B: Afloramiento de esquistos cuarzosos y anfibólicos, en el carretable que del municipio de Falan conduce a Palo Cabildo, estación de control geológico LM- 9.....	102
Figura 41: Afloramiento cubierto, compuesto de esquistos cuarzos, y venillas de cuarzo que varían de espesor. Sobre estación de control geológico LM-1. Azimut de la foto: 190°.....	103
Figura 42: Características principales de la Formación Honda en el punto de control geológico LM-12. A) Mina San Pedro. Fotografía con azimut de 210°. B) Conglomerado lítico impregnado de Bitumen. C) Gránulos de cuarzo de diferentes tamaños distribuidos de manera caótica dentro de la capa. D) Bloque in situ de madera fosilizada. E) Laminas irregulares de sulfuros. F) Laminación cruzada en las capas más finas. G) Laminación plana difusa	106

- Figura 43: Características principales de la Formación Honda en el punto de control geológico LM – 16. A): Capa de arcilla gris-verdosa la cual se encuentra suprayaciendo la capa impregnada de bitumen, que se va acuñando hacia la izquierda del afloramiento. Fotografía con azimut de 285°. B) Parte media de la secuencia donde termina la capa impregnación, justo en el límite amarillo. Y en la parte superior se repite el acuñamiento de una capa de arcilla. C) Gradación normal dentro de la secuencia media de arenas impregnadas. Fotografía con azimut de 230°.110
- Figura 44: Capa de Arcillolita hacia la parte superior de la secuencia en contacto erosivo con los conglomerados líticos sin impregnación.....112
- Figura 45: Geomorfología presentada por la formación mesa en la zona. Fotografía con azimut de 280°.....113
- Figura 46: A) Principal Afloramiento de la Formación mesa en el área (LM-40), afectada por un fallamiento inverso debido a la actividad tectónica de la Falla de Honda. Fotografía con azimut de 185°. B) Estratificación en artesa. Fotografía con azimut de 210°.....115
- Figura 47: Arcosa lítica de la Formación Mesa con laminación en artesa hacia la base, y ondulosa hacia el tope. Se aprecian las coloraciones negras que representan intercalaciones de lodolitas.....116
- Figura 48: Grandes clastos sedimentarios e ígneos esporádicos dentro de la capa homogénea de areniscas arcillosas de grano medio, indicando cambios rápidos de energía y avenidas de flujos cortos pero con alta energía. Fotografía con azimut de 210°.....117
- Figura 49: A) Tope de afloramiento perteneciente a la Formación Mesa. Punto de control geológico LM-40. Capas estratificadas horizontalmente, con clastos de roca ígnea tipo pumita. Originadas debido a la existencia de diferentes emisiones volcánicas y la acumulación por selección durante el transporte de material de menor densidad como lo es la piedra pómez. Azimut del afloramiento: 338°. B) Muestra numero LM- 40 – 7, clasificada texturalmente como litoconglomerado de roca ígnea, debido a los clastos que la componen de piedra pómez. Perteneciente al tope del afloramiento señalado en A.118
- Figura 50: Gráfico indicador de ambientes. Sorteado vs. Tamaño de grano. En rojo, cuadro indicador de la zona de estudio.121
- Figura 51: Clasificación de canales basada en la configuración de los canales, el tipo de carga y el tamaño de grano, con indicación de variables asociadas y la estabilidad relativa122
- Figura 52: Modelo Digital de Elevación en la zona de estudio donde se observan las evidencias encontradas en el área que fueron fundamentadas para inferir el tipo de ambiente.....126

Figura 53: Clasificación de litofacies.....	128
Figura 54. Clasificación de ambientes	135
Figura 55: Abanicos aluviales proximales con flujos sedimentarios gravitacionales.....	138
Figura 56: Modelo 5 propuesto por Miall (1978), areniscas y gravas, en un río de tipo meandriforme.....	140
Figura 57: Esquema donde se evidencian los modelos de sistemas fluviales identificados en la zona, superpuestos en el modelo digital de elevación.	141
Figura 58: Correlación Estratigráfica entre SE – 1 Y SE – 2, pertenecientes al Grupo Honda.	150
Figura 59: Grafico para la identificación de petrofacies, en donde se ven representadas el radio de la garganta de poro. Modificado de Winland. .	157
Figura 60 : Grafico de Lorenz o Lorenz Plot, en donde es posible observar las principales unidades de flujo.....	160
Figura 61: Grafico donde se muestra la curva obtenida de gamma ray para el delta 12.....	163
Figura 62: Grafico donde se muestra la curva obtenida de gamma ray para el delta 16.....	163

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Protocolo para toma de datos en los puntos de control geológico.	30
Tabla 2: coordenadas de reconocimiento, realizado los dos primeros días de la campaña de campo número 1.	67
Tabla 3: Relacion de procesos geodinamicos y categorias geomorfológicas. ..	71
Tabla 4: Listado de muestras de mano analizadas.	92
Tabla 5: Listado de secciones delgadas elaboradas y analizadas.	97
Tabla 6: Facies identificadas en la columna C-LM-1, Punto de control geológico LM - 12.	130
Tabla 7: Facies identificadas en la columna C-LM-2, Delta 16.	131
Tabla 8: Facies identificadas en la columna C-LM-3, Punto de control geológico LM- 40.	133
Tabla 9: Elementos arquitecturales, geometría y relaciones presentes en la columna estratigráfica C-LM-1. Delta 12.	136
Tabla 10: Elementos arquitecturales, geometría y relaciones presentes en la columna estratigráfica C-LM-2. Delta 16.	137
Tabla 11: Elementos arquitecturales, geometría y relaciones presentes en la columna estratigráfica C-LM-3. Delta 40.	139
Tabla 12: Listado de análisis petrofísicos de <i>plugs</i> para las diferentes columnas. Laboratorio de análisis petrofísicos del ICP.	153
Tabla 13: Clasificación de los tipos de roca según el radio de garganta de poro. Tomado de Salazar Rodríguez, 2004.	154
Tabla 14: Tabla de radio de garganta de poros utilizando la ecuación de Winland para el r35, aplicadas a las muestras de los deltas 12 y 16.	155
Tabla 15: Tabla en donde se muestra la asociación de facies con el tamaño de garganta de poro.	158
Tabla 16: Tabla donde se muestran los resultados de capacidad de flujo y almacenamiento junto con los <i>plugs</i>	159

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A CÁTALOGO DE MUESTRAS MACRO.....	171
ANEXO B CÁTALOGO DE MUESTRAS MICRO.....	253
ANEXO C: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: SE -1.....	283
ANEXO D: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: SE -2.....	284
ANEXO E: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: SE -3.....	285
ANEXO F: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: SE -4.....	286
ANEXO G: MAPA DE RED DE DRENAJES DEL SUR-OCCIDENTE DE ARMERO GUAYABAL TOLIMA....	287
ANEXO H: MAPA GEOLÓGICO DEL SUR OCCIDENTE DE ARMERO GUAYABAL.....	288
ANEXO I: MAPA DE PRINCIPALES ESTACIONES DE CONTROL GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO...	289

RESUMEN

TITULO¹: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ALMACENADORAS DE BITUMEN EN LOS AFLORAMIENTOS UBICADOS HACIA EL SUROCCIDENTE DE GUAYABAL EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.

AUTORES²: Laura Milena Meléndez Rueda, María Fernanda Calderón Grande

PALABRAS CLAVE: Yacimientos no Convencionales, Arenas bituminosas, Grupo Honda, Formación Mesa.

DESCRIPCIÓN

Proyecto de grado con fines netamente investigativos, para el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), en el cual se realizó la caracterización geológica de las rocas almacenadoras de bitumen, en los afloramientos ubicados hacia el suroccidente de Guayabal en el departamento de Tolima, Colombia. Esta caracterización se llevó a cabo a partir de una cartografía de 25 kilómetros cuadrados (km²), del levantamiento de columnas estratigráficas y de un muestreo sistemático de las rocas almacenadoras de bitumen en el área de interés, se realizaron pruebas de laboratorio tales como porosidad, permeabilidad y petrografía, que junto con las características estratigráficas permitieron determinar los ambientes de formación y la calidad de la roca almacenadora. Se realizaron catálogos de muestras y el levantamiento de 3 columnas estratigráficas locales y una generalizada, de estas se pudo identificar litofacies de tipo Gmg, Gt, Gh, Sm, Sh, St y Fsm, que una vez determinadas generan una idea de un modelo y ambiente de depositación mediante la clasificación de elementos arquitecturales.

Los análisis de petrofísica se restringen a 14 *plugs*, debido a que pertenecen a zonas con impregnación de bitumen que se consideran las áreas de mayor interés para los objetivos de este trabajo. Se realizaron pruebas de laboratorio de porosidad y permeabilidad, los cuales mediante la ecuación del r35 y el análisis del grafico para la identificación de petrofacies de Winland (1980) tomado de SALAZAR, J. P., 2004, generaron una idea de la calidad de la roca. Adicionalmente a esto se realizó un análisis mediante el Lorenz Plot, que brindo una idea más precisa de las principales unidades de flujo, con esto se encontraron las rocas con mejor calidad las correspondientes a los *plugs* 1, 3, 4, 5, 6, 7 pertenecientes al delta 12 y el *plug* 15 al delta 16, todos atribuidos a las facies Gm.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Fisicoquímicas, Escuela de Geología, Director: Geólogo PhD. Luis Enrique Cruz, Codirector: Geólogo Candidato a MSc. José Ricardo Sandoval, Universidad Industrial de Santander

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE STONES STORING OF BITUMEN IN THE OUTCROPS OF THE SOUTHWESTWARD OF VILLAGE GUAYABAL, PROVINCE OF TOLIMA, COLOMBIA³.

AUTHORS⁴: María Fernanda Calderón Grande, Laura Milena Meléndez Rueda

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

DESCRIPTION

In this investigative project was carried out to the Colombian Petroleum Institute (ICP), in which it was performed the geological characterization of bitumen storing rocks in the outcrops located in the southwestward of village Guayabal, province of Tolima, Colombia. This characterization was performed from a 25 square kilometers (km²) mapping, from the construction of stratigraphic columns and some sampling of stones storing of bitumen at this area. It was performed some laboratory test like porosity, permeability, and petrography, besides the stratigraphic characteristics to let us identify formation environments and the quality of stones storing.

Catalogues of specimens and the lifting of 3 local stratigraphic columns and a generalized were carried out, of these lithofacies of Gmg type could be identified, Gt, Gh, Sm, Sh, St and Fsm. Once they are done, they generate an idea of a model and environment of deposition by the classification of architectural elements.

Petrophysical analyses are restricted to 14 *plugs*, they belong to areas with impregnation of bitumen which are considered areas of greatest interest to the objectives of this work. Testing laboratory analysis for porosity and permeability, which generated an idea of the quality of the rock by the equation of the r35 and the analysis of the graph for the identification of petrofacies Winland (1980) from SALAZAR, J. P., 2004, was performed. In addition to this an analysis by Lorenz Plot, here's an idea more precise the main flux units, with this the corresponding to the plugs 1, 3, 4, 5, 6, 7 belonging to the delta 12 and 15 belonging to delta 16 plug, all were found as the rocks with best quality attributed to the Gmg facies.

³ Research Project

⁴ Physical-Chemistry Faculty, Geology School, Director: Geologist PhD. Luis Enrique Cruz, Codirector: Geologist Jose Ricardo Sandoval. Universidad Industrial de Santander

INTRODUCCION

El objetivo de los proyectos exploratorios de Ecopetrol se basa en determinar el potencial de recursos de arenas bituminosas en Colombia, sin embargo la información que existe actualmente para esta determinación es limitada. Al suroccidente del municipio Armero Guayabal se cuenta con información aislada de pozos exploratorios y coordenadas de varios rezumaderos. Se desconoce la distribución del sistema roca – fluido.

El desarrollo de este proyecto se lleva a cabo en el sector norte del departamento del Tolima, en el área de influencia de los municipios de Lériá, Líbano y Armero Guayabal. Geográficamente el sector comprende parte del piedemonte oriental de la Cordillera Central y el costado occidental del extremo sur del Valle Medio del Magdalena. Por tal motivo la caracterización geológica se llevó a cabo a partir de una cartografía de 25 kilómetros cuadrados (km²) a escala 1:25000, del levantamiento de columnas estratigráficas y de un muestreo sistemático de las rocas almacenadoras de bitumen en el área de interés. Se realizaron pruebas de laboratorio tales como porosidad, permeabilidad, saturación de aceite, densidad de granos y petrografía de las rocas muestreadas, que junto con las características estratigráficas permitieron determinar los ambientes de formación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los factores estratigráficos, sedimentológicos y petrofísicos que intervienen para que se den las manifestaciones a nivel superficial de impregnaciones de bitumen y la posibilidad de una continuidad estratigráfica en las rocas aflorantes en las cercanías de los municipios de Lérída y Guayabal?

La creciente crisis petrolera en el mundo se ha venido evidenciando en la relación entre las reservas mundiales conocidas y la producción; es evidente que las reservas de hidrocarburos han alcanzado sus puntos máximos; esta problemática ha sido la causa fundamental del aumento de los precios del crudo, con llevando a la urgente necesidad de encontrar y explotar nuevos yacimientos de hidrocarburos, incluso aquellos que anteriormente por sus costos de extracción no eran económicamente viables, los llamados yacimientos no convencionales.

Entre estas opciones no convencionales se encuentran las rocas almacenadoras de Bitumen, cuya presencia en el territorio nacional aparece como una posible solución de nuevos campos productivos ante la demanda energética.

Al Suroccidente de Guayabal se cuenta con información aislada de pozos exploratorios y coordenadas de varios rezumaderos pero se desconoce la distribución del sistema roca – fluido, por lo cual es de gran interés establecer un estudio de caracterización geológica de las rocas almacenadoras de bitumen del área, para confirmar o descartar la potencialidad de la zona.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los hidrocarburos cumplen un papel importante en la sociedad y en el desarrollo de la misma, además de esto, la disminución de los yacimientos convencionales ha incrementado la exploración de nuevas alternativas para el hallazgo de este georecurso, por tal motivo la realización trabajos de investigación acerca de los yacimientos de hidrocarburos no convencionales aumenta.

El Valle Superior del Magdalena es por excelencia una cuenca con alto potencial de hidrocarburo, es allí donde la mayoría de pozos petroleros toman lugar y donde por décadas han realizado trabajos de investigación que permitieron la caracterización geológica de las diferentes rocas almacenadoras, por otro lado, la zona sur de Valle Superior del Magdalena cuenta con información puntual sobre la presencia de impregnaciones de hidrocarburos no móviles en algunos cuerpos de roca.

A pesar de los reportes sobre la presencia de bitumen aflorante en las zonas aledañas al municipio de Lérída y al suroccidente del municipio de Guayabal, donde existe información aislada de pozos exploratorios y varios rezumaderos, la escasez de información detallada referente a la roca almacenadora y a sus propiedades petrofísicas, hace necesario un estudio enfocado en determinar las características sedimentarias y estratigráficas de la roca en la cual se encuentran las impregnaciones de bitumen.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Caracterizar sedimentológica, estratigráfica y petrofísicamente las rocas almacenadoras de bitumen que afloran al suroccidente de Guayabal, en el Departamento de Tolima, Colombia.

Objetivos Específicos

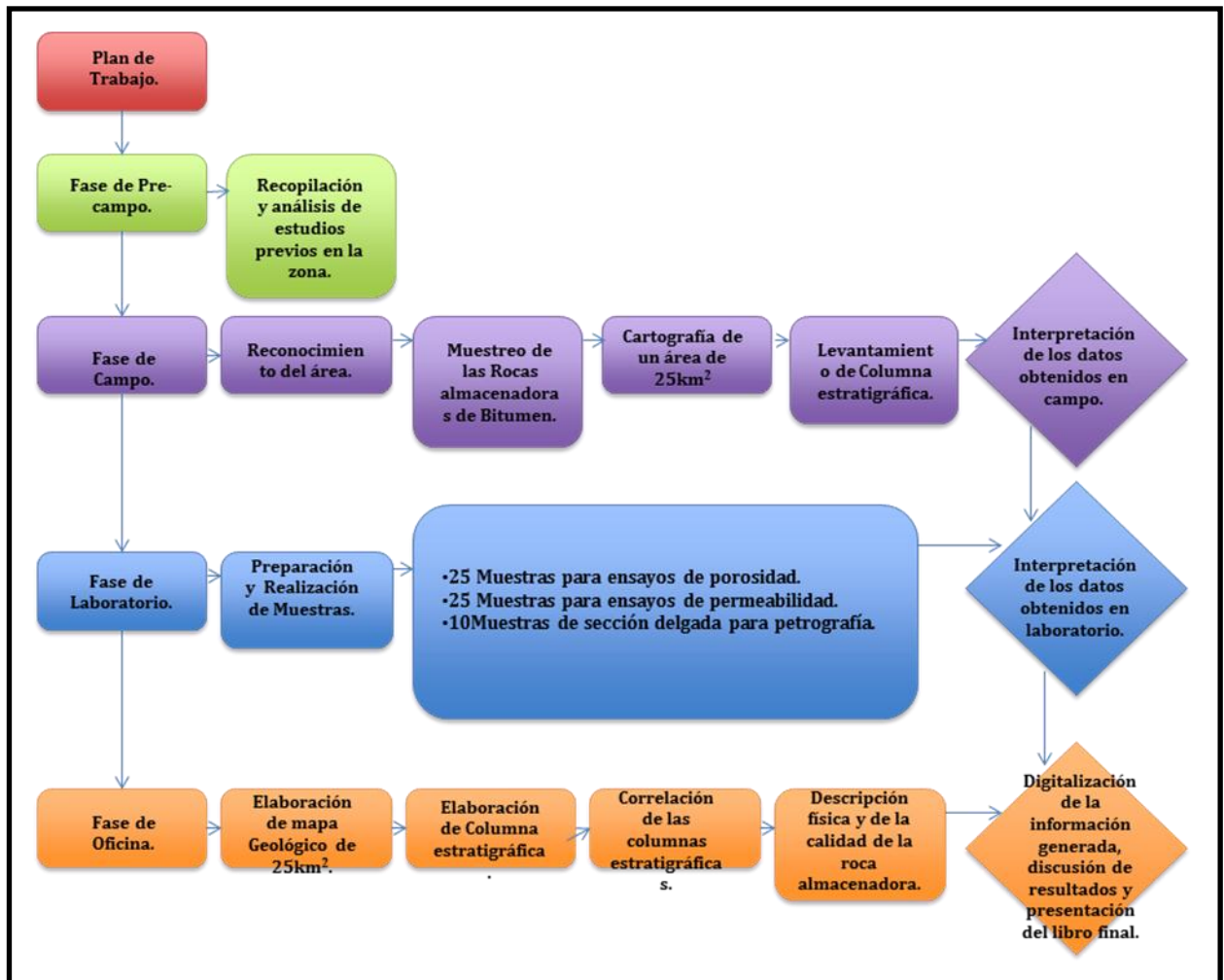
- Realizar la cartografía del sur occidente de Guayabal, Tolima en un área de 25 Km² a escala 1:25.000.
- Realizar el levantamiento de 200 m de columnas estratigráficas de la zona de interés.

Identificar el ambiente de depositación y la distribución espacial de las facies de las rocas almacenadoras de bitumen y establecer su correlación en los diferentes afloramientos.

- Realizar la correlación estratigráfica de los datos recolectados en campo, con información de pozos aislados en la zona de interés.

1. METODOLOGÍA

Figura 1. Diagrama de flujo referente a la metodología a realizar en este trabajo.



Para la elaboración de este trabajo de carácter investigativo se llevó a cabo la realización de tres etapas de desarrollo primordiales, dentro de las cuales se utilizaron diferentes herramientas con el fin de cumplir con los objetivos propuestos.

1.1 ETAPA DE RECOPIACIÓN

1.1.1 Bibliografía

Para esta primera fase se realizó una recopilación bibliográfica de la zona de estudio, en donde se buscaron artículos relacionados con la Cuenca del Valle Medio del Magdalena y la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, con el fin de generar los precedentes geológicos del área y su evolución tectónica.

Para ello se consultaron diferentes bases de datos, tales como: La base de datos del Instituto Colombiano del Petróleo (CIT), centro de información técnica. Base de datos bibliográficos de la Universidad Industrial de Santander. Revista científica de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander: Boletín de Geología. Bases de consulta de la AAPG, American Association of Petroleum Geologists.

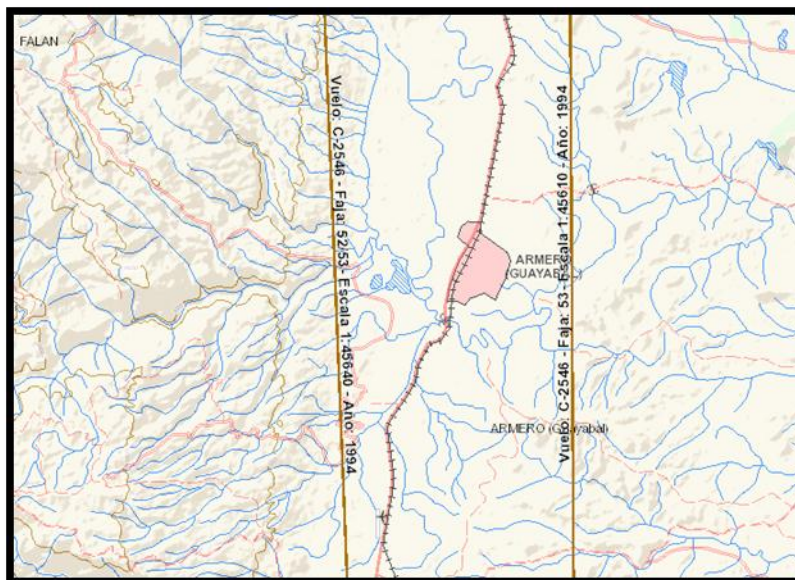
Todas estas fuentes son utilizadas para soportar y complementar nuestro trabajo realizado tanto en campo como en oficina y se mencionan a lo largo del libro, en diferentes capítulos.

1.1.2 Cartografía y fotogeología

- Mapas: Para la realización de los mapas de campo se tomó en cuenta la cartografía 1:100.000 de Barrero, D. & Vesga, C. J (1976), el mapa geológico del cuadrángulo K9 (Armero), y se modificó la Plancha N° 207 (Departamentos del Tolima, Cundinamarca y Caldas) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, escala 1:100.000, para poder generar el mapa topográfico preliminar del suroccidente de Armero Guayabal, Tolima a escala 1:25.000.
- Fotogeología: Previamente a la primera campaña de campo se buscó realizar una fotogeología del área. Para esto se recopilaron imágenes aéreas pertenecientes al IGAC (Instituto Colombiano Agustín Codazzi),

el vuelo más cercano que toma el área de estudio es el correspondiente a: C-2546 – Faja: 52/53 – Escala: 1:45640 – Año 1994 y C-2546 – Faja: 53 – Escala 1:45610 – Año 1994; Las cuales solo abarcan el casco urbano del municipio de Guayabal, y no el área total de estudio correspondiente al sur occidente de Guayabal Tolima. Por lo tanto no fue posible llevar a cabo esta etapa debido a la ausencia de líneas de vuelo en el área estipulada.

Figura 2: Líneas de vuelo que existen para el área.



Fuente: IGAC, 2013

1.2 ETAPA DE CAMPO

Inicialmente para el correcto desarrollo de esta tesis de grado se estipuló realizar dos campañas de campo, que abarcaran los municipios de Armero Guayabal, Falan, Palo Cabildo, San Pedro, y Méndez Tolima y cubrieran el propósito planteado para el proyecto, en el que se realizaron, un

reconocimiento del área, muestreo sistemático, cartografía en un margen de 25km² a escala 1:25.000 y un levantamiento de columnas estratigráficas.

1.2.1 Primera campaña de campo

Se desarrollo a lo largo de 10 días de trabajo y tuvo como objetivo realizar un reconocimiento del área, ubicar las vías de acceso, reconocer los afloramientos con impregnación de bitumen, definir las litologías presentes y ubicación de contactos mediante la cartografía 1:25.000 de la zona, donde se realizaron puntos de control geológico desarrolladas mediante un protocolo, estipulado en la Tabla 1. En esta etapa se recopilaron 82 muestras de roca para descripción y clasificación, con el fin de determinar el ambiente de depositación. También se recopiló un catalogo fotográfico de cada punto de interés geológico.

1.2.2 Segunda campaña de campo

La segunda campaña de campo, que tuvo lugar a lo largo de 10 días de trabajo, fueron necesarios, un taladro de mano con una broca punta de diamante de una pulgada para la toma de *plugs* y un Centellometro de mano para el registro gamma ray. Aquí se cumplieron los objetivos planteados al inicio del proyecto, se levantaron 3 columnas estratigráficas detalladas a escala 1:100 y una columna estratigráfica general del área de trabajo con igual escala. También con la ayuda del taladro de mano se tomaron 26 *plugs* para análisis petrofísicos tales como saturación de fluidos, porosidad y permeabilidad, de las 3 columnas estratigráficas levantadas, con el fin de tener un registro de la muestra, y también se utilizó el Centellometro perteneciente a la Universidad Industrial de Santander para la toma de registro Gamma Ray en los lugares donde se levantaron las columnas estratigráficas.

Hubo inconvenientes ya que no se contó con muchos afloramientos en toda la zona de trabajo, debido a que las litologías de mayor interés se encuentran erosionadas. Adicional a esto, para la extracción de *plugs*, la textura gravosa

de la roca no favorecía en la obtención de los mismos, lo que hizo que el total de *plugs* fueran menos de los propuestos en un principio.

Tabla 1: Protocolo para toma de datos en los puntos de control geológico.

PROCESO PARA EL DESARROLLO DE CAMPO
1. Nomenclatura de la estación de trabajo
2. Localización del afloramiento (coordenadas GPS y geográficamente)
3. Ubicación en el mapa guía
4. Toma fotográfica panorámica y orientación de la misma
5. Esquema del afloramiento
6. Descripción del afloramiento
7. Toma de datos estructurales
8. Toma de fotografías cercanas al afloramiento
9. Levantamiento de columna (de ser requerido)
10. Toma de muestras y marcación respectivamente

1.3 ETAPA DE LABORATORIO

En esta fase se realizaron todos los análisis de las muestras obtenidas en campo, se enviaron los *plugs* a los laboratorios del Instituto Colombiano del

Petróleo (ICP) para los respectivos análisis petrofísicos de porosidad y permeabilidad.

Se realizó la descripción y clasificación de las 82 muestras de rocas, tanto ígneas, metamórficas y sedimentarias y de estas se escogieron 10 muestras ubicadas en las columnas estratigráficas para la elaboración de sección delgada y análisis microscópico.

1.4 ETAPA DE OFICINA

Aquí se realizaron los respectivos análisis de los resultados obtenidos en la fase de laboratorio y se tuvo en cuenta todos los datos para poder generar las conclusiones y los resultados descritos a lo largo de este informe.

Se elaboraron 3 columnas estratigráficas detalladas y una columna estratigráfica generalizada de toda la zona de trabajo, así como el mapa geológico a escala 1:25.0000. Finalmente en esta fase se realizaron los catálogos microscópico, macroscópico y fotográfico.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se eligieron 3 zonas de interés ubicadas estratégicamente para cumplir con el propósito del trabajo, caracterizar sedimentológica, estratigráfica y petrofísicamente las rocas almacenadoras de bitumen que afloran al suroccidente de Armero Guayabal y tener un control más detallado de las 3 áreas ya determinadas previamente.

Para la zona 1, se eligió el punto de control geológico LM- 16 (Ver descripción de estaciones) que responde a las coordenadas: X: 1'056.209 Y: 909.381 Z: 366m, esta estación corresponde a una mina abandonada, de donde se extraía roca impregnada de hidrocarburo. Se trata de arenisca impregnada de bitumen, o comúnmente llamada asfaltita. La mina es de propiedad privada se encuentra ubicada en el interior de la Hacienda el Banco, sin embargo fue permitido el ingreso y la toma de muestras, aquí se levantó una columna estratigráfica y se seleccionaron muestras para un posterior análisis petrofísico.

La zona dos corresponde al LM - 40, para el caso de esta estación, no se encontraron impregnaciones de bitumen en la roca; se trata de la Formación Mesa de edad Plioceno. Corresponde a una roca compuesta de arena de tamaño grueso, de color grises opacos, de buena compactación, en el lugar se observa una interesante exposición de roca y un contacto entre la Formación Mesa y la Formación San Antonio del Grupo Honda, se decidió levantar una columna estratigráfica y seleccionar muestras de interés.

En la zona tres se levantó columna estratigráfica, en la estación LM - 12, se trata de un lugar donde se evidencia la presencia de hidrocarburo impregnado en la roca, la litología va desde arcillolitas y areniscas con diferentes tamaños de grano, desde cantos a arenas de grano fino. Aquí se puede apreciar el bitumen palpable en la roca.

2. GENERALIDADES

2.1 Localización

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector norte del departamento del Tolima, en el área de influencia de los municipios de Lérica, Líbano y Guayabal – Armero (Figura 1). Geográficamente el sector comprende parte del piedemonte oriental de la Cordillera Central y el costado occidental del extremo sur del Valle Medio del Magdalena.

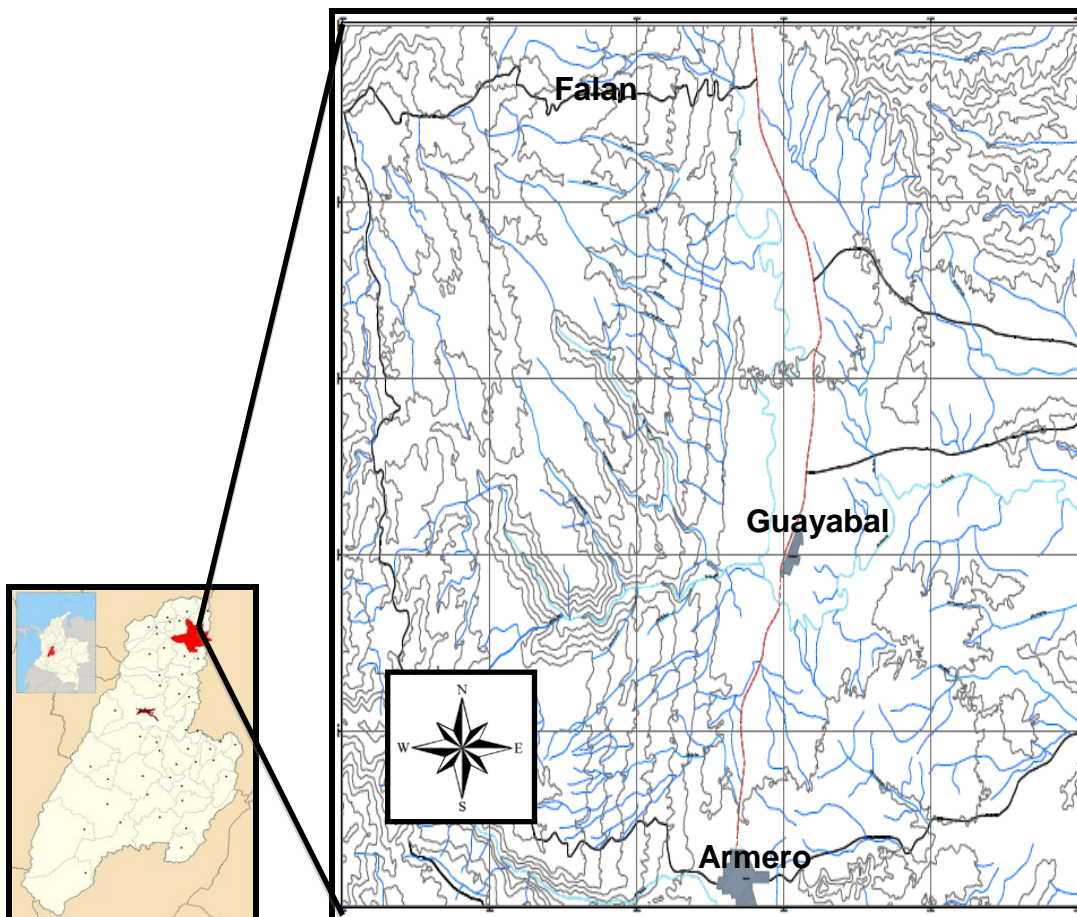
Estas dos regiones geográficas están limitadas por un sistema de fallas inversas, Vergara, 1989, con orientación N-S, ubicado al occidente de las poblaciones de Lérica, Armero y Mariquita, Mojica et. al, (1985). La topografía en la zona varia (con excepción de Lérica, ubicada por encima de los 1000m de altura) desde colinas y serranías de hasta 500m de altura aproximadamente (en el piedemonte oriental de la Cordillera Central), planicies menos elevadas (abanicos de Lérica y Guayabal), y valles amplios relativamente más bajos, relacionados de manera directa con los ríos Recio, Lagunilla, Sabandija y Gualí, que constituyen los ríos principales del sector y descienden directamente desde el Nevado del Ruíz. El drenaje corre en general hacia el oriente y nororiente, puesto que predominan las pendientes hacia el Río Magdalena.

Corresponde a la plancha K9 ($4^{\circ} 35'56,57''$ N – $74^{\circ}04'51,30''$ W) del Servicio Geológico Colombiano, y localizada en las coordenadas planas referidas a Bogotá:

X: 1'040.000 y Y: 895.000

X: 2: 1'060.000 y Y: 920.000

Figura 4: Mapa de localización del área de trabajo. (Ver mapa original del area en anexos, mapas). Imagen izquierda: Departamento del Tolima, tomado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Armero_Guayabal. Imagen derecha: mapa de drenajes del area de trabajo, tomado de este trabajo.



2.2 Vías de acceso

El municipio de Armero- Guayabal en el departamento del Tolima Colombia, cuenta con 2 principales vías de acceso que incluyen, la ciudad de Bogotá D.C por el cruce de Armero, o por el Municipio de Honda y Mariquita; estas carreteras se encuentran en buen estado, sin embargo para tener un mejor barrido del área fueron utilizadas vías destapadas.

Figura 5: Mapa adaptados de las vías destapadas y las carreteras principales de la zona de estudio



Fuente: Secretaría de obras públicas transporte y comunicaciones de Armero Guayabal, (2006).

3. MARCO TEORICO

3.1 YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

Los yacimientos no convencionales, SOUSA, G., (2005). son los que no producen tasas económicas de flujo. Se presentan en acumulaciones predominantemente regionales, y la mayoría de las veces independientes de trampas estratigráficas o estructurales.

Este tipo de yacimientos presenta bajas permeabilidades, menores a 0.1 MD por lo general, porosidades menores al 10% ya sea primaria o secundaria y pobres propiedades petrofísicas.

En los yacimientos no convencionales podemos encontrar arenas apretadas de gas, carbonatos apretados, capa de gas de carbón, hidrocarburos de carbonatos y areniscas naturalmente fracturadas, petróleo pesado, gas de lutitas y arenas bituminosas que son el objetivo de la investigación de esta tesis de grado.

Actualmente la acelerada declinación de los yacimientos tradicionales y la dificultad de descubrir nuevos, la creciente demanda y los altos precios de los hidrocarburos, hace que los yacimientos no convencionales adquieran mayor interés, lo cual conducirá a un mayor desarrollo de las tecnologías para la explotación de los mismos.

Colombia tiene 7 bases de hidrocarburo y gas no convencional (Ver Figura 6), es considerado el 3 país en sur América con el mayor potencial para reservorios no convencionales después de Argentina y Brasil, considerados con el clima más favorable de inversión. Se han identificado 19 bloques con potencial no convencional y se estiman que 18 pozos exploratorios serán desarrollados entre 2013 y 2016.

Figura 6: Compañías petroleras con bloques para la exploración de Arenas Bituminosas.

Schedule of industry intention of exploratory drilling for unconventional reservoirs					
COMPANY	BLOCK	2013	2014	2015	2016
Vetra (Rights transfer process to Exxon Mobil)	VMM2	3Q			
Patriot (Rights transfer process to Exxon Mobil)	VMM37	3Q	1Q y 2 Q		
Ecopetrol - Exxon Mobil	COR 62		1Q o 2Q		
	VMM 29		1Q o 2Q		
	COR 46				1Q (?)
Shell	VMM 27	Stand by- Env License (conv)			
	VMM 3	3Q	1Q		
	VMM 28		1Q		
Nexen	Barbosa		1Q	2Q	3Q
	Chiquinquirá	4Q	3Q		
Canacol	Santa Isabel	1Q (?)			
Drummond	La Loma	2Q?	2Q?		

Fuente: Emerging Shale & Tight Oil Basins”. Agencia Nacional de Hidrocarburos Colombia. Orlando Cabrales Segovia. Buenos Aires, Febrero de (2013)

Para enfocarnos un poco en la principal temática de este trabajo de investigación, hablaremos un poco del marco teórico que encierran las arenas bituminosas, regionalizando después nuestro estudio al área de interés con antecedentes históricos, en la región de Armero Guayabal en el departamento del Tolima (Colombia).

3.2 ARENAS BITUMINOSAS

Con una oferta del petróleo cada vez más baja y las reservas mundiales de petróleo cada vez más agotadas, donde los pozos que se encuentran no son tan abundantes y donde la mayor fuente de energía de los países desarrollados es el petróleo. Es necesario encontrar nuevas formas de solventar las necesidades del mundo.

Canadá ha ganado la séptima plaza en la producción mundial de petróleo, para el 2004 producía 3.1 millones de barriles diarios, según la revista Oil and Gas Journal las reservas de petróleo canadiense se calcula en 178800 millones de barriles de petróleo, por lo que se ha colocado no solo como el principal

proveedor de hidrocarburos de los Estados Unidos sino que cuenta con las mayores reservas petroleras. El 95% de estas reservas están en las arenas bituminosas o también llamadas Oil Sands. En promedio, el bitumen contiene 83,2% de carbón, 10,4% de hidrógeno, 0,94% de oxígeno, 0,36% de nitrógeno y 4,8% de azufre. (Yildirim ,2003).

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 hidrogeno; 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 comparado 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. (Yildirim ,2003).

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 [Zambrano, 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.

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)

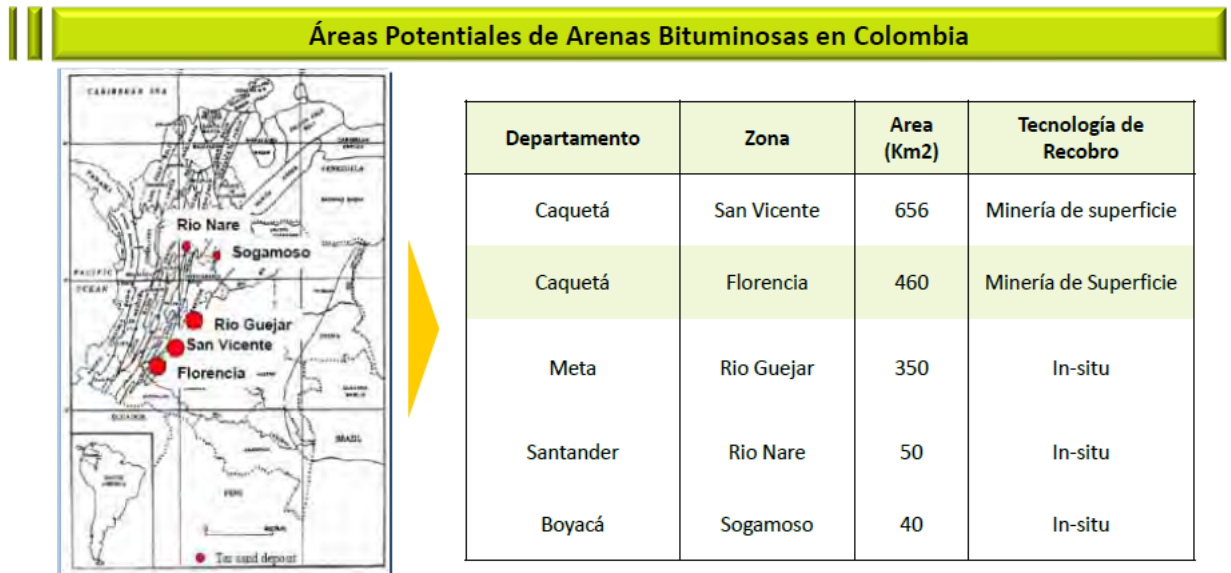
La mayoría de los petróleos pesados y asfalto contienen una cantidad significativa de asfáltenos, a menudo tan alta como 22% en peso. La presencia de asfáltenos es la razón principal de la alta viscosidad de estos aceites. Yildirim, (2003).

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. Yildirim, (2003)

En Colombia, hablar de arenas bituminosas es un tema relativamente reciente, se le apuestan a proyectos de exploración e investigación, que nos den una idea de la cantidad de reservas con las que cuenta el país y su ubicación.

Figura 7. Mapa de las principales áreas de Arenas Bituminosas

Volumen Potencial estimado por Arthur D. Little Inc.: 20 a 40 GBPE.



Fuente: Innovación en los Sectores de la Minería y la Energía. Javier Gutiérrez Pemberty. ECOPETROL. 2009

3.3 ANTECEDENTES

El norte de los Andes en Colombia resultó de una interacción compleja entre la esquina NW de la placa continental de Sur América y las placas oceánicas de Nazca y del Caribe. Ego et al., (1996); Cortes, (2004); Cortes, (2006).

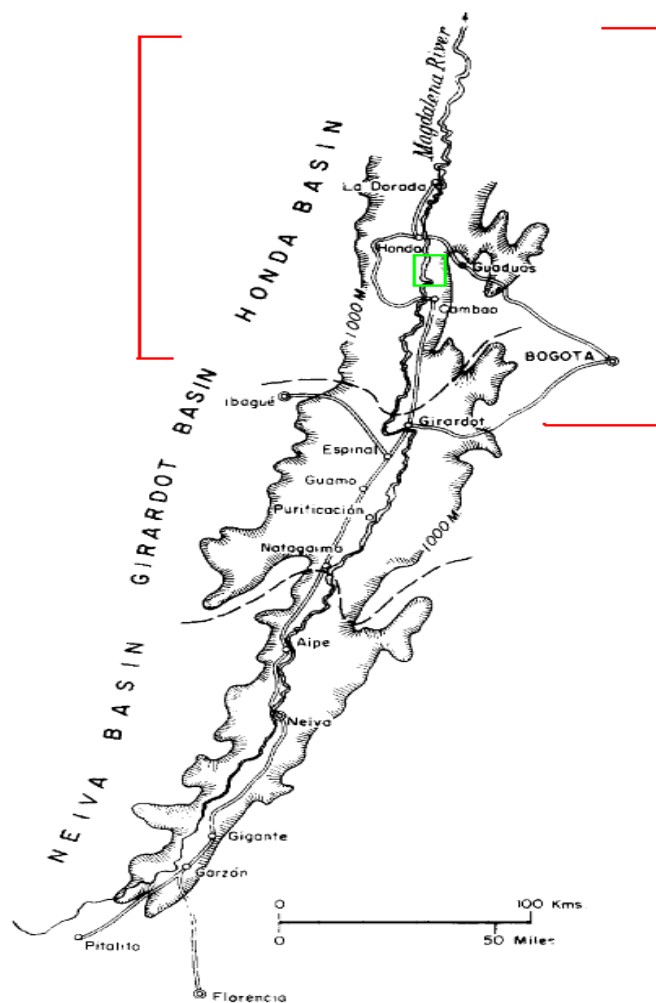
La posición del límite entre las cuencas del Valle Superior y Valle Medio del Magdalena ha sido muy controvertido, DePorta (1965-1969) lo sitúa en la Barrera de Guataquí-Piedras, donde el cretácico de la Cordillera Oriental forma un haz de pliegues relativamente apretados que atraviesan el valle. Por su parte Mojica y Bayer(1987) consideran que cuando se tiene en cuenta el tipo de basamento económico como las rocas intrusivas y vulcanosedimentarias Triásico-Jurásicas de la Formación Saldaña en el VSM y las capas rojas de la Formación Girón en el VMM el límite entre esas dos cuencas debería ubicarse a la altura de la ciudad de Honda.

El límite entre el Valle Superior del Magdalena (VSM) y el Valle Medio del Magdalena (VMM) debe encontrarse en el tramo comprendido entre un poco al norte de Girardot y la ciudad de Honda, y ha de estar marcado por elementos estructurales como la Falla de Cambao, falla de Honda y/o diferencias en el tipo de edad del basamento económico, estructura y evolución tectónica del valle medio y superior del Magdalena, Mojica, J. & Franco, R. (1990). Debido a la incertidumbre que existe sobre el lugar exacto que limite estas dos cuencas vamos a tomar la zona de estudio comprendida en el municipio de Armero Guayabal en el Tolima como parte de la cuenca del Valle Superior del Magdalena, basándonos en la propuesta de Mojica y Franco, (1990), Van Houten, (1968).

Para Mojica y Franco, (1990), el VSM es una depresión alargada en la dirección NNE-SSW que separa la mitad meridional de las Cordilleras Central y Oriental, Mojica y Dorado, (1987), y se extiende desde el sur de Pitalito en el Departamento del Huila hasta el Norte del municipio de Honda en el Departamento del Tolima.

Desde un punto de vista geológico el VSM es una estructura bien marcada, delimitada en los bordes por fallas inversas, es claro que el paso de la falla de Ibagué, a través del Valle del Magdalena determina un cambio radical en el estilo estructural, ya que es a partir de dicha línea hacia el norte, donde se encuentra el fallamiento normal que caracteriza el costado occidental de VMM.

Figura 8: Mapa del Valle Superior del Magdalena, Colombia, mostrando los límites de las cuencas, Honda, Girardot y Neiva. En verde una estimación de la zona de trabajo comprendida en la Sub cuenca Honda.



Fuente: Cenozoic Deposits Upper Magdalena Valley Colombia, Van Houten, 1968

Para Mojica y Franco, (1990), el VSM ha sido subdividido en dos unidades: la Subcuenca de Neiva al sur y la Subcuenca de Girardot al norte, ya que el Grupo Honda reposa en la región del Arco de Natagaima y este habría iniciado su movimiento de ascenso durante el Terciario para Bucheli y Gonzales (1986), la edad o tiempo de exposición es Oligocena. Por otra parte y muy aceptado a nuestro criterio Van Houten y Travis 1968, separan una subcuenta de Honda, localizada al norte de la Subcuenca de Girardot, esta zona representa la zona de transición y conflicto entre el Valle Superior y el Valle Medio del Magdalena.

3.4 EVOLUCION TECTONICA

El análisis de la información conocida, nos sugiere que el VSM es producto de diversos eventos tectónicos de finales del paleozoico, que en resumen para Mojica y Franco (1990), se pueden ubicar en dos ciclos:

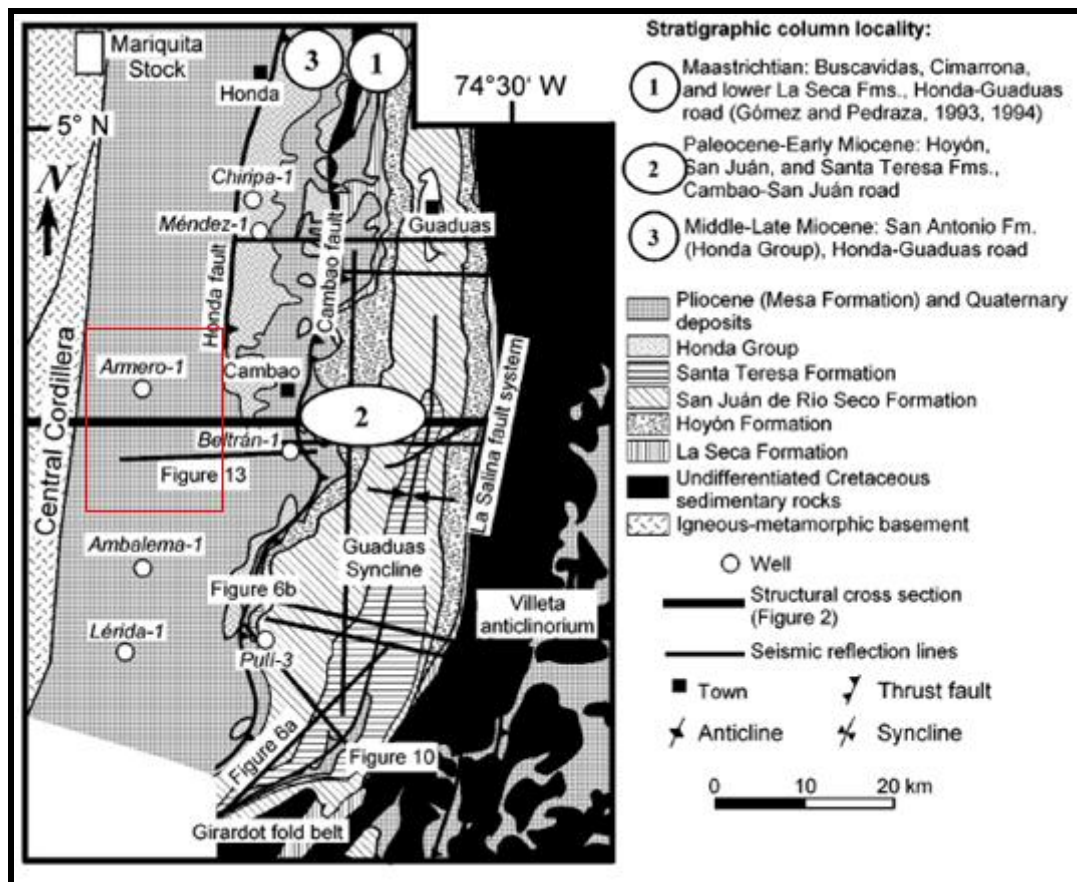
Primero la *“Tectónica Distensiva”*, del Paleozoico Tardío o Mesozoico Temprano y Terciario Temprano, Mojica y Franco (1990), que comprende la formación de un graben supracontinental que afectado por fallamiento normal subside y se rellena de materiales ante todo continentales durante el Triásico y el Jurásico Inferior, sumado a esto hubo un periodo de no depositación en el Jurásico Medio y buena parte del Cretácico. Para el Aptiano la reactivación de movimientos verticales en la corteza terrestre que favoreció la formación de fallas de gran ángulo y permitió la acumulación de las Formaciones Yavi-Caballos y el Grupo Villeta. Una posterior regresión marina a fines del Cretácico permitió la depositación de la Formación Guadalupe y el Grupo Guaduas.

3.5 GEOLOGIA DEL EXTREMO SUR DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA

Teniendo en cuenta la evolución mostrada anteriormente de la cuenca del Valle Superior del Magdalena, se muestra un resumen de las posibles litologías a encontrar en el área de trabajo como parte de la revisión bibliográfica, tomando como base las planchas 207 y K9 del Servicio Geológico Colombiano (anterior INGEOMINAS), se encontraron las siguientes formaciones: Formación Santa Teresa, Neises y Anfibolitas de Tierradentro, Formación Mesa y Grupo Honda: dividido en 3 formaciones, la Formación Cambrás, la Formación San Antonio y la Formación Los Limones (figura 9).

La Formación Santa Teresa (Figura 10), cuenta con un espesor de 430 m de espesor, los sedimentos que se encuentran por encima de la Formación San Juan de Río Seco se compone de lutitas, areniscas laminadas cruzadas, la parte superior de esta formación se compone de lutitas grises con restos de bivalvos y gasterópodos, estos contienen también materia orgánica de origen marino o lacustre. Gómez, (2003).

Figura 9: Mapa geológico del extremo sur del Valle Superior del Magdalena. Se ilustra en rojo un área aproximada a la zona de trabajo, a la derecha se pueden ver las formaciones presentes en el área.



Fuente: Gómez, *et al.*, 2003

Los Neises y Anfibolitas de Tierradentro, es una Unidad definida por De porta 1966 en Barrero y Vesga (1976). Representa una franja alargada de dirección N-NE aflorante en las estribaciones orientales de la Cordillera Central, cuya litología consiste primordialmente de neises cuarzofeldespáticos, neises

anfíbolicos y anfíbolitas, con cantidades subordinadas de mármoles, cuarcitas y granulitas. Vesga y Barrero (1976) obtuvieron una edad de 1360 ± 270 m.a. confirmando la edad proterozoica de esta unidad. Núñez, (2001)

El Grupo Honda el término Honda fue creado por Hettner (1895). A partir de entonces ha sido objeto de numerosas interpretaciones. De porta (1966) eleva el término a la categoría de grupo, el cual comprende de base a techo las siguientes unidades litoestratigráficas: Formación Cambrás, Formación San Antonio con tres miembros (Miembro Flor Colorada, Miembro Los Cocos y Miembro La Ceibita) y la Formación Los Limones.

Esta formación se encuentra en el extremo sur de la cuenca del Valle Medio del Magdalena, se produce solo al oeste de la falla de Cambao y alcanza 3600 m de espesor.

Al oeste de la Falla de Honda, la base del Grupo Honda es una discordancia que trunca con los estratos equivalentes a la Formación San Juan de Rio Seco, esta discordancia desaparece hacia el este en las faldas de la Cordillera Oriental. Las Formaciones Cambrás y San Antonio, se componen de conglomerados y areniscas y lutitas de estratificación cruzada. La diferencia principal entre estas unidades es la presencia de fragmentos piroclásticos en la Formación San Antonio que no están presentes en la Formación Cambrás. La Formación Los Limones, se compone de lutitas rojas y areniscas, esta unidad es objeto de estudio principalmente por sus depósitos aluviales recientes.

Formación Cambrás: Es una sucesión de areniscas, shales y arcillolitas de color rojo y gris con algunos conglomerados. Su característica más notable es la ausencia de elementos volcánicos. (De Porta, 1966)

Formación San Antonio: Conformada básicamente de gravas y arenas con algunas intercalaciones de lutitas. Presenta cantos de dacita y andesita, este carácter aumenta hacia la parte superior de la formación. Tiene presencia de rocas volcánicas que van disminuyendo hasta desaparecer hacia la base. (De Porta, 1966)

Formación Los Limones: Miembro Superior del Grupo Honda, el cual está conformado por sedimentos finos, arenas y lutitas de color rojo y sin elementos volcánicos. Representa un cambio completo en la sedimentación con la desaparición de las rocas volcánicas, lo que coincide con el predominio casi absoluto de sedimentos rojos (lutitas) y arenas de grano fino y arcilla. (De Porta, 1966)

La Formación Mesa, se describe como una alternancia de gravas de rocas metamórficas, cuarzo y principalmente rocas de tipo volcánico: dacita y andesita, con algunos niveles ricos en piedra pómez. Los cantos de rocas ígneas y sedimentarias, si bien están presentes, se encuentran en pequeña proporción. De Porta, (1966).

En Gómez (2003), se describe como una unidad vulcanoclástica de 400 m de espesor que superpone al Grupo Honda, esta formación se derivó de una erosión durante el Plioceno de la Cordillera Central.

Ambientes de sedimentación son diversos, abanicos aluviales con afluentes en la Cordillera Central, causaron represamiento del drenaje hacia el norte en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, lo cual llevo a una sedimentación lacustre transitoria. Butler, (1942).

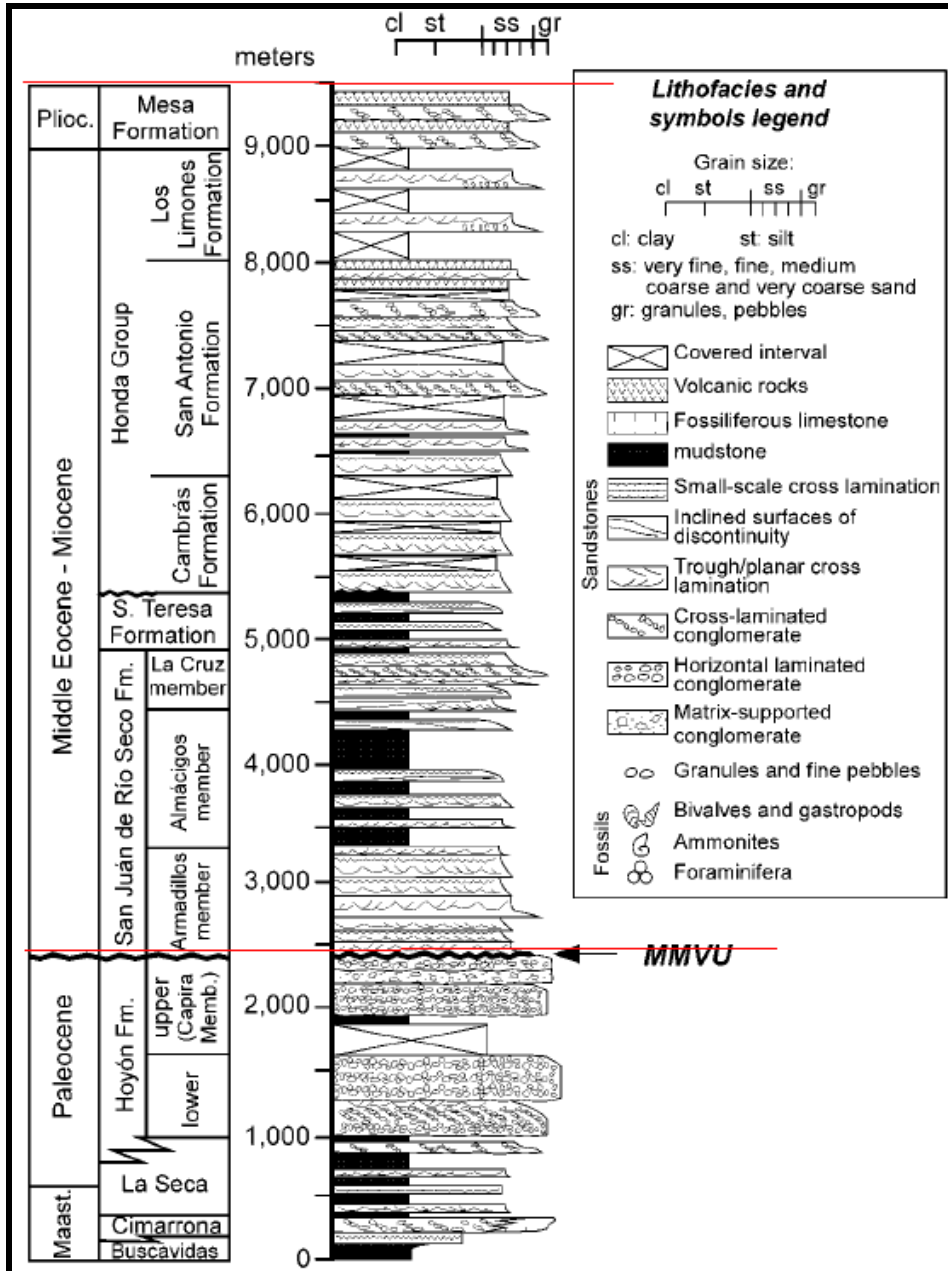
En su parte inferior se encuentra una sucesión de gravas y arenas con algunas capas de arcillas blancas caoliníticas. En la composición de las gravas predominan los cantos de andesita y dacita sobre los de cuarzo, cherts y rocas metamórficas, las rocas volcánicas disminuyen y junto con la presencia de concreciones se podría confundir este nivel con los sedimentos del Grupo Honda.

Los Depósitos de Abanicos, Presentan morfología plana ligeramente inclinada hacia el Valle del Magdalena, aparecen entre el piedemonte de la Cordillera Central y el Valle del Magdalena, abanicos o conos de deyección de grandes dimensiones. De norte a sur los más destacados son los de Lérida-Venadillo,

Ibagué, El Espinal-Guamo y Chaparral, Núñez, (2001). Etherington (1942) agrupó esta serie de conos como Formación Gualí.

La composición de todos estos conos es muy parecida y consta de rocas volcánicas, sin embargo intervienen constantes cambios de facies que están en relación con la fuente de los materiales y con los grandes ríos que descienden de la Cordillera Central que han formado estos conos al desembocar (los ríos) en la planicie del Río Magdalena. De Porta, (1966).

Figura 10: Columna estratigráfica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, mostrando en rojo las posibles litologías a encontrar en la zona de trabajo.



Fuente: Modificado de Gómez, 2003.

3.5 TECTONICA DEL SUR DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

En la Cuenca del Valle Medio del Magdalena se identifican dos eventos tectónicos importantes y diferentes. Uno es de tipo extensional el cual forma fallamiento normal y afecta todas las rocas entre el basamento y el paleoceno,

y otro de tipo compresional, post paleoceno el cual desarrolla fallamiento inverso que afecta la cobertura sedimentaria hasta los tiempos más actuales.

Los elementos tectónicos más importantes del área de estudio, los cuales pueden ser relacionados al segundo evento tectónico, son de este a oeste: La Falla de Bituima, el Sinclinal de Guaduas, la Falla de Cambao y la Falla de Honda. En General todas estas estructuras poseen una tendencia en general de N20 E. Acosta y Obando (1984). Figura 11.

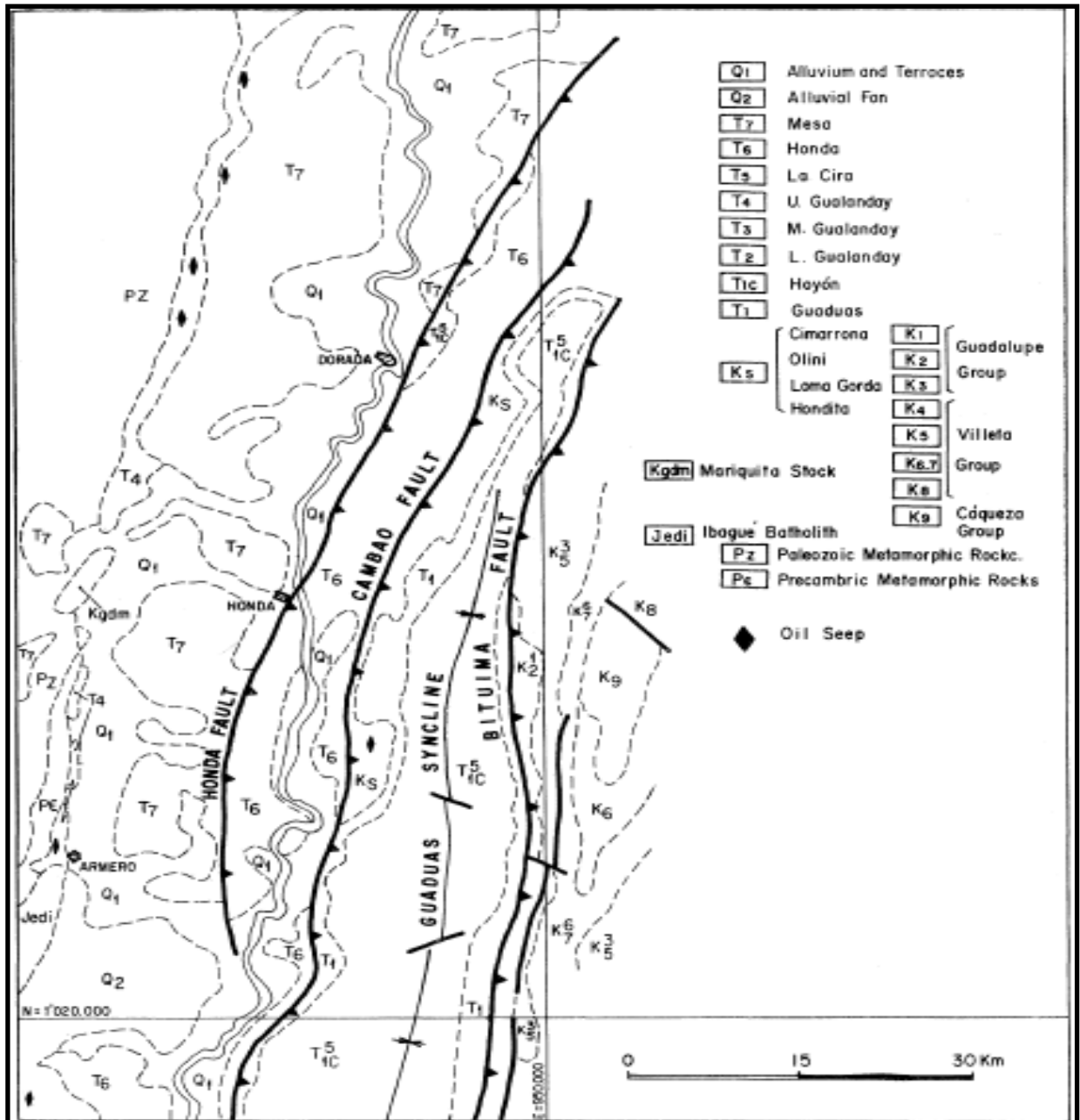
Falla de Bituima: Esta falla es de carácter inverso, con un alto ángulo cercano a la superficie, el cual decrece con la profundidad. Esta falla pone en contacto las rocas del Cretácico con el Terciario.

Sinclinal de Guaduas: Se encuentra limitado al este por la falla de Bituima y al oeste por la falla Cambao. El Sinclinal es una estructura asimétrica, con un ángulo de pendiente de 70° en el flanco Este, y un ángulo menor de 30° en el flanco Oeste

Falla de Honda: Esta es la última estructura inversa hacia el occidente del área. Hacia el este de la Dorada comprende un sistema de fallas inversas de bajo ángulo, con superficies buzando hacia el este y convergiendo en profundidad.

La Falla de Honda pone en contacto la Formación Mesa con el Grupo Honda en la parte este del área municipal, su traza se extiende desde la localidad de Cambao(Cundinamarca), hasta los alrededores de La Dorada (Caldas). A través de esta estructura hasta el río Magdalena se presentan los estratos del Grupo Honda levantados e inclinados al este.

Figura 11: Principales estructuras que afectan el área de estudio. La estructura más próxima de nuestra área (indicada en rojo) se encuentra hacia el este de Armero Guayabal y corresponde a la Falla de Honda.



Fuente: Tomado de Acosta y Obando, 1984

4. MODELO DE DATOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

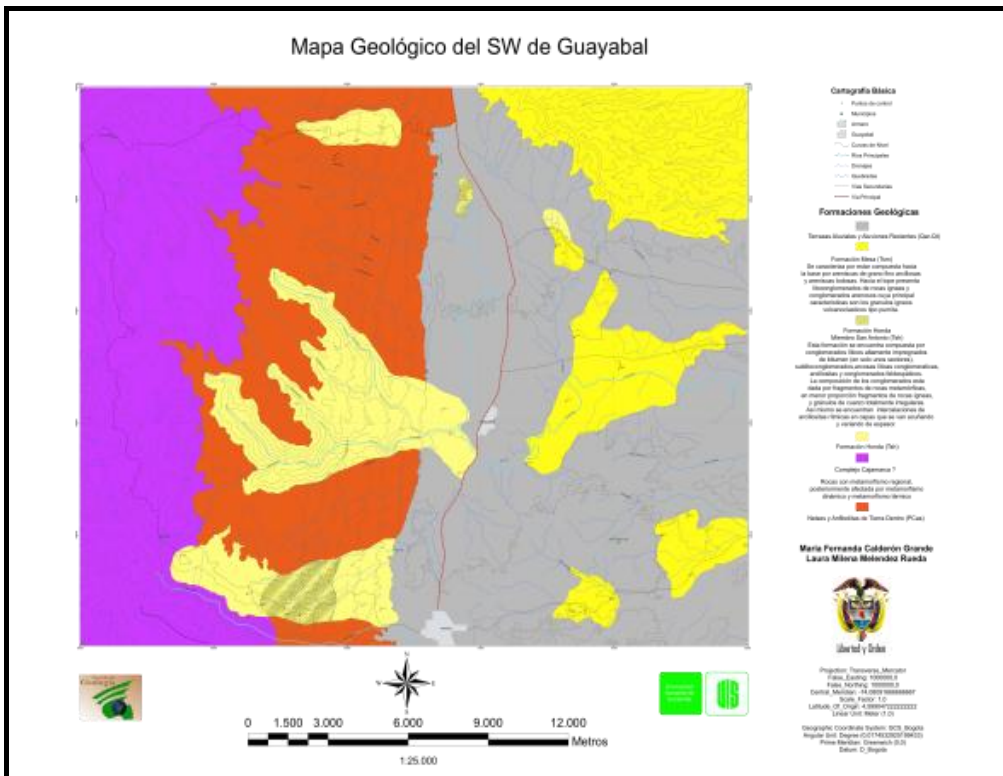
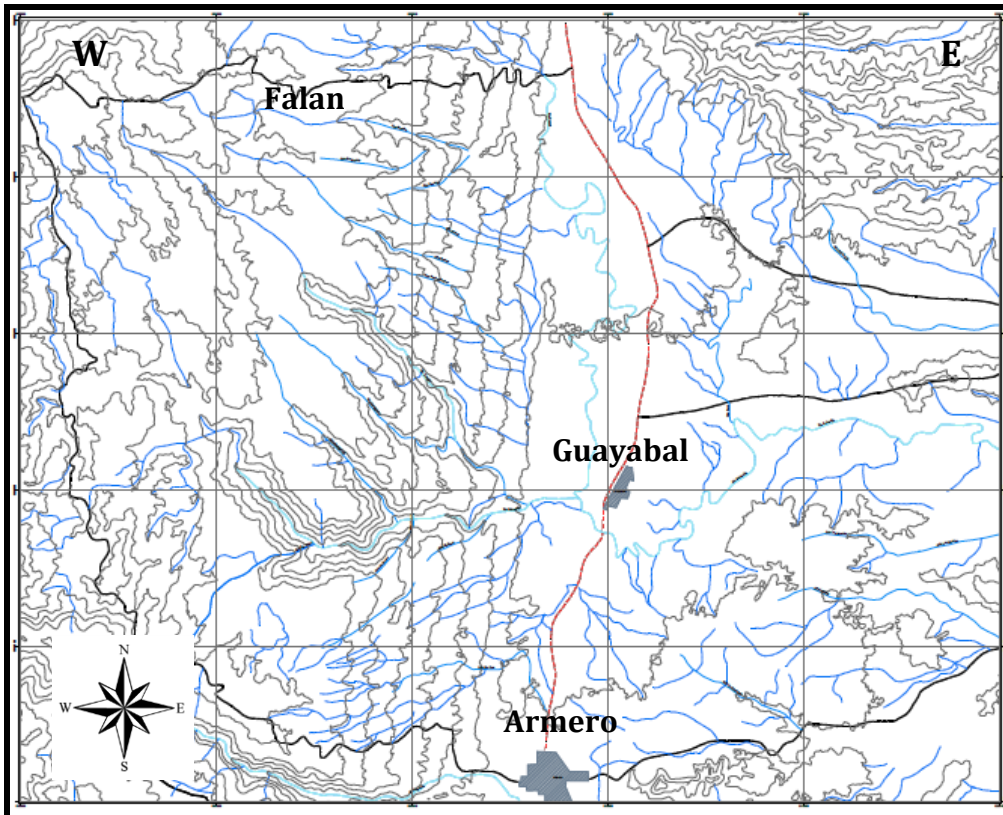
A continuación se presentan las herramientas elaboradas durante este proyecto, las cuales hacen parte fundamental en el desarrollo de este.

4.1 Mapas

Los mapas generados del área de estudio a escala 1:25.000 son:

- Mapa topográfico preliminar del Suroccidente de Armero Guayabal Tolima.
- Mapa de red de drenajes del Suroccidente de Armero Guayabal Tolima.
- Mapa de principales estaciones de control geológico del área de estudio.
- Mapa de elevación y relieve del Sur-occidente de Armero Guayabal Tolima
- Modelo digital 3D de relieve.
- Mapa geológico del Sur Occidente de Armero Guayabal

Figura 12: Mapas generados en este trabajo y explicados en los diferentes capítulos del libro. (Ver mapas originales en anexos, mapa

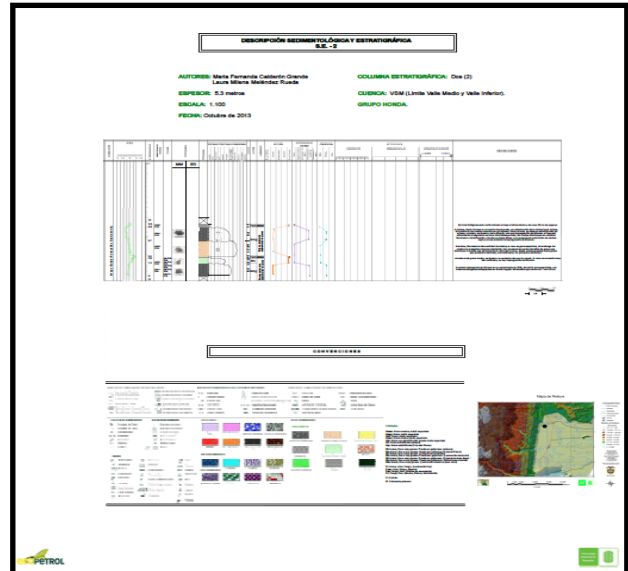
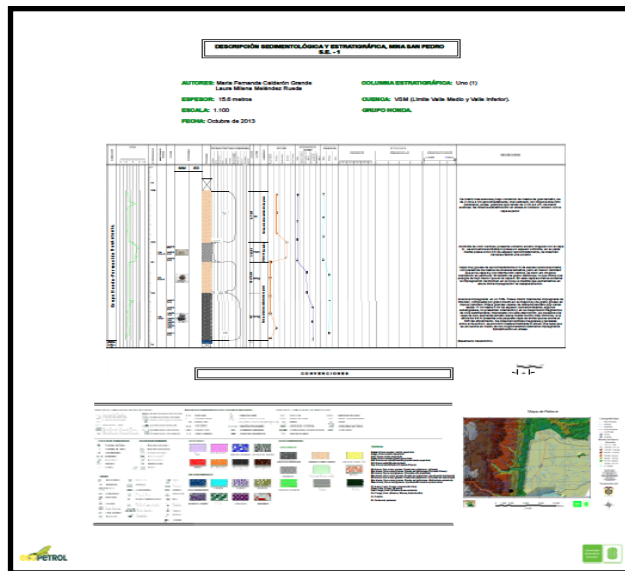


4.2 Columnas Estratigráficas

Se realizaron 4 Columnas estratigráficas a escala 1:100.

- Columna estratigráfica C-LM-1, correspondiente al punto de control geológico LM-12 ubicado en la mina de asfaltita San Pedro perteneciente de la Formación Honda.
- Columna estratigráfica C-LM-2 correspondiente al punto de control geológico LM-16 ubicado en la hacienda El Banco, cantera de asfáltica. Formación Honda.
- Columna estratigráfica C-LM-3, correspondiente al punto de control geológico LM-40 ubicado sobre la vía que de Guayabal conduce al municipio de Méndez. Formación Mesa
- Columna estratigráfica C-LM-4, la cual es una columna compuesta del área y contiene la integración toda la litología observada en campo.

Figura 13: Imágenes de columnas generadas en este trabajo y explicadas en los diferentes capítulos. Ver todas las columnas en anexos.




4.3 Descripción de muestras de roca

Para este proyecto se realizó la descripción y la clasificación de 63 rocas sedimentarias, 15 rocas metamórficas y 4 rocas de origen ígneo. Las rocas sedimentarias se describieron en según la clasificación de tamaño de grano de Folk 1974, donde se observó la Textura, composición y estructura sedimentaria de las muestras, sirviendo esto para realizar la clasificación de litofacies y la clasificación de los elementos arquitecturales. Ver macro catalogo completo en Anexos.

Figura 14: Ficha descripción de las muestras de roca en este trabajo. Ver anexos.

CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.	
CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ12 - 7
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado arenoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Lítico altamente impregnado de bitumen



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grava, con forma de grano angular no esférico. Se encuentra mal calibrado, con armazón gravo soportado y matriz arenosa. El contacto entre sus partículas es flotante y se encuentra texturalmente inmadura. No posee ninguna estructura aparentemente visible, y se observa totalmente masiva. La coloración totalmente negra refleja el contenido alto de impregnación de bitumen que posee. Los fragmentos de roca son angulares y alargados. La muestra es bastante friable.

4.4 Secciones Delgadas

Se elaboraron y analizaron 10 secciones delgadas de areniscas pertenecientes a la Formación Honda y a la Formación Mesa, ubicadas en las columnas estratigráficas realizadas. 5 de estas secciones delgadas fueron realizadas con métodos estándar de los laboratorios del ICP, y las 5 restantes fueron realizadas en los laboratorios de la UIS.

Se analizaron 8 secciones delgadas de la Formación Honda y 2 Secciones delgadas de la Formación Mesa, utilizando la clasificación mineralógica de areniscas según Folk (1974). De estas secciones se escogieron 3 muestras representativas de la Formación Honda, pertenecientes a los puntos de control geológico LM-16 Y LM-12, y 2 de la Formación Mesa perteneciente al punto de control geológico LM-40, para realizar un conteo de 150 puntos. Este

conteo se llevo a cabo mediante la identificación de los minerales en un barrido vertical y horizontal cada 2mm en la reglilla respectiva del microscopio de luz polarizada analizada Nikon, en un aumento de 5X y 10X.

Para la descripción de los minerales se utilizo el formato de “Descripción composicional de rocas siliciclasticas” de Ecopetrol, donde se detallaron los tipos de cuarzos, los feldespatos, los fragmentos de roca, los minerales dúctiles, la matriz, el cemento y la porosidad.

Esta identificación de minerales sirvio de soporte para la descripción macroscopica de las muestras de mano realizada previamente.

Ver micro catalogo completo en Anexos.

Figura 15: Algunas de las secciones delgadas elaboradas. Secciones LM-12-5, LM-12-1 Y LM-16-4, pertenecientes a la Formación Honda.

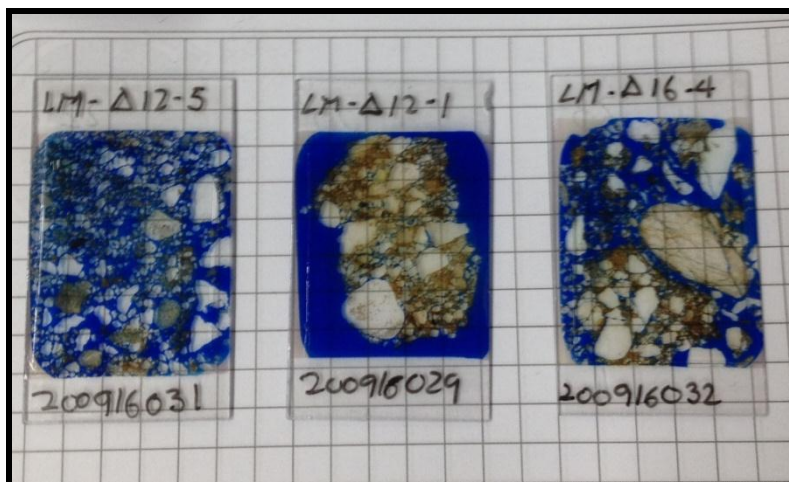
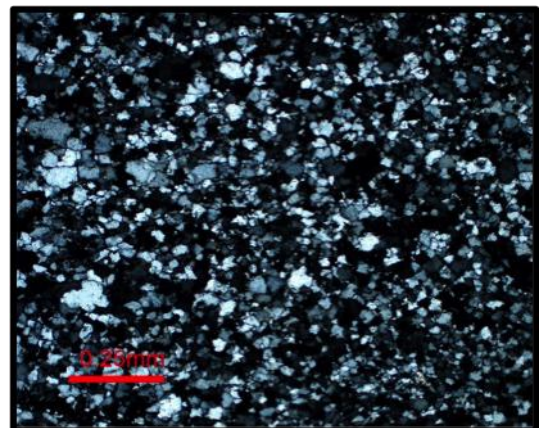
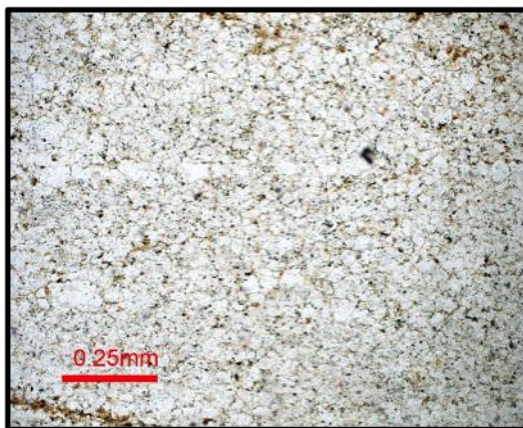


Figura 16: Microscopio de luz polarizada analizada Nikon utilizado para realizar el conteo de puntos de las secciones delgadas.



Figura 17: Secciones delgadas analizadas bajo microscopio de luz polarizada analizada. Aumento de 5X. En la imagen se observa Cuarzo tipo policristalino.



4.5 Adquisición de datos Gamma Ray de afloramiento

Con la ayuda de un Centellometro o contador Geiger (SPP2 Survey meter-sensitivity Surrey meter) perteneciente a la Universidad Industrial de Santander, se tomaron datos de desintegración radioactiva por cada segundo en unidades C/S, para los afloramientos ubicados en las columnas estratigráficas C-LM1, C-LM-2, CLM3 correspondientes a las formaciones Honda y Mesa. Estos datos se realizaron para todo el espesor de las columnas cada 10 cm de distancia en la vertical. Estos datos se encuentran graficados en las columnas estratigrafías respectivas.

Figura 18: Toma de datos de Gamma Ray con Centellometro o contador Geiger en campo.



4.6 Toma de Plugs

La toma de los *Plugs* se realizó mediante un taladro eléctrico, el cual posee una bomba de inyección de agua que hace posible la obtención de muestras cilíndricas de 5cm de largo y por el diámetro de la broca, aproximadamente 3 cm de radio, los cuales fueron llevados posteriormente al laboratorio de petrofísica del ICP con el fin de obtener datos de permeabilidad, porosidad y saturación de Fluidos.

Figura 19: Toma de Plugs en campo mediante taladro eléctrico.



5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Para esta fase aunque se pueden reconocer ciertas evidencias y rasgos de estructuras en el área, es claro que solo se observan efectos de la estructura más cercana, la cual corresponde a la Falla Honda, situada hacia la parte más oriental de la zona y la cual no alcanza hacer cartografiada en este trabajo, puesto que no abarca el área total de interés.

Otra estructura a tener presente en el área corresponde a la Falla Mulatos, la cual limita el borde occidental de la cuenca del Sur del Valle Medio del Magdalena con la Cordillera Central, cuya traza se extiende a lo largo del Norte del Departamento del Tolima, hasta la parte sur del Departamento de Antioquia, en el cual Feininger et al (1972) reconoció un desplazamiento dextralateral de más de 15m. Aunque no se observó con detalle las evidencias sobre el trazo de esta falla en nuestra zona de estudio, si se abordara su importancia y su influencia en la misma, más adelante en la descripción de estructuras.

Por otra parte se observan diaclasamientos y foliación de las rocas metamórficas paleozoicas esquistosas correspondientes al basamento del complejo Cajamarca y la discordancia marcada entre la Formación proterozoica, gneises y las anfibolitas de tierra adentro y la Formación San Antonio del grupo Honda. Estos rasgos fueron seguidos mediante la realización de este trabajo en los puntos de control geológico explicados a continuación.

5.1 Complejo Cajamarca

Punto de control geológico LM-1: Sobre esta estación encontramos esquistos anfibolíticos pertenecientes al complejo Cajamarca con una dirección: 10° NE / 40° SE .

Punto de control geológico LM - 9: Gran afloramiento de esquistos grafitosos y anfibolíticos con una dirección N 75° E / 54° SE y planos de diaclasas en los esquistos del Complejo Cajamarca con los siguientes datos:

- N 78° E / 43° SE
- N 18° E / 20° SE
- N 54° E / 33° SE

Las dos estaciones descritas anteriormente corresponden a los rasgos estructurales observados para el Complejo Cajamarca ubicado hacia la parte más Occidental del área, cuyos datos fueron tenidos en cuenta para la elaboración del mapa de contactos y cuya descripción litológica se pueden observar detalladamente en el mapa geológico y en el capítulo 7 de modelo estratigráfico, respectivamente.

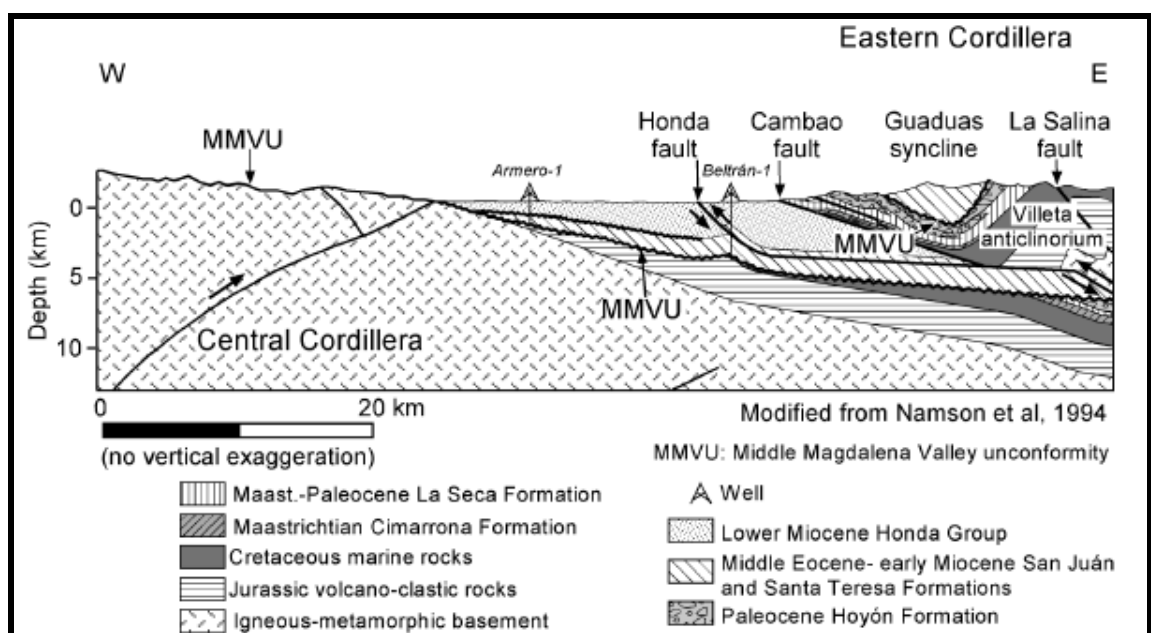
5.2 Grupo Honda – Formación San Antonio y Gneises y Anfibolitas de Tierradentro

Esta formación en el área de estudio se encuentra particularmente hacia el Occidente de la Falla Honda. Según De porta (1966), los sedimentos del grupo Honda se extienden desde las estribaciones de la Cordillera Central hasta la Falla Honda, sin embargo y según lo observado en campo, en todo esta área también predominan los estratos correspondientes a la Formación Mesa, estratigráficamente más joven. Esto se ocurre debido a que los afloramientos del Grupo Honda miembro San Antonio se encuentran aislados entre si debido a la fuerte erosión que afecto el área.

Sobre el punto de control geológico LM-12, se observa como esta formación reposa sobre el basamento de la Cordillera Central, lo cual De porta (1966), denomina como el transgresivo entre la formación Honda y el basamento, teniendo una orientación N71°E/ 23° SE. Este contacto discordante nos esta

señalando el extremo occidental de la cuenca donde no se observa depositación o registro de alguno de rocas anteriores a las rocas del mioceno correspondientes al Grupo Honda. Es decir que las rocas cretácicas se encuentran hacia el depocentro de la cuenca, varios kilómetros al este de la zona de trabajo. (Ver Figura 20).

Figura 20: Configuración actual de la parte sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Se observa el truncamiento del Grupo Honda con el basamento de la Cordillera Central hacia el límite occidental de la cuenca.



Tomado de Gómez *et al*, 2003.

Cabe aclarar que los sedimentos pertenecientes a la formación San Antonio, del Grupo Honda que se encontraron en la zona de estudio, es decir en la parte occidental de la Falla de Honda, son distintos a los que se describen Según De Porta (1966) para el oriente de la Falla, debido a que su actividad tectónica afectó la sedimentación y como asegura este autor, los afloramientos hacia el sur occidente de Guayabal, aunque guardan características similares, se apartan de la sección tipo estipulada para la Formación Honda.

5.3 Formación Mesa

Punto de control LM-40: Esta formación se encuentra particularmente afectada tectónicamente por un fallamiento inverso evidente en los estratos de esta formación. Se observó un desplazamiento aproximado de 40cm de los sedimentos.

Figura 21: Deformación Presente en los estratos de la Formación Mesa. Falla inversa producto de la actividad tectónica del área debido a la estructura más cercana, la Falla Honda. Fotografía con azimut 185°.



Según De porta (1966), la relación entre la sedimentación de la Formación Mesa y la Falla Honda es evidente por cuanto los sedimentos de la Formación Mesa desaparecen juntamente con esta falla. Otra evidencia mencionada por este autor para la relación es que hacia la base de la Formación Mesa, el miembro Las palmas tiende a aumentar su espesor en dirección a la falla de Honda. Estas condiciones hablarían que la actividad de la falla ha estado simultáneamente con la sedimentación de esta formación.

5.4 Principales Estructuras Tectónicas

-Falla Honda y Falla Mulatos:

Limitan la depresión del valle medio-alto del Magdalena por el oriente y occidente, respectivamente; son clasificadas por Vergara (1989) y Vergara et al., (en edición) como potencialmente activas. Particularmente para la Falla de Mulatos, Feininger et al., (1972), reconocen desplazamiento dextralateral de más de 15 km. Su presencia pudo haber controlado la depositación de abanicos aluviales en el norte del Tolima (Vergara, 1989). Algunos autores consideran que el desplazamiento inicial fue de tipo inverso y cambió a normal después de la depositación de la Formación Mesa, a finales del Neógeno e inicios del Cuaternario. La estructura es truncada o se une con la Falla Otú - Pericos y se extiende hasta el Departamento de Antioquia.

La Falla de Honda está expuesta en el noreste del departamento, cerca a la población de Honda, en un área muy reducida. Información sísmica citada por Acosta y Obando (1984), indica que representa un sistema de cabalgamiento. Vergara (1989a) reporta la existencia de rasgos característicos de actividad tectónica en el Cuaternario y posible actividad sísmica reciente en su zona de influencia; sin embargo, los datos disponibles no permiten clasificarla como activa.

Adicionalmente, estratigráficamente hacia el sur del Tolima, se encuentran unidades litológicas diferentes a las unidades que se describen hacia el Norte del Tolima, la expresión de la Falla Mulatos es difícil de ver en esta zona Sur, y se observa una serie de abanicos colgantes. (Moretti, 2010)

En el área de trabajo no observamos ninguna evidencia que nos llevara a concluir la presencia de la Falla Mulatos, esto puede deberse a que diferentes autores tales como (Vergara 1988) se refieren a ella no como una falla si no como un lineamiento.

6. GEOMORFOLOGIA Y ESTACIONES DE CONTROL

Inicialmente se identificaron los puntos de interés geológico presentes en el área de trabajo, para esto se destinaron dos días de la primera campaña de campo, con el fin de realizar un reconocimiento previo y estimar las posibles zonas a las cuales se les destinaria la mayor parte del trabajo.

Para facilitar la ubicación en campo, se utilizaron coordenadas las cuales 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.

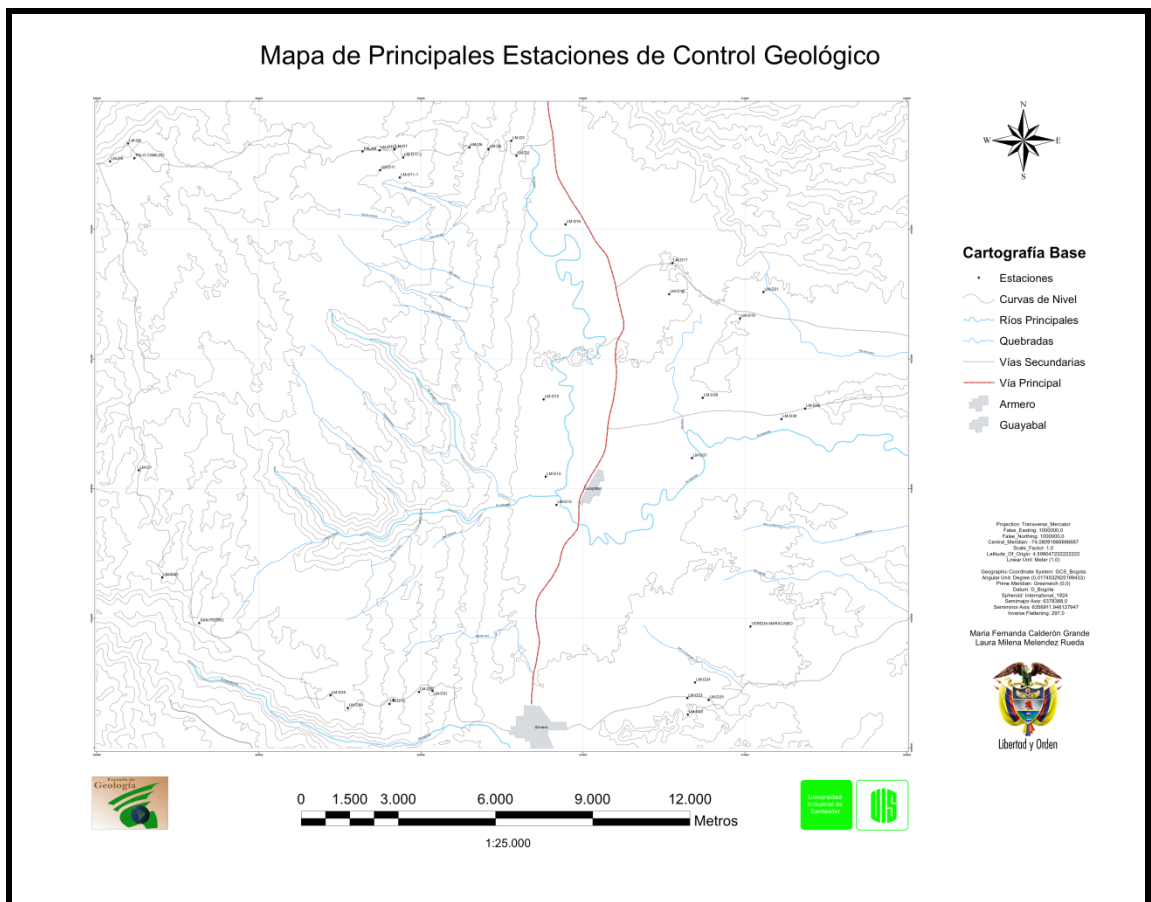
Tabla 2: coordenadas de reconocimiento, realizado los dos primeros días de la campaña de campo número 1.

COORDENADAS DE RECONOCIMIENTO	
X	Y
905030	1041891
902448	1041512
899983	1042998
898984	1043432
907702	1039854
910937	1041220
914887	1042017
914891	1042018
914150	1041284
909789	1046825
911027	1054232
900904	1058641
908123	1058484
908123	1058484
900904	1050641
900671	1056883
895088	1058086

La nomenclatura propuesta para los deltas es en resumen LM - $\Delta 1$ por ejemplo, las siglas LM se refieren a las iniciales de los nombres de los autores y el número es el correspondiente a la estación.

En general se realizaron 50 estaciones que abarcaron en su mayoría la zona de interés, sin embargo en este capítulo no se presentan todas ya que algunas de estas son netamente de control litológico, es el caso de los deltas 41 al 50, ubicados por la vía que de guayabal conduce a Méndez, en la Vereda Maracaibo, los cuales se realizaron para tener control de la Formación Mesa y mejorar así el mapa de contactos litológicos.

Figura 22: Mapa de estaciones realizadas en la primera campaña de campo. Ver original en anexos.



6.1 GEOMORFOLOGIA

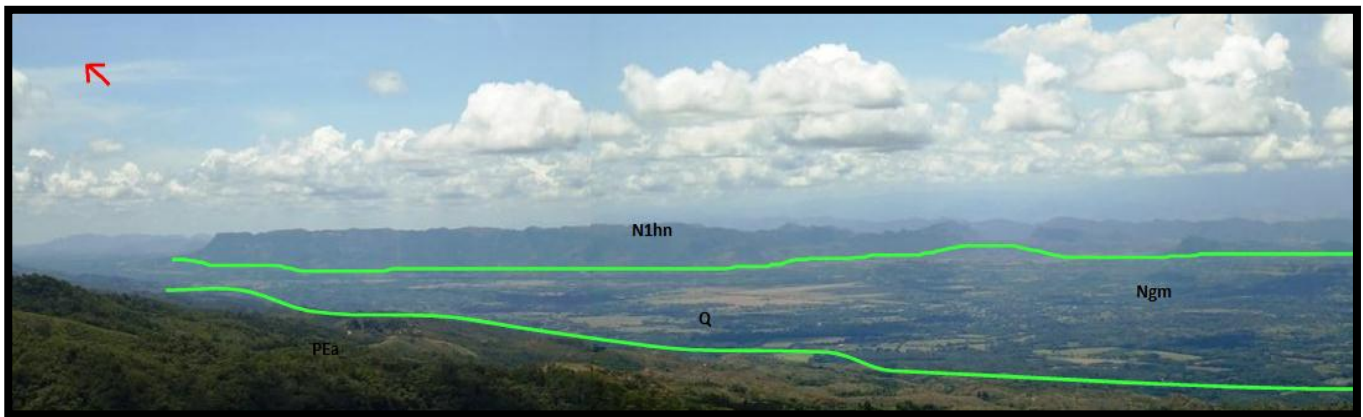
La zona de estudio se encuentra localizada en la parte Sur de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, entre la cordillera Oriental y la Cordillera central, en el extremo norte del departamento del Tolima, sobre los municipios de Armero – Guayabal y Mariquita. Limita al Nor-Oeste con los municipios de Falan y la vereda de Palo Cabildo ubicados a 1350 m.s.n.m y 1520 m.s.n.m respectivamente. Al Nor-este limita con la vereda San Felipe y vereda el Encanto ubicados a 425 m.s.n.m y 322 m.s.n.m respectivamente. Al sur-este limita con la vereda Maracaibo y al sur-oeste con el municipio de San Felipe.

La zona se caracteriza por estar ubicada en un gran valle compuesto por múltiples categorías geomorfológicas, entre esas: depósitos Cuaternarios, depósitos aluviales, valles aluviales amplios, mesetas, y piedemonte cordilleranos.

- Piedemonte Cordillerano: Se encuentra en el límite Oeste del área de estudio, lo cual se evidencia con las cadenas montañosas que representan el basamento cristalino de la cuenca del valle superior del Magdalena y que corresponde a la parte oriental de la Cordillera Central de Colombia. Esta compuesto por rocas de origen metamórfico tales como esquistos anfibólicos, esquistos biotíticos y filitas, así como también de rocas de origen ígneo-volcánico, cuya erosión se observa como material particulado o grandes clastos depositados en las litologías sedimentarias del terciario y aflorantes en el área. Vegetación de cultivos cafeteros y de diferentes frutos
- Mesetas: Se evidencia al Oriente de la zona, por las veredas de San Felipe y el Encanto, hacia el municipio de Méndez, donde el carácter morfológico en relación con la posición de los estratos se refleja en esta categoría geomorfológica de mesetas, las cuales se encuentran aisladas entre sí debido a la fuerte erosión del área. La mayoría de estas mesetas hacen parte de la Formación Mesa compuesta por material de origen sedimentario depositado en ambientes fluviales, areniscas de grano fino a medio con intercalaciones de arcillas.

Figura 23: Panorámica tomada desde la vía al municipio de San Pedro, se observa gran parte del área de estudio. N1Hm (Grupo Honda), NgM (Formación Mesa), Q (Cuaternario) y Pea (Neises y anfibolitas de Tierradentro).

Fotografía con azimut de 295°.



- Valle aluvial: Hacia la parte más este de la zona de estudio se evidencia la zona del Valle del Magdalena donde las llanuras y los valles predominan (como resultado de procesos dinámicos denudativos), extendiéndose hasta los límites del Río Magdalena. Ver Tabla 2.
- Depositos Cuaternarios: Se encuentran por la carretera principal que de Armero conduce a Mariquita y por la vía que conduce hacia el municipio de Falan. Están compuestos por diferentes clastos y conglomerados no consolidados de diferente origen (origen sedimentario, volcánico y metamórfico). Se caracteriza por su color rojizo.

Tabla 3: Relacion de procesos geodinamicos y categorias geomorfologicas.

PROCESOS GEODINAMICOS (AGENTES)		PROCESOS MORFOGENETICOS	CATEGORIAS GEOMORFOLOGICAS MAYORES	CATEGORIAS GEOMORFOLOGICAS MENORES
INTERNOS (Endógenos) Deriva Continental Tectónica de Placas	MORFOESTRUCTURAL	Magmatismo (intrusión Volcanismo) Tectonismo: Compresión, distensión, Plegamiento, Fallamiento. Sismicos	Cadenas montañosas (Cordilleras). Altillanuras (Llanos orientales) Piedemonte	Gravens, Horst Valles Sinclinales Laderas estructurales Anticlinales Piedemonte Cordilleranos Escarpes, laderas irregulares Montaña de pliegue Escarpes de falla
		DENUDATIVO (Marino, Fluvial, Glaciar, Eólico, Lacustre, antrópico). (Degradacional)	Meteorización Erosión: fluvial, glaciar, hidrica y marina Fenómenos de Remoción en Masa. Excavaciones antrópicas	Valles Intramontanos (Valle Magdalena y Cauca) Altiplanicies Planicies Marinas Superficies Antrópicas
EXTERNOS (Exógenos) Agua, Hielo, Viento, Gravedad, fenómenos Meteorológicos, Corrientes Fluviales y Marinas, Lluvias Actividad biológica y del hombre.	AGRADACIONAL (Marino, Fluvial, Glaciar, Eólico, Lacustre, Antrópico).	Formación de: Suelos Depósitos (Residuales; coluviales, aluviales, glaciares, fluvio glaciares, marinos, lacustres). Actividad Humana y/o Biológica	Llanuras aluviales; Sabanas Llanuras costeras Llanuras lagunares Campos de duna Planicies antrópicas	Cerros de deyección Abanicos aluviales Abanicos Glaciar y Fluvio glaciares Llanuras de inundación Espigas Planos aluviales Terrazas Montículos de basura Planos de relleno

Fuente: Proyecto de compilación y levantamiento de la informacion geomecánica. Ingeominas, 2000.

Las geoformas más recientes se pueden observar hacia las cabecera del municipio de Armero Guayabal donde predominan los suelos empleados para diferentes actividades humanas como cultivos ganado.

6.2 Descripción de Estaciones

LM - 1

Presenta coordenadas planas 1'051.374 N, 896.844 E, se encuentra ubicado en la vía que de Palocabildo conduce a Frías y al municipio de San Pedro, recibe el nombre de Vereda el Topacio.

Esta vía tiene buena exposición de afloramientos, para este caso tiene unos aproximados 5 m de altura y se trata de rocas Metamórficas tipo anfibolitas con una ligera orientación, con venas de cuarzo de un espesor aproximado de 5 cm siguiendo los planos de orientación.

LM - 2

Corresponde a las coordenadas 1'058.336 N, 907.783 E, geográficamente ubicado unos metros más abajo del delta 1, en la vía que conduce a Falan y Frías desde Palocabildo.

Para este caso las venas de cuarzo observadas en la estación anterior desaparecen, la roca es más compacta y no presenta ningún tipo de orientación, el afloramiento se encuentra fuertemente diaclasado.

LM - 3

Presenta coordenadas planas 1'058.585 N, 907.637 E, localizada en la vía que de Guayabal conduce a Falan. Litológicamente se trata de una roca metamórfica presenta algo de esquistosidad.

Ascendiendo en la vía en las coordenadas planas 1'058.496 N, 907.637 E, se encuentra expuesto un afloramiento de aproximadamente unos 10 m de espesor, litológicamente se observa Roca metamórfica, masiva. Posee una

especie de estrías o dirección de foliación muy leve donde se ven algunos minerales con dirección alargada.

Figura 24: Fotografía del Afloramiento del LM - 3. Fotografía con azimut de 95°.



Figura 25: Fotografía de detalle del afloramiento y de mostrando la litología en el lugar. Corresponde a los Neises y anfibolitas de Tierradentro (Pea).



LM - 5

Presenta coordenadas 1'058.281 N, 905963 E, está ubicado geográficamente unos 500 m delante de las estaciones 3 y 4.

La roca se encuentra fuertemente meteorizada, de implicaciones sedimentarias, se trata de una roca metamórfica foliada de color rojizo, es posible observar la dirección de esquistosidad, posee mica en grandes cantidades.

En el afloramiento es posible observar canales con cantos y guijas sub redondeados que indican el amplio desplazamiento que sufrieron, no es posible determinar la dirección de flujo pues no se cuenta con orientación alguna en esta parte de la roca.

En este afloramiento es posible observar una inconformidad bien marcada por el paso de las guijas.

LM - 7

Obedece a las coordenadas 1'058.590 N, 904.319 E, ubicado geográficamente en las inmediaciones de Falan.

El afloramiento cuenta con unos aproximados 4 m de altura, presenta una roca grisácea de características arcillosas, ubicado estratigráficamente arriba del afloramiento en el LM - 5.

LM - 8

Esta estación está ubicada geográficamente sobre la vía que conduce a Palocabildo y obedece a las coordenadas 1'058.488 N, 895.832 E, se trata de un afloramiento de no más de dos metros de espesor, litológicamente está bastante metamorfizado, y se trata de areniscas de grano medio de tonos amarillo rojizo.

LM - 10

Presenta coordenadas planas 1'058.462 N, 903.689 E, geográficamente ubicado a la entrada del municipio de Falan, se trata de una propiedad privada.

Litológicamente se encontró roca sedimentaria, donde se observa un contacto paralelo entre una roca arcillosa y las areniscas, las cuales presentan mala distribución de granos y en algunas de ellas es posible observar canales.

LM - 12

Presenta coordenadas planas 1'041.805 N, 904.862 E, se encuentra ubicado geográficamente en las inmediaciones de San Pedro.

Para este caso se trata de una mina llamada San Pedro dedicada a la explotación de asfaltita. La forma de explotación es mediante retroexcavadora.

Litológicamente la mina encierra rocas que van desde arcillolitas hasta arenas de tamaños finos a guijas, es evidente el trabajo como roca sello que realizan las arcillas su ubicación es clave y es la razón por la cual el hidrocarburo quedo impregnado de la arcilla hacia abajo.

Figura 26: Fotografía de parte del afloramiento presente en la Mina San Pedro. Se muestra la impregnación de hidrocarburo en las areniscas del Grupo Honda. Se evidencian los contactos entre las diferentes litologías. Fotografía con azimut de 210°.



En esta estación se realizó levantamiento de columna estratigráfica, debido a que es considerado de gran interés para nosotros gracias a la impregnación de hidrocarburo presente en la roca de base a techo presentadas en las Figuras 24, 25, 26 y 27.

Figura27: Detalle de la litología evidenciada en la Base de la columna estratigráfica, presentes en la mina San Pedro.



Figura 28: Conglomerados arenosos Asfálticas con contenido de azufre.
Fotografía con azimut de 210°



Figura 29: Areniscas conglomeráticas. Fotografía con azimut de 295°.



Figura 30: Contacto entre Arenisca Arcillosa (gris) con Arenisca conglomerática (marrón).



LM - 15

Presenta coordenadas 1°050.050 N, 908.520 E, geográficamente ubicado después del puente en donde comienzan las jurisdicciones de Falan, afloramientos ubicados dentro de una finca de propiedad privada.

Figura 31: Fotografía de afloramiento que evidencia la presencia de diferentes tamaños de grano en las areniscas de la Formación San Antonio. Azimut de 85°



Obedece a una litología sedimentaria de color gris con intercalaciones de cantos en estratos bien marcados, aquí identificamos la evidencia de que se trata de la Formación San Antonio, miembro del Grupo Honda.

LM - 16

Presenta coordenadas 1°056.216 N, 909.381 E está ubicada en el margen izquierdo de la vía que de Guayabal conduce a Mariquita en el departamento

del Tolima. Se trata de una mina abandonada en donde se extraía asfaltita, el afloramiento presenta impregnaciones de bitumen, por lo que se consideró de gran interés por ello se levantó una columna estratigráfica que nos diera idea de la geología del lugar

Figura 32: Afloramiento perteneciente al punto de control geológico LM-16, ubicado en la hacienda en banco. A) B) C). Fotografía con azimut de 285°.



Se encontraron impregnaciones superficiales de bitumen en areniscas de tamaño de grano grava, que en general era la litología predominante, también se pudo notar que las impregnaciones estaban a lo largo de canales.

A la base y en la parte más superior se observaron cambios de tamaño de grano intercalando arenas de grano medio a grueso con algunos cantos e intercalaciones de algunas capas de arcillolitas. En esta mina por el contrario de la mina San Pedro del LM - 12, el Bitumen se encontraba en menos proporción.

Figura 33: Detalle perteneciente a la región A. Arenisca Conglomerática con impregnación de bitumen. Fotografía con azimut de 200°.



Figura 34: Conglomerado con impregnación de Bitumen



Figura 35: Afloramiento de las regiones B y C. Fotografía con azimut de 230°.



LM - 19

Presenta coordenadas planas 1'053.644 N, 914.491 E, Ubicada al margen izquierdo de la vía.

Obedece en la parte superior a un paquete de areniscas no consolidadas con clastos tamaño cantos, seguido de arcillolitas de aproximadamente unos 3m de espesor y finalmente un paquete de areniscas.

LM - 20

Obedece a las coordenadas planas, 1'062.149 N, 909.120 E, se encuentra ubicada sobre el margen izquierdo de la vía que del municipio de Guayabal conduce a Mariquita en el Departamento del Tolima, en la entrada de un vivero.

Corresponde a un terreno abandonado que litológicamente se trata de areniscas conglomeráticas de color verdoso con clastos de tamaño guijas y guijarros.

LM - 21

Presenta coordenadas planas, 1'054.825 N, 915.555 E, ubicada geográficamente en la Finca El dorado de propiedad privada.

Litológicamente obedece a un gran paquete de areniscas de tamaño de grano fino, en bloque muy diaclasado, masivo sin estratificación visible, de color grisáceo, presenta una gran cantidad de bloques rodados en la base del afloramiento, estos en su mayoría presentan una estratificación difusa plana no paralela, se observan intercalaciones del mismo materia pero con contenido mineral más oscuro.

LM - 22

Presenta coordenadas planas, 10042.095 N, 915.806 E, sobre la vía que del Municipio de Armero conduce a la Vereda Maracaibo. Litológicamente obedece a unas areniscas de tamaño de grano arena fina de color grisáceo con matriz arcillosa.

LM - 23

Obedece a las coordenadas planas 1'042.191 N, 915.808 E, litológicamente se trata de una arenisca de tamaño de grano arena fina a la base del afloramiento y arcillas en el techo del afloramiento, teniendo secuencia repetida de estas litología.

LM - 24

Presenta coordenadas planas 1'042.279 N, 915.822 E.

El afloramiento de base a techo se encuentra distribuido por areniscas de tamaño de grano arena muy fina, areniscas de tamaño de grano arena fina de color grisáceo y en la parte superior areniscas de color amarillo.

LM - 25

Obedece a las coordenadas 1'042.201 N, 916.755 E, esta estación se tomó como punto de control litológico propia de la cartografía de la zona, litológicamente se trata de una arenisca de tamaño de grano arena media, de color amarillo a gris.

LM - 26

Ubicado geográficamente en la vía que del Mariquita conduce al Municipio de Honda en el Departamento del Tolima, sobre el margen izquierdo. Presenta coordenadas planas 1'069.300 N, 926.912 E. Obedece de base a techo litológicamente a areniscas de tamaño de grano arena fina de color grisáceo, areniscas conglomeráticas con clastos de tamaños hasta de 20 cm, seguido de una capa delgada de arcillolita formando un canal pequeño, areniscas conglomeráticas con clastos más pequeños que en la capa 2 y finalmente areniscas de tamaño de grano muy fino con canales.

LM - 27

Presenta coordenadas planas 1'052.356 N, 921.259 E, litológicamente de base a techo se trata de un afloramiento compuesto por un primer bloque de areniscas masivo diaclasado, seguido de un bloque potente de areniscas tamaño de grano arena gruesa, que presenta unos canales de la misma litología con alternancia de cantos de aproximadamente 20 a 30 cm de

espesor, estas areniscas son de color grisáceo y se observa estratificación, finalmente areniscas con clastos de diferentes tamaños sin selección y sin estratificación.

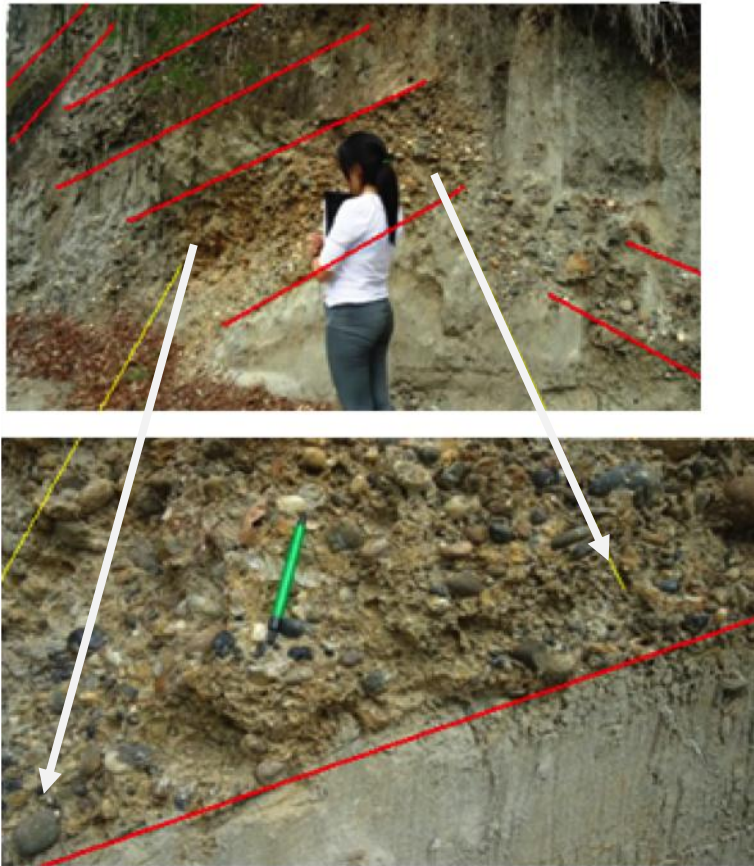
LM - 28

Obedece a las coordenadas 1'050.509 N, 922.923 E, se trata un paquete de areniscas masivo de tamaño de grano arena media sin estratificación, es posible observar marcas de corriente, la matriz de esta roca es arenosa.

LM - 29

Presenta coordenadas 1'059.508 N, 927.434 E, geográficamente ubicado en la vía que de Méndez conduce a Honda sobre el margen del Rio Magdalena, litológicamente se trata de areniscas de tamaño de grano arena media. El afloramiento presenta diversos canales inclinados poco compactos.

Figura 36: Canales pertenecientes a la Formación Honda, los cuales se observan señalados en color rojo. Fotografía con azimut de 175°.



LM - 30

Obedece a las coordenadas planas 1'060.179 N, 927.218 E, está ubicada sobre una vía destapada en el margen izquierdo, esta carretera conduce a Honda desde Méndez, frente a una casa rosada.

LM - 31

Pertenece a las coordenadas planas 1'040.874 N, 906.053 E, ubicado geográficamente en el desvío por Armero hacia el W por la Mina San Pedro. El afloramiento presenta litologías en la base de areniscas de tamaño de grano arena gruesa con clastos de aproximadamente 4 y 6 cm, se encuentran orientados; hacia la parte superior se trata de clastos sin algún orden preferencial y de mayor tamaño.

LM - 32

Obedece a las coordenadas 1'041.638 N, 905.864 E, ubicado geográficamente 100 m más delante de la estación LM 31. Litológicamente hablando esta roca se trata de arenisca rojiza de tamaño de grano arena gruesa con clastos orientados, posee dos canales paralelos entre sí pero con diferencia en el tamaño de los clastos que contienen.

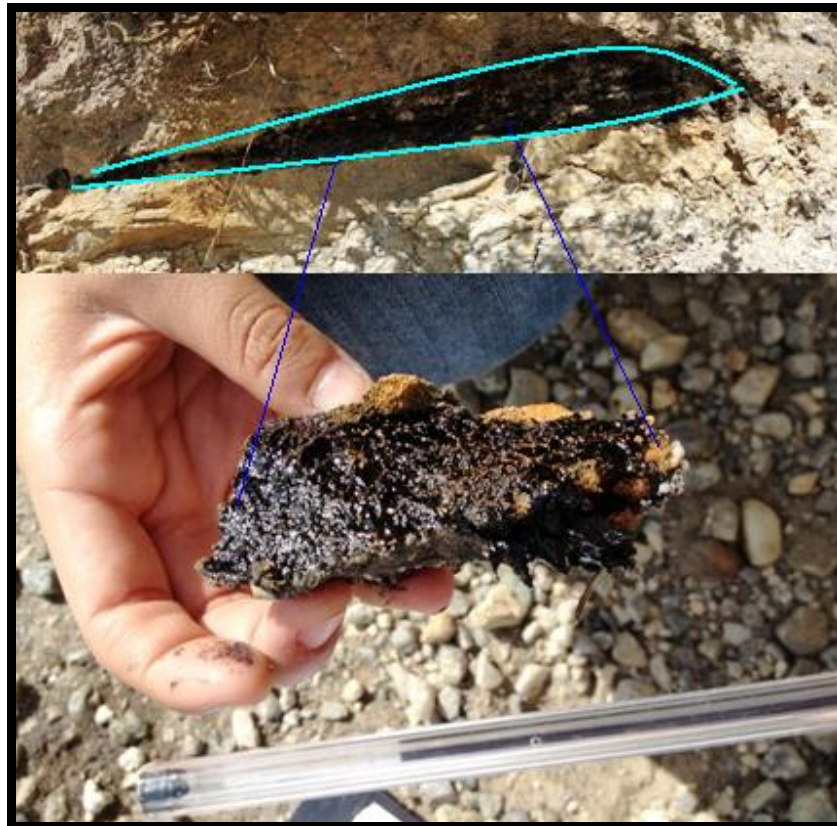
Ordenado de base a techo el afloramiento posee unos 5m de espesor, a la base se trata de una arenisca de color grisáceo y tamaño de grano arena media, al techo podemos observar areniscas rojizas de tamaño de grano arena gruesa.

LM - 33

Presenta coordenadas planas 1'041.837 N, 905.082 E, ubicada geográficamente sobre la carretera a las afueras de la Mina San Pedro

El afloramiento presenta hacia la base areniscas de tamaño de grano arena media a gruesa, presenta clastos de color gris acomodados en canales, esta capa no presenta Impregnación de bitumen, seguido de arenisca de tamaño de grano arena media de color grisáceo a negro, la impregnación de bitumen está en una fase viscosa. Finalmente la roca ubicada al techo del afloramiento se trata de areniscas conglomeráticas, con clastos de tamaños mayores que en el resto de las capas de aproximadamente 15 cm de espesor.

Figura 37: Se observa la impregnación de bitumen en la muestra y el canal impregnado en el afloramiento.



LM - 34

Obedece a las coordenadas planas 1'041.427 N, 902.849 E, ubicada geográficamente 800 m más delante de la Mina San Pedro. El afloramiento se trata litológicamente de arenisca de tamaño de grano medio de color rojizo, de aproximadamente unos 5m de espesor.

LM - 35

Presenta coordenadas 1'041.477 N, 902.410 E, se trata de areniscas de tamaño de grano arena media con guijas y guijarros a la parte superior del afloramiento.

LM - 36

Presenta coordenadas planas 1'046.943 N, 910.399 E, ubicado geográficamente en los alrededores del municipio de Armero-Guayabal en las antenas de la empresa Claro.

Este afloramiento presenta areniscas de tamaño de grano arena media con clastos muy pequeños y sin orientación alguna además en menor cantidad que el resto de las capas, hacia la base se encuentra areniscas que conservan su tamaño de grano pero con clastos de gran tamaño de máximo 15 cm.

LM - 40

Presenta coordenadas planas 1'050.293 N, 914.911 E, ubicada por una vía interna del municipio de Armero-Guayabal, hacia la base del afloramiento que se encuentra dentro de las instalaciones de una finca de carácter privado, tenemos arenisca de tamaño de grano medio a grueso, donde es evidente la presencia de una falla inversa pequeña, seguido de arenisca de tamaño de grano medio con clastos que abundan los 5 cm de espesor, subangulares, en la tercera capa encontramos la misma litología con clastos de menos diámetro que sobresalen sobre la matriz arenosa, en la cual es evidente la baja energía con la que se depositó y finalmente areniscas de tamaño de grano arena media.

Los contactos son planos y paralelos entre sí, en la capa numero 5 (ver columna estratigráfica SE-3) se observan unas intercalaciones de clastos uniformes de tonos claros.

7. MODELO ESTRATIGRÁFICO, SEDIMENTOLÓGICO Y AMBIENTES DE SEDIMENTACIÓN (RESULTADOS DE CAMPO)

7.1 Litología y Sedimentología

Para empezar a evaluar el modelo sedimentológico y las condiciones de depositación del área del suroccidente de Guayabal en el departamento de Tolima se tuvieron en cuenta dos fases fundamentales. La primera comprendió una fase de campo en las cuales se tuvieron en cuenta aspectos tales como: Granulometría encontrada en el área, litología, geometría, estructuras sedimentarias observadas en los estratos y determinación de material terrígeno, siliciclastico o calcáreo. La segunda fase comprendió una descripción detallada de 82 muestras recolectadas en campo, según sus propiedades físicas más importantes como lo son: Textura, composición y estructura sedimentaria, así mismo se realizó la clasificación de litofacies y la clasificación de los elementos arquitecturales que se utiliza para definir el tipo de depositación existente. Adicionalmente se realizó la elaboración de 10 láminas de sección delgada con el análisis petrográfico respectivo y conteo de puntos.

A continuación en la tabla 4 se presenta un listado del total de las muestras de mano tomadas en campo y descritas en fase oficina, tanto sedimentarias como ígneas y en la tabla 5 se presenta un listado de las muestras de mano escogidas para realizar secciones delgadas.

Tabla 4: Listado de muestras de mano analizadas.

Número de Muestra	Nomenclatura De Muestra	Tipo de Roca	Formación
1	LM - Δ1 - 1	Metamórfica	Metamorfismo Regional
2	LM - Δ1 - 2	Ígnea	Metamorfismo Regional
3	LM - Δ2 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
4	LM - Δ3 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
5	LM - Δ3 - 2	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
6	LM - Δ3 - 3	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
7	LM - Δ4 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
8	LM - Δ5 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
9	LM - Δ5 - 2	Sedimentaria	Anfibolita de Tierra Adentro
10	LM - Δ7 - 1	Sedimentaria	Formación Honda

11	LM - Δ8 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
12	LM - Δ9 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
13	LM - Δ9 - 2	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
14	LM - Δ9 - 3	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
15	LM - Δ10 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
16	LM - Δ11 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
17	LM - Δ12 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
18	LM - Δ12 - BI	Sedimentaria	Formación Honda
19	LM - Δ12 - 2 - 1	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
20	LM - Δ12 - 3	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
21	LM - Δ12 - 4	Sedimentaria	Formación Honda
22	LM - Δ12 - 5	Sedimentaria	Formación Honda
23	LM - Δ12 - 6	Sedimentaria	Formación Honda
24	LM - Δ12 - 7	Sedimentaria	Formación Honda
25	LM - Δ12 - 8	Sedimentaria	Formación Honda

26	LM - Δ12 - 9	Metamórfica	Anfibolita de Tierra Adentro
27	LM - Δ12 - 10	Sedimentaria	Formación Honda
28	LM - Δ12 - 11	Sedimentaria	Formación Honda
29	LM - Δ14 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
30	LM - Δ15 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
31	LM - Δ16 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
32	LM - Δ16 - 2	Sedimentaria	Formación Honda
33	LM - Δ16 - 3	Sedimentaria	Formación Honda
34	LM - Δ16 - 4	Sedimentaria	Formación Honda
35	LM - Δ16 - 5	Sedimentaria	Formación Honda
36	LM - Δ16 - 6	Sedimentaria	Formación Honda
37	LM - Δ16 - 7	Sedimentaria	Formación Honda
38	LM - Δ17 - 1	Ígnea	Formación Honda
39	LM - Δ18 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
40	LM - Δ18 - 2	Sedimentaria	Formación Mesa
41	LM - Δ18 - 3	Sedimentaria	Formación Mesa
42	LM - Δ18 - 4	Sedimentaria	Formación Mesa
43	LM - Δ18 - 5	Sedimentaria	Formación Mesa

44	LM - Δ19 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
45	LM - Δ19 - 2	Ígnea	Formación Mesa
46	LM - Δ19 - 3	Sedimentaria	Formación Mesa
47	LM - Δ21 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
48	LM - Δ21 - 2	Sedimentaria	Formación Mesa
49	LM - Δ21 - 3	Sedimentaria	Formación Mesa
50	LM - Δ21 - 4	Sedimentaria	Formación Mesa
51	LM - Δ21 - 5	Sedimentaria	Formación Mesa
52	LM - Δ22 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
53	LM - Δ22 - 2	Sedimentaria	Formación Mesa
54	LM - Δ23 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
55	LM - Δ24 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
56	LM - Δ25 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
57	LM - Δ26 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
58	LM - Δ26 - 2	Sedimentaria	Formación Mesa
59	LM - Δ28 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
60	LM - Δ28 - 2	Sedimentaria	Formación Mesa
61	LM - Δ30 - 1	Ígnea	Formación Honda
62	LM - Δ31 - 1	Sedimentaria	Formación Honda

63	LM - Δ31 - 2	Sedimentaria	Formación Honda
64	LM - Δ32 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
65	LM - Δ32 - 2	Sedimentaria	Formación Honda
66	LM - Δ32 - 3	Sedimentaria	Formación Honda
67	LM - Δ32 - 4	Sedimentaria	Formación Honda
68	LM - Δ33 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
69	LM - Δ33 - 2	Sedimentaria	Formación Honda
70	LM - Δ33 - 4	Sedimentaria	Formación Honda
71	LM - Δ33 - 5	Sedimentaria	Formación Honda
72	LM - Δ34 - 1	Metamórfica	Formación Honda
73	LM - Δ40 - 1	Sedimentaria	Formación Mesa
74	LM - Δ40 - 2	Sedimentaria	Formación Mesa
75	LM - Δ40 - 3	Sedimentaria	Formación Mesa
76	LM - Δ40 - 4	Sedimentaria	Formación Mesa
77	LM - Δ40 - 5	Sedimentaria	Formación Mesa
78	LM - Δ40 - 6	Sedimentaria	Formación Mesa
79	LM - Δ40 - 7	Sedimentaria	Formación Mesa
80	LM - Δ40 - 8	Sedimentaria	Formación Mesa
81	LM - Δ40 - 9	Sedimentaria	Formación Mesa

82	LM - Δ40-10	Sedimentaria	Formación Mesa
----	-------------	--------------	----------------

Tabla 5: Listado de secciones delgadas elaboradas y analizadas

Número de Muestra	Nomenclatura De Muestra	Tipo de Roca	Formación
1	LM - Δ12-1	Sedimentaria	Formación Honda
2	LM - Δ12-7	Sedimentaria	Formación Honda
3	LM - Δ12-5	Sedimentaria	Formación Honda
4	LM - Δ12- 4	Sedimentaria	Formación Honda
5	LM - Δ16 - 6	Sedimentaria	Formación Honda
6	LM - Δ16 - 4	Sedimentaria	Formación Honda
7	LM - Δ16 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
8	LM - Δ16 - 7	Sedimentaria	Formación Honda
9	LM - Δ40 - 3	Sedimentaria	Formación Mesa
10	LM - Δ40 - 4	Sedimentaria	Formación Mesa

En total fueron 82 muestras de mano descritas de los afloramiento que pertenecían a la zona, haciendo énfasis en las muestras pertenecientes a las formaciones sedimentarias: La Formación Honda- Miembro San Antonio, (De

porta, 1966) que es la formación más importante debido a la impregnación de bitumen que presenta sectorizadamente, y la Formación Mesa (De porta, 1966) la cual se encuentra en la parte suprayacente estratigráficamente. Así mismo se escogieron de estas dos formaciones las muestras más representativas de los deltas 16,12 y 40 para realizar la elaboración de 10 secciones delgadas.

Las dos descripciones, tanto macroscópica como microscópica tienen como propósito definir el tipo de ambiente y modelo de sedimentación del área con más precisión, siendo un soporte la una de la otra. Los respectivos catálogos detallados se encuentran en los Anexos del libro.

7.1.1 Gneises y Anfibolitas de Tierradentro

Esta formación comprende el basamento del área de estudio, y por lo tanto es la más antigua de la zona. Sus exposiciones se encuentran hacia el Occidente de Armero - Guayabal y el municipio de Falan. Sobre la vía que conduce a Falan en la estación de control geológicos LM-2 se encuentra las primeras exposiciones de rocas metamórficas, las cuales corresponden a gneises de estructura granoblástica, color verde oscuro, textura néisica y cuarzo feldespáticas, donde se observa el tamaño de grano medio, de color rosado, blanco y negro, adicionalmente se observa la orientación preferencial de algunos minerales tipo plagioclasa y cuarzo, las rocas se encuentran altamente oxidadas debido al intemperismo que han sufrido lo cual se refleja en una cobertura rojiza alrededor de ella. También se encuentran rocas masivas, compuestas por anfíboles alargados, oscuros, granos de plagioclasa sódica, hornblenda y venas de cuarzo, en menor cantidad se observan micas que se llegan a confundir con la abundancia de hornblenda debido a su alto brillo vítreo, estas características corresponden a una roca anfibólita (Barrero y Vesga, 1976).

Por otro lado en la estación de control hacia el municipio de San Pedro al W de Armero, en la estación de control geológico LM-12, a la altura de la mina que lleva el mismo nombre San Pedro, se aprecia como las areniscas líticas y conglomeráticas impregnadas de bitumen de la Formación Honda (Miembro San Antonio), se encuentran en contacto discordante con el basamento, que corresponde a anfibolitas masivas, oscuras, con granos de plagioclasa y cuarzo, en menor cantidad se encuentran esquistos micáceos verdosos y algunos están totalmente meteorizados. Este basamento se encuentra bastante diaclasado y actualmente en la mina lo utilizan para recebo de carreteras. Estructuralmente posee rumbo NE y se encuentra buzando al sur-este así: N71°E/23°SE.

Las rocas que forman esta unidad son metamórficas, facies granulita y de edad precámbrica (Barrero y Vesga, 1976), se encuentran principalmente constituidas por anfibolitas masivas, gneises anfibólitos y en menor proporción algunos esquistos verdes los cuales afloran en toda la parte occidental del área hacia donde empieza la zona montañosa de pendiente media - alta, lo que corresponde a las estribaciones con la Cordillera Central Colombiana, principal fuente de aporte en la zona.

Figura 38: Gneis de Tierradentro sobre la vía que de Guayabal conduce a Falan, perteneciente a la estación de control geológico LM-2, posee venillas de cuarzo paralelas al bandeamiento particular del afloramiento y se encuentra bastante deformado y plegado. Fotografía con azimut de 95°



Figura 39: Contacto discordante entre el basamento correspondiente a los Gneises y Anfibolitas de tierra adentro (A), y los estratos conglomeráticos de la Formación Honda, Miembro San Antonio Fotografía con azimut de 170°. (B), los cuales se encuentran suprayaciendo las rocas metamórficas. Mina San Pedro, estación de control geológico LM-12.



7.1.2 Complejo Cajamarca. Rocas con Metamorfismo Regional Posteriormente Afectado Por Metamorfismo Dinámico y Metamorfismo Térmico

Esta formación ()se localiza en la parte topográfica más alta del área de estudio y por lo tanto se encuentra en toda la parte montañosa, delimitando la misma hacia el occidente. Sus afloramientos se encuentran cubiertos por zonas agrícolas que alcanzan hasta los 1.520 m.s.n.m, con vegetación típica andina y de sabana, representando esto un dificultad para observarlos.

El principal afloramiento se localiza sobre el carreteable que de Palo Cabildo conduce a los municipios de Frías y San Pedro, exactamente en la vereda el

Topacio en el margen más occidental del área, allí se encontraron esquistos cuarzosos a anfibólicos, con una orientación preferencial, de color verde oscuro, con dato estructural: N10°E/40°SE. Se observan venillas de cuarzo lenticulares, altamente meteorizadas que van en la misma orientación de la esquistosidad, con una variación de espesor desde 5cm hasta 10cm, con excepción de un gran lente irregular de casi 1m de espesor aproximadamente, en ellas se observa la deformación y el plegamiento al que estuvo sometido.

Adicional a esto sobre la vía que conduce de Falan a Palo cabildo, se encuentran esquistos grafitos y esquistos biotítico pertenecientes a este grupo, altamente deformados, diaclasados, de color negro y color verde oscuro respectivamente, estructuralmente se encuentran N75°E/54°SE, poseen estructura esquistosa, brillo mate particular el cual deja una raya al tacto oscura como carbonizada. Se observa la orientación preferencial de los minerales y venillas de cuarzo irregulares. Los materiales que conforman este grupo representan la orogénesis transamazónica evento orinoquense sufrida por las rocas que componen el escudo Guayanés. (Barrero y Vesga, 1976).

Figura 40: Características del complejo Cajamarca. A: Morfología de montaña, laderas altas y presente sobre la topografía más alta de la zona de trabajo. B: Afloramiento de esquistos cuarzosos y anfibólicos, en el carretable que del municipio de Falan conduce a Palo Cabildo, estación de control geológico LM-9.



Las rocas metamórficas descritas para el complejo Cajamarca y para los gneises y anfibolitas de tierra adentro tienen como objetivo la cartografía base de la zona, ya que su exposición y relación con las rocas sedimentarias es evidente en el área. Así mismo las rocas metamórficas descritas en el catálogo macro, fueron la base para sustentar la litología correspondiente a las formaciones aflorantes en la zona de trabajo que hacen parte del basamento metamórfico del extremo sur de la cuenca del valle medio del Magdalena. Su descripción e identificación hacen parte del análisis del modelo evolutivo y de sedimentación de este trabajo.

Figura 41: Afloramiento cubierto, compuesto de esquistos cuarzosos, y venillas de cuarzo que varían de espesor. Sobre estación de control geológico LM-1. Azimut de la foto: 190°.



7.1.3 Grupo Honda (Miembro San Antonio) (De Porta, 1966)

Es la formación de mayor interés en el área de estudio, debido a que es la única que se encuentra impregnada de bitumen, para esta formación se recogieron y se describieron 33 muestras de mano, descritas mediante las guías de descripción de la composición de rocas terrígenas. (Según Folk, 1974 en: Cruz Guevara, L.E. Caballero, V.M, 2007).

Se elaboraron 8 secciones delgadas de las rocas más significativas de esta formación descritas mediante las guías de descripción y clasificación de la composición de rocas terrígenas en sección delgada (Según Folk, 1974 en : Caballero, V.M; Cruz Guevara, L.E 2007), las cuales se encuentran dentro de las columnas estratigráficas C-LM-1 y C-LM-2, pertenecientes a los dos puntos de control geológico LM-1 (Mina San Pedro) Y LM-2 (Finca el Banco) respectivamente, los cuales son los únicos lugares de exposición de bitumen en la Formación Honda.

Esta formación se encuentra compuesta por conglomerados líticos altamente impregnados de bitumen, sublitoconglomerados, arcosas líticas conglomeráticas, arcillolitas y conglomerados feldespáticos. La composición de los conglomerados es bastante homogénea y está dada por fragmentos de rocas metamórficas, en menor proporción fragmentos de rocas ígneas, y gránulos de cuarzo totalmente irregulares, sus tamaños varían de gránulos a guijarros, con forma no esférica muy angular a subangular y totalmente mal calibradas. Así mismo se encuentran intercalaciones de arcillolitas rítmicas en capas que se van acuñando y variando de espesor.

Principales características encontradas en la Columna (C-LM-1)

1. Las rocas que presentan impregnación de bitumen se encuentran hacia la parte basal de la dos secciones estratigráficas. Particularmente en la mina San Pedro (LM-Delta12) (ver figura 42A Y 42B) estas rocas se encuentran

suprayaciendo las rocas metamórficas anfibólicas de Tierradentro, en contando discordante. Su secuencia comienza por una capa de 8m de espesor, con rocas clastos-soportadas donde la impregnación de bitumen es total y se refleja en la viscosidad con la que están cementadas las arenas. La principal característica de esta capa son los gránulos que la componen, los cuales varían de tamaños que van desde y 1,2,4,5 y hasta 6cm de diámetro, los cuales son en su mayoría gránulos de cuarzo, fragmentos de rocas sedimentarias y fragmentos líticos totalmente angulares, que se distribuyen de manera caótica, sin ningún orden en el afloramiento (Ver figura 42C). Dentro de este gran bloque se observan intercalaciones de pequeñas laminas de arcillas de color gris de 15 cm, donde no se presenta impregnación ya que actúan como un sello local de la capa infrayacente, deteniendo el paso del bitumen a la parte superior. Sin embargo una nueva capa con impregnación vuelve a aflorar por encima de estas arcillas, aunque particularmente con menor cantidad de bitumen que las inferiores.

2. Dentro de esta gran capa impregnada se encuentran láminas irregulares de sulfuros, en un alto porcentaje, paralelas entre sí de color amarillo, que van disminuyendo en sentido noreste del afloramiento, ya que su exposición se va dando en puntos sectorizados y no en láminas. Hacia el tope, estas exposiciones de azufre se convierten en capas con colores rojizas producto de la oxidación. Ver Figura 42E.

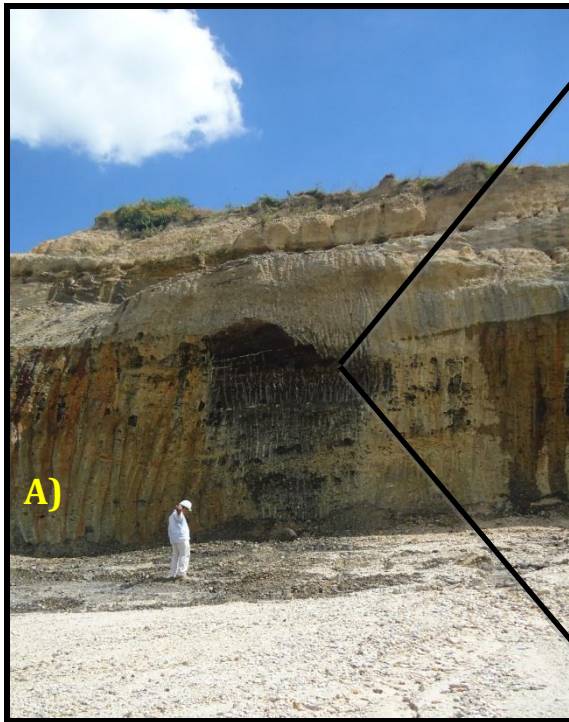
3. Por otro lado, se encontraron grandes bloques in situ de madera fosilizada continuos dentro de la principal capa contenedora de conglomerados bituminosos, totalmente preservados, formando una especie de capa alargada que da una idea del ambiente de sedimentación, del cual se hablara más adelante en este libro. Ver figura 42D.

4. Adicionalmente en las capas superiores con menor cantidad de impregnación se observa la geometría de los estratos y el tipo de estratificación que poseen. La geometría observada es de carácter lenticular, con un espesor lateral que va variando a medida que se va acuñando el material más grueso. Dentro de los lentes se conservan clastos tabulares, uno detrás de otro, que

indica la posible dirección del flujo en la que se depositaron los sedimentos. También se aprecian contactos erosivos irregulares entre las areniscas conglomeráticas menos impregnadas y las arcillas superiores de mayor espesor que las inferiores.

Aunque el tamaño de los gránulos disminuye un poco, la litología predominante son las gravas con distribución caótica de sus clastos y con aparición esporádica de gránulos de 10cm más redondeados que los infrayacentes. Hacia el tope final de la sección estratigráfica la matriz de las areniscas de vuelve material fino y arcilloso donde los clastos más finos alcanzan a ser de 1 cm de diámetro, casi transparentes y algunos lechosos. En esta última capa se observa la variación de la energía de flujo debido a las capas intercaladas que se aprecian de material fino, con material bastante grueso superior, el cual está presentando estratificación en artesa difusa al contacto con estas. También se observa laminación cruzada en las areniscas más finas. Ver Figura 42 F.

Figura 42: Características principales de la Formación Honda en el punto de control geológico LM-12. A) Mina San Pedro. Fotografía con azimut de 210°. B) Conglomerado lítico impregnado de Bitumen. C) Gránulos de cuarzo de diferentes tamaños distribuidos de manera caótica dentro de la capa. D) Bloque in situ de madera fosilizada. E) Láminas irregulares de sulfuros. F) Laminación cruzada en las capas más finas. G) Laminación plana difusa.



En la columna estratigráfica 2 (C-LM-2) realizada en el punto de control geológico LM-16 perteneciente a la Formación Honda ubicada en la hacienda el Banco, las características litológicas encontradas son muy similares a la anterior y se describen a continuación.

1. En primer lugar en esta sección hacia la base del afloramiento se puede observar la mayor impregnación de bitumen la cual va disminuyendo ascendentemente hasta desaparecer por completo en el tope de la sección. (Ver figura 43B)

2. La secuencia inicia con una capa de rocas clasto soportadas y bitumen soportadas, de matriz gravo areno lodosa de clastos subangulosos a angulares, con una distribución caótica, sin ninguna orientación preferencial. Sus tamaños varían de 1cm a 3cm de diámetro, y la mayoría son gránulos de cuarzo, algunos lechosos y otros totalmente negros debido a la invasión del bitumen en los poros de la roca. El color que presenta la roca es negro grisáceo debido a la impregnación media. Adicional a esto se observa una capa suprayacente de arcilla grisácea, que va aumentando su espesor horizontalmente hasta acunarse. Ver figura 43A

3. Hacia la mitad de la secuencia, en las capas de arenas menos impregnadas se observa laminación cruzada en artesa, un poco difusa sin ninguna orientación preferencial de los granos, los cuales poseen diámetros de 1cm a 2cm. La estratificación es casi horizontal entre las intercalaciones de areniscas impregnadas y arcillas, aunque se pueden apreciar los contactos erosivos entre una y otra.

La secuencia termina con la ausencia total de bitumen, pero la granulometría se conserva hacia el tope, pues se siguen observando los conglomerados arenosos con intercalaciones arcillas limosas de color gris-verdoso.

Finalmente, hacia la parte oeste de la zona de estudio, en la vía que de Guayabal conduce al municipio de Méndez, en el punto de control geológico LM-17 se encontró un afloramiento de arcillolitas de color grisáceo con material vulcanoclástico. Rocas tipo andesita, fueron encontradas allí, compuestas por

minerales ferromagnesianos tales como hornblenda, piroxenos alargados y cuarzo anguloso, los cuales sobresalen sobre una matriz félsica de textura muy parecida a la pumita, lo que la hace bastante liviana y totalmente diferente a los fragmentos de roca típicos del área.

Sobre la misma vía unos 100m más adelante, en el punto de control geológico LM-19 se encontraron gránulos de origen ígneo en afloramientos de areniscas conglomeráticas intercaladas con arcillolitas. Estos gránulos se encuentran muy bien redondeados, totalmente esféricos, con textura fanérita y cristales de hornblenda y anfíbol.

La evidencia vulcanoclástica y la presencia de roca tipo andesita (Muestra de roca numero: (LM - 17 - 1) es lo que nos lleva a concluir que nos encontramos sobre el Miembro San Antonio del Grupo Honda, parte superior, donde empiezan a aflorar las características andesíticas que divide al grupo Honda inferior del Honda Superior, según lo señalado por Butler (1.942) en De Porta (1966). Boletín de Geología, Numero 22 y 23, 1996, pagina 189. El grupo Honda se encuentra comprendido por las formaciones Cambrás, San Antonio y Los limones. Donde la Formación Cambrás pertenece al Honda Inferior No andesítico y la Formación San Antonio pertenece al Honda Superior Andesítico (De porta, 1966)

Esta es una analogía que se hace para el área de estudio teniendo en la cuenta la litología encontrada y los puntos de control geológico donde se tomaron muestras de roca para describir. Aunque también cabe señalar que estas evidencias de rocas efusivas pueden hacer parte del inicio de la Formación Mesa caracterizada por poseer clastos de roca efusiva tipo pumita y andesita, y la cual se encuentra en contacto neto con el miembro La ceibita perteneciente a la formación San Antonio, como lo señala De Porta, 1996 al describir la secuencia de carácter concordante entre estas dos formaciones.

Figura 43: Características principales de la Formación Honda en el punto de control geológico LM – 16. A) Capa de arcilla gris-verdosa la cual se encuentra suprayaciendo la capa impregnada de bitumen, que se va acuñando hacia la izquierda del afloramiento. Fotografía con azimut de 285°. B) Inicia la secuencia con rocas clastosoportadas, impregnadas de bitumen. C) Secuencia granodecreciente hacia la parte superior de la secuencia con menor impregnación de bitumen. D) Parte media de la secuencia donde termina la capa de impregnación, justo en el límite amarillo. Y en la parte superior se repite el acuñamiento de una capa de arcilla. Fotografía con azimut de 230°.



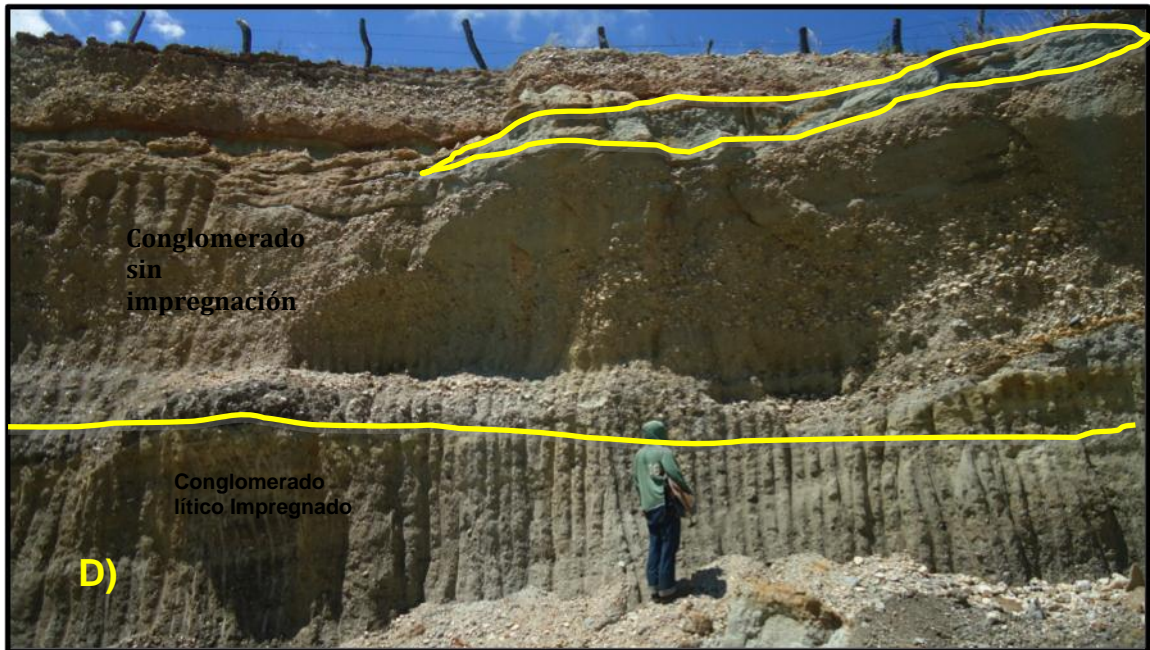


Figura 44: Capa de Arcillolita hacia la parte superior de la secuencia en contacto erosivo con los conglomerados líticos sin impregnación.



7.1.4 Formación Mesa

Esta formación aflora en toda la parte nororiental del área de estudio, su principal característica es la geomorfología de meseta que presenta y la cual se evidencia al sobresalir sobre la geomorfología llana cuaternaria de la zona, donde se genera ganadería y siembra de cultivos. Se encuentra hacia la parte nororiental y suroriental del área, sus afloramientos son de fácil acceso debido a que sus capas son totalmente horizontales.

Para esta formación se recogieron y se describieron 32 muestras de mano, descritas mediante las guías de descripción de la composición de rocas terrígenas. Se elaboraron 2 secciones delgadas que pertenecen a la columna estratigráfica C-LM-3, y se ubica en el punto de control geológico LM-40 por la vía de que Guayabal conduce a Méndez.

Figura 45: Geomorfología presentada por la formación mesa en la zona. Fotografía con azimut de 280°.



Características litológicas de La Formación Mesa

Esta formación se caracteriza por presentar hacia la base areniscas lodosas de grano muy fino y forma subangular esférica. Particularmente se observa el buen calibrado de las muestra y el contacto entre sus partículas es puntual lo cual indica un ambiente de sedimentación fluvial tranquilo. Adicionalmente se observan intercalaciones de areniscas y lodolitas las cuales forman laminación plana y tipo artesa.

Ascendentemente se va notando un cambio en los niveles de energía en la depositación debido a que el tamaño de grano cambia bruscamente de una capa de grano fino, a una capa de clastos de fragmentos líticos totalmente desordenada y caótica. El contacto entre capas es neto y se repite esta variación de grano fino a grano grueso en toda la secuencia, aunque las

areniscas lodosas cambian a arcosas de líticas de grano medio, donde el contenido de clastos en la matriz es casi nula.

Se destaca la presencia de fragmentos de roca ígneos de 2cm de diámetro en las capas caóticas conglomeráticas.

La principal característica de esta formación es la presencia de material piroclástico, tipo piedra pómez, que se evidencia hacia el tope de su secuencia. Se presenta a manera de clastos de color blanco bien redondeados dentro de una matriz arenosa, que se van agrupando en capas estratificadas horizontalmente. La presencia de este material hace que la muestra de roca de esta capa sea menos densa que las muestras de roca infrayacentes. Ver Figura 44.

Particularmente, en los niveles finos se observan grandes clastos ígneos, redondeados y sedimentarios esporádicos que resaltan dentro de homogeneidad de la capa. Esto se puede interpretar como periodos cortos de fuertes avenidas de flujo, los cuales interrumpieron la tranquilidad con la que se venía depositando los sedimentos.

Adicional a esto, es evidente un fallamiento de tipo inverso en el principal afloramiento de esta formación, el cual se observa que genera un desplazamiento a una capa conglomerática, de aproximadamente 40 cm. Este fallamiento sugiere la intervención de alguna estructura tectónicamente activa, contemporánea con la sedimentación de esta formación.

De Porta (1996), hace un compendio de las diferentes propuestas que varios autores sugieren para la edad de la formación mesa, acordando la mayoría de ellos que pertenece al plioceno pero más por el hecho de que la Formación Honda pertenece al mioceno superior y no por datos palinológicos concisos. Sin embargo De porta (1966) concluye con que los datos actuales no son posibles para deducir la edad exacta, a pesar de esto se puede relacionar la sedimentación de la formación mesa, con la falla de Honda, la cual empieza su actividad cercano a esta edad, pues el límite más joven para el periodo de máxima intensidad de la Falla de Honda es el Pleistoceno medio según Gómez

(2003), y adicionalmente se encuentra hacia la parte oriental, a pocos metros del área de estudio. Así pues, De Porta sugiere que: el espesor de la Formación mesa aumenta en sentido S a N, lo cual coincide con el salto de la Falla de Honda que también aumenta en sentido S – N, indicando una simultaneidad entre la actividad de la falla y la sedimentación de la formación mesa, la cual se ve reflejada en los afloramientos del área de estudio.

Figura 46: A) Principal Afloramiento de la Formación mesa en el área (LM-40), afectada por un fallamiento inverso debido a la actividad tectónica de la Falla de Honda. Fotografía con azimut de 185°. B) Superficie de reactivación. Fotografía con azimut de 210°.



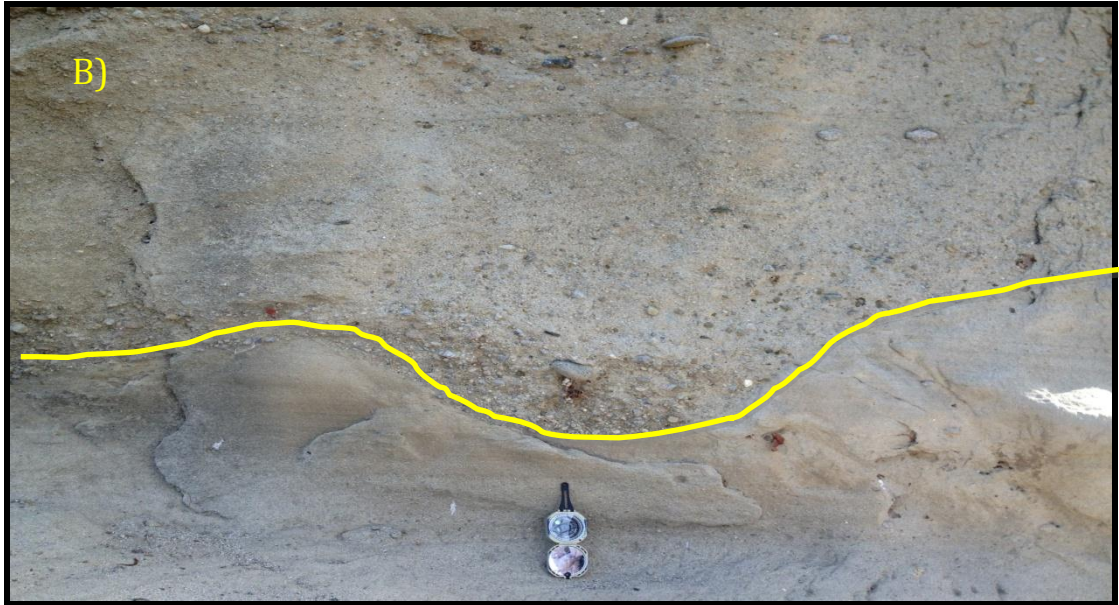


Figura 47: Arcosa lítica de la Formación Mesa con laminación en artesa hacia la base, y ondulosa hacia el tope. Se aprecian las coloraciones negras que representan intercalaciones de lodolitas.



Figura 48: Grandes clastos sedimentarios e ígneos alineados horizontalmente, dentro de la capa homogénea de areniscas arcillosas de grano medio, indicando cambios rápidos en las condiciones de flujo. Fotografía con azimut de 210°.

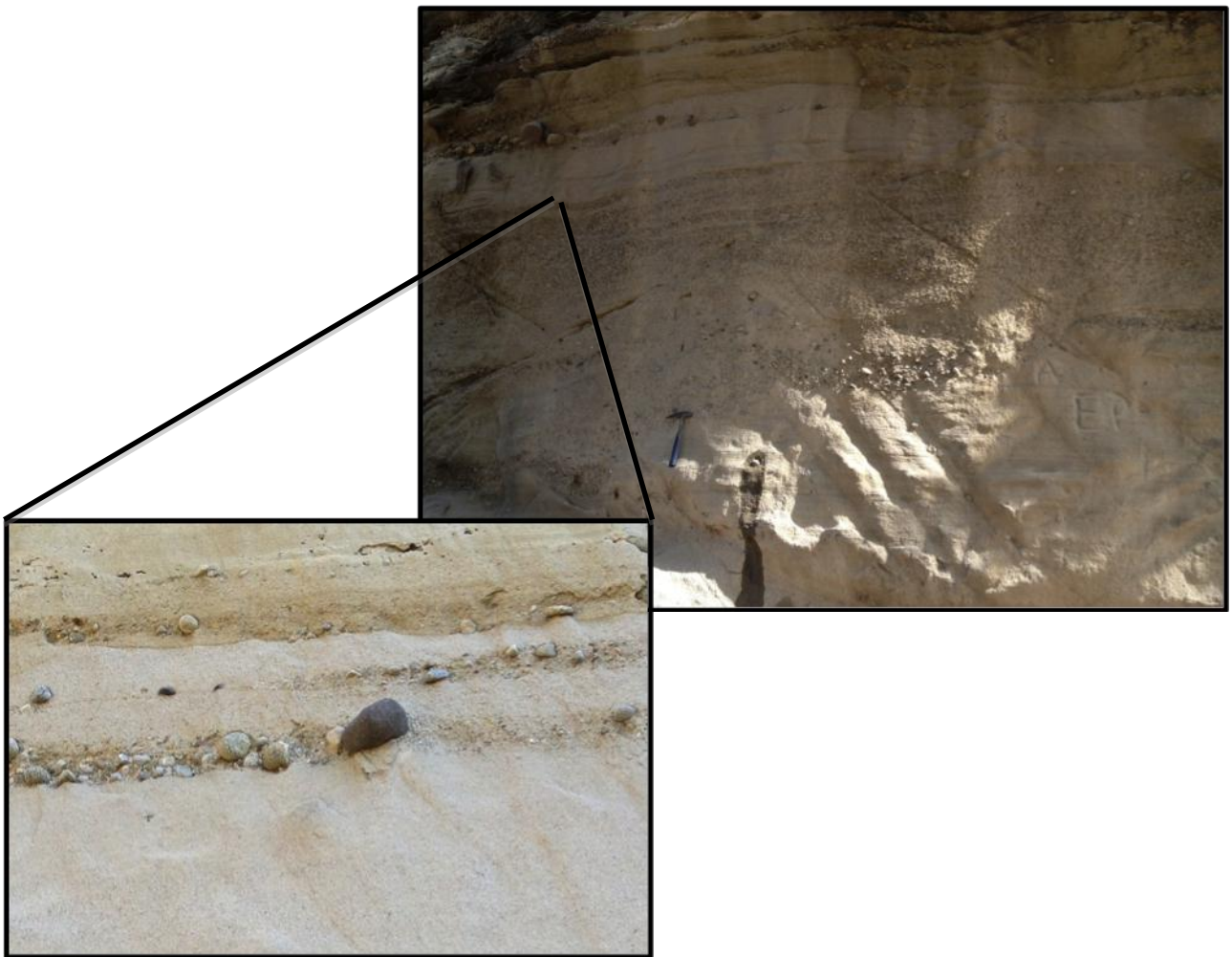


Figura 49: A) Tope de afloramiento perteneciente a la Formación Mesa. Punto de control geológico LM-40. Capas estratificadas horizontalmente, con clastos de roca ígnea tipo pumita. Originadas debido a la existencia de diferentes emisiones volcánicas y la acumulación por selección durante el transporte de material de menor densidad como lo es la piedra pómez. Azimut del afloramiento: 338°. B) Muestra numero LM- 40 – 7, clasificada texturalmente como litoconglomerado de roca ígnea, debido a los clastos que la componen de piedra pómez. Perteneciente al tope del afloramiento señalado en A.





Por último es importante registrar una característica que solo se presentó en algunas muestras de roca para esta formación, y es la leve efervescencia al contacto con ácido clorhídrico, lo cual lo identificamos como cemento calcáreo en la muestra de roca número LM - 40 - 9.

De Porta (1966), menciona que para las concreciones calcáreas del Grupo Honda, una posible fuente del carbonato de calcio proviene de las aguas sobresaturadas que drenaban de la cordillera oriental de las áreas en las que afloraban calizas cretácicas. Esto lo hace rectificando lo expuesto por Butler (1942) y adicionando que no hay que olvidar las franjas de calizas metamórficas que existían en la cordillera central.

Aunque él lo explica para el grupo Honda, para la Formación Mesa podría ocurrir lo mismo, en cuanto a que el origen de este cemento calcáreo encontrado en el punto de control geológico LM-40 podría ser de calizas metamórficas de la Cordillera Central, teniendo en cuenta primero: que es el área fuente más cercano de la zona de estudio en la que nos encontramos y segundo: que el material ígneo tipo pumita en este afloramiento proviene de emisiones volcánicas, que pertenecen a la también Cordillera Central. Por lo

tanto es muy probable un transporte fluvial en menor cantidad de calizas o carbonatos de rocas metamórficas de esta cordillera que se pudieron haber sedimentado justo en el momento en el que se encontraba la Formación Mesa.

7.2 Ambientes de Sedimentación

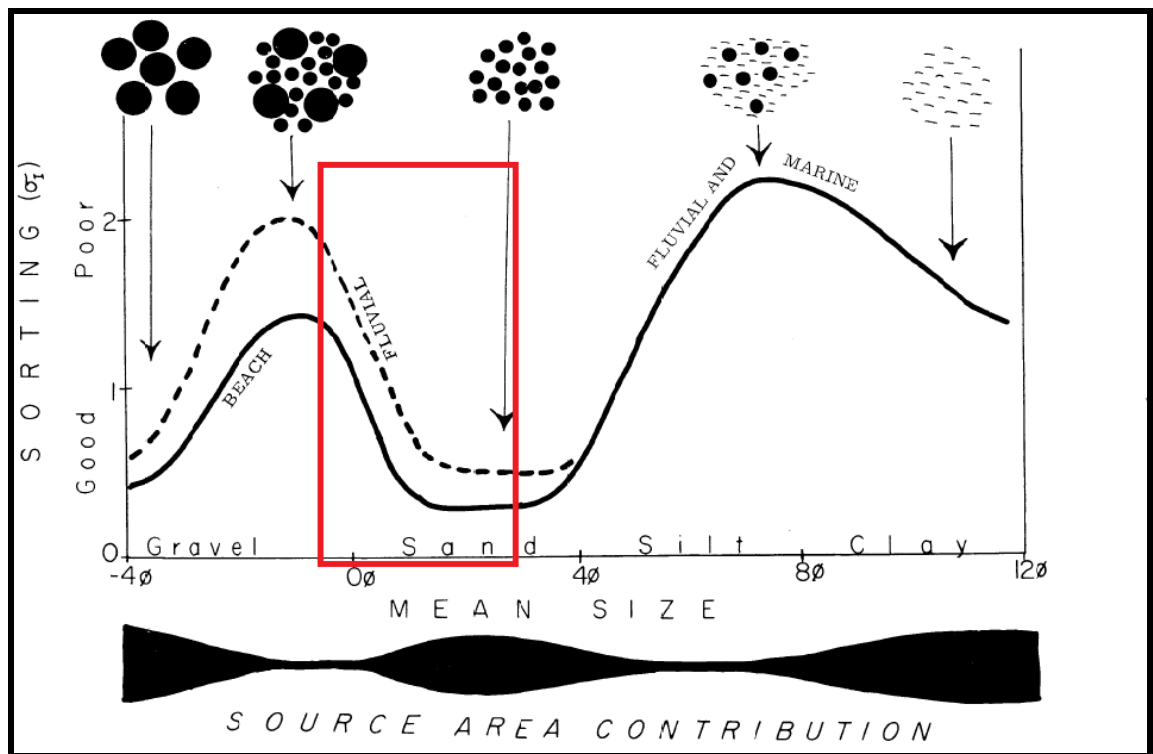
El transporte de grava toma lugar bajo un amplio espectro de condiciones físicas que produce un rango de variaciones texturales y estructurales en los depósitos producidos, de acuerdo a esto el tamaño de grano está fuertemente relacionado con el ambiente y el área de aporte de sedimentos, establece una relación entre el calibrado y el tamaño de grano de la roca para determinar el ambiente en que fue depositado y su cercanía con la fuente de contribución. Folk, (1974).

Teniendo en cuenta la litología evidenciada en las muestras de mano recolectadas a lo largo de las dos campañas de campo y los principales aspectos observados igualmente en campo de cada formación descritos en el capítulo anterior, tenemos que:

Los sedimentos que corresponden a la Formación Honda se extienden a lo largo del pie de montaña de la Cordillera Central, sobre toda la parte Occidental del área de estudio y cabe mencionar que sus afloramientos aunque visibles, se encuentran bastante erosionados.

Su litología de tamaños de arena tipo grava, arena gruesa, los conglomerados arenosos, lodosos y líticos, así como su mal calibrado, y la ausencia de registro fósil sugieren un ambiente continental de tipo fluvial, de alta energía y cuya fuente de aporte de sedimentos y fragmentos líticos se encuentra cercano.

Figura 50: Gráfico indicador de ambientes. Sorteado vs. Tamaño de grano. En rojo, cuadro indicador de la zona de estudio.

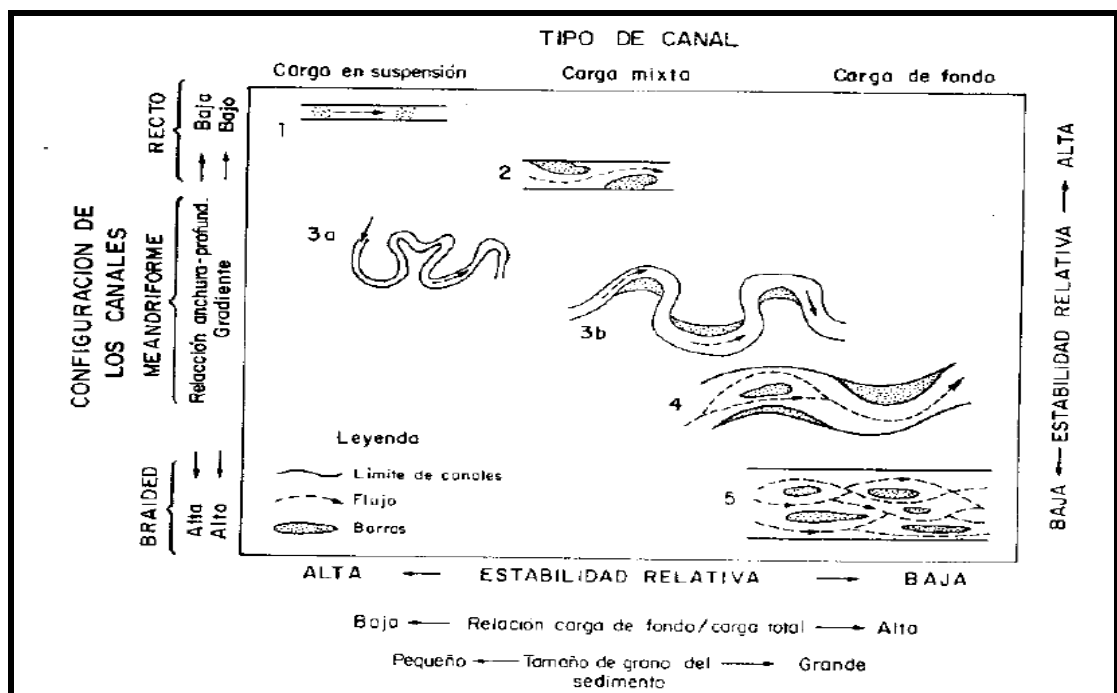


Fuente: Folk, 1974

Es necesario ubicarnos en un sistema aluvial específico de acuerdo a las características encontradas en campo, para ello es importante reconocer los tipos de canales o ríos existentes. De acuerdo con la figura 13, guiándonos por las características de tamaño de grano grueso o grava y teniendo en cuenta que Arche (Sistemas aluviales braided - Arche, Volumen I. 1992), propone que existe una clara relación entre el tipo de carga que transporta el canal y la forma del mismo: tanto en planta como en perfil, y definiendo que los canales que transportan preferentemente carga en suspensión son más estrechos y profundos y de una mayor sinuosidad, lo cual está relacionado al mismo tiempo con granulometrías finas, definiríamos nuestro sistema como un

canal tipo Braided, el cual se caracteriza por cursos de agua de múltiples canales con baja sinuosidad.

Figura 51: Clasificación de canales basada en la configuración de los canales, el tipo de carga y el tamaño de grano, con indicación de variables asociadas y la estabilidad relativa



Fuente: Arche, (1992)

Adicional a esto se divide los sistemas aluviales tipo braided en dos tipos según la litología predominante: Sistemas aluviales braided de gravas y sistemas aluviales braided de arenas, lo cual está en relación directa con el método de transporte.

Debido al tamaño de grano principal de la zona, se puede definir que el ambiente de sedimentación de los conglomerados corresponde a un ambiente fluvial tipo braided de gravas, donde el transporte de los cantos se produce

principalmente por avenidas de alta energía, lo cual hace que se depositen con un mal calibrado debido a que los cantos no alcanzan a realizar un desplazamiento mayor dado a la cercanía con el área fuente, y la poca sinuosidad del tipo de río que se propone.

Otro gran aspecto importante a tener en cuenta para la reconstrucción del ambiente, es el bloque de madera fosilizado, encontrado in situ en el punto de control geológico LM-12, el cual sugiere periodos de extrema calma y baja energía donde se pudieran presentar las condiciones necesarias para la formación de pantanos lagos y acumulación de restos de plantas, troncos, árboles, los cuales con el tiempo quedarían litificados en medio de la Formación Honda.

Se puede haber desarrollado entonces un ambiente paralico, en una zona tectónicamente activa, como lo es la parte sur del Valle del Magdalena Medio. Estas zonas se caracterizan por la existencia de una llanura, situada frente a una cadena montañosa, inclinándose aquélla hacia el mar. La región pudo haber estado afectada por movimientos de descenso fuertes y levantamientos de corta duración, pero frecuentes; esto hace que las sucesiones tengan un marcado carácter rítmico. La llanura de tipo aluvial, recibe los sedimentos detríticos derivados de la erosión de la cadena montañosa Cordillera Central, teniendo lugar el máximo de acumulación en los valles fluviales.

Posteriormente, al cesar la elevación de la Cordillera y suceder una época de estabilidad, el aporte de detríticos disminuye, terminando de rellenarse los valles y uniformándose el relieve de llanura.

Esto lleva consigo deficiencias en el drenaje y transformación de la llanura a un medio pantanoso, en donde se desarrollan turberas y acumulación de diferentes materiales, para dar origen, luego a una capa de carbón. Para la sedimentación del Grupo Honda, no se desarrollaron capas de carbón como tal, pero si hubo todas las condiciones para que se desarrollara la acumulación previa.

Luego de esto, la reanudación de los levantamientos ocurridos en el área tectónicamente activa termina con este medio palustre, depositándose sobre todo el material acumulado, depósitos detríticos fluviales, los cuales hacen parte de lo que se conoce hoy como Grupo Honda.

Lo anterior, coincide con lo propuesto por De Porta (1966), para la sedimentación del Grupo Honda, el propone una amplia llanura inundacional en la que se desarrollaron abundantes lagunas comunicadas entre sí por canales que rodeaban áreas emergidas en las que se establecían pequeños bosques, como lo señala la presencia de numerosos troncos fosilizados sin presentar señales de transporte, también coincide con Gómez, 2003, el cual afirma que las areniscas de la Formación San Antonio y los conglomerados han sido interpretados como depósitos de canal Braided, sugiriendo que los componentes metamórficos e ígneos de las rocas constituyen la principal señal de la proveniencia de la cordillera central.

Ahora bien, los depósitos aluviales tipo braided se acumulan en tres ambientes principales:

-Ríos Braided

-Abanicos Aluviales

- Llanuras aluviales

Por lo tanto para la zona de estudio ubicada justo al borde de la Cordillera Central, la acumulación de conglomerados y gravas, solo se puede presentar en abanicos aluviales, dado que la pendiente de estos abanicos contribuyen al transporte por gravedad de fragmentos de roca y diferentes materiales provenientes del área fuente. Lo cual pudo haber ocurrido después de él eoceno medio, cuando el relieve de la Cordillera Central decrecía, debido a que la denudación era el proceso dominante. (Gómez, E., 2003)

Para la Formación Mesa, el ambiente de canal tipo *braided* se mantiene, aunque por su ubicación, el tipo de litología fina que presenta, el buen calibrado de sus partículas y la estratificación horizontal de sus capas, señala

que hubo mucho más tiempo y espacio para el transporte fluvial de los materiales, así como también la homogeneidad de sus capas sugiere periodos de tranquilidad en la sedimentación, interrumpidos esporádicamente por fuertes periodos de intensas tormentas, lo cual arrastraba material de todo tipo en lapsos de tiempo corto, como lo sugiere los cantos y los guijarros dispersos y sectorizados en las capas totalmente finas y homogéneas.

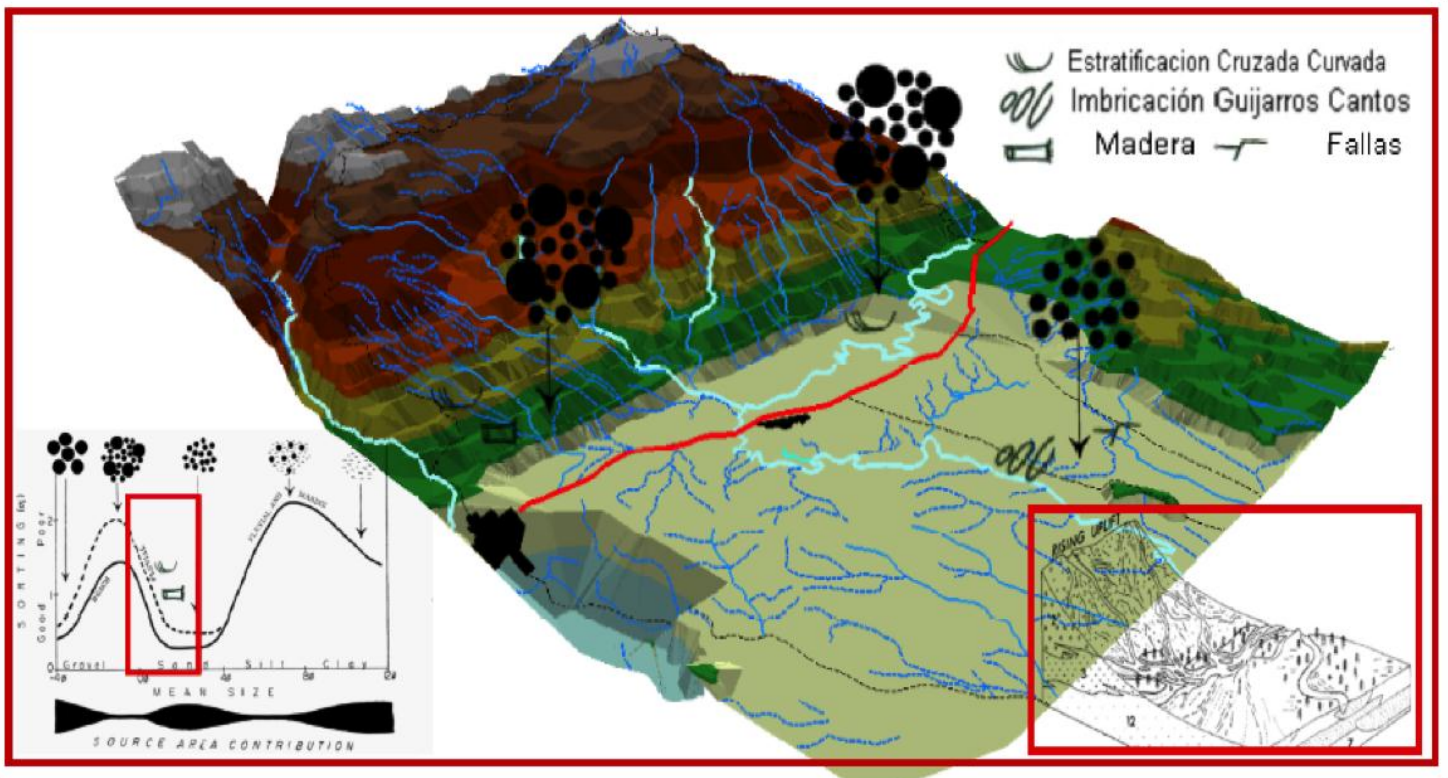
El contenido volcánico en esta Formación, como se mencionaba en el capítulo anterior, puede estar ligado a emisiones volcánicas y su posterior acumulación, depositación y transporte hasta este área, es decir material de tipo volcanosedimentario para la Formación Mesa.

De porta (1966) propone que la estratificación en capas bien definidas que se encuentran a través de toda la sucesión litológica de la Formación Mesa, demuestra una sedimentación lagunar. El desgaste de los cantos, el calibrado de las gravas y de las arenas son testimonio de un transporte fluvial, y que la presencia de fragmentos angulosos de rocas efusivas, no descarta la posibilidad de que se trate de depósitos tipo lapilli, en relación con la continua emisión de material volcánico, simultaneo con la depositación.

Cabe mencionar que esta formación al igual que el Grupo Honda, se encuentra bastante erosionada en el área de estudio, y sus afloramientos se encuentran aislados por depósitos cuaternarios, lo cual dificulta la exposición de estos hacia el área sur-este de la zona. En contraste con lo que ocurre hacia la parte noreste del área, donde los afloramientos aun conservan la geomorfología típica de mesetas potentes y planares. Ver distribución de contactos litológicos en: mapa geológico del SW de Guayabal en anexos.

Por último, se realizo un pequeño modelo representado en la figura 50, símil del área de estudio en base al ambiente de sedimentación comparados y modificado con el ambiente.

Figura 52: Modelo Digital de Elevación en la zona de estudio donde se observan las evidencias encontradas en el área que fueron fundamentadas para inferir el tipo de ambiente.



7.3 LITOFACIES Y ELEMENTOS ARQUITECTURALES

7.3.1 COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

El transporte de grava toma lugar bajo un amplio espectro de condiciones físicas que produce un rango de variaciones texturales y estructurales en los depósitos producidos. Los principales factores controlantes son la condición del flujo, tanto laminar o turbulento, y la concentración del sedimento. Miall, (1996).

La principal diferenciación es entre 2 tipos de procesos:

- a) flujos que son turbulentos y tienen poca concentración sedimentaria, en el cual el transporte y la depositación toma lugar por tracción y muy limitada suspensión.
- b) flujos en el cual la alta viscosidad asociada con alta concentración de sedimentos minimiza la turbulencia, dando lugar a un flujo laminar y grano soportado por flotabilidad. Esta segunda clase de evento tiene el nombre general de flujo sedimentario gravitacional

Para describir diferentes litofacies, Miall (1996) propone el uso de un sistema de códigos identificatorios de las distintas facies que pueden existir en los sistemas fluviales. El funcionamiento de éste se explica a continuación:

- La letra mayúscula (G = grava, S = arena, F = facies finas, incluyendo arena muy fina, limo y fango) indica el tamaño de grano dominante.
- La letra minúscula acompañante caracteriza la textura o estructura de las litofacies.
- Si existe una segunda letra minúscula (c, m), correspondiente a la letra media, ésta indicará si las facies son clastosoportado (c), o matriz soportado (m).

Figura 53: Clasificación de litofacies

Facies code	Lithofacies	Sedimentary structures	Interpretation
Gms	massive, matrix supported gravel	grading	debris flow deposits
Gm	massive or crudely bedded gravel	horizontal bedding, imbrication	longitudinal bars, lag deposits, sieve deposits
Gt	gravel, stratified	trough crossbeds	minor channel fills
Gp	gravel, stratified	planar crossbeds	linguoid bars or deltaic growths from older bar remnants
St	sand, medium to v. coarse, may be pebbly	solitary (theta) or grouped (pi) trough crossbeds	dunes (lower flow regime)
Sp	sand, medium to v. coarse, may be pebbly	solitary (alpha) or grouped (omikron) planar crossbeds	linguoid, transverse bars, sand waves (lower flow regime)
Sr	sand, very fine to coarse	ripple marks of all types	ripples (lower flow regime)
Sh	sand, very fine to very coarse, may be pebbly	horizontal lamination, parting or streaming lineation	planar bed flow (l. and u. flow regime)
Sl	sand, fine	low angle ($< 10^\circ$) crossbeds	scour fills, crevasse splays, antidunes
Se	erosional scours with intraclasts	crude cross-bedding	scour fills
Ss	sand, fine to coarse, may be pebbly	broad, shallow scours including eta cross-stratification	scour fills
Fl	sand, silt, mud	fine lamination, very small ripples	overbank or waning flood deposits
Fsc	silt, mud	laminated to massive	backswamp deposits
Fcf	mud	massive, with freshwater molluscs	backswamp pond deposits
Fm	mud, silt	massive, desiccation cracks	overbank or drape deposits
Fr	silt, mud	rootlets	seatearth
C	coal, carbonaceous mud	plants, mud films	swamp deposits
P	carbonate	pedogenic features	soil

Fuente: Miall, 1978

En esta oportunidad las litofacies fueron de acuerdo a las secciones estratigráficas, o columnas estratigráficas levantadas durante las dos campañas de campo, estas son en total tres, dos de ellas hacen parte del Grupo Honda (Formación San Antonio), por lo y la restante pertenece a la Formación Mesa.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA C-LM -1, PUNTO DE CONTROL GEOLOGICO LM - 12, MINA SAN PEDRO

Presenta coordenadas planas 1'041.805 N, 904.862 E, se encuentra ubicado geográficamente en las inmediaciones de San Pedro.

Litológicamente la mina encierra rocas que van desde arcillolitas hasta arenas de tamaños finos a guijas, es evidente el trabajo como roca sello que realizan las arcillas su ubicación es clave y es la razón por la cual el hidrocarburo quedo impregnado de la arcilla hacia abajo.

Aquí es notable la impregnación de bitumen en la roca, es observable también el contacto con el basamento metamórfico. Como se evidencio anteriormente, las características de estas rocas las ubican como parte del Grupo Honda, más exactamente la Formación San Antonio.

Teniendo en cuenta la estructura de las rocas y su tamaño de grano, se asociaron a las diferentes litofacies propuestas por Miall (1978), con el fin de no solo identificarlas, si no asociarlas a un ambiente de depositación. Para esta sección estratigráfica se identificaron 3 tipos de facies de base a techo ordenadas respectivamente en la siguiente tabla.

Tabla 6: Facies identificadas en la columna C-LM-1, Punto de control geológico LM - 12.

CODIGO DE FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDI.
Gmg	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal
Gt	Grava estratificada	Estratificación en artesas
Fsm	Limo, fango	Masiva

Para las facies **Gmg**, se interpreta según Miall (1978) como un flujo de detritos pseudoplástico de baja resistencia, estas rocas se caracterizaron aquí por ser de tamaño de grano grava, con forma de grano angular no esférico. Se encuentra mal calibrado, con armazón gravo soportado y matriz arenosa. El contacto entre sus partículas es flotante y se encuentra texturalmente inmadura. No posee ninguna estructura aparentemente visible, y se observa totalmente masiva. La coloración totalmente negra refleja el contenido alto de impregnación de bitumen que posee. Los fragmentos de roca son angulares y alargados. La muestra es bastante friable.

Para las facies **Gt**, se interpreta como una acumulación de sedimentos en canales menores, en las muestras pertenecientes a estas facies se encontró que eran de tamaño de grano muy grueso con gránulos. Se encuentra mal calibrada, con armazón grano-soportado y matriz gravo arenosoportado. Se encuentra totalmente impregnada de bitumen, el cual actúa como cemento en la roca. Texturalmente es una roca inmadura y su estructura es masiva. Los cuarzos de esta muestra se encuentran totalmente opacos (brillo mate) debido a la alta impregnación de bitumen. La composición de clastos o fragmentos de roca no se puede observar muy bien debido a la coloración totalmente negra.

Finalmente para las facies **Fms**, interpretado como una llanura de inundación, se caracteriza por ser de tamaño de grano lodo-arcilla. Se encuentra muy bien calibrada. Su armazón es lodosoportada y texturalmente es madura con estructura masiva.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA C-LM-2, PUNTO DE CONTROL GEOLOGICOLM - 16, HACIENDA EL BANCO.

Esta sección estratigráfica fue levantada en el delta 16, en el interior de la Hacienda el Banco, litológicamente se encontraron impregnaciones superficiales de bitumen en areniscas de tamaño de grano grava, que en general era la litología predominante, también se pudo notar que las impregnaciones estaban a lo largo de canales.

A la base y en la parte más superior se observaron cambios de tamaño de grano intercalando arenas de grano medio a grueso con algunos cantos e intercalaciones de algunas capas de arcillolitas.

Las facies identificadas en esta sección estratigráfica se presentan en la siguiente tabla de base a techo según como se muestra:

Tabla 7: Facies identificadas en la columna C-LM-2, Delta16.

CODIGO DE FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDI.
Gmg	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal
Sm	Arena fina a M. gruesa	Laminación masiva poco clara
Fsm	Limo, Fango	Masiva

Para las facies **Gmg**, se encontraron rocas con impregnaciones superficiales de bitumen en areniscas de tamaño de grano grava, también se pudo notar que las impregnaciones estaban a lo largo de canales.

A la base y en la parte más superior se observaron cambios de tamaño de grano intercalando arenas de grano medio a grueso con algunos cantos e

intercalaciones de algunas capas de arcillolitas. Para Miall (1978) como un flujo de detritos pseudoplástico de baja resistencia.

Las facies **Sm**, según Miall (1978) se interpreta como depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales. Se atribuyeron a rocas con tamaño de grano arena fina, con forma de grano subangular-esféricos, con buen calibrado, con armazón areno-soportado y matriz areno-lodosa. Texturalmente se encuentra submadura. En este caso la ausencia de impregnación de bitumen es clara.

Las facies **Fsm**, obedece a unas rocas de tamaño de grano limo, bien calibrada, posee armazón lodo soportado y matriz lodosa, bien cementada. Para el caso de estas facies se asocian a ambientes de llanuras de inundación.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA C-LM-3, PUNTO DE CONTROL GEOLOGICO LM - 40.

Presenta coordenadas planas 1'050.293 N, 914.911 E, ubicada por una vía interna del municipio de Armero Guayabal, hacia la base del afloramiento, tenemos arenisca de tamaño de grano medio a grueso, donde es evidente la presencia de una falla inversa pequeña, seguido de arenisca de tamaño de grano medio con clastos que abundan los 5 cm de espesor, en la tercera capa encontramos la misma litología con clastos de menos diámetro que sobresalen sobre la matriz arenosa, en la cual es evidente la baja energía con la que se depositó y finalmente areniscas de tamaño de grano arena media.

Una vez se identificó el tipo de ambiente en el que se encontraba el área, teniendo en cuenta la estructura de las rocas y su tamaño de grano, se agruparon las litofacies propuestas por Miall (1978), presentes en el siguiente cuadro:

Tabla 8: Facies identificadas en la columna C-LM-3, Punto de control geológico LM- 40.

CODIGO DE FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDI.
Gh	Grava con estratificación gruesa clasto soportada	Estratificación horizontal, imbricación.
Sh	Arena fina a M. gruesa	Laminación horizontal
St	Arena fina a M. gruesa	Estratificación en artesas

Las facies **Gh**, se caracterizan en este caso se encontraron rocas sedimentarias, grano soportada y matriz areno lodosa. La forma de sus granos es esférica-subangular y se encuentra mal calibrada por la cual su estado de madurez es submaduro. Presenta intercalaciones de láminas con clastos direccionados horizontalmente, estas son repetitivas en toda la capa cada 50 cm o menos aproximadamente hasta el tope del afloramiento. La interpretación de las facies Gh, se atribuye a la depositación de sedimentos en canales menores.

Las facies Sh, fueron atribuidas a rocas sedimentarias de tamaño de grano fino a medio, con laminación plana paralela, poco compactada. Posee clastos de gran tamaño y mal distribuidos lo que indica flujos en periodos cortos, presenta sus granos son no redondeados-angulares, moderadamente calibrado, con armazón grano-soportada y matriz areno-lodosa. Las facies Sh son interpretadas como flujo de estratificación plana, según Miall, (1978).

Finalmente para las facies St, se identificaron Areniscas de color grisáceo de tamaño de grano arena fina, presenta fragmentos de roca que aumentan en

tamaño hacia el techo de la capa, granocreciente y con presencia de estratificación en artesa.

7.4 ARQUITECTURA FACIAL Y PALEOAMBIENTES

Para Miall 1996, es un término empleado para agrupar la geometría y arreglo interno de los cursos fluviales y de las llanuras de inundación en una sección fluvial.

Un elemento arquitectural fluvial es el componente de un sistema depositacional, se caracteriza por poseer un distintivo conjunto de facies, geometría interna, forma externa y en algunas instancias un perfil vertical. Miall, (1964).

Figura 54. Clasificación de ambientes

Element	Symbol	Principal lithofacies assemblage	Geometry and relationships
Channels	CH	any combination	finger, lens or sheet; concave-up erosional base; scale and shape highly variable; internal concave-up secondary erosion surfaces common
Gravel bars and bedforms	GB	Gm, Gp, Gt	lens, blanket; usually tabular bodies; commonly interbedded with SB
Sandy bedforms	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	lens, sheet, blanket, wedge; occurs as channel fills, crevasses splays, minor bars
Foreset macroforms	FM	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	lens resting on flat or channelled base, with convex-up second-order internal erosion surfaces and upper bounding surface
Lateral accretion deposits	LA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss; less commonly Gm, Gt, Gp	wedge, sheet, lobe; characterized by internal lateral accretion surfaces
Sediment gravity flows	SG	Gm, Gms	lobe, sheet; typically interbedded with GB
Laminated sand sheets	LS	Sh, Sl; minor St, Sp, Sr	sheet, blanket
Overbank fines	OF	Fm, Fl	thin to thick blankets; commonly interbedded with SB; may fill abandoned channels

Fuente: Miall, 1978.

COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS C-LM-1 Y C-LM-2

Para nuestro caso, estas columnas estratigráficas se caracterizan por presentar facies, Gt, Gmg, Fsm y Gmg, Sm, Fsm, representativas de los deltas 12 y 16 respectivamente, con esto se determinaron los elementos arquitecturales, con el fin de determinar el paleoambiente de la zona así:

Tabla 9: Elementos arquitecturales, geometría y relaciones presentes en la columna estratigráfica C-LM-1. Delta 12.

ELEMENTO ARQUITECTURAL	ASOCIACIONES FACIALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Barras y estructuras sedimentarias de gravas. GB	Gt	Cuerpos tabulares, interestratificado con estructuras arenosas.
Flujos sedimentarios gravitacionales. SG	Gmg	Formas tabulares, interestratificado con estructuras de gravas.
Overbank Fines, Sedimentos Finos. OF	Fsm	Geometrías de capas, interestratificado con estructuras arenosas. Llenan canales abandonados

Tabla 10: Elementos arquitecturales, geometría y relaciones presentes en la columna estratigráfica C-LM-2. Delta 16.

ELEMENTO ARQUITECTURAL	ASOCIACIONES FACIALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Flujos sedimentarios gravitacionales. SG	Gmg	Formas tabulares, interestratificado con estructuras de gravas.
Estructuras sedimentarias arenosas. SB	Sm	Lentes, capas que ocurren como rellenos de canales, crevasse splays.
Overbank Fines, Sedimentos Finos. OF	Fsm	Geometrías de capas, interestratificado con estructuras arenosas. Llenan canales abandonados

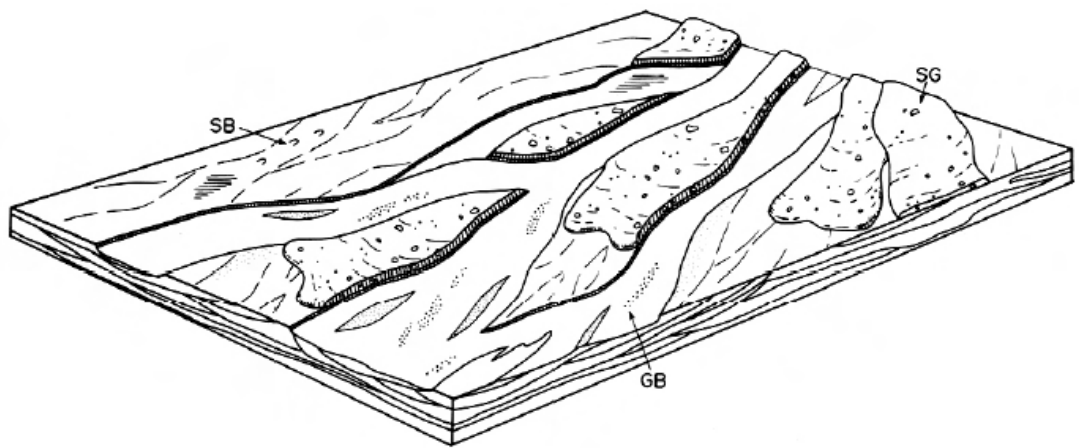
Una vez definidos los elementos arquitecturales, basados en las asociaciones faciales determinadas anteriormente, se puede inferir una serie de modelos que ilustren la geomorfología y la arquitectura de un rango de diversos estilos fluviales.

Para este caso, se agruparon las facies correspondientes a las columnas estratigráficas 1 y 2, ya que al agruparlas, suponían un mismo modelo de ambiente de depositación, según lo propuesto por Miall (1978).

El modelo uno, característico por presentar elementos arquitecturales, SB, SG, OF y GB, es propio de regiones proximales a abanicos aluviales, donde el balance entre el área fuente, las tasas de meteorización de la zona y las lluvias, dan lugar a abundantes flujos de escombros. Los ríos que drenan regiones volcánicas activas son también propios de este tipo de ambiente. Las

unidades SG están interestratificadas con GB y unidades menores de SB pueden ocurrir en canales abandonados. Ya que la frecuencia de los flujos depende en gran medida de las características de origen, grado de meteorización y diversos tipos de roca a través de las cuales fluye, es posible encontrar diferentes litofacies presentes, e incluso contraste en la litología presente en los clastos.

Figura 55: Abanicos aluviales proximales con flujos sedimentarios gravitacionales



Fuente: Miall 1978.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA 3

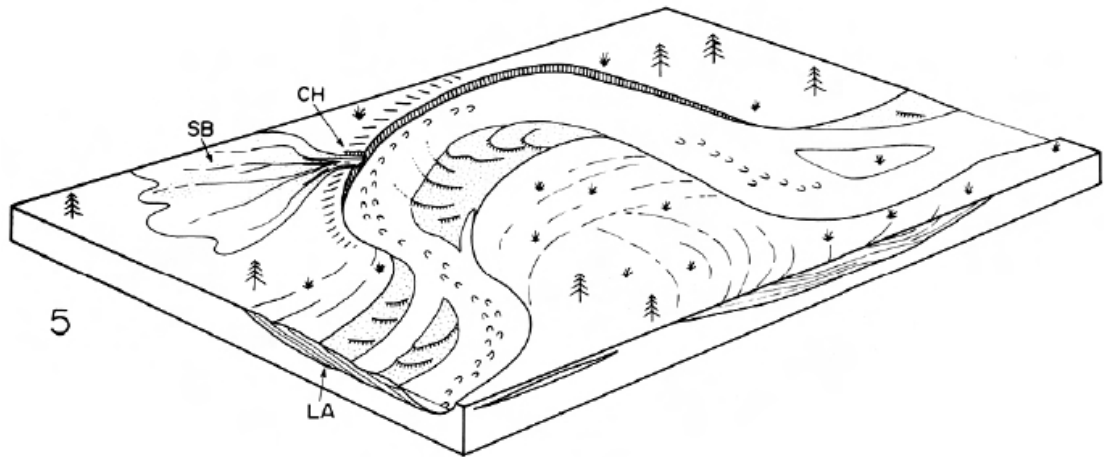
La columna estratigráfica numero 3, correspondiente al delta 40, según las estaciones de control geológico, se identificaron las facies, Gh, Sh y St, las cuales fueron agrupadas para lograr reconocer los elementos arquitecturales presentes en esta zona, lo que nos permite inferir el paleoambiente del área.

Tabla 11: Elementos arquitecturales, geometría y relaciones presentes en la columna estratigráfica C-LM-3. Delta 40.

ELEMENTO ARQUITECTURAL	ASOCIACIONES FACIALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Estructuras sedimentarias arenosas. SB	Sh, St	Lentes, capas que ocurren como rellenos de canales, crevasse splays.
Hoyo de erosión sin orientación. HO	Gh	De formas acucharadas con llenado asimétrico.

De la misma forma que en el caso anterior para los deltas 12 y 16, una vez definidos los elementos arquitecturales, es posible determinar el tipo de modelo depositacional. Para este caso, usaremos el modelo numero 5 propuesto por Miall (1978) en su artículo, "*Architectural Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to "Fluvial Deposit"*", este se caracteriza por presentar elementos arquitecturales SB, FM y canales, representa el típico sistema meándrico de grano grueso, con capas distintivas de areniscas tamaño de grano grava hasta guija en algunos casos, se cuenta también con numerosas capas de arena.

Figura 56: Modelo 5 propuesto por Miall (1978), areniscas y gravas, en un río de tipo meandriforme

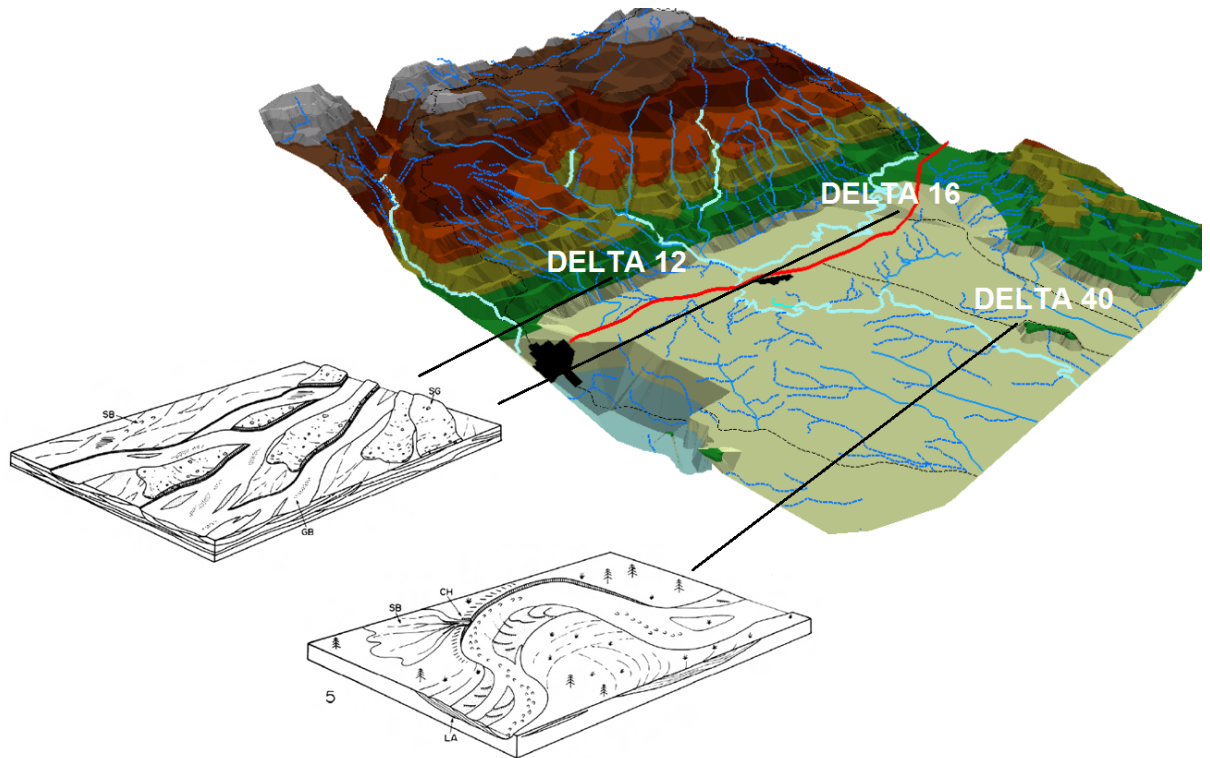


Fuente: Miall, 1978.

Es posible observar huellas del meandro y canales, son comunes en las llanuras de inundación. Las secuencias granocrecientes, dependen del flujo y patrones de sinuosidad alrededor de las capas.

A continuación se presenta un esquema de los modelos identificados y su ubicación en un diagrama digital de elevación donde es posible observar el patrón de depositación, según lo propuesto por Miall (1978):

Figura 57: Esquema donde se evidencian los modelos de sistemas fluviales identificados en la zona, superpuestos en el modelo digital de elevación.



De la figura anterior es posible observar el cambio en el patrón de la dinámica del drenaje para los dos modelos propuestos, para el caso de los deltas 12 y 16, para los cuales se plantea el modelo uno propuesto por Miall (1978), podemos concluir que en efecto es fiel a las litologías encontradas en campo y posteriormente asociada a los elementos arquitecturales SB, SG, OF y GB, el cual es propio de regiones correspondientes a abanicos aluviales, donde el río presenta una sinuosidad baja, junto con un patrón de trenzado y un régimen de flujo moderado a alto. Un poco más al E del área de estudio, en el delta 40 se puede observar un cambio en los patrones del río, para este caso y siguiendo el tipo de litología y tamaños de grano encontrados en el delta, es posible inferir el modelo 5 propuesto por Miall (1978), el cual se caracteriza por presentar elementos arquitecturales SB y FM propios de un sistema meandrónico de grano grueso tal y como se menciona, para este caso se pueden observar corrientes meandricas con alta sinuosidad de llanura de inundación. En el

diagrama se puede apreciar la posición de ambos modelos a lo largo del área de trabajo.

8. PETROGRAFIA DE LAS ARENAS

8.1 Clasificación Petrográfica para las muestras LM-12-4, LM-16-6, LM-16-7, LM-40-3, LM-40-4 analizadas. Según Triángulo Qz – F – L. (FOLK, 1974)

8.1.1 Formación Honda

8.1.1.1 Sección Delgada LM - 12 – 4

	Composición	Porcentaje		Porcentaje de recalcu- lo
Armazón	Qz	35.65%	70%	50%
	Feld.	3.04%		4.31%
	Líticos	31,31%		45.6%
Matriz		6.7.%		No se tienen en cuenta para asignar el nombre composicional de la muestras.
Cemento		7.75%		
Poros		15.24%		
TOTAL		100%		

NOMBRE DE LA MUESTRA: LITARENITA

8.1.1.2 Sección Delgada LM - 16 – 6

Según el conteo de clastos se encontró:

	Composición	Porcentaje		Porcentaje de re- calculo
Armazón	Qz	20%	34.2%	59%
	Feld.	1.09%		3.12%
	Líticos	13.11%		37.5%
Matriz		34.5%		No se tienen en cuenta para asignar el nombre composicional de la muestras
Cemento		19.28%		
Poros		12.02%		
TOTAL		100%		

NOMBRE DE LA MUESTRA: LITARENITA

8.1.1.3Sección Delgada LM - 16 – 7

	Composición	Porcentaje		Porcentaje de re- calculo
Armazón	Qz	35.09%	49%	71.2%
	Feld.	6.86%		13,8%
	Líticos	7.35%		14.85%
Matriz		27.4%		No se tienen en cuenta para asignar el nombre composicional de la muestras
Cemento		16.8%		
Poros		6.8%		
TOTAL		100%		

NOMBRE DE LA MUESTRA: ARCOSA LITICA

Según el conteo de puntos y la clasificación petrográfica de Folk (1974), para la secciones delgadas analizadas de la Formación Honda se tienen: Litarenitas y arcosas líticas. Aunque el nombre de las muestras macro con la misma nomenclatura, no corresponde con los nombres de las secciones micro aquí obtenidas, creemos que esto se debe a la poca precisión que se tiene al hacer la descripción macroscópica de las muestras. Dicha precisión si se tiene en cuenta en el momento de analizar las muestras microscópicamente, puesto que se puede ver con certeza el contenido de líticos ígneos y metamórficos y los cuarzos presentes, mediante el conteo de puntos respectivo. Cabe destacar el

alto contenido de fragmentos de roca ígneos y metamórficos expuestos en el catalogo de muestras micro, y así mismo la ausencia de plagioclasas en las muestras. Adicional a estas muestras, con la descripción mineralógica de las otras muestras sin conteo de puntos, se puede concluir que el contenido de cuarzos policristalinos y monocristalinos para esta formación es alto, los cuales se presentan a manera de gránulos, corroborando la litología observada en campo de conglomerados.

8.1.2 Formación Mesa

8.1.2.1 Sección Delgada LM - 40 – 3 Fm Mesa

	Composición	Porcentaje		Porcentaje de re-cálculo
Armazón	Qz	29.19%	82.48%	44.94%
	Feld	13.86%		21.34%
	Líticos	21.89%		33.72%
	Dúctiles	17.51%		
Matriz		7.29%		No se tienen en cuenta para asignar el nombre composicional de la muestras
Cemento		6.56%		
Poros		4% Difícil de observar		
TOTAL		100%		

NOMBRE DE LA MUESTRA: LITARENIA FELDESPATICA

8.1.2.2 Sección Delgada LM - 40 – 4 Fm Mesa

	Composición	Porcentaje		Porcentaje de re-calcu- lo
Armazón	Qz	37%	83%	37.3%
	Feld.	18,59%		25.2
	Líticos	37%		37.3%
	Dúctiles	66%		No se tienen en cuenta para asignar el nombre composicional de la muestras
Matriz	7.53%			
Cemento	4.02%			
Poros	5% Difícil de observar			
TOTAL		100%		

NOMBRE DE LA MUESTRA: ARCOSA LITICA

Para la Formación Mesa según el conteo de puntos y la clasificaron petrográfica de Folk (1954), para las secciones analizadas de la Formación Mesa se tienen: litarenita feldespática y arcosa lítica, lo cual concuerda con los nombres obtenidos en la descripción macroscópica para estas mismas muestras. Estas se caracterizan principalmente por su tamaño de grano de arena más fino, y su alto contenido de minerales dúctiles como horblenda y

biotita, así como su contenido de fragmentos de roca sedimentarios como el chert.

9. CORRELACION ESTRATIGRAFICA

9.1 correlaciónestratigráfica entre las columnas estratigráficas C-LM-1 y C-LM-2, correspondientes a las secciones estratigráficas SE-1 y SE-2 respectivamente

La correlación estratigráfica se realizó con el fin de generar una continuidad física entre dos puntos de control geológico diferentes y aislados de los afloramientos impregnados de bitumen, los cuales poseían como característica similar: El tamaño de grano y el grado de impregnación que iba disminuyendo hacia el tope.

La correlación estratigráfica, se realizó en base a las columnas estratigráficas SE-1 y SE-2 correspondientes a los puntos de control geológico LM-12 y LM-16 respectivamente, pertenecientes al Grupo Honda (Formación San Antonio). Litológicamente se encuentran compuestas de conglomerados líticos, areniscas de grano grueso y areniscas conglomeráticas, con intercalaciones de arcillolitas, y presencia de clastos metamórficos ígneos y en menor cantidad sedimentarios, cuya cantidad aumentan hacia el tope de la formación. La descripción de la correlación se hará de base a techo teniendo en cuenta las dos columnas al mismo tiempo.

Para el caso de la columna estratigráfica SE-1, esta inicia con una capa de basamento metamórfico, la cual no se hace presente en la columna SE-2. Luego de esto se presenta una capa conglomerática impregnada de bitumen de espesor considerable tanto en SE-1 como en SE-2. Estas capas son correlacionables debido a su similitud en litología, tamaño de grano e impregnación de bitumen.

Para la Columna SE-2, por encima de la capa impregnada se observa un paquete de areniscas de grano grueso las cuales no contiene impregnación, y por encima de ellas un pequeña capa de arcillolita. Este paquete no es visible ni continuo en la columna SE-1, por lo tanto estas capas se acuñan hasta

encontrar un paquete litológico que coincide en ambos lugares correlacionados.

Se observa entonces, un paquete de arenas de grano grueso limpias, sin impregnación de bitumen que aparecen en las dos columnas, tanto SE-1 como SE-2, cuyo espesor se conserva uniformemente.

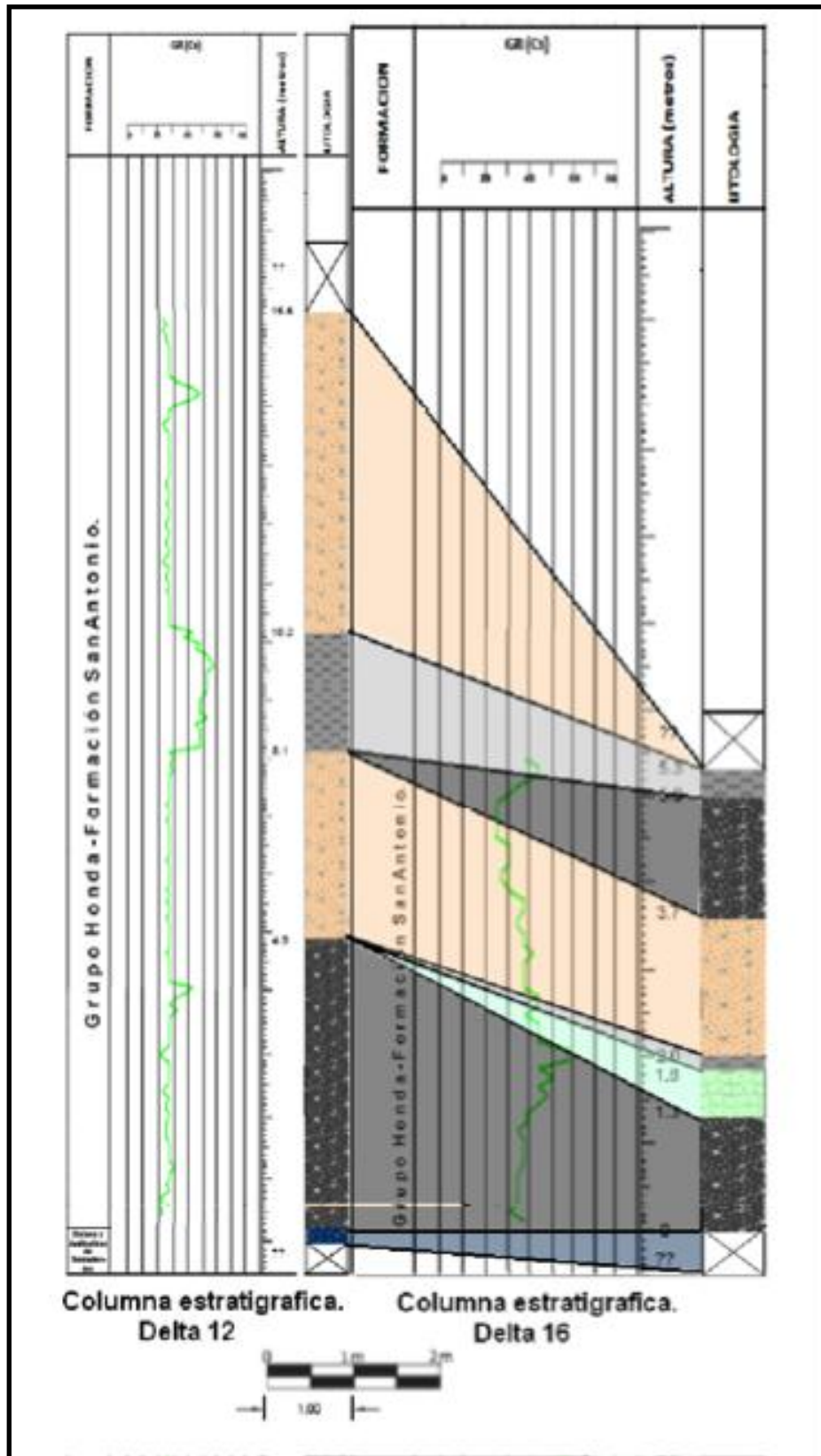
Luego de esta capa, en la columna SE-2, vuelven aparecer los conglomerados impregnados, pero en menor proporción los cuales no se hacen presentes en la columna SE-1.

Vuelve a ver correlación al aparecer una capa de arcillolitas sobre los conglomerados impregnados en SE-2, las cuales poseen un mayor espesor en SE-1, pero conservan las mismas características de tamaño de grano, color y textura.

Finalmente la última capa de la columna SE-1 corresponde a areniscas de grano grueso limpias las cuales no están presentes dentro de la columna SE-2, indicando una erosión de la capa en esta columna.

De esta correlación podemos inferir que la continuidad física tanto de los conglomerados, las areniscas y las arcillolitas son correlacionables, puesto que aparecen en dos puntos de control geológico diferentes y se conservan las características físicas más representativas de la litología, los espesores y la secuencia de estratificación. (Ver figura 61).

Figura 58: Correlación Estratigráfica entre SE – 1 Y SE – 2, pertenecientes al Grupo Honda.



10. ANALISIS PETROFISICOS

Para los análisis petrofísicos los cuales fueron realizados en el laboratorio de análisis petrofísicos del Instituto Colombiano del Petróleo ICP, se tomaron de las dos campañas de campo los *plugs* extraídos, para este caso en verde se encuentran las muestras correspondientes al delta 12 y 16. Se eligieron estas muestras para realizar este capítulo, pues son las que presentan impregnación de bitumen.

La evaluación de un yacimiento petrolífero involucra el conocimiento de las características básicas de las rocas productoras. La mayoría de estas rocas son sedimentarias y pueden ser clasificadas según como han sido formadas.

Para este caso, se determinó *porosidad* y *permeabilidad*, la primera considerada como la capacidad que tiene una roca de contener fluidos, cabe aclarar que para que un yacimiento sea productivo debe tener una porosidad suficiente para almacenar un volumen considerable de hidrocarburos y la segunda como la medida de la facilidad con que una formación permite el paso de un fluido de determinada viscosidad a través de ella.

Para que una roca sea permeable debe tener porosidad interconectada (poros, cavernas, vasos capilares o fracturas). Con esto es posible determinar *petrofacies* para evaluar la calidad de la roca de yacimiento, sin embargo esto se basa principalmente en el *radio de garganta de poro* dominante. Por definición el radio de garganta de poro es el radio del círculo trazado perpendicular a la dirección del flujo dentro del punto más estrecho de la conexión entre poros, mientras que el radio de un poro es el radio de la esfera más grande que se pueda colocar dentro del poro.

Los sistemas de poros pueden ser organizados dentro de acuerdo al radio de garganta de poro, este radio puede ser medido a través del análisis de pruebas de presión capilar (método de inyección de mercurio) o análisis de secciones delgadas, desafortunadamente para nuestro caso, no contamos con análisis de inyección de mercurio, y no fue posible medir la garganta de poro en las secciones delgadas con las que se cuenta.

MUESTRA	PORO CONV.	PERMEABILIDAD AIRE (md) 400 (psi)
LMP1D12	41,83%	965
LMP2D12	29,35%	48
LMP3D12	31,58%	250
LMP4D12	31,89%	133
LMP5D12	41,96%	2085
LMP6D12	35,01%	609
LMP7D12	30,71%	252
LMP8D12	27,14%	4,0
LMP9D12	24,58%	3,6
LMP10D12	24,13%	4,2
LMP11D16	35,48%	1067
LMP12D16	40,18%	97
LMP13D16	39,74%	138
LMP14D16	20,46%	3167
LMP15D16	41,04%	627
P1D40A	39,52%	2010
P2D40A	28,18%	181
P3D40A	26,90%	127
P4D40A	26,64%	7502
P5D40A	27,32%	106
P6D40A	26,87%	166
P7D40A	24,32%	98
P8D40A	30,51%	301
P9D40A	30,86%	637
PAB22P1	28,94%	
PAB22P2	28,92%	
PAB23P2	28,11%	
PAB23P4	25,50%	
PAB13P1	32,36%	

PAB13P3	33,52%	
PAB13P4	32,90%	
PAB13P9	22,02%	
PAB13P10	23,64%	
PAB13P11	23,84%	
PAB13P14	27,90%	
PAB13P15	30,64%	
PAB15P1	37,18%	
PAB8P1	26,18%	1819

Tabla 12: Listado de análisis petrofísicos de *plugs* para las diferentes columnas. Laboratorio de análisis petrofísicos del ICP.

Tanto los poros como las gargantas de poros pueden ser divididos de acuerdo a rangos petrofísicos significantes. Grandes poros pueden no contribuir al flujo a menos que estos se encuentren conectados con otros poros, esta conectividad se aumenta con el tamaño del radio de garganta de poro y con el incremento del número de las mismas que los rodea.

En la siguiente tabla se muestran los tipos de roca de acuerdo a la dimensión del radio de garganta de poros.

Tipos de garganta de poros de acuerdo a su tamaño	Rango de tamaño
Megaporosa (petrofacies 1)	> 10 micrones
Macroporosa (petrofacies 2)	De 2 a 10 micrones
Mesoporosa (petrofacies 3)	De 0.5 a 2 micrones
Microporosa (petrofacies 4)	De 0.1 a 0.5 micrones
Nanoporosa (petrofacies 5)	< 0.1 micrones

Tabla 13: Clasificación de los tipos de roca según el radio de garganta de poro. Tomado de Salazar Rodríguez, 2004.

Winland en 1980, desarrollo una relación empírica entre la porosidad, la permeabilidad al aire y los radios porales, correspondientes a una saturación de mercurio de 35%, pese que no encontró la razón por la cual con el r_{35} se obtenía una mejor relación, resulto ser una forma de determinar el radio de garganta de poro sin tener datos de inyección de mercurio.

$$r_{35} = 0.732 + 0.588 \log K_{air} - 0.864 \log \phi$$

Pero no fue sino hasta 1992 cuando Pittman mediante una serie de ecuaciones determino que la porosidad y la permeabilidad tomadas de muestras pueden ser utilizadas para estimar el tamaño de la apertura de poros, la ecuación del r_{35} mostrada por Winland resulta ser la mejor manera de calcular el radio de garganta de poros si se tienen los datos de porosidad y permeabilidad convencionales.

Pero se ha demostrado que en algunos casos el radio de garganta de poro calculado por la fórmula del r_{35} no es el que mejor representa a las verdaderas características del conjunto de muestras que se estén estudiando, sin embargo la usaremos en este trabajo como método de comparación a las gráficas de porosidad y permeabilidad, asumiendo lo encontrado por Winland.

MUESTRA	r35
LMP1D12	1.085
LMP2D12	0.452
LMP3D12	0.846
LMP4D12	0.681
LMP5D12	1.281
LMP6D12	1.035
LMP7D12	0.859
LMP8D12	0.152
LMP9D12	0.079
LMP10D12	0.009
LMP11D16	1.173
LMP12D16	0.514
LMP13D16	0.608
LMP14D16	1.657
LMP15D16	0.982

Tabla 14: Tabla de radio de garganta de poros utilizando la ecuación de Winland para el r35, aplicadas a las muestras de los deltas 12 y 16.

Según los resultados obtenidos, se puede observar que los *plugs* con mejores resultados son el P1, P3, P4, P5, P6, P7, P11, P13, P14, P15, pertenecientes a los deltas 12 y 16 y en color rojo en la tabla.

Para el delta 12 los *plugs* del 1 al 7, se tratan litológicamente de arenisca impregnada en un 70%. Posee matriz totalmente impregnada de bitumen, compuesta por grano medio en su mayoría y de grano grueso en menos cantidad, mientras que los *plugs* del 8 al 10 es una arcillolita de color verdoso, por lo que presenta permeabilidades relativamente bajas.

Para el delta 16, las mejores muestras se tratan litológicamente de Arenisca impregnada de bitumen en un aproximado de 30%, de matriz arenosoportada, con clastos subangulares dispuestos en forma irregular.

Nos basamos en calificar las muestras como buenas o malas, según el tamaño de la garganta de poros determinada inicialmente con la ecuación de r_{35} , que es dependiente de la porosidad y la permeabilidad usando el siguiente grafico propuesto por Winland para la identificación de petrofacies que representa el radio de garganta de poro, teniendo en cuenta que es esta propiedad la que nos puede dar una idea de la calidad de la roca.

En el siguiente grafico se encuentran evidenciados los diversos *plugs*, tomando la porosidad y permeabilidad como base para definir el radio de garganta de poro, lo que corroboran los datos obtenidos mediante la ecuación del r_{35} .

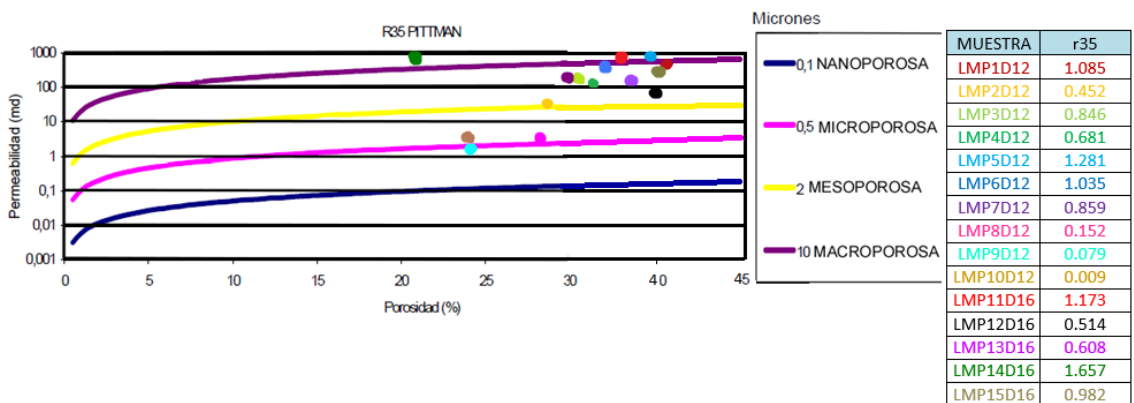


Figura 59: Grafico para la identificación de petrofacies, en donde se ven representadas el radio de la garganta de poro. Modificado de Winland.

Del anterior grafico podemos notar que efectivamente tal cual y como fue calculado con la ecuación de Winland de r_{35} , las muestras correspondientes a las arcillolitas obtenidas en el delta 12, poseen en menor radio y se mueven en rangos de mesoporosa a microporosa, es evidente que al construir una gráfica con las curvas de radio de garganta presentes se puede diferenciar de mejor manera las características de flujo e identificar las mejores muestras.

Una vez contando con datos del radio de garganta de poro, es posible elaborar una tabla comparativa que nos permita asociar las facies determinadas en la fase inicial, se presenta a continuación:

MUESTRA	r35	FACIES
LMP1D12	1.085	Gmg
LMP2D12	0.452	Gmg
LMP3D12	0.846	Gmg
LMP4D12	0.681	Gmg
LMP5D12	1.281	Gmg
LMP6D12	1.035	Gmg
LMP7D12	0.859	Gmg
LMP8D12	0.152	Fsm
LMP9D12	0.079	Fsm
LMP10D12	0.009	Fsm
LMP11D16	1.173	Gmg
LMP12D16	0.514	Gmg
LMP13D16	0.608	Gmg
LMP14D16	1.657	Gmg
LMP15D16	0.982	Gmg

Tabla 15: Tabla en donde se muestra la asociación de facies con el tamaño de garganta de poro.

De la tabla anterior es posible notar que las facies **Gmg**, correspondientes a Grava matriz soportada, tienen el radio de garganta de poro mayor y resultan ser las mejores muestras.

Otra forma de identificar las mejores facies presentes en la roca es mediante la identificación de unidades de flujo, que resulta una forma útil de determinar la calidad de la roca. Para la identificación de las diferentes Unidades de Flujo, se utilizó la metodología de Lorenz, donde se relaciona la capacidad de almacenamiento con la capacidad de flujo y se analizan las diferentes pendientes que reproduce la gráfica.

Para llevar a cabo el grafico de Lorenz o Lorenz Plot, es necesario determinar la *capacidad de flujo y de almacenamiento*, siendo estas dos calculadas así:

Capacidad de Flujo: $K*H$

Capacidad de almacenamiento: $\Phi * H$

Debido a que se cuenta con la profundidad a la que fueron tomados los *plugs*, es posible para nosotros determinar estas dos variables que nos permiten usar el grafico de Lorenz para observar el comportamiento facial con las unidades de flujo. Las distancias son dadas en metros.

MUESTRA	H (m)	CAPACIDAD DE FLUJO	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
LMP1D12	1.5	1447,5	62,75
LMP2D12	1.8	86,4	52,83
LMP3D12	2.0	500	63,16
LMP4D12	2.3	305,9	73,34
LMP5D12	2.8	5838	117,48
LMP6D12	3.4	2070	119,03
LMP7D12	4.0	1008	112,84
LMP8D12	8.5	230,69	34
LMP9D12	9.2	226,13	33,12
LMP10D12	9.8	236,47	41,16
LMP12D16	0.30	29,1	12,054
LMP13D16	0.50	69	19,87
LMP14D16	0.90	2850,3	18,414
LMP15D16	1.3	815	53,352

Tabla 16: Tabla donde se muestran los resultados de capacidad de flujo y almacenamiento junto con los *plugs*.

En el siguiente gráfico, propuesto por Lorenz, llamado el grafico de Lorenz o Lorenz Plot, se evidencia las principales unidades de flujo presentes en la zona para el delta 12, se eligió este delta debido a que tiene mayor densidad de datos de *plugs*.

Al analizar las diferentes pendientes y vincularlas con las facies depositacionales, descritas anteriormente, se observa que algunas de ellas presentan un comportamiento similar, desde el punto de vista petrofísico y dinámico.

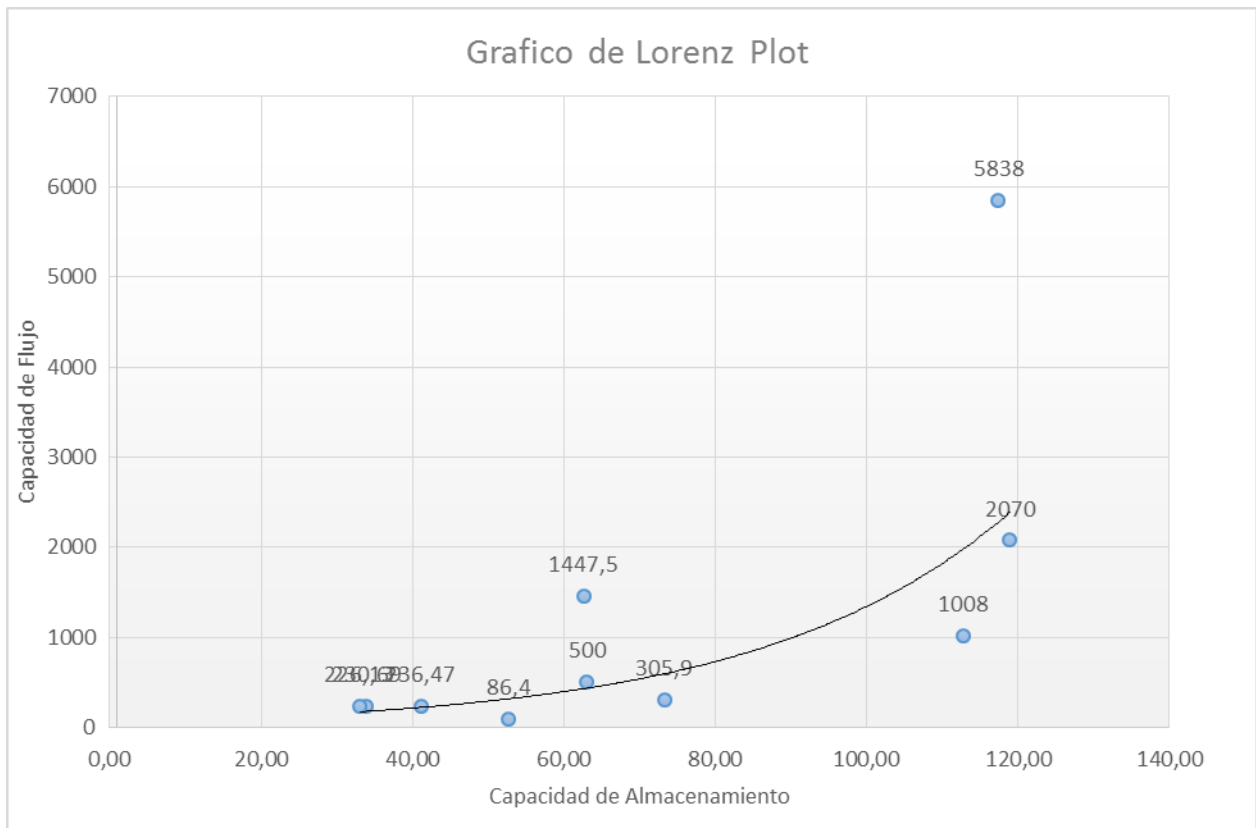


Figura 60 : Grafico de Lorenz o Lorenz Plot, en donde es posible observar las principales unidades de flujo

Según el grafico de Lorenz las unidades de flujo que se encuentran en los puntos más altos de las pendientes de la gráfica, resultan ser las que muestran la mejor calidad de roca, pues tienen una buena relación entre la capacidad de flujo y almacenamiento, evidenciándose en la pendiente que presentan en el gráfico.

Para ser más exactos los *plugs* correspondientes en el delta 12 a P1- P3- P4- P5- P6- P7, son las rocas con mejor calidad encontradas, evidencian alta capacidad de flujo y almacenamiento lo que las convierte en buenas rocas reservorio, en el delta 16 solo el P15 presenta estas características.

Para tener en cuenta cada caso, vale resaltar que por el contrario a lo que se había obtenido en el cálculo de r_{35} el P13 correspondiente al delta 16 presenta bajas capacidades de flujo y almacenamiento al igual que los *plugs* 12 y 2, 8, 9 y 10, correspondientes a los deltas 16 y 12 respectivamente, por lo que no son consideradas rocas de buena calidad, sin embargo cabe mencionar que en el dato del r_{35} el valor obtenido para la garganta de poro en el P13 era de 0.6, lo que la convierte en una roca casi microporosa, es posible ver esto también en el grafico propuesto por Winland.

En el caso del P14 perteneciente al delta 16, podría ser una roca de buena calidad, lo que ocurre con esta muestra es un caso especial a los ya planteados anteriormente, la permeabilidad, es decir, la capacidad de flujo aplicada al gráfico de Lorenz, resulta ser buena, sin embargo la capacidad de almacenamiento es muy baja, es posible ver esto en los resultados obtenidos de la petrofísica, donde se leen porosidades en un rango de 20%, algo bajo con respecto al resto, pero debido a que tiene buena capacidad de flujo, algo que es bastante importante, se clasifica con un rango medio, sin llegar a calificarla como una roca de baja calidad, pues los resultados muestran que funcionaría bien al momento de dejar pasar fluidos en la baja porosidad que presenta.

10.1 ANALISIS DE RADIOCTIVIDAD (DATOS GAMMA RAY)

Durante la segunda campaña de campo y como apoyo para corroborar la litología encontrada en las 3 columnas estratigráficas anexadas a este trabajo, se realizaron mediciones cada 10 cm aproximadamente en orden ascendente en cada una de las secciones con un Centellometro de mano, con el fin de construir un registro gamma ray que asociado a la litología encontrada, brinda una mayor seguridad de la misma.

Para el delta 12, así como para el delta 16 y 40, se construyeron curvas de radioactividad mediante los gráficos de estos datos contra la distancia en que fueron medidos, así:

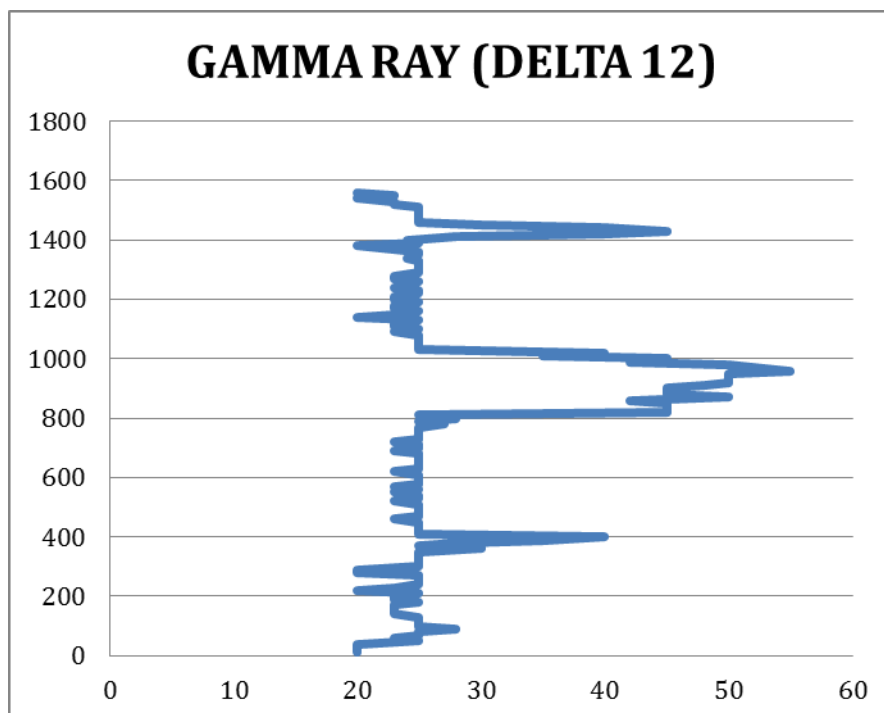


Figura 61: Grafico donde se muestra la curva obtenida de gamma ray para el delta 12.

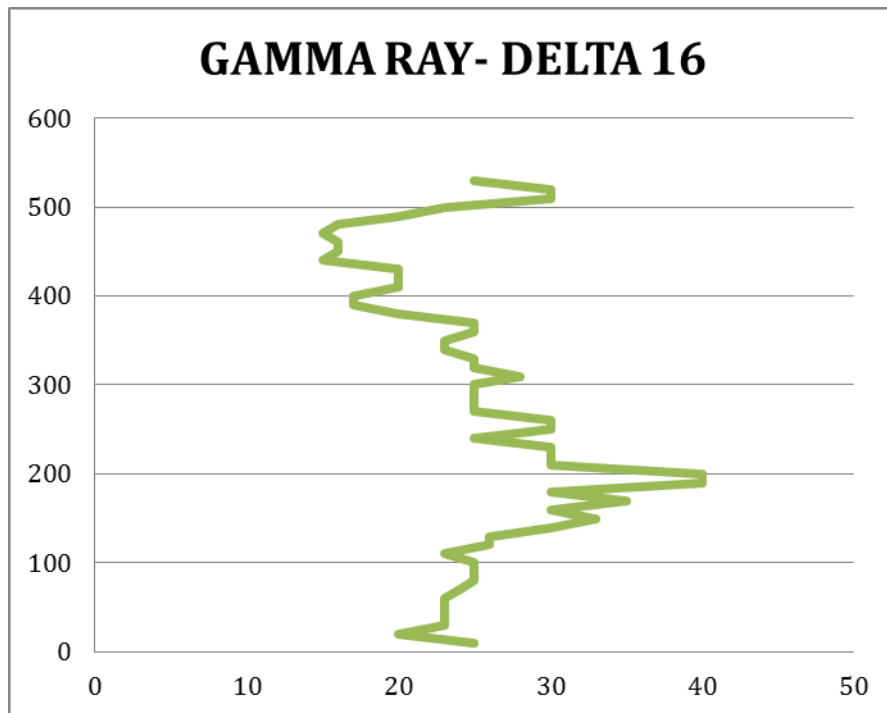


Figura 62: Grafico donde se muestra la curva obtenida de gamma ray para el delta 16.

Al graficar las curvas de gamma ray para las 3 secciones estratigráficas, es posible notar las zonas que presentan mayor radioactividad, al asociarlas a la litología se observa que estos pertenecen a rocas con facies finas como Fsm correspondientes a rocas tamaño de grano limo. En el delta 12 es donde mejor se observa el contraste de la curva, correspondiendo las zonas de más baja radioactividad a rocas como areniscas clastosoportadas. Todo esto es posible de corroborar en las columnas estratigráficas donde se logra una comparación entre el registro y la litología junto con la distancia a la cual fueron tomados los datos con ayuda del Centellometro.

11. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el análisis petrográfico realizado para las secciones delgadas elaboradas, se puede concluir que la Formación Honda, miembro San Antonio hacia el Sur occidente de Armero Guayabal se encuentra compuesta por un alto contenido de fragmentos líticos tanto ígneos como metamórficos y que la deformación de sus cuarzos, recristalizados, algunos ígneos y otros foliados (metamórficos), podemos decir que se estas arenas conservan fragmentos típicos de la deformación del basamento más próximo el cual corresponde a los gneises y anfibolitas de Tierradentro.
- Se realizó la cartografía geológica a escala 1:25000, en las dos campañas de campo de la zona de trabajo comprendida por las coordenadas al Norte 1'040.000 a 1'056.000 y al Este 895.000 y 920.000, en las inmediaciones del municipio de Armero Guayabal en el Departamento del Tolima, donde se plantearon los contactos para las Formaciones Honda, Mesa y Neises y Anfibolitas de Tierradentro.
- Se levantaron tres columnas estratigráficas a una escala de 1:100, dos de ellas (1 y 2) con impregnaciones de bitumen en la parte basal de las secciones en areniscas de tamaño de grano grava correspondientes a los deltas 12 y 16, atribuidas a la Formación San Antonio y la tercera columna correspondiente al delta 40 perteneciente a la Formación Mesa. Adicionalmente se elaboró una columna estratigráfica generalizada.
- Se identificaron las litofacies principales presentes en cada columna estratigráfica para los deltas 12, 16 y 40, las facies características de las

rocas almacenadoras de bitumen son de tipo Gmg o gravo matriz soportada, también se encontraron facies limo como Fsm y de grava estratificada como Gt. Las facies arenosas como Sm, Sh, St, fueron encontradas en las columnas 2 y 3.

- Se determinó dos modelos de depositación para el ambiente fluvial en el caso de las arenas bituminosas, basado en lo propuesto por Miall 1984, correspondientes a los deltas 12 y 16, columnas estratigráficas 1 y 2 respectivamente se determinó el modelo de Abanicos aluviales proximales con flujos sedimentarios gravitacionales, característico por presentar elementos arquitecturales, SB, SG, OF y GB, es propio de regiones proximales a abanicos aluviales, donde el balance entre el área fuente, las tasas de meteorización de la zona y las lluvias, dan lugar a abundantes flujos de escombros.
- Se determinó las petrofacies, mediante datos de petrofísica básica, como porosidad y permeabilidad, los cuales fueron realizados en el laboratorio de análisis petrofísicos del Instituto Colombiano del Petróleo ICP. Se calculó mediante la ecuación de r_{35} , el radio de garganta de poro y se graficaron los datos de porosidad y permeabilidad, lo que arrojó como resultado petrofacies que van desde mesoporosa a macroporosa para las areniscas gravosas impregnadas de bitumen y facies microporosa para las de tamaño de grano limo, también se calcularon la capacidad de almacenamiento y de flujo, con el fin de determinar la calidad de la roca, obteniendo finalmente que las mejores muestras corresponden a los plugs 1,3,4,5,6 y 7 pertenecientes al delta 12 y el P15 al delta 16.

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aumentar la densidad de datos para la petrofísica básica, que permita conocer más afondo las diferentes zonas y comportamiento de las rocas impregnadas de bitumen.
- Realizar análisis petrofísicos de saturación de aceite, para poder realizar una relación con la porosidad y permeabilidad.
- Se recomienda realizar análisis de inyección de mercurio, que permita generar un dato más exacto del tamaño de garganta poral de las rocas almacenadoras y así poder definir mejor la calidad de las mismas.
- Se recomienda realizar el levantamiento de más secciones estratigráficas en el Grupo Honda, Formación San Antonio que brinden una información más exacta en la correlación, y así dar un mejor resultado en el modelo estratigráfico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACOSTA, F., Obando, E (1984). Structural Development of the Southermost Middle Magdalena Valley. 23th Field ConferencePartTwo. Empresa Colombianade Petróleos Ecopetrol.
- [2] BARRERO, D., Vesga, C. (1978), Edades K/Ar en rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Central de Colombia y su implicación geológica. Resúmenes, II Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, Colombia, 19 p.
- [3] BARRERO, D. & Vesga, C. J. (1976), Mapa geológico del cuadrángulo K-9 y mitad sur del J-9. Dirección regional INGEOMINAS, Ibagué.
- [4] CACERES H., (1984), Ocurrencia de Hidrocarburos en superficie en el extremo sur del valle medio del Magdalena, I congreso colombiano de Petróleo, Instituto colombiano del Petróleo, Centro de Información técnica, Piedecuesta, Santander.
- [5] CAMACHO, J., Celada, C. (2004), Definición de las Zonas Potenciales para Esmeclitas en los Departamentos de Valle del Cauca, Tolima y Caldas., INGEOMINAS; Bogotá.
- [6] CLAVIJO TORRES. Jairo. et al (2008). Evolución geológica de la serranía de san Lucas, norte del valle medio del magdalena y noroeste de la cordillera oriental. Boletín de geología vol. 30.
- [7] CRUZ GUEVARA. Luis Enrique y CABALLERO. Victor Manuel. 2007 Guías para la descripción de textura y composición de rocas terrígenas. Bucaramanga. 26/06/2007

- [8] DE PORTA, J. (1966), Geología del extremo Sur del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataquí (Colombia). Bol. Geol. No.22, 1-347, 37 Figs., 48 fotos, Univ. Industr. Santander, Bucaramanga.
- [9] ETAYO, F. et al 1969. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Ingeominas. Universidad Nacional de Colombia.
- [10] FEININGER. T., Barrero, D & Castro, N., 1972 Geología de Antioquia y Caldas (Sibzona IB) Boletín Geológico Ingeominas 20(2). 1-173
- [11] FOLK, R. L. (1974) Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas 78703.
- [12] GÓMEZ, E., Jordan, T., Allimendiger, R., 2003. Controls on Architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic Southern Middle Magdalena Valley Basin. GSA Bulletin vol. 115; no. 2; p. 131-147.
- [13] INCERA H. (2007), Crisis Energética. Recuperado el 11 de Octubre de 2008, disponible en: <http://www.crisisenergetica.org/article.php>
- [14] MARQUÍNEZ, G., Nuñez, A., (1998), Catalogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, neises y anfibolita de Tierradentro., INGEOMINAS., PP 22., Bogotá.
- [15] MIAL, A. D., 1977. A Review of the Braided River Depositional Environment. Earth Sci. Rev.13. p. 1-62
- [16] MIAL, A. D., 1984. Architectural – Element Analysis: A New method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. SEPM 2012.
- [17] MIAL, A. D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer. New York.
- [18] MOJICA, J. & Franco, R., 1990. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. Geológico Colombiano, No 17. Bogotá.
- [19] MORETTI, I., Charry, G.R., Morales, M.M., Mondragon, J.C., 2010. Integrated exploration workflow in the south Middle Magdalena

Valley (Colombia). Journal of South American Earth Sciences 29 (2010) 187 – 197.

[20] 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.

[21] TOUSSAINT, (1999). Evolución geológica de Colombia. Universidad nacional.

[22] VERGARA, H: (1988). Rasgos neotectonicos en el nor-este del Tolima. Ingeominas Informe N 2089^a.

[23] VESGA, BARRERO; (1982). Tomado de: CORTOLIMA, Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del rio Totare, convenio Cortolima- SENA- Universidad del Tolima. p. 174 Disponible en:

http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/g_26geologia_totare.pdf

[24] VILLAMIL., (1999). Campaniano N1 tectonostratigraphy depocenter Evolution basis development.

[25] YILDIRIM, Y. (2003), Application of Vapex (Vapour extraction) Process on carbonate reservoirs. Disponible en:

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

ANEXO A Catálogo de muestras macro

CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.

CÓDIGO DE MUESTRA

LM - Δ1 - 1

TIPO DE ROCA

Metamórfica

TIPO DE TEXTURA

NEISICA

TIPO DE COMPONENTES

Feldespato plagioclasa tipo albita, cuarzo, anfíboles de tipo

NOMBRE DE LA ROCA

NEIS ANFIBOLITICO



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color verde oscuro, de grano grueso a medio, con textura néisica, que origina un bandeado composicional alternante de capas de minerales claros (feldespato plagioclasa mayor del 20%, albita, cuarzo) y capas de minerales oscuros (biotita, anfíboles)

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ1 - 2

TIPO DE ROCA

ÍGNEA

TIPO DE TEXTURA

PORFIRITICA CON
MATRIZ AFANITICA

**COMPOSICION
MINERAL**

Feldespato plagioclasa,
Anfíboles, Olivino.



OBSERVACIONES: Roca ígnea volcánica intermedia de grano fino. Posee una textura porfirítica con matriz afanítica, los minerales ferromagnesianos y los feldespatos se presentan en fenocristales, estos últimos muestran zonación normalmente.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ2 - 1
TIPO DE ROCA	METAMÓRFICA
NOMBRE DE LA ROCA	ANFIBOLITA
TIPO DE TEXTURA	MASIVA



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color verde oscuro. Posee estructura masiva, aunque se observan cristales de plagioclasa con una orientación horizontal formando bandeamiento entre las plagioclasas y las micas.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ3 - 1

TIPO DE ROCA

NEIS

**NOMBRE DE LA
ROCA**

METAMÓRFICA

TIPO DE TEXTURA

NEISICA



OBSERVACIONES: Roca metamórfica típicamente de estructura bandeada de grano fino a medio, en su composición presenta cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, anfíboles, algunos piroxenos. Y en un porcentaje de un 30% micas moscovita y biotita.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ3 - 2
TIPO DE ROCA	METAMÓRFICA
NOMBRE DE LA ROCA	ANFIBOLITA
TIPO DE TEXTURA	MASIVA



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color verde oscuro, con estructura masiva y textura afanítica compuesta por cristales de hornblenda alargados, agujeros, presencia de mica biotita y cristales de plagioclasas, así como de cuarzo lechoso. Se encuentra un poco oxidada.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ3 - 3
TIPO DE ROCA	
NOMBRE DE LA ROCA	METAMÓRFICA NEIS CUARZOFELDESPATIC O
TIPO DE TEXTURA	Neisica



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de textura néisica de tamaño de grano medio, presentando bandeamiento entre minerales de cuarzo y feldespato plagioclasa, además presenta anfíboles y mica moscovita en menor porcentaje.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ4 - 1

TIPO DE ROCA

Metamórfica

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Neis

TIPO DE TEXTURA

Neisica



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color verde claro y textura bandeada pero un poco masiva. Se observan venillas muy pequeñas de cuarzo y plagioclasa alargadas en la misma dirección de bandeamiento.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ5 - 1
TIPO DE ROCA	Metamórfica
NOMBRE DE LA ROCA	Esquisto Micaceo
TIPO DE TEXTURA	Esquistosa



OBSERVACIONES: Roca metamórfica, con estructura esquistosa cuya coloración rojiza se presenta debido a que esta fuertemente meteorizada y a sufrido grandes periodos de oxidación. Se observa los cristales de mica bien conservados, alargados donde se puede observar perfectamente su exfoliación en laminas.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ5 - 2

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado
Arenoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado Litico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria, de color rojiza con tamaño de grano grava, guijarros y forma de grano muy angular-esférico. La muestra se encuentra mal calibrada, posee armazón grano soportado y matriz grava arenosa. El contacto entre sus partículas es flotante. Esta muestra se encuentra particularmente oxidada y disgregada y predominan los fragmentos de roca de origen sedimentario y metamórficos.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ7 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Limolita
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Limolita



OBSERVACIONES: Roca Sedimentaria de color gris. Posee tamaño de grano limo, pero no se puede observar la forma de grano. Esta muestra posee armazón lodosoportado y matriz lodosa. Finalmente posee estructura masiva.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ8 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Lodosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Litarenita



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color amarillo crema, de tamaño de grano medio y forma de grano subangular-no esférica. Posee un armazón lodo-soportado y una matriz lodosa. El contacto entre sus partículas es tangencial, texturalmente se encuentra submadura y presenta una estructura masiva.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ9 - 1
TIPO DE ROCA	Metamórfica
NOMBRE DE LA ROCA	Esquisto Micáceo
TIPO DE TEXTURA	Esquistosa



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de textura esquistosa. Se observan los cristales de cuarzo y plagioclasa que llevan la misma orientación de bandas paralelas, También se pueden observar en mayor cantidad cristales pequeños de mica . Esta roca no posee impregnación de bitumen.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ9 - 2

TIPO DE ROCA

Metamórfica

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Esquisto Micáceo

TIPO DE TEXTURA

Esquitosa



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color gris claro, con estructura esquistosa. Se observa el bandeamiento en la roca de los minerales y la orientación preferencial de los planos de esquistosidad, los cuales están compuestos por micas biotita y moscovita, así como feldespato plagioclasa. .Esta roca no posee impregnación de bitumen.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ10 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca de grano
grosso,
moderadamente
calibrada

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Sublitoarenita



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grueso, y forma de grano angular no redondeado. La muestra posee guijas de origen sedimentario e ígneo en muy poca cantidad, y también gránulos de origen metamórfico, debido a esto se encuentra moderadamente calibrada. La muestra posee intercalaciones entre areniscas grises y areniscas que contienen líticos color negro. Su armazón es grano soportado y su matriz areno lodosa.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ11 - 1

TIPO DE ROCA

Metamórfica

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Esquisto Micáceo

TIPO DE TEXTURA

Esquistosa



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color verde oscuro, con estructura esquistosa. Se observa la presencia de mica biotita y en menor cantidad de mica moscovita. También se pueden observar los planos de orientación preferente de los cristales de cuarzo que van formando venillas paralelas a la dirección de foliación. La muestra se encuentra afectada por procesos de oxidación y no posee impregnación de bitumen.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado arenoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado lítico



OBSERVACIONES: Roca de color negro totalmente impregnada de bitumen, de tamaño de grano grava y forma de granos esférico a subangular. Se encuentra mal calibrada debido a la variedad de tamaño de granos que posee lo que la convierte en submadura texturalmente. Posee armazón gravo soportada y matriz areno lodosa. El contacto entre partículas es flotante y no posee ninguna estructura visible, debido a la alta impregnación de bitumen que se comporta al mismo tiempo como cementante de los gránulos por la cual está compuesta.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - BI

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca
Conglomeratica

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Muestra compuesta por arena de tamaño de grano medio y forma angular. Se encuentra moderadamente calibrada, posee armazón areno soportado y matriz gravo areno lodosa, el contacto entre sus partículas es puntual y es submadura. Esta muestra posee un color marrón debido a su contenido de bitumen, también se presentan gránulos en un 2% del total de la roca.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 2 - 1

TIPO DE ROCA

Metamórfica

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Anfibolita

TIPO DE TEXTURA

Masiva



OBSERVACIONES: Roca metamórfica con estructura masiva, de color verde oscuro. Posee cristales negros ojerosos, y cristales de mica moscovita. También posee minerales de plagioclasa y cuarzo.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 3

TIPO DE ROCA

Metamórfica

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Esquisto Micáceo

TIPO DE TEXTURA

Esquistosa



OBSERVACIONES: Roca metamórfica con estructura esquistosa. Se encuentra bastante meteorizada, pero a pesar de esto se puede observar el bandeamiento que posee y la orientación preferente de todos los cristales presentes en la muestra. La muestra presenta alto grado de oxidación razón por la cual toma la coloración rojiza actual que posee. No se encuentra impregnada de bitumen.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ12 - 4
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Lodosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arenisca ligeramente Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano fino a muy fino (arena), con forma de grano esférica subangular, bien calibrada, con armazón arenosoportado y matriz lodosa. Posee porosidad primaria, y contacto entre partículas puntual. Se encuentra texturalmente madura y su estructura es masiva. Presenta contenido de mica moscovita en fragmentos pequeños. Su coloración gris oscura es debido a contenido de bitumen identificado en el olor que emana.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 5

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado
ligeramente arenoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado lítico



OBSERVACIONES: Muestra de roca bastante disgregada, no compacta. Tamaño de grano grava y forma de grano no esférico-angular. Se encuentra mal calibrada, con armazón gravo soportada y matriz gravosa. El contacto entre partículas es flotante y texturalmente es inmadura. Los fragmentos de roca son sedimentarios y en menor proporción algunos son ígneos.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 6

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Limolita

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

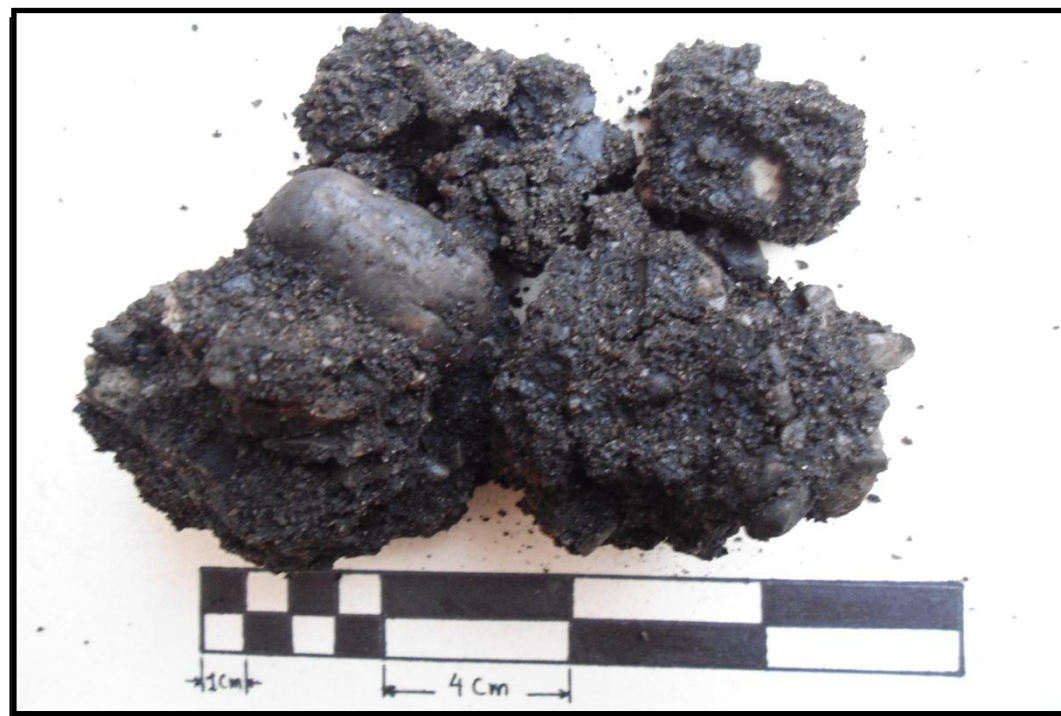
Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano limo a lodo, por lo cual no se puede observar la forma de sus granos y se encuentra bien calibrada. Posee armazón lodosoportada. Texturalmente se encuentra madura y su estructura es masiva. Presenta fragmentos de roca de mica moscovita y unos minerales de color blanco-arcilloso. Aunque no es visible, dentro de la composición de la roca, la presencia de bitumen se hace evidente por medio del olor que emana.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ12 - 7
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado arenoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Lítico altamente impregnado de bitumen



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grava, con forma de grano angular no esférico. Se encuentra mal calibrado, con armazón gravo soportado y matriz arenosa. El contacto entre sus partículas es flotante y se encuentra texturalmente inmadura. No posee ninguna estructura aparentemente visible, y se observa totalmente masiva. La coloración totalmente negra refleja el contenido alto de impregnación de bitumen que posee. Los fragmentos de roca son angulares y alargados. La muestra es bastante friable.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 8

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arcillolita

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcillolita



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano lodo-arcilla. Se encuentra muy bien calibrada. Su armazón es lodosoportada y texturalmente es madura con estructura masiva. Posee un color gris verdoso y se le denomina a la muestra Bentonita.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 9

TIPO DE ROCA

Metamórfica

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Anfibolita

TIPO DE TEXTURA

Masiva



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color oscuro, tamaño de grano fino, se evidencian algunos minerales de tipo anfíbol, piroxenos.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ12 - 10

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Grava Arenosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

SublitoConglomerado



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano arena gruesa, aunque posee alta presencia de guijarros. Posee forma de grano subangular-no esférica, se encuentra mal calibrada y su armazón es gravo-arenosa soportado con matriz arenosa. El contacto entre sus partículas es flotante y texturalmente es inmadura. La impregnación de bitumen es media y debido a esto su coloración es negro un negro opaco.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ12 - 11
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Conglomeratica
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica Conglomeratica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano muy gruesa con algunos gránulos. Se encuentra mal calibrada, con armazón grano-soportado y matriz gravo arenosoportado. Se encuentra totalmente impregnada de bitumen, el cual actúa como cemento en la roca. Texturalmente es una roca inmadura y su estructura es masiva. Los cuarzos de esta muestra se encuentran totalmente opacos (brillo mate) debido a la alta impregnación de bitumen. La composición de clastos o fragmentos de roca no se puede observar muy bien debido a la coloración totalmente negra.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ14 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arcillolita

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria muy bien calibrada, con armazón lodosoportada. Posee estructura masiva y es de color gris oscuro.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ15 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado
Arenoso ligeramente
Lodoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado
feldespático Lítico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano muy grueso, forma de grano esférico-angular, mal calibrado. Con armazón arenosoportado y matriz arenosa. Posee contacto entre partículas puntual, texturalmente es submadura y su estructura es masiva. Esta muestra presenta coloración naranja debido a la oxidación, a su vez los granos de cuarzo que posee son de coloración lechosa, y los guijarros de cuarzo son de forma angular. Algunos gránulos se encuentran achatados o aplastados.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ16 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Grava Arenosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa Lítica -
Litarenita



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano arena muy gruesa a guijas. La forma de los granos es angular y posee un mal calibrado. El armazón es grano-soportado, y la matriz gravo-areno-lodosa, se encuentra cementada por bitumen. EL contacto entre partículas es flotante, texturalmente se encuentra inmadura y no posee estructura alguna. Posee impregnación de Bitumen medio por lo tanto su color negro no tan claro.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ16 - 2

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca Lodosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria compuesta por arena de tamaño fino, con forma de grano subangular-esféricos, se encuentra bien calibrada, con armazón areno-soportado y matriz areno-lodosa. Su porosidad es primaria intergranular, y el contacto entre sus partículas es longitudinal, texturalmente se encuentra submadura. Esta muestra aunque no está totalmente impregnada, emana olor a bitumen. Esta muestra también posee cuarzo bipiramidal, traslucido y fragmentos de roca de color rojizo reflejando la oxidación de minerales ferromagneasianos.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ16 - 3
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado Lodoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Lítico ligeramente feldespático



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano guijas y gránulos, la forma de grano es muy angular-no esférico, se encuentra mal calibrada, con armazón gravo-soportado y matriz gravo-areno-lodosa. Posee porosidad primaria intergranular. EL contacto entre sus partículas es longitudinal, texturalmente se encuentra inmadura y no posee laminación alguna.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ16 - 4

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado Lítico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria con tamaño de grano grava, guijarros. Posee forma de grano angular, no esférico, se encuentra mal calibrada, con armazón gravo soportado, y matriz gravo arenosa. Se encuentra muy poco cementada debido a que se disgrega muy fácilmente. El contacto entre sus partículas es flotante, texturalmente es inmadura y no posee estructura o laminación alguna.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ16 - 5

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Limolita Arenosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano limo, con forma de grano subangular, se encuentra bien calibrada, posee armazón lodo soportado y matriz lodosa, bien cementada. El contacto entre sus partículas es puntual su estructura es masiva. En esta muestra la impregnación de bitumen es muy poca, pues solo se percibe el olor a bitumen que emana. La muestra presenta algunas partes de coloración naranja debido a la oxidación de pequeños fragmentos de roca ferromagnesianos.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ16 - 6
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Grava Arenosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Litico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grava, gránulos. Forma de granos muy angular no esférico, la muestra se encuentra mal calibrada, posee armazón grano soportada y matriz areno-lodosa. El contacto entre sus partículas es flotante y texturalmente se encuentra inmadura. Por ultimo esta muestra no se encuentra totalmente impregnada de bitumen pero se puede percibir olor a bitumen y el contenido de fragmentos de roca en su armazón es elevado (20%)

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ16 - 7

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca lodosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Litarenita



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano arena muy gruesa, con forma de grano muy angular-no esférico. Se encuentra moderadamente calibrado, posee armazón areno-soportado, y matriz areno-lodosa. La porosidad es primaria intergranular, el contacto entre partículas es flotante.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ17 - 1

TIPO DE ROCA

Ígnea

TIPO DE TEXTURA

Fanerítica

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Feldespato plagioclasa,
Mica biotita, Mica
Moscovita, Anfibol,
Cuarzo



OBSERVACIONES: Roca ígnea de textura fanerítica, de tipo Monzonita con estructura granulosa compuesta de ortosa, de feldespato plagioclasa, de hornblenda, de augita y de biotita.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ18 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca Arcillosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de grano medio a muy grueso, y de forma angular- subangular. Se encuentra moderadamente calibrada, y posee armazón arenosoportada en una matriz areno-lodosa. El contacto entre partículas es flotante y texturalmente es submadura.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ18 - 2
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca lodosa gravosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria con granos de tamaño muy grueso y subangulares, posee también algunos gránulos (tamaño grava), moderadamente calibrada. Con armazón grano-soportada y matriz areno-lodosa, contacto entre partículas flotante e inmadura texturalmente. La muestra posee fragmentos de roca ferromagnesianos, de color negro, alargados y de brillo vítreo (fragmentos de mica biotita y anfíboles). Posee unas manchas blancas las cuales indican ¿?

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ18 - 3

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arenisca ligeramente
Lítica



OBSERVACIONES: Arenisca de grano medio a grueso con tal solo un 3% de tamaño grava, granos esféricos - subangulares, moderadamente calibrada, con armazón areno soportada y matriz lodosa. Contacto entre partículas flotantes, estructura masiva y madurez textural submadura.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ18 - 4
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Lodosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color gris claro, arenisca lodosa de tamaño y forma de grano Medio y Angular, respectivamente. Roca con matriz y armazón Areno soportada, contacto entre partículas longitudinal y texturalmente Submadura.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ18 - 5
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Limolita
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano muy fino de color gris oscuro. Posee forma de grano angular-esférico. Posee un armazón lodo-soportado dentro de una matriz lodosa, con un contacto entre partículas flotante. Su armazón esta compuesta por un 65% de lodo-limo, con un 5% de tamaño de grano arena.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ19 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado arenoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Lítico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grava, con forma de grano no esférico-subangular. Posee mal calibrado, armazón gravo soportado y matriz arenosa. Posee contacto entre partículas flotante y texturalmente es inmadura. No posee estructura alguna. Esta muestra posee fragmentos de roca de tipo ígneo con textura porfiritica y matriz afanítica, de composición intermedia, con minerales tipo plagioclasa, anfíboles (Horblenda). Esta muestra posee fragmentos volcanosedimentarios que presentan oxidación.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ19 - 2

TIPO DE ROCA

Ígnea

TIPO DE TEXTURA

Fanerítica

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Cuarzo, Feldespato
plagioclasa, anfíbol,
mica biotita.



OBSERVACIONES: Guijarros encontrados en el afloramiento de la estación 19. Estos guijarros se encuentran redondeados y su composición es de origen ígneo. El afloramiento se encuentra compuesto por gravas cuyos fragmentos de roca son estos grandes guijarros cuya composición es totalmente ígnea.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ19 - 3
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca ligeramente Conglomeratica
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de forma de grano no esférico-subangular y tamaño de grano de medio a grueso. Moderadamente calibrada, con matriz areno-soportada y matriz areno-lodosa. El contacto entre sus partículas es puntual, texturalmente es submadura y posee estructura masiva. Los fragmentos de roca que posee esta muestra son ferromagnesianos y algunos sedimentarios con forma angular no esférica. El cuarzo presenta fractura concoide, forma rectangular y tono lechoso.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ21 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de grano medio a grueso, esférico-subangular, roca de color gris, muy bien calibrado. Posee armazón grano-areno soportado en una matriz lodosa, estructura masiva, contacto entre partículas puntual y madura texturalmente.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ21 - 2

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado
Arenoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado Lítico
ligeramente
feldespático



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grava aunque posee algunos granos de tamaño arena muy gruesa. La forma de los granos es esférico-subangular, y se encuentran mal calibrados. Posee un armazón gravo soportado y una matriz areno lodosa. El contacto entre sus partículas es puntual, con estructura masiva. Texturalmente submadura.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ21 - 3

TIPO DE ROCA

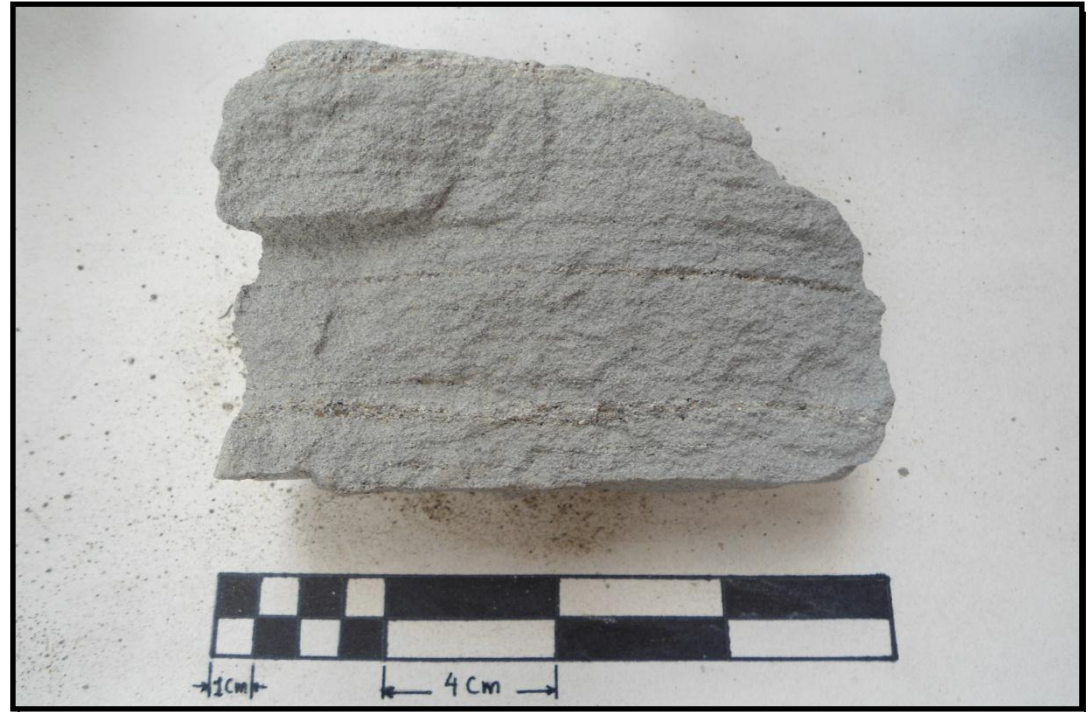
Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria, de color gris, de grano fino a medio, bien calibrada, con granos esféricos - subangulares. Posee armazón areno-soportada, matriz lodosa. El contacto entre partículas es flotante. Posee laminación plano paralela neta, en la cual se encuentran el tamaño de grano medio, en medio de un armazón de tamaño de grano fino.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ21 - 4
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grueso, y forma de grano redondeado-esférico. Bien calibrado, con armazón areno-soportada y matriz lodosa. Contacto entre partículas puntual, texturalmente madura y con estructura masiva. Muestra de color gris.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ21 - 5
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Limosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Subarcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano fino, armazón areno-soportado, matriz lodosa. Granos muy bien calibrados, contacto entre partículas flotante y estructura ondulosa asimétrica. Muestra de color gris.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ22 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca Lodosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Roca Sedimentaria de tamaño de grano muy fino, con granos esféricos subangulares. Muestra muy bien calibrada, con armazón lodosoportada y matriz lodosa. El contacto entre partículas es flotante y posee una estructura plano paralela difusa que se puede apreciar debido al cambio de coloración en la laminación. Muestra totalmente gris homogéneo.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ22 - 2

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Lodolita Limosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Roca Sedimentaria de tamaño de grano lodo, bien calibrada. Posee un armazón lodo soportado y una matriz lodosa. También posee una estructura ondulosa.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ23 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca lodosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Litarenita ligeramente
feldespática



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color gris oscuro con textura areno-soportada, y matriz lodosa. Tamaño de grano fino a medio, con forma de grano esférico-subangular. Esta muy bien calibrada, con contacto entre partículas puntual y estructura masiva, bastante compacta. Texturalmente madura. La muestra presenta fragmentos de roca de color negro.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ24 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Limosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Subarcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color gris oscuro, tamaño de grano fino a muy fino, con textura areno-soportada y matriz lodosa muy bien cementada. Posee una estructura masiva y se encuentra bien calibrada. También posee cristales de mica, aunque pequeños, son visibles.

CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.

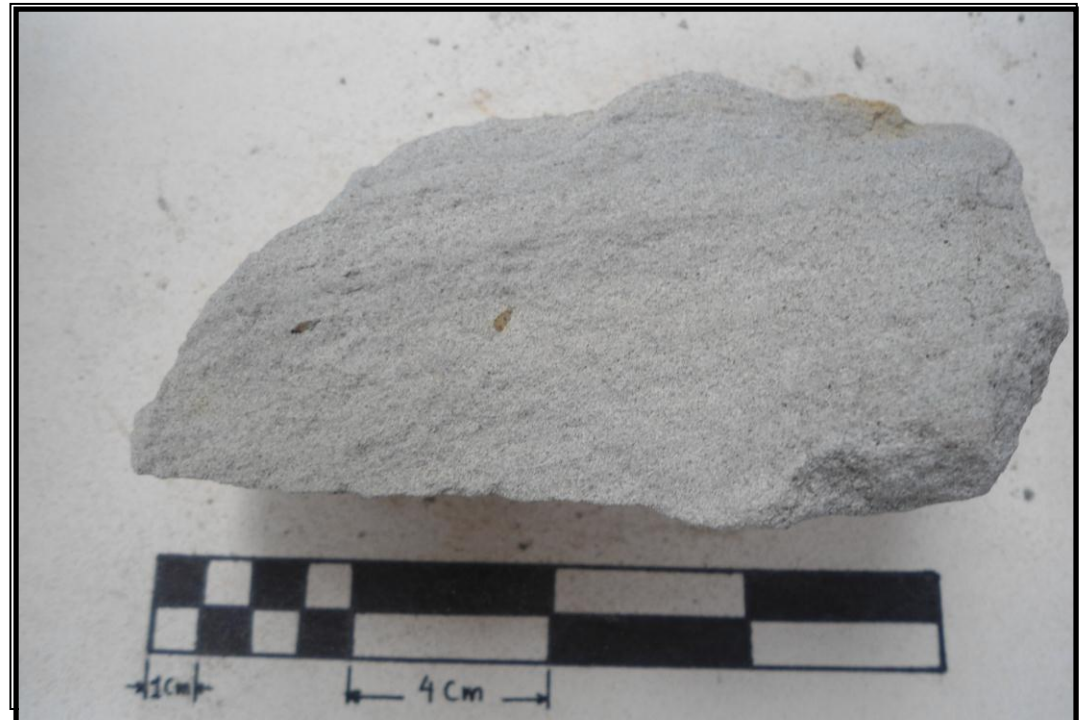
CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ25 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Subarcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color gris oscuro a negro y tamaño de grano grueso. La forma de los granos es angular y su distribución uniforme hace que se encuentre bien calibrada la muestra. Posee armazón grano-soportado y Matriz areno-lodosa. El contacto entre sus partículas es longitudinal y texturalmente submadura. Posee una textura masiva. FRAGMENTOS DE ROCA NEGROS.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ26 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Lodosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Ligeramente Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color gris claro, con laminación plano paralela continua, tamaño de grano muy fino, y forma angular. La muestra se encuentra bien calibrada, lo cual se evidencia en la madurez textural. Posee armazón areno-soportado y matriz lodosa, el contacto entre partículas es flotante.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ26 - 2
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arcillolita
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Mudstone



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano lodo arcilla. La forma de grano no se aprecia. Se encuentra muy bien calibrada. Su armazón es lodo soportado, su matriz lodosa. Se encuentra bien cementada. El contacto entre partículas es puntual/tangencial. La roca presenta color gris, estructura masiva y esta bastante compacta.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ28 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Ligeramente Conglomeratica
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color amarillo crema, con armazón areno soportado y matriz areno-lodosa. Tamaño de grano de medio a grueso y forma esférica y subangular. La muestra se encuentra moderadamente calibrada y texturalmente es submadura. El contacto entre partículas es longitudinal y la estructura masiva.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ28 - 2
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Lodosa Ligeramente Conglomerática
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca Sedimentaria de color amarillo crema, de tamaño de grano medio y forma subangular. La muestra se encuentra moderadamente calibrada, con armazón grano-soportada, y matriz areno-lodosa. El contacto entre partículas es flotante y se encuentra inmadura, puesto que presenta una variedad en el tamaño de grano. Posee fragmentos de roca de tipo ferromagnesianos que oxidan la roca un poco.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ30 - 1

TIPO DE ROCA

ÍGNEA

TIPO DE TEXTURA

Porfiritica con matriz
afanítica

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Feldespato Plagioclasa,
Anfiboles, Mica Biotita.



OBSERVACIONES: Roca ígnea volcánica intermedia de grano fino. Posee una textura porfiritica con matriz afanítica, los minerales ferromagnesianos y los feldespatos se presentan en fenocristales, estos últimos muestran zonación normalmente.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ31 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado Lodoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Lítico Ligeramente Feldespático



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grava, con forma de grano esférico- subangular. Se encuentra mal calibrado con armazón gravo soportado y matriz lodosa y contacto entre partículas flotante. Estructura masiva. Los fragmentos de roca que posee son de origen sedimentario, de forma subangular-esférico y colores oscuros. La roca se encuentra altamente oxidada. EL cuarzo presenta forma angular, color opaco (brillo mate).

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ31 - 2
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado Areno Lodoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado de Areniscas



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano arena gruesa con algunos gránulos presentes, la forma de sus granos es muy angular-no esférica. La muestra se encuentra moderadamente calibrada y esta totalmente disgregada debido a que es una muestra de canal que se encuentra bastante oxidada. Posee armazón areno-soportada y matriz gravo-areno-lodosa. El contacto entre partículas no se puede observar debido a que la muestra no esta totalmente litificada.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ32 - 1
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado Arenoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado de Feldespato Lítico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de amaño de grano grava, con forma de grano esférico-subangular, se encuentra mal calibrada, con armazón gravosoportado y matriz areno-lodoso. EL contacto entre sus partículas es flotante, texturalmente inmadura y estructura masiva. La roca se encuentra oxidada y se evidencia en la coloraron rojiza que presenta. Los cuarzos son de forma angular a subredondeados.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ32 - 2

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Limolita

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano lodo, muy bien calibrada, con armazón lodosoportado, texturalmente madura y estructura masiva. Posee un 95% de armazón lodo de color rojizo el cual evidencia su alto grado de meteorización.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ32 - 3

TIPO DE ROCA

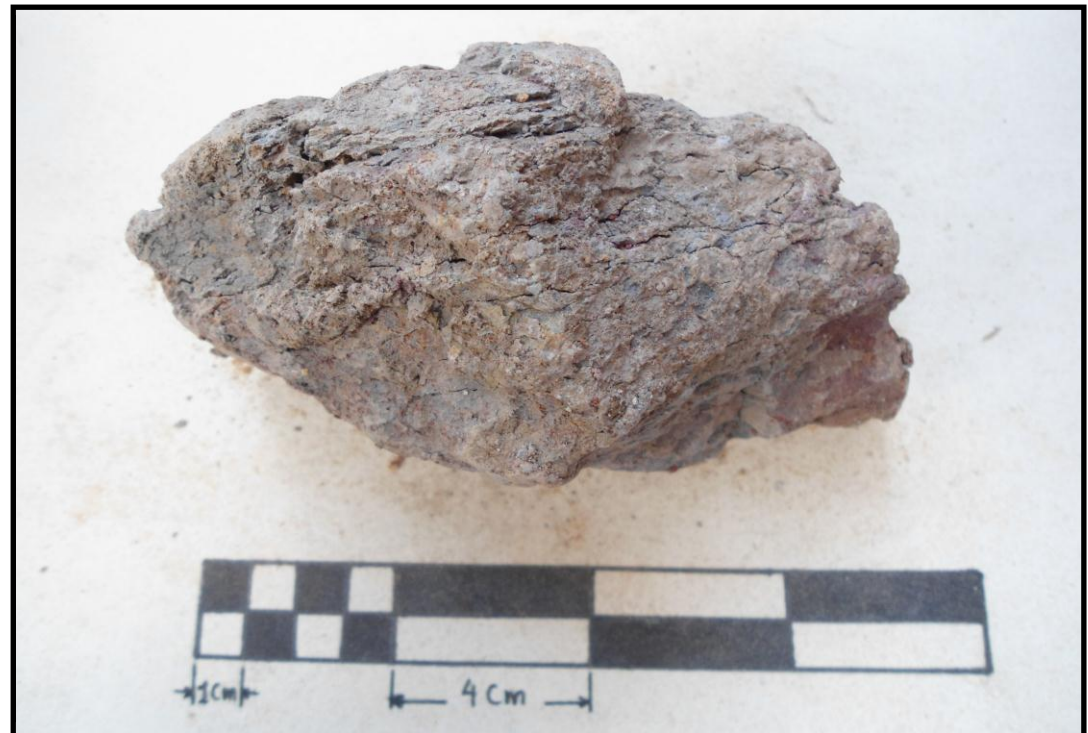
Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arcillolita
Ligeramente Limosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano lodo, muy bien calibrada, con armazón lodosoportado. La roca se encuentra muy meteorizada, los minerales se encuentran alterados y se alcanza a observar un poco de oxidación.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ32 - 4

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado
Arenoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado Lítico
Ligeramente
feldespático



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano grava, con forma de grano no esférico-angular. Se encuentra mal calibrada y posee armazón gravosoportado y matriz arenosa, el contacto entre sus partículas es flotante, texturalmente se encuentra inmadura y posee estructura masiva. Los fragmentos de roca son de origen sedimentario, algunos formados por partículas de tamaño limo y los cuarzos existentes son lechosos de forma no esferica.angular.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ33 - 1

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca Lodosa
Ligeramente
Feldespática

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa Lítica
Ligeramente
Feldespática



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano arena gruesa, con forma de grano angular esférico. Se encuentra mal calibrado. Posee armazón areno soportado y matriz gravo-areno-lodosa. El contacto entre sus partículas es flotante, se encuentra texturalmente submadura y la roca se encuentra cementada por la cantidad de bitumen que posee. Esta muestra fue tomada de un pequeño canal impregnado del afloramiento del delta 33.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ33 - 2
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Conglomerado Areno Lodoso
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Litarenita



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano muy grueso y forma de grano subangular, se encuentra moderadamente calibrada. Posee un armazón areno soportada, matriz gravo arenosa. El contacto entre partículas es flotante, texturalmente se encuentra submadura. En la muestra se observan laminas de mica que se van deshojando cuando se observa la muestra bajo el macroscopio.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ33 - 4

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Lodolita Limosa
Ligeramente Lodosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Litarenita
Ligeramente
Feldespática



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano arena fina, con forma de granos subredondeados, moderadamente calibrada. Posee armazón areno soportado, matriz lodosa y estructura masiva. En esta muestra predomina los fragmentos de mica que se hacen notorios debido a su brillo vítreo.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ33 - 5

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Conglomerado
Arenoso

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Conglomerado Lítico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de tamaño de grano muy grueso, forma de granos angulosos-subredondeados. Posee armazón grano soportado y matriz grano arenosa. EL contacto entre sus partículas es flotante y texturalmente se encuentra inmadura. Esta roca se encuentra totalmente impregnada de bitumen, y por eso su coloración negra.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ34 - 1

TIPO DE ROCA

Metamórfica

TIPO DE TEXTURA

Masiva

**NOMBRE DE LA
ROCA**

Anfibolita



OBSERVACIONES: Roca metamórfica de color verdoso, estructura masiva, compuesta de anfíboles.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ40 - 1
Arcosa Lítica

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca Limosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arenisca Arcillosa



OBSERVACIONES: Capa A (Columna Estratigráfica): Roca Sedimentaria de Color amarillo claro, con un armazón areno soportado, moderadamente calibrada, con granos Subangulares no esféricos y contacto entre partículas flotante. Posee una estructura plano paralela difusa.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40 - 2
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Arcillosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa



OBSERVACIONES: Capa A (Columna Estratigráfica): Arcosa, areno arcillosa de grano grueso a muy grueso, moderadamente calibrada, granos no esféricos-subredondeados, con contacto entre partículas flotante, submadura. Posee un armazón granosoportado Soportado en una matriz lodosa.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40 - 3
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca de tamaño de grano fino, bien calibrada
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Subarcosa



OBSERVACIONES: Arenisca fina limosa, bien calibrada, con estructura masiva, con forma de los grano no esférico-subangular, bien calibrada. Posee armazón areno soportado dentro de una matriz lodosa. Contacto entre partículas puntual y por el buen sorteamiento de los granos es una roca madura.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ40 - 4

TIPO DE ROCA

Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca de
grano fino

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Capa B (Columna Estratigráfica): Arcosa de grano fino a muy fino, con granos no esféricos, subangulares, bien calibrado. Posee armazón grano Soportado, dentro de una matriz lodosa, con un contacto entre partículas puntual. Roca Madura, con estructura masiva.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40 - 5
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Capa C: (Columna Estratigráfica). Roca sedimentaria de color amarillo claro a blanco debido a su alto contenido de cuarzo. Posee tamaño de grano de fino fina bien calibrada con 1% de presencia de gujarros a medio, con armazón areno-soportado y matriz areno lodosa. Presenta una estructura masiva, y posee un calibrado moderado..

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

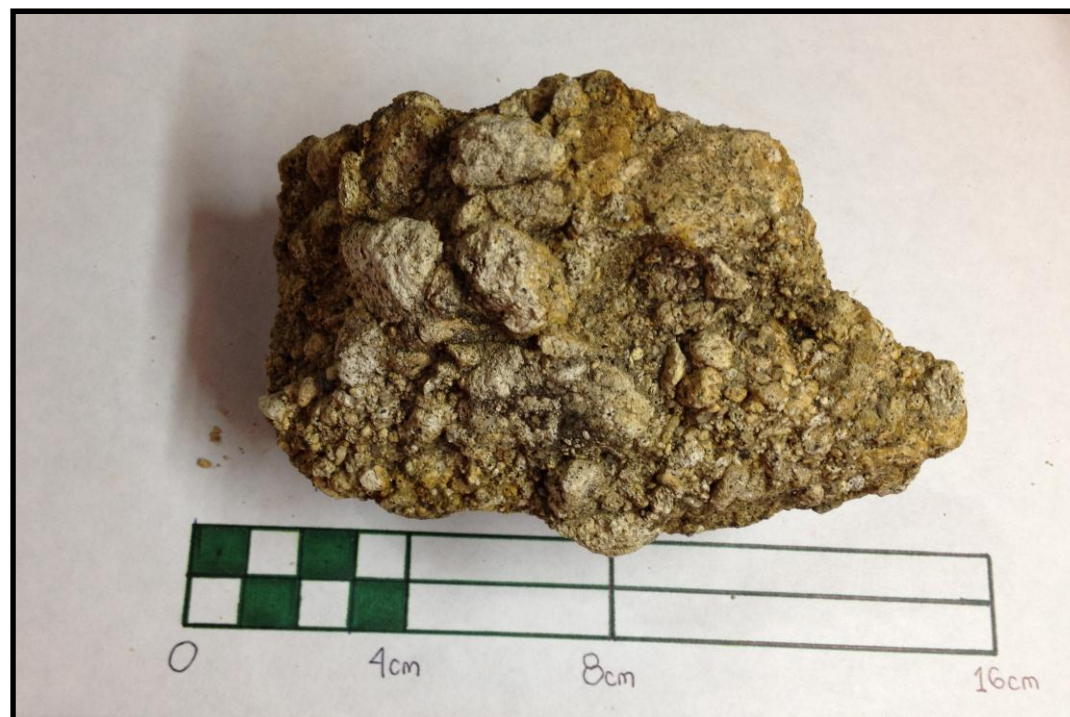
CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40 - 6
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Conglomeratica
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	SubArcosa



OBSERVACIONES: Capa C (Columna Estratigráfica): Roca Sedimentaria de tamaño de grano fino a medio, aunque dentro de su armazón también presenta granos de tamaño grava (gránulos 20%), presenta sus granos son no redondeados-angulares, moderadamente calibrado, con armazón grano-soportada y matriz areno-lodosa. Contacto entre partículas flotante y estado submaduro de la roca. Posee una estructura masiva.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40 - 7
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Litoconglomerado de roca ígnea
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado Lítico Feldespático



OBSERVACIONES: Capa E (Columna Estratigráfica): Roca sedimentaria, grano soportada y matriz areno lodosa. La forma de sus grano es esférica-subangular y se encuentra mal calibrada por la cual su estado de madurez es submaduro. Posee estructura masiva. Esta muestra posee fragmentos de roca ferromagnesianos poco alterados. Entre ellos se tiene la mica biotita, anfíboles y piroxenos.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40 - 8
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Litoconglomerado de roca ígnea
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Conglomerado de Feldespato Lítico



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de color amarillo claro, con algunos fragmentos de roca totalmente blancos. El tamaño de grano es muy grueso aunque contiene un gran porcentaje de tamaño grava, (gránulos 45%). Mal calibrado de partículas, armazón grano soportado con matriz areno soportada. Forma de los granos subangular, no esféricos. Por su contenido de Fragmentos de roca líticas y de ferromagnesianos se podría clasificar como un Litoconglomerado de rocas ígneas.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

**CÓDIGO DE
MUESTRA**

LM - Δ40 - 9

TIPO DE ROCA

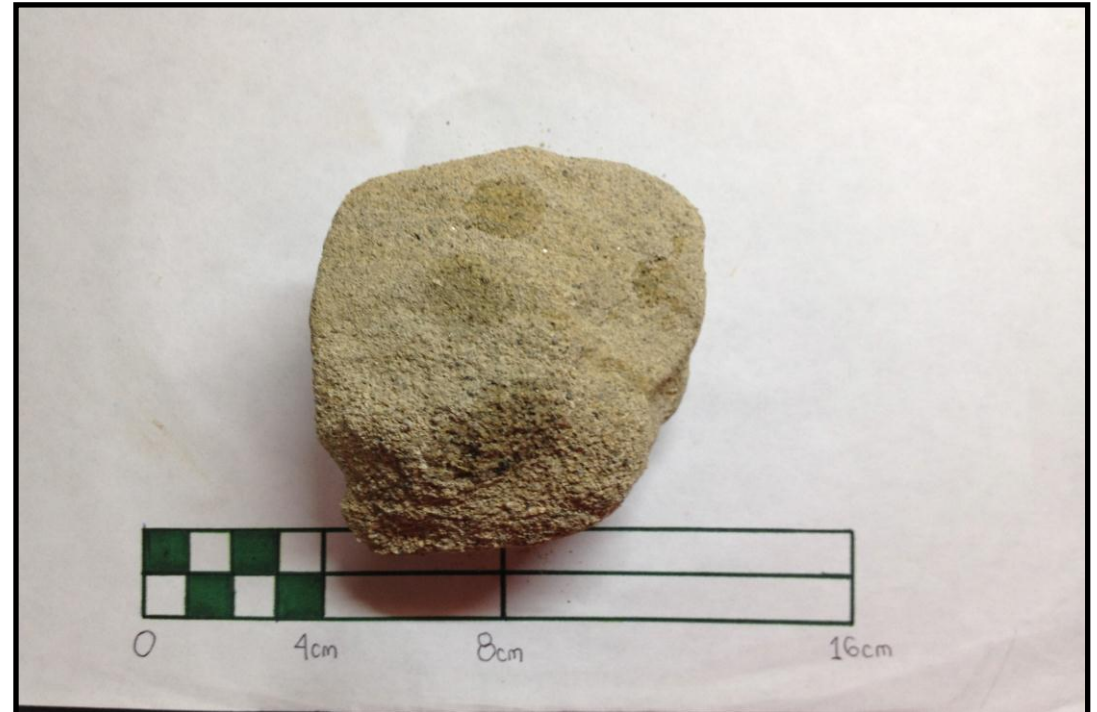
Sedimentaria

**CLASIFICACIÓN
TEXTURAL**

Arenisca Arcillosa

**CLASIFICACIÓN
COMPOSICIONAL**

Arcosa



OBSERVACIONES: Capa E (Columna Estratigráfica): Roca sedimentaria con tamaño de grano grueso, de forma muy angular a angular no esférico, bien calibrada. Posee armazón Areno soportada y matriz areno lodosa, partículas bien calibradas. Posee contacto entre partículas flotante y se encuentra en estado de submadurez. Esta roca efervesce un poco al contacto con acido clorhídrico indicando así la presencia de cemento calcáreo.

**CATALOGO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS AL SW DEL MUNICIPIO DE ARMERO
GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.**

CÓDIGO DE MUESTRA	LM - Δ40-10
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Arenisca Lodosa
CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL	Arcosa Lítica



OBSERVACIONES: Roca sedimentaria de grano muy fino, y forma de grano subangular-esférica. Se encuentra muy bien calibrada. Posee armazón lodo-soportado y matriz areno-lodosa. El contacto entre sus partículas es puntual. En la muestra se evidencian unas intercalaciones de areniscas y lodolitas las cuales forman una estructura en artesa hacia la base de la muestra y hacia el tope se observa laminación ondulosa. Esta muestra posee fragmentos de roca de color negro, muy pequeños, rectangulares y delgados. Posee fragmentos de roca de feldespatos y hojitas de mica.

Anexo B Catálogo de muestras micro.

En el catalogo a continuacion se describen las secciones delgadas elaboradas y analizadas bajo microscopia de luz polarizada analizada (LPA) y luz polarizada sin analizador (LPNA).

Para las 5 primeras muestras correspondientes a las secciones: LM - Δ 16 – 6, LM - Δ 16 – 7, LM - Δ 12 – 4, LM - Δ 40 – 3, LM - Δ 40 – 4, se elaboro un conteo de 150 puntos, con el cual se pudo obtener la clasificación petrográfica.

Para las 5 siguientes muestras correspondientes a las secciones: LM - Δ 16 – 4, LM - Δ 16 – 1, LM - Δ 12 – 1, LM - Δ 12 – 7, LM - Δ 12 – 5, solo se hace una descripción de sus cristales debido a su alto contenido de líticos ígneos y metamórficos, tal y como se explica en el capítulo 4: Modelo de datos utilizados en el proyecto.

Número de Muestra	Nomenclatura De Muestra	Tipo de Roca	Formación
1	LM - Δ 16 - 6	Sedimentaria	Formación Honda
2	LM - Δ 16 - 7	Sedimentaria	Formación Honda
3	LM - Δ 12- 4	Sedimentaria	Formación Honda
4	LM - Δ 40 - 3	Sedimentaria	Formación Mesa
5	LM - Δ 40 - 4	Sedimentaria	Formación Mesa

6	LM - Δ16 - 4	Sedimentaria	Formación Honda
7	LM - Δ16 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
8	LM - Δ12 - 1	Sedimentaria	Formación Honda
9	LM - Δ12- 7	Sedimentaria	Formación Honda
10	LM - Δ12 - 5	Sedimentaria	Formación Honda

1. Sección Delgada LM-16 - 6

Arenisca de grano medio, con forma de grano subangular-no esférico, aunque algunas arenas varían a subredondeado esférico, con calibrado moderado pobre, posee un armazón Areno soportado , y una matriz lodosa de tipo caolinitico. El contacto entre sus partículas es flotante.

La muestra posee cuarzos monocristalinos con extinción recta, y en mayor proporción se observan cuarzos de tipo poliscritalino, muy fracturado, esto evidencia el retrabajamiento al cual han sido sometidos los mismos, los cuales reflejan la zona tectónicamente activa donde se encuentran. Adicionalmente el contenido de feldespato en la muestra es muy mínimo casi nulo, solo se observa en minima cantidad plagioclasa. En cambio el contenido de líticos tanto sedimentarios como ígneos y metamórficos predominan en la muestra, siendo los granos de Chert los líticos sedimentarios con más abundancia característicos por su brillo opaco, relieve medio y moteado negro. Así mismo la presencia de líticos ígneos es importante, pues se diferencian por el sobrecrecimiento de los granos alrededor, el cual es producto del fracturamiento de los fragmentos de origen ígneo. Por otro lado, la muestra presenta una matriz lodosa, la cual se encuentra impregnada de bitumen reflejándose en los tonos amarillos cafés que toma toda la sección delgada en toda su matriz mas fina. Esta impregnación también esta presente en los espacios ocupados por los poros, los cuales están invadidos por bitumen. Finalmente se observa que donde se esta localiza el cemento no hay impregnación de bitumen.

Figura 1: Petrográfica de la muestra LM-16-6. Tipos de granos característicos de la Formación Honda, en luz polarizada sin analizador (LPNA) y su respectiva imagen en luz polarizada analizada (LPA), aumento 10X. Imagen (a): Cemento Arcilloso (CA) y Lítico Sedimentario (Ls) tipo chert. Imagen (b): Cuarzo Monocristalino (Qzm). Imagen (c): Poro invadido de bitumen (PB). Imagen (d): cuarzo totalmente fracturado (QzF). Imagen (e): Lítico Ígneo (Li). Imagen (g): Lítico sedimentario (Ls) y Matriz invadida de bitumen (Mb)

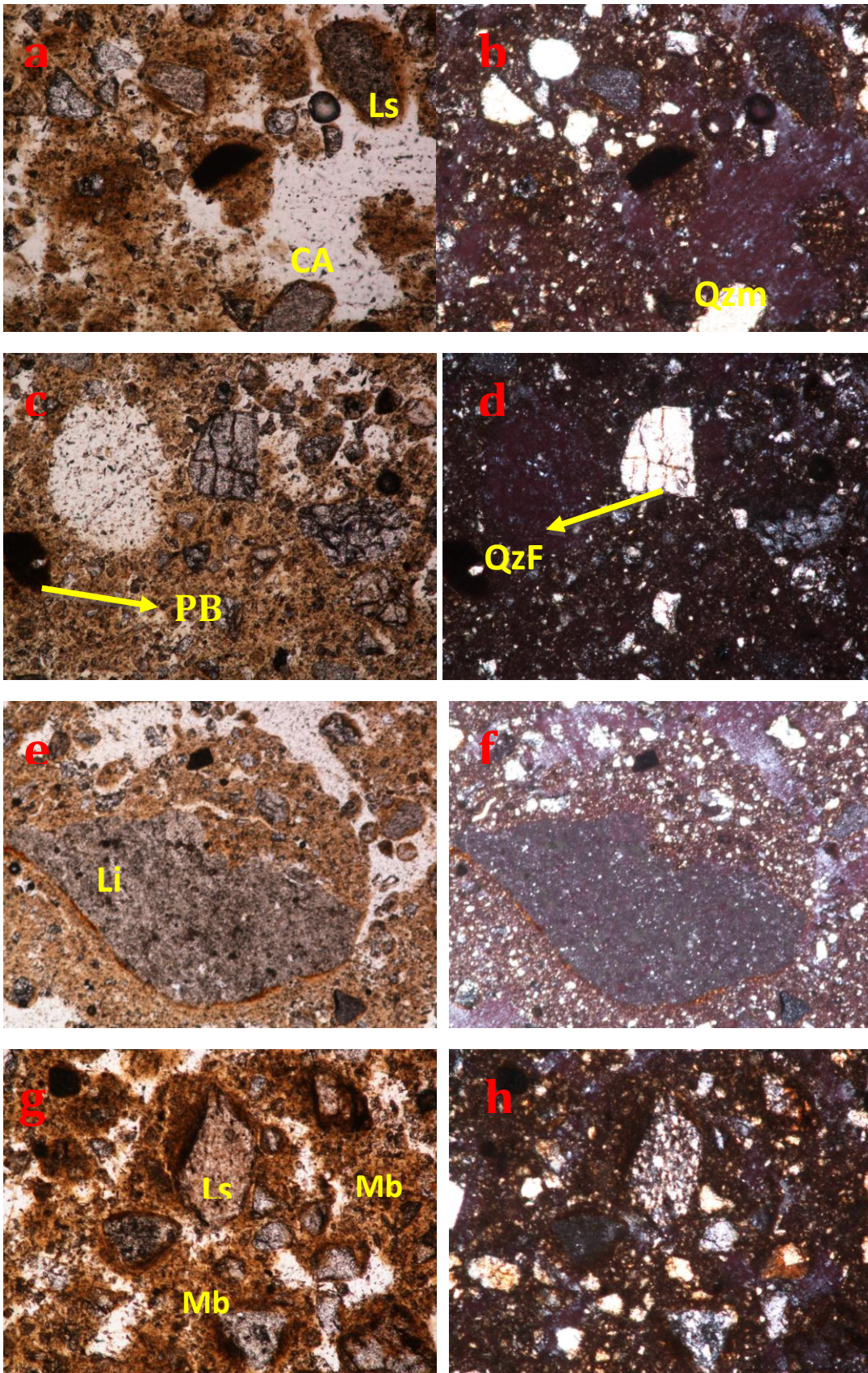


Figura 1. A la Izquierda (LPNA) a la derecha (LPA).

2. Sección Delgada LM-16-7

Arenisca de grano medio a grueso, con forma de grano angular no esférico. Se encuentra mal calibrada debido a la diferencia notoria de tamaño de grano. Posee armazón grano-soportado y matriz areno lodosa. El contacto entre sus partículas es flotante.

La muestra posee granos de cuarzo policristalinos de origen ígneo, los cuales se destacan debido a que están constituidos por varios cristales de cuarzo con orientación óptica distinta que a su vez son fragmentos ígneos. Estos cuarzos policristalinos pueden ser denominados cuarzos de basamento debido a su alto fracturamiento. El contenido de plagioclasas en esta sección es muy poca. Adicionalmente en la muestra se pueden observar líticas de origen volcánico (ígneos) y líticas de origen sedimentario, sin presencia alguna de líticas metamórficas. Por otro lado esta sección posee un alto contenido de cemento arcilloso el cual se encuentra tapando a la porosidad, reduciéndola totalmente y haciéndola muy baja. Otra característica importante se presenta en los clastos de arena los cuales se encuentran totalmente invadidos de bitumen. Finalmente se observan pequeñas cantidades de mica biotita la cual se está cruzando con el cemento de la muestra.

Figura 2: Petrográfica de la muestra LM-16-7. Tipos de granos característicos de la Formación Honda, estación delta 16. en luz polarizada sin analizador (LPNA) y su respectiva imagen en luz polarizada analizada (LPA), aumento 10X. Imagen (i): Cuarzo policristalino (Qzp). Imagen (j) Cemento Arcilloso (CA). Imagen (k): Lítico ígneo (Li). Imagen (l): (Qzp). Imagen (m): Granulo de arena impregnado de bitumen (GrB). Imagen (ñ) Lítico Ígneo (Li) y Lítico sedimentario tipo Chert (Ls). Imagen (o): Cuarzo Policristalino (Qzp) que en LPNA se observa fracturado, y Cuarzo monocristalino (Qzm).

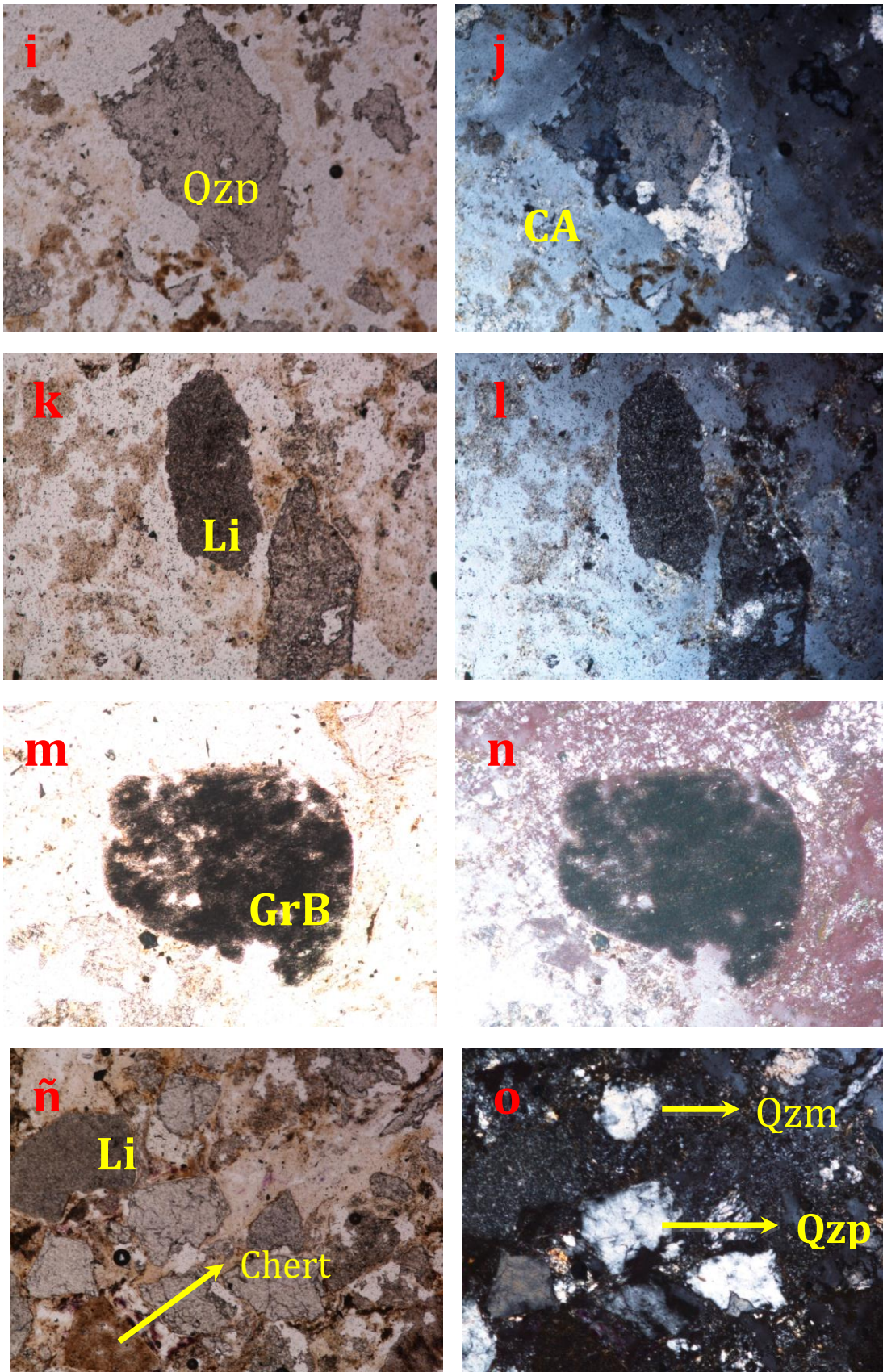


Figura 2. A la Izquierda (LPNA) a la derecha (LPA)

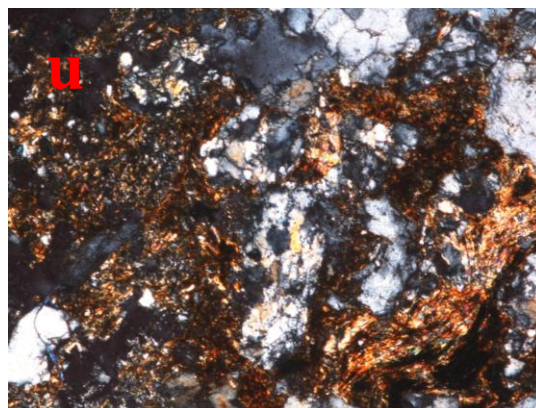
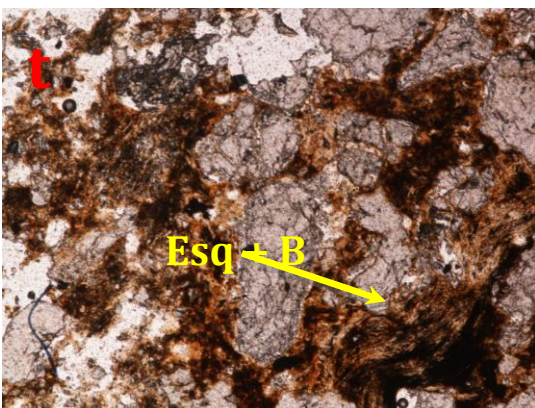
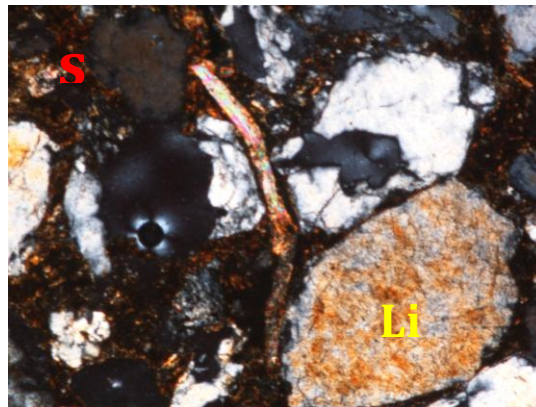
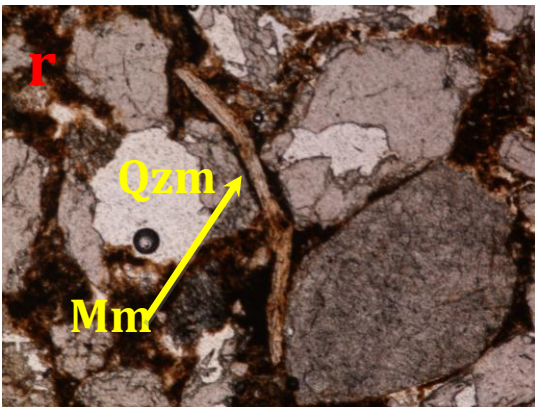
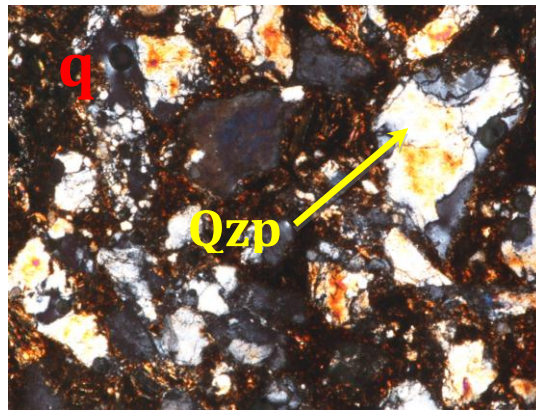
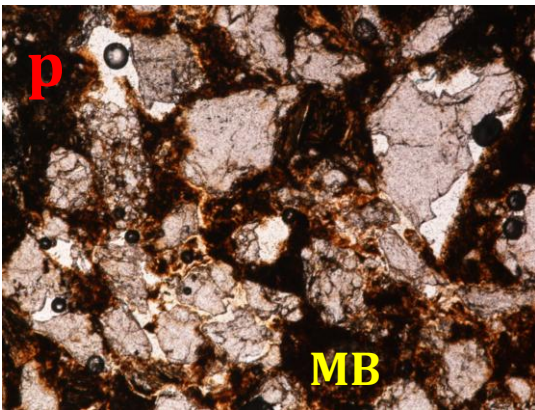
3. Sección Delgada LM-12-4

Arenisca de grano medio a grueso, con forma de grano subangular-no esférico, con calibrado malo. Su armazón se encuentra areno-soportado y su matriz es areno lodosa. Posee cemento silicio y arcilloso, matriz lodosa y el contacto entre partículas es puntual.

Esta muestra posee presencia de cuarzos tanto monocristalinos como policristalinos, distinguiéndose también el cuarzo metamórfico por el sobrecrecimiento de pequeños cuarcitos unos pegados a otros. Este cuarzo posee lados angulosos y se evidencia su alto grado de fracturamiento, dando una idea de los varios procesos que ha sufrido para estar hay. Por su cercanía al área de aporte y por estar el contacto visible entre el basamento y la formación honda, se denomina cuarzo de basamento. El contenido de plagioclasas nuevamente sigue siendo escaso en esta sección y en cuanto a los líticos, predominan los de origen metamórfico que conservan una orientación marcada, ígneos , y los sedimentos líticos sedimentarios se vuelven escasos. Esta sección posee mucho más contenido de cuarzo que las anteriores, haciendo que el cemento encargado de unir los intersticios dejados por el armazón sean de composición silicea. Presentado, sin embargo, cemento de origen arcilloso que se encuentra particularmente invadiendo o tomando los espacios de la matriz y la porosidad. Este cemento arcilloso se atribuye al alto contenido de arcilla tipo bentonita que se presenta en forma de capas intercaladas en las arenas impregnadas de bitumen. Adicionalmente la matriz de esta sección es de tipo arcilloso, fina, densa y de color negro debido al alto contenido de bitumen. Por otro lado se observan minerales dúctiles, como la moscovita de forma alargada entre los granos de cuarzo y líticos. También se distinguen ciertas estructuras esquistas, deformes y alongadas por donde el bitumen esta invadiendo espacio. Finalmente la porosidad no es muy buena en esta muestra, pues su espacio lo esta ocupando la matriz y el cemento.

Figura 3: Petrográfica de la muestra LM-12-4. Tipos de granos característicos de la Formación Honda, estación delta 12. en luz polarizada sin analizador

(LPNA) y su respectiva imagen en lux polarizada analizada (LPA) aumento 10X.
Imagen (p): Matriz bituminosa (MB). Imagen (q): Cuarzo policristalino (Qzp).
Imagen (r): Mica Moscovita (Mm), cuarzo monocristalino (Qzm). Imagen (s):
Lítico ígneo (Li). Imagen (t): Bitumen invadiendo la esquistosidad (Esq+B).
Imagen (v): Cemento Silicio (Cs) Imagen (w): Cuarzo fracturado
sedimentario(Qzs)



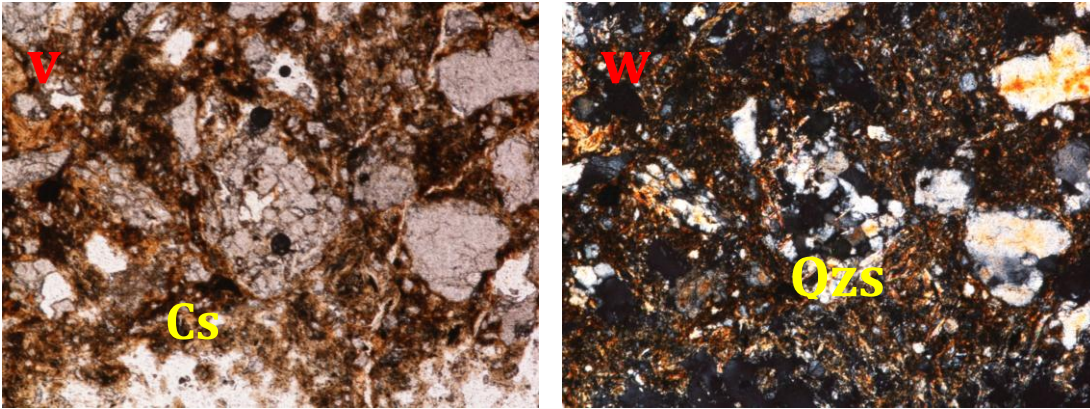


Figura 3. A la Izquierda (LPNA) a la derecha (LPA)

4. Sección Delgada LM- 40 – 3

Roca sedimentaria de tamaño de grano arena muy fina, con forma de grano subredondeado - no esférico, la sección se encuentra muy bien calibrada, posee armazón areno soportado y matriz lodosa, siendo el contacto entre sus partículas de puntual a tangencial, con madurez Textural. Esta sección se caracteriza por presentar uso granos muy finos dentro de una matriz igualmente fina.

Esta muestra posee cuarzos de tipo monocristalinos, angulares con extinción recta de tamaño de grano fino También posee cuarzos de tipo policristalinos bastantes fracturados de origen ígneo. En esta muestra se puede observar el contacto entre los granos tangencial, así como la plagioclasa sodica tipo albita que aunque en muy poca cantidad esta presente y se puede diferenciar por su maclado polisintético. Adicionalmente la muestra posee gran cantidad de líticos metamórficos los cuales se distinguen por su orientación preferente y su deformación, los líticos ígneos están presentes en menor cantidad y los líticos sedimentarios son muy escasos casi nulos en esta muestra. Por otra parte la principal característica visible de esta sección es la abundante presencia de minerales dúctiles tales como la biotita, y la moscovita, así como también es notorio el contenido de horblenda, anfíbol que se presenta de forma tabular, con pleocroismo verde oliva a marrón, relieve medio y exfoliación en una dirección. Finalmente la muestra posee cemento de tipo silicio que se observa dentro de los intersticios de los granos, pero en muy baja cantidad. Esta muestra no se encuentra impregnada d bitumen.

Figura 4: Petrográfica de la muestra LM-40-3. Tipos de granos característicos de la Formación Mesa, estación delta 40. Imágenes en luz polarizada sin analizador (LPNA) y su respectiva imagen en lux polarizada analizada (LPA), aumento 10X. (a) Horblenda (Hbl). (b): Cuarzo monocristalino (Qzm) (c): Biotita (Bt). (d): Cemento silicio (Cs). (f): Plagioclasa (pl). (g): Cemento Arcilloso. (h): Mineral opaco

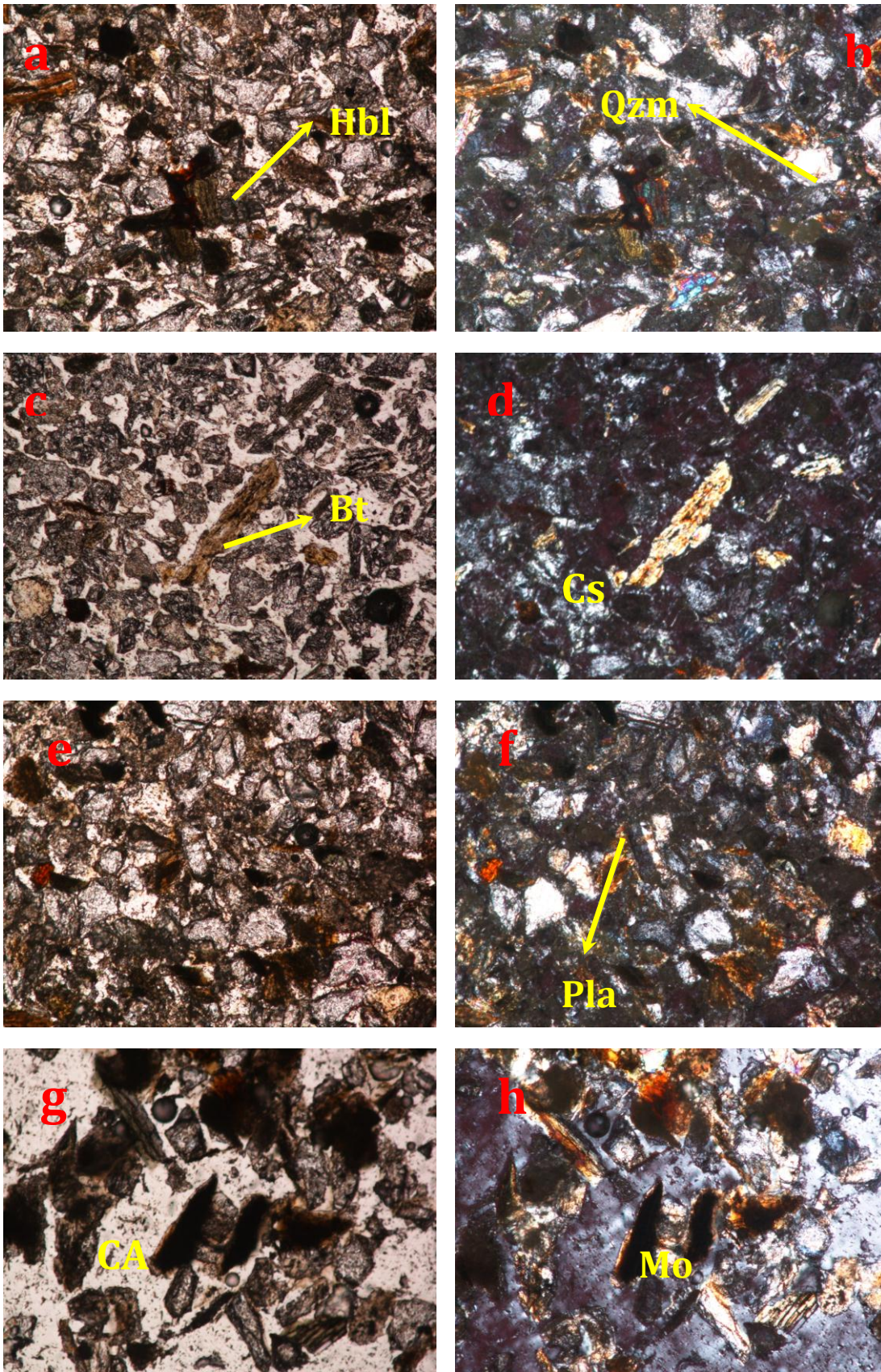


Figura 4. A la Izquierda (LPNA) a la derecha (LPA)

5. Sección Delgada LM – 40 – 4

Roca sedimentaria con tamaño de grano arena muy fina, con variación de tamaño de grano entre angular-no esférico a subangular y algunos granos de cuarzo muy angulares. Se encuentra moderadamente calibrada, con armazón grano soportado y matriz areno lodosa. El cemento que posee es principalmente siliceo aunque alguno es arcilloso. El contacto entre sus partículas es flotante, dividiéndolas entre si el cemento y texturalmente se encuentra submadura la muestra.,

Esta muestra los cristales se observan granos muy deformados, con orientaciones marcadas y formas agujosas alargadas las cuales pertenecen a minerales dúctiles tipo mica y a planos de esquistosidad de origen metamórfico. La muestra posee cuarzos monocristalino con extinción angulosa y cuarzo policristalino, este cuarzo es de tipo ígneo y podría ser de basamento por su deformación. Se observan plagioclasas, aunque en poca cantidad, tipo sanidina. El contenido de líticas ígneas volcánicas es considerable y en menor cantidad se encuentran los metamórficos orientados, así como también los líticas sedimentarios tipo chert. La muestra contiene material dúctil en un alto porcentaje, tipo mica moscovita y mica biotita, y otro mineral denominado horblenda, característica por su relieve medio, forma tabular, pleocroismo verde a marrón y al menos una exfoliación, el cual se encuentra en gran proporción. También posee olivinos y algunos minerales opacos pero en proporción muy reducida. La matriz que contiene la muestra es de tipo arcillosa, el cemento es silicio y la porosidad no es muy buena. Esta muestra no se encuentra impregnada de bitumen.

Figura 5: Petrográfica de la muestra LM-40-4. Tipos de granos característicos de la Formación Mesa, estación delta 40. Imágenes en luz polarizada sin analizador (LPNA) y su respectiva imagen en luz polarizada analizada (LPA), aumento 10X. (i): Horblenda (Hbl). (k): Mica biotita (Bt). (m): Horblenda. (ñ): Mica moscovita agujosa.(Mm).

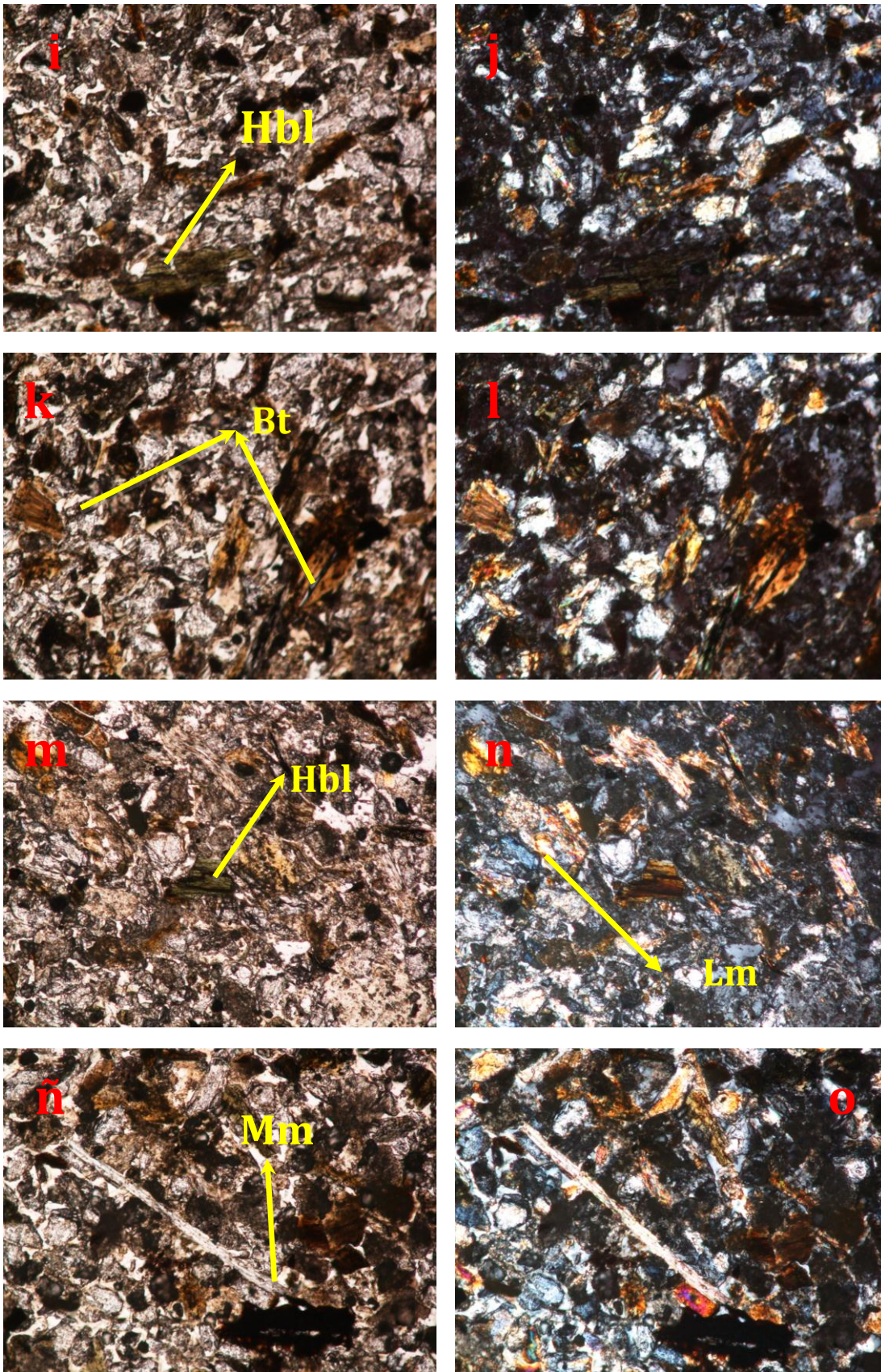


Figura 5. A la Izquierda (LPNA) a la derecha (LPA)

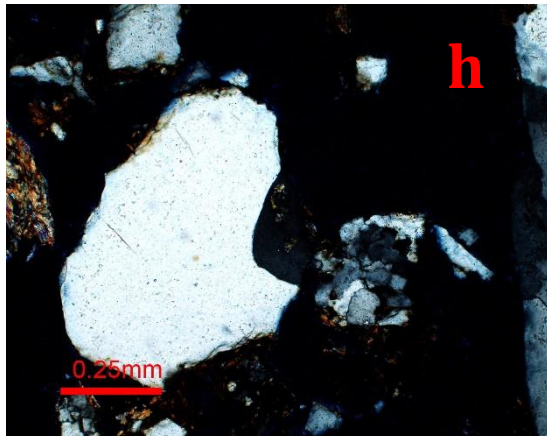
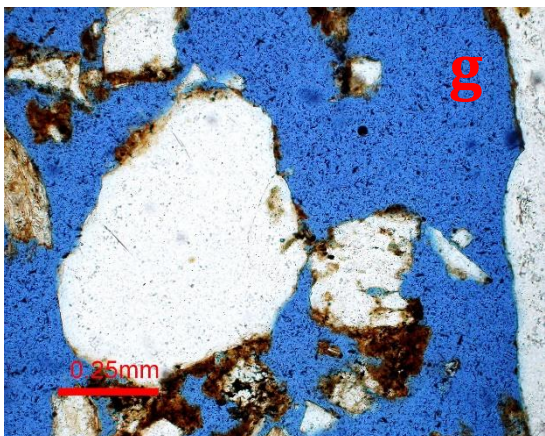
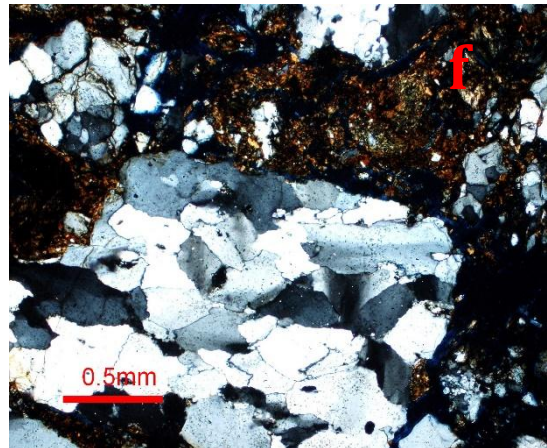
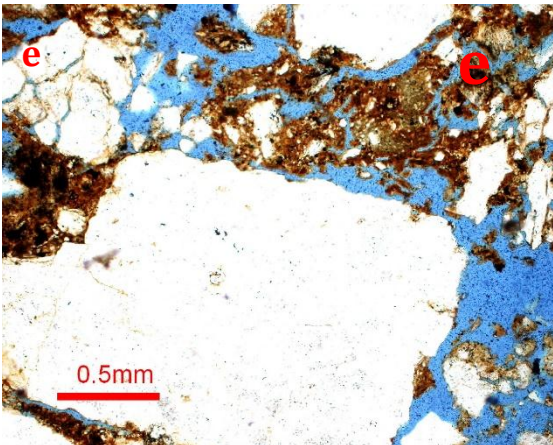
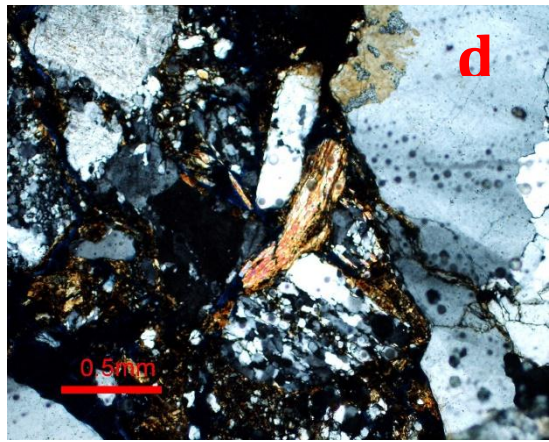
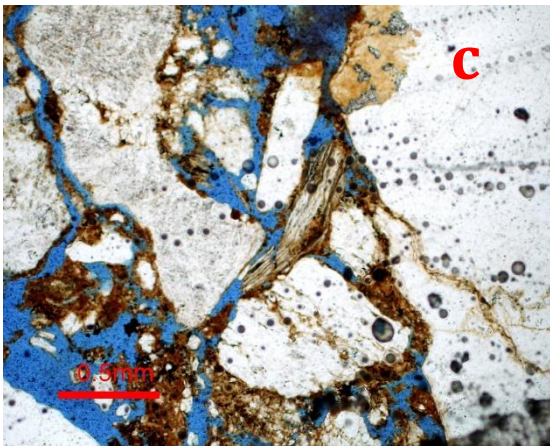
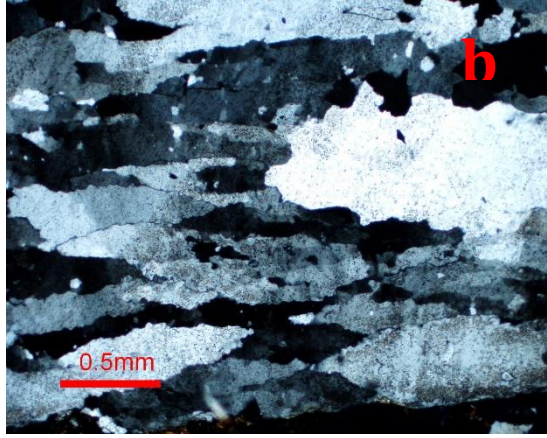
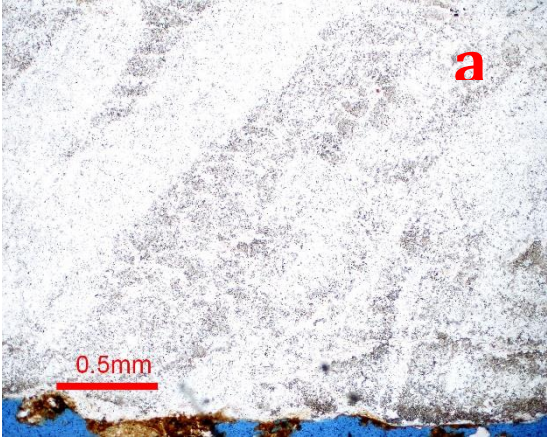
6. Sección Delgada LM- Δ16-4

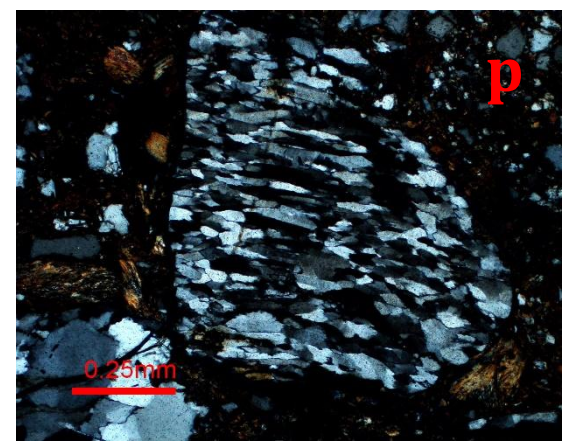
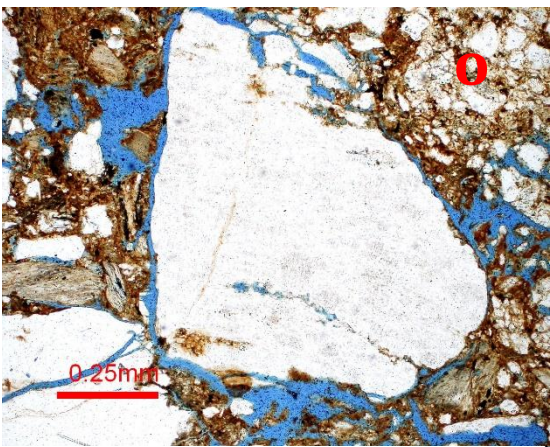
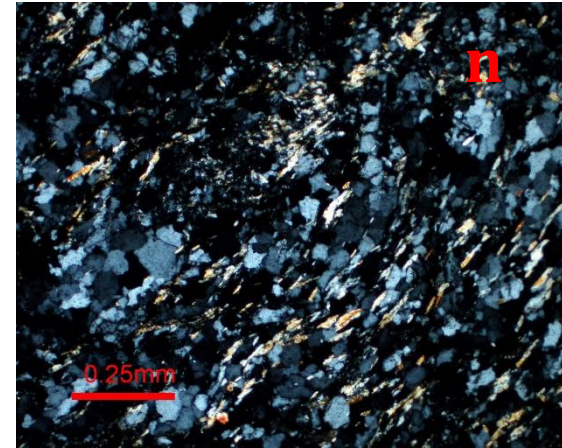
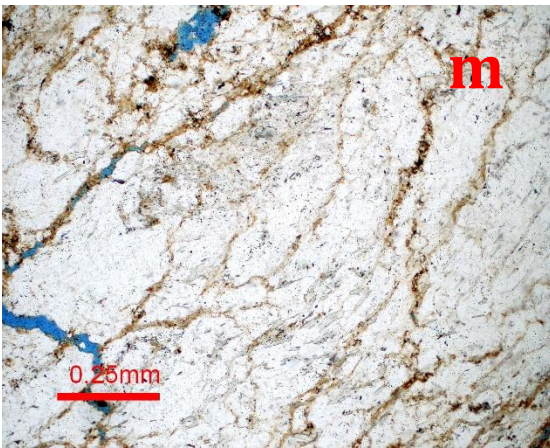
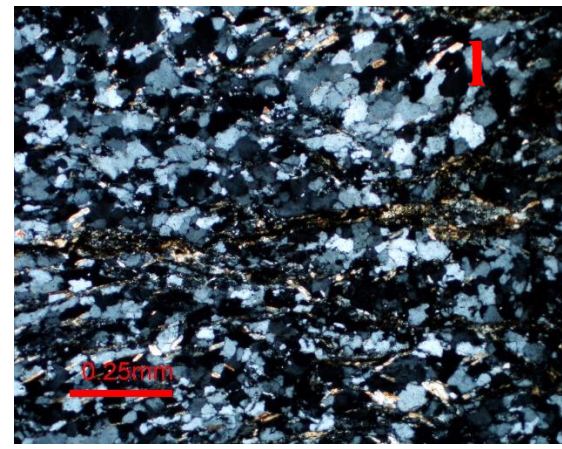
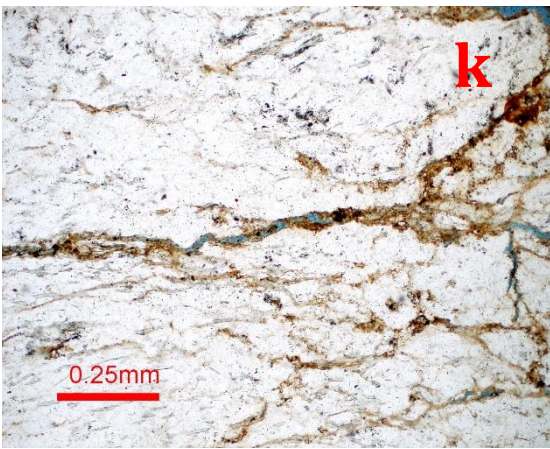
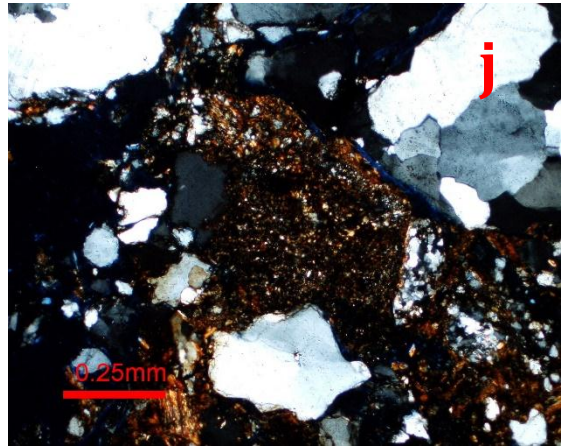
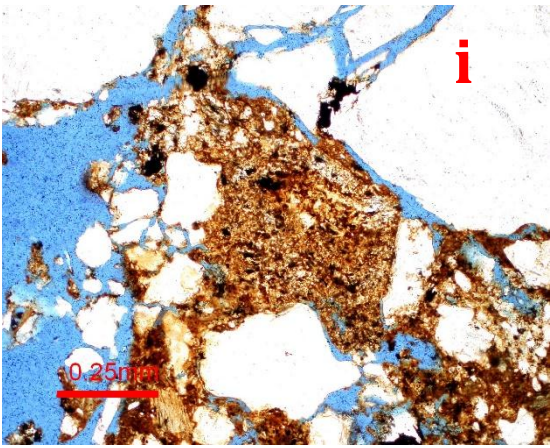
Roca sedimentaria con mal calibrado, contacto flotante entres sus granos, matriz de arena gruesa, textura conglomeratica, clastos de tamaño pebbles, cuarzos de tipo policristalinos metamórficos, así como líticos metamórficos.

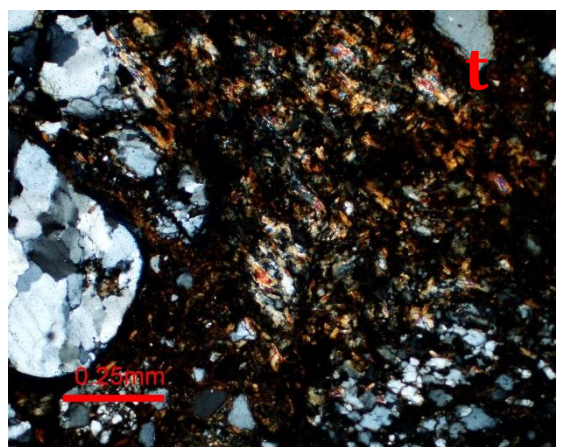
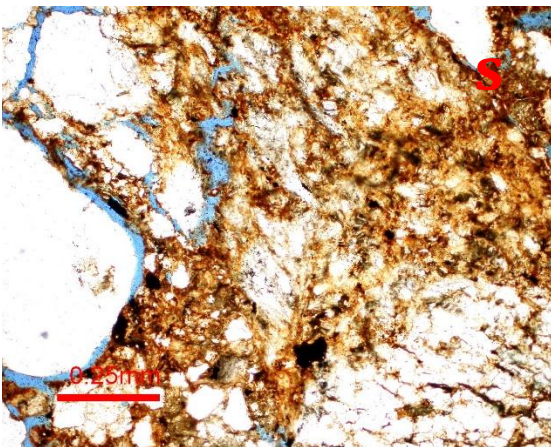
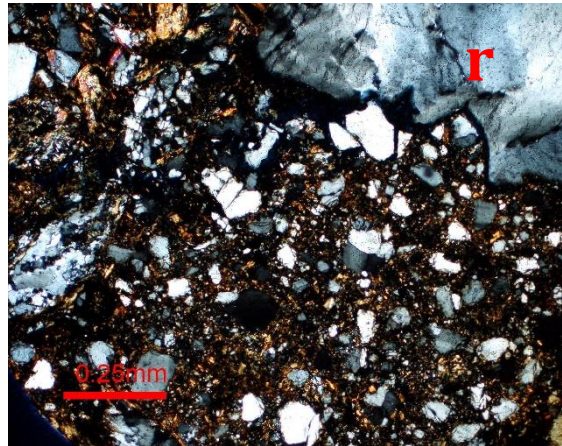
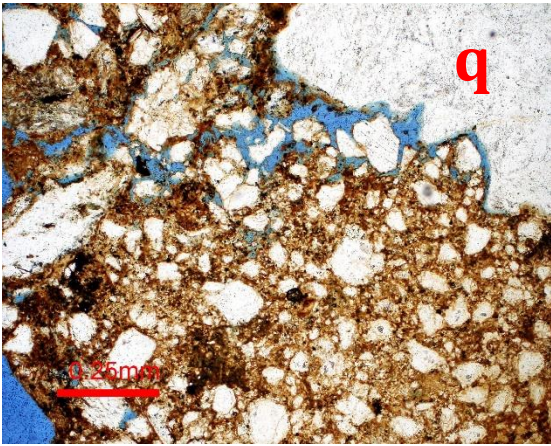
Posee granos de cuarzo policristalino los cuales se encuentran recrystalizados y corresponden probablemente a cuarcitas, producto de un metamorfismo el cual pudo haber afectado las rocas del área de estudio. Se observan algunos clastos sedimentarios, arcillolitas en su mayoría y cuarzos monocristalinos de extinción recta y en menor cantidad con extinción ondulosa. Las texturas que presentan los cuarzos policristalinos metamórficos son granoblásticas. Adicional a esto la porosidad no se puede medir con claridad ya que la muestra originalmente se encontraba bastante disgregada, lo que obligo a unir todos sus granos, a pegarlos en el proceso de elaboración de las muestras, lo que hace que los espacios azules dejados por el epóxido, no corresponda a porosidad natural.

Posee aproximadamente un : 60% de líticos Metamórficos y 5% de cuarzos monocristalino con extinción Ondulosa.

Figura 6: Petrográfica de la muestra LM- Δ16 – 4. A la derecha la imagen en LPNA y a la izquierda en LPA respectivamente, aumento (5x). Imagen (a) y (b): Cuarzo monocristalino, con extinción ondulosa. Tamaño Granulo. Imagen (c) y (d): Cuarzo policristalino en la parte inferior y cuarzo monocristalino en la parte derecha. Hacia el centro, mineral de moscovita. Imagen (e) y (f): Cuarzo monocristalino angular y Matriz rojiza por oxidación, aumento de (10X). Imagen (g) y (h): Cuarzo monocristalino. Imagen (i) y (j): Matriz de óxidos formados por meteorización. Imagen (k) y (l): Lítico metamórfico, tamaño granulo. Imagen (m) y (n): Lítico metamórfico, tamaño granulo. Imagen (o) y (p): Cuarzo metamórfico foliado. Imagen (q) y (r): Matriz de óxidos y matriz sílicea. Imagen (s) y (t): Cuarzo monocristalino a la izquierda, y a la derecha matriz producto de oxidación por meteorización.







7. Sección Delgada LM- Δ16- 1

Roca sedimentaria con armazón granosoportado, constituida principalmente por granos de tamaño granulo.

Se puede observar en algunas partes de la sección una porosidad de tipo arena gruesa, aunque debido a la disgregación de la muestra original, no se puede tomar toda la porosidad de este tipo. Presenta cuarzos de tipo policristalino y debido a su textura se puede decir que se encuentran recristalizados.

Para esta muestra se tiene un porcentaje así:

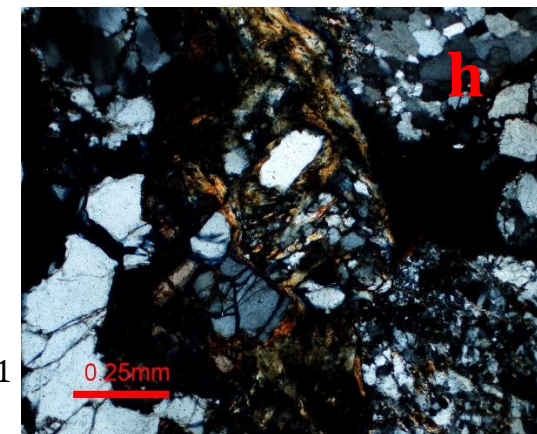
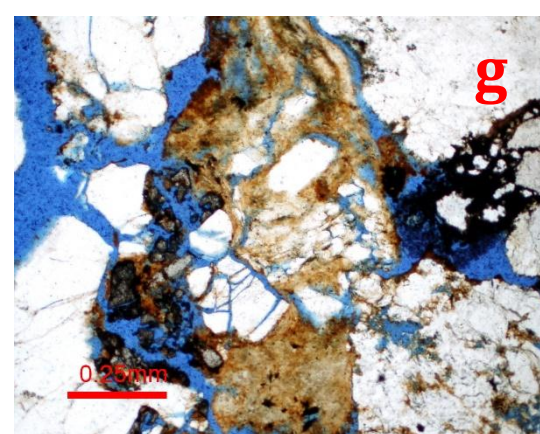
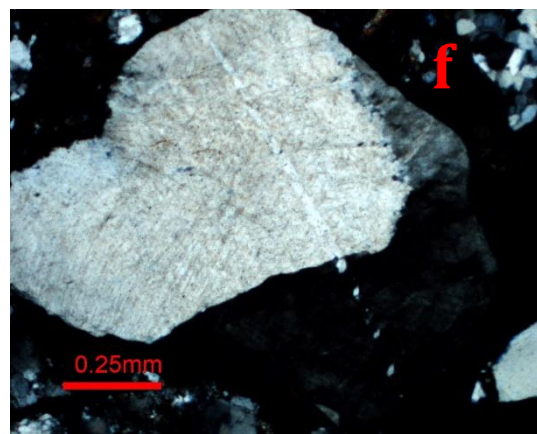
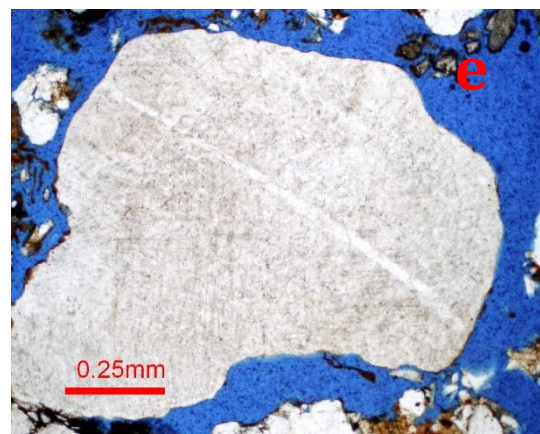
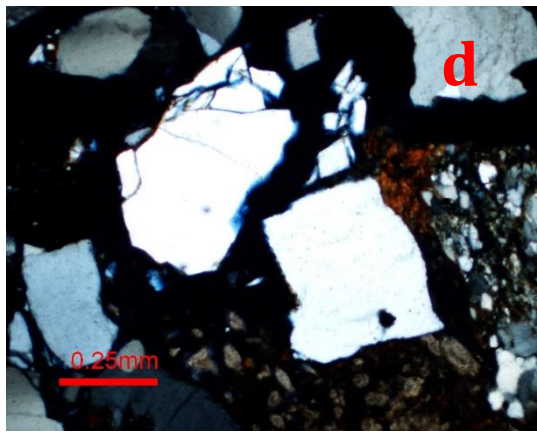
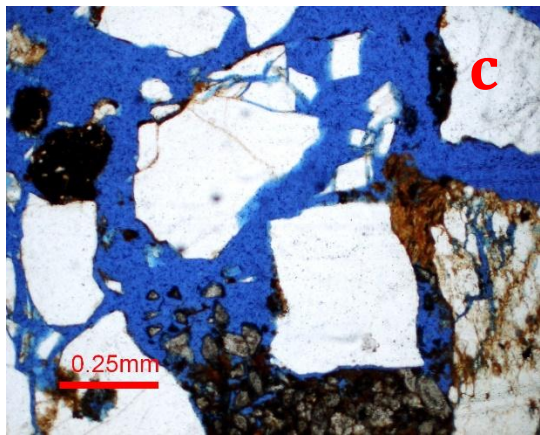
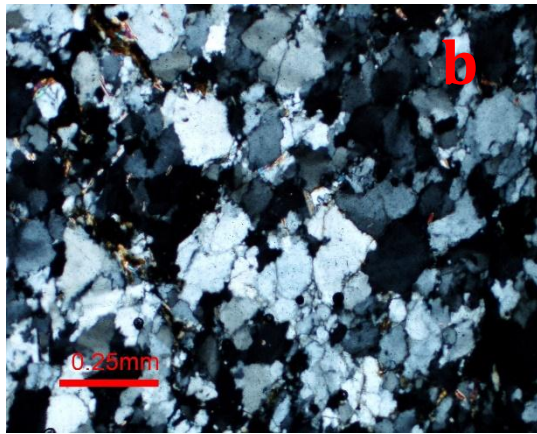
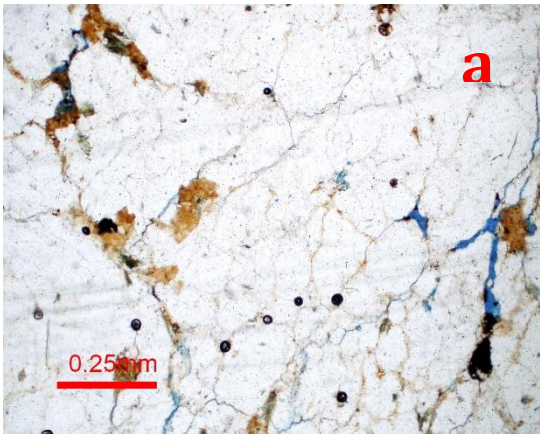
Hay un 8% de micas (moscovita principalmente)

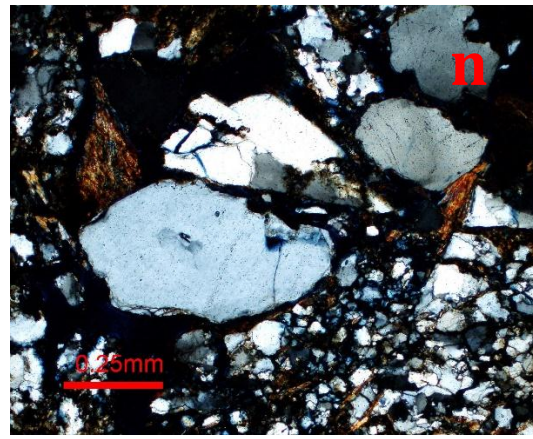
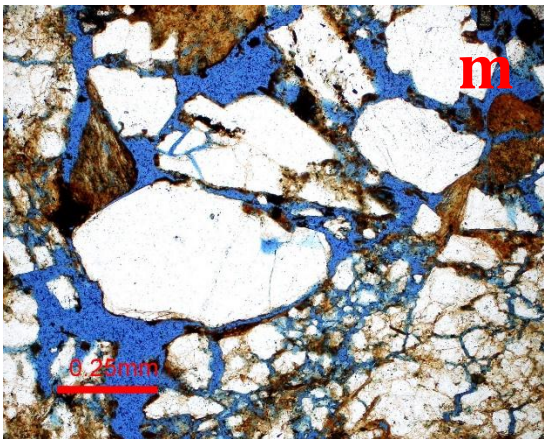
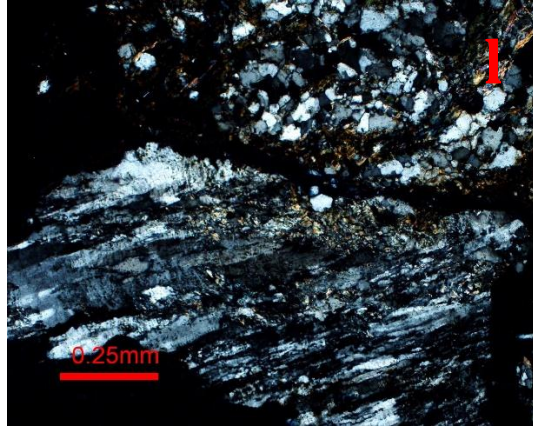
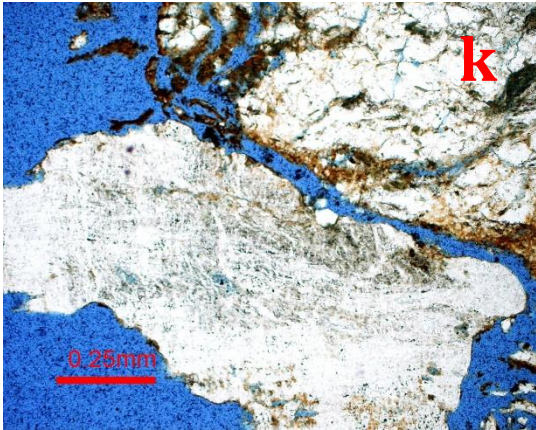
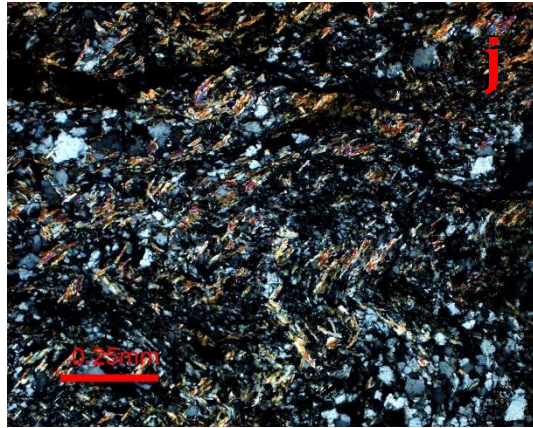
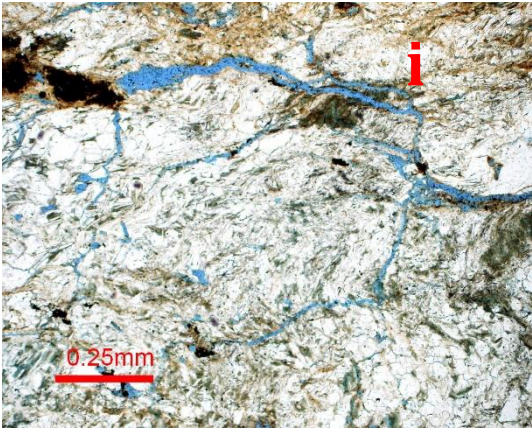
25% de cuarzos monocristalino, la mayoría de extinción recta

18% líticos de origen ígneo

12% de líticos sedimentarios

Figura 7: Petrográfica de la muestra LM- Δ16 – 1. A la derecha la imagen en LPNA y a la izquierda en LPA respectivamente, aumento (5x). Imagen (a) y (b): Lítico ígneo. Imagen (c) y (d): Cuarzo monocristalino anguloso. Imagen (e) y (f): Granulo de cuarzo con extinción Ondulosa. Imagen (g) y (h): Se observa matriz oxidada. A la izquierda cuarzo monocristalino fracturado y a la derecha lítico ígneo. Imagen (i) y (j): Lítico ígneo, tamaño granulo. Imagen (k) y (l): Cuarzo metamórfico el cual se observa foliado de tamaño granulo. Imagen (m) y (n): Cuarzo monocristalino irregular.





8. Sección Delgada LM - Δ12-1

Roca sedimentaria de textura grano soportada de tipo conglomerática, con matriz arcillosa y en menor cantidad se puede observar cemento compuesto por óxidos. Posee cuarzos policristalinos metamórficos, recristalizados con textura granoblástica, algunos de los cuales presentan materia orgánica.

Se observan cuarzos especialmente muy fracturados como resultado de grandes presiones y esfuerzos debido probablemente a un metamorfismo que afecta al basamento del área de estudio (gneises y anfibolitas de tierradentro). Adicionalmente se encuentra compuesta por cuarzos monocristalinos con extinción recta, cuyo origen puede ser metamórfico o ígneo y también contiene líticos metamórficos (esquistos micáceos y grafitosos)

La muestra presenta:

Qz policristalino metamórfico: 35%

Qz monocristalino con extinción recta: 20%

Líticos Metamórficos: 15%

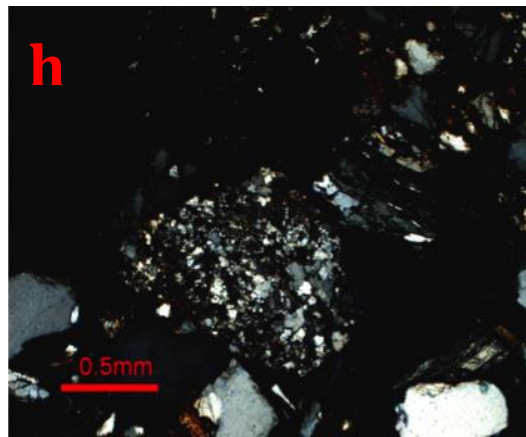
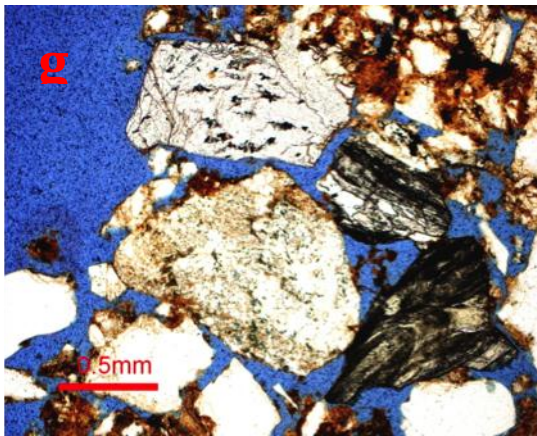
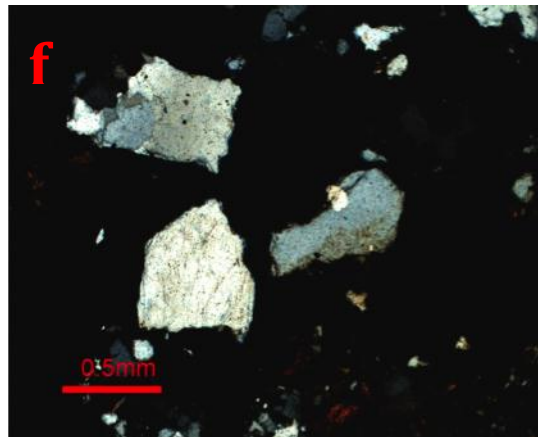
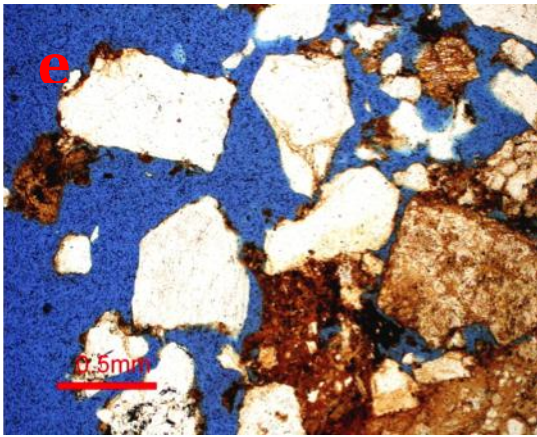
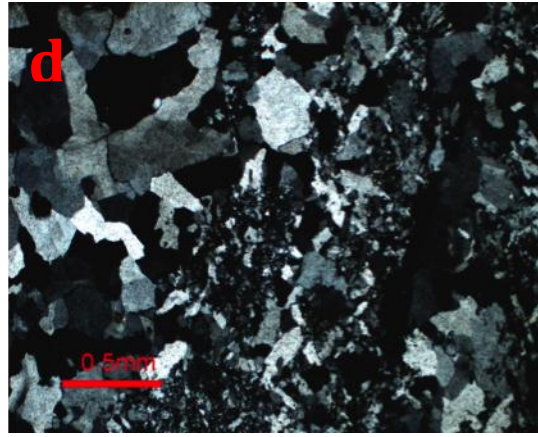
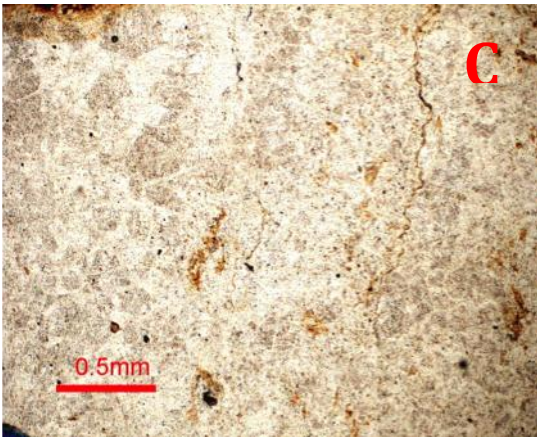
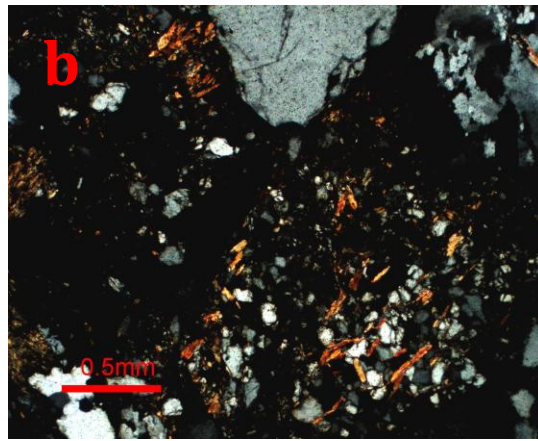
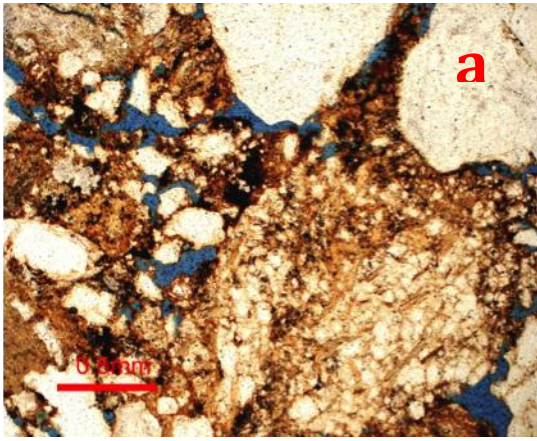
Matriz Arcillosa: 18%

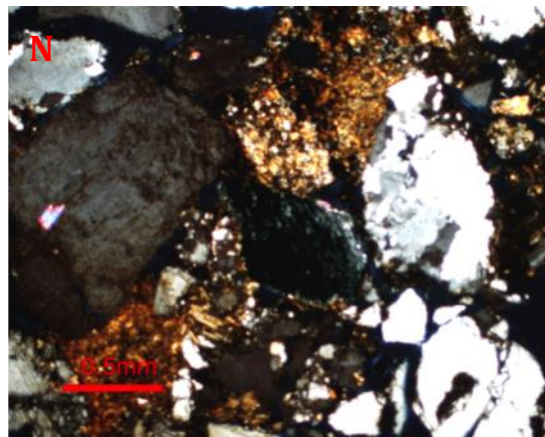
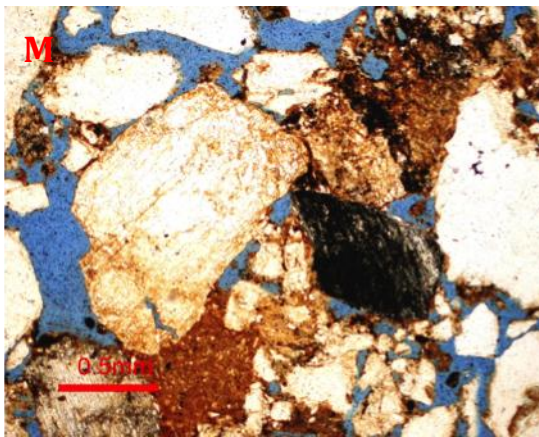
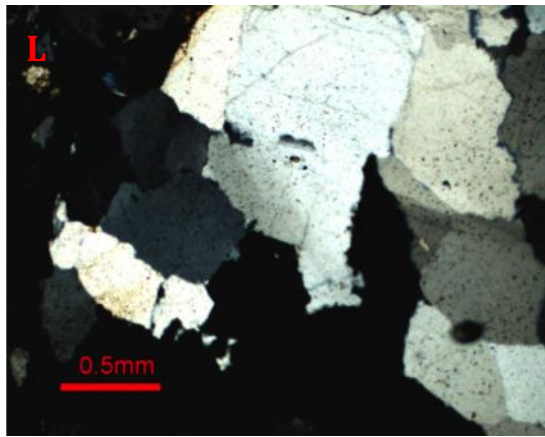
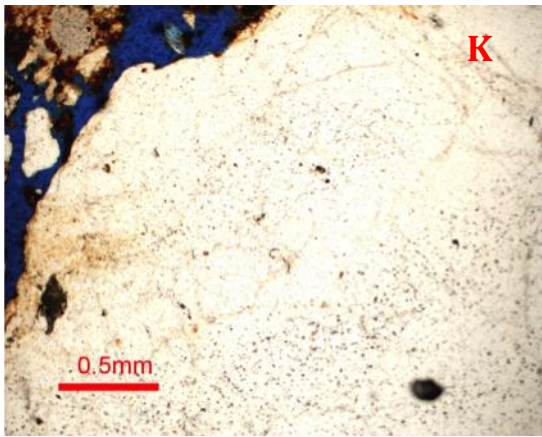
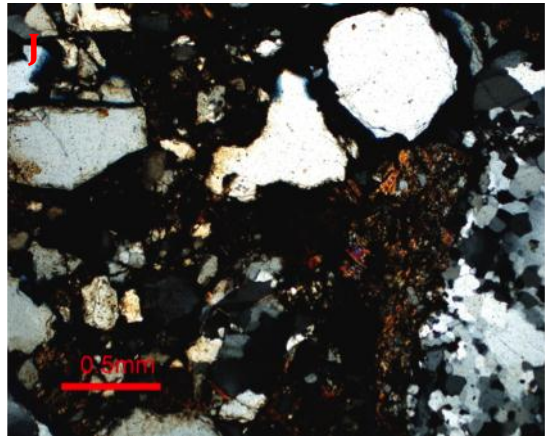
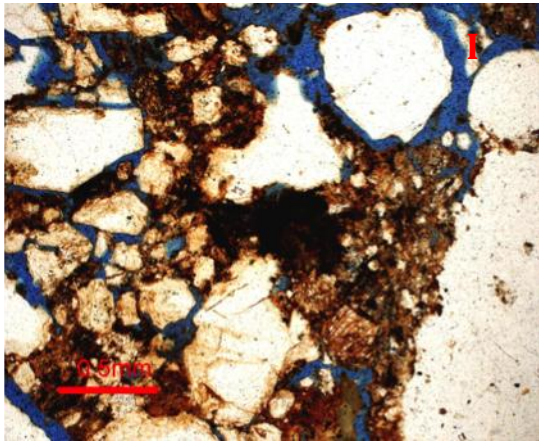
Óxidos: 3%

Materia orgánica: 4%

Material Dúctil: Micas y biotitas 5%

Figura 8: Petrográfica de la muestra LM- Δ12 – 1. aumento 5X. Imagen (a) y (b): Lítico Ígneo (Li). Imagen (c) y (d): Cuarzo Policristalino (Qzp). Imagen (e) y (f): Cuarzo monocristalino. Imagen (g) y (h): Cuarzo policristalino. Imagen (i) y (j): Oxidación presentes en el cemento de la muestra. Imagen (k) y (l): Cuarzo monocristalino con extinción ondulosa. Imagen (m) y (n): Hacia el centro se observa un grano de materia orgánica, también matriz arcillosa en la parte inferior.





9. Sección Delgada LM - Δ12 – 7

Muestra bastante similar la LM= 12 =1. La presencia de matriz arcillosa es mayor, y debido al tamaño de sus clastos podemos decir que es un conglomerado el cual se encuentra pobremente calibrado, y sus granos se encuentran contacto puntual.

Adicionalmente contiene cuarzos policristalinos metamórficos recristalizados, así como líticos metamórficos tipo esquistos micáceos, grafitosos

Porosidad: 3 %

Cuarzo policristalino: 25%

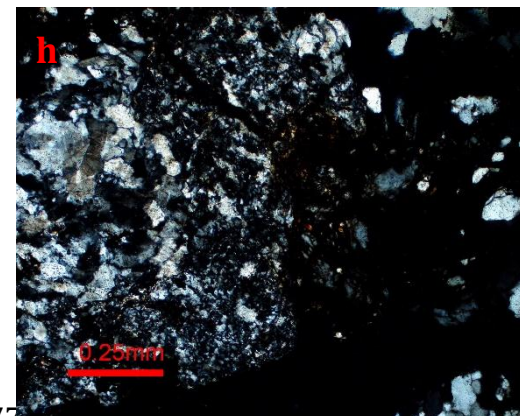
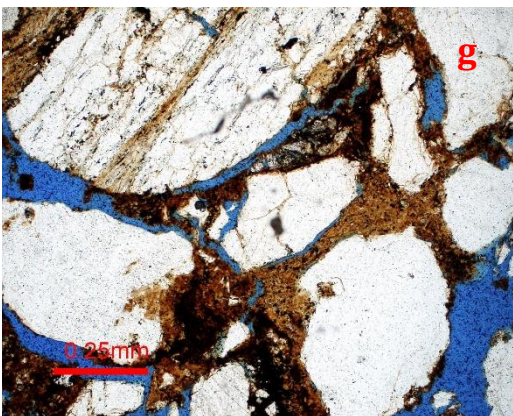
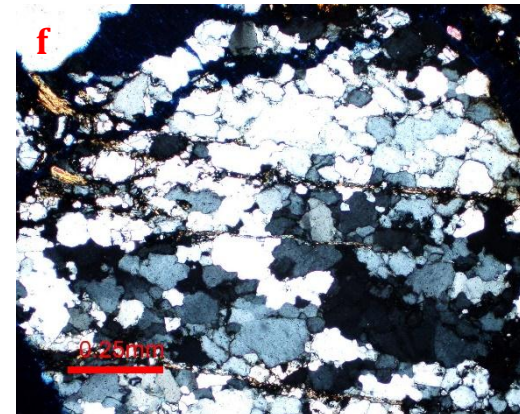
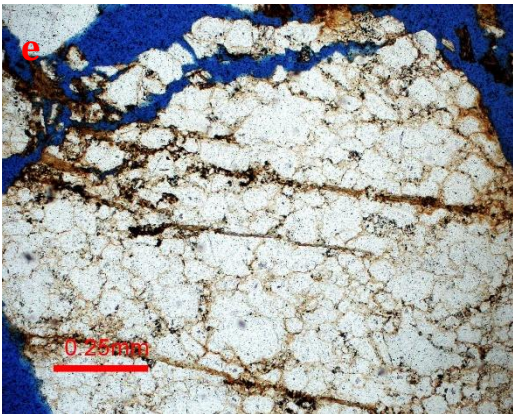
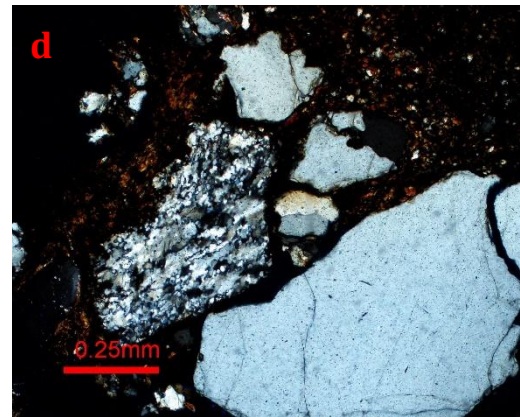
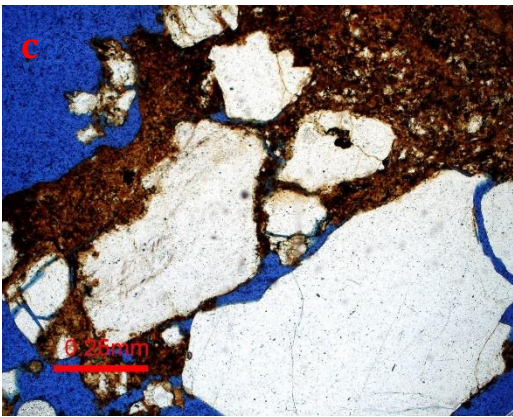
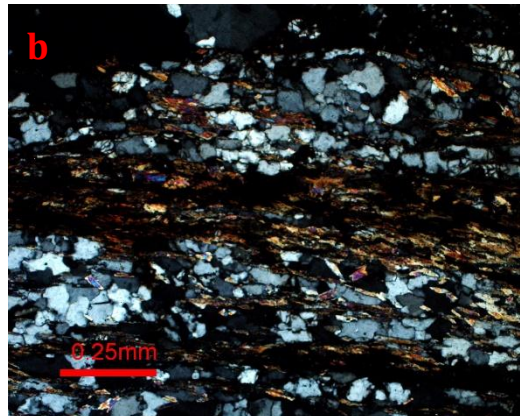
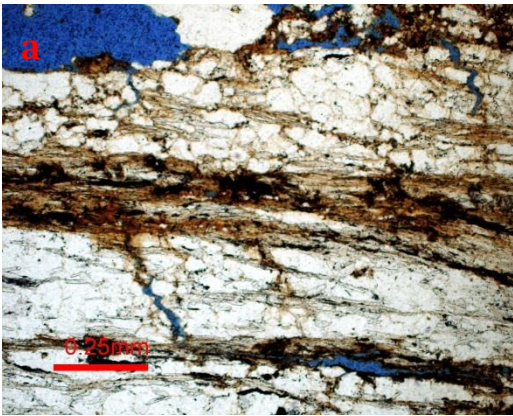
Matriz Arcillosa: 20%

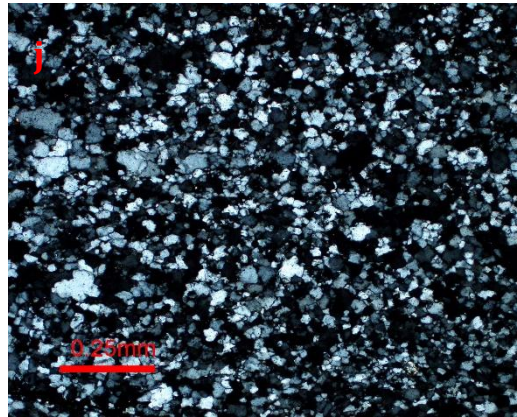
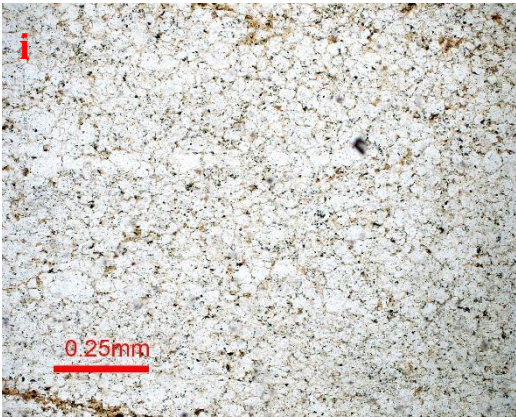
Líticos Metamórficos: 18%

Líticos sedimentarios: 3%

Material Dúctil: 6%

Figura 9: Petrográfica de la muestra LM- Δ12 – 7.. Imagen (a) y (b): Lítico metamórfico foliado, tamaño granulo. Imagen (c) y (d): Cuarzo policristalino a la izquierda, y cuarzo monocristalino a la derecha. . Imagen (e) y (f): Lítico metamórfico, esquisto micaceo. Imagen (g) y (h): esquisto micaceo a la izquierda. Imagen (i) y (j) Cuarzo policristalino, tamaño granulo.





10. Sección Delgada LM - Δ12-5

Muestras de arenisca Conglomeratica, con clastos pebbles y arena gruesa. El contacto entre sus granos es flotante, posee muy poco cemento representado por óxidos de meteorización. Su matriz es arcillosa y la porosidad es de tamaño arena media.

En cuanto a líticos se refiere, la presencia de líticos sedimentarios e ígneos es mayor en esta muestra y se siguen observando los cuarzos policristalinos recristalizados, en menor proporción.

Por último se pueden apreciar perfectamente los cuarzos monocristalinos con extinción recta predominante y minerales dúctiles como la biotita y la moscovita se pueden apreciar.

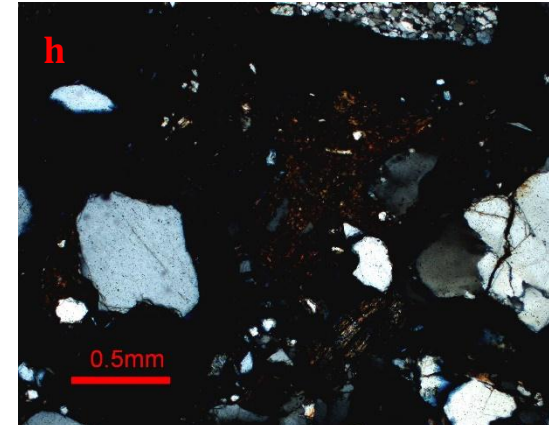
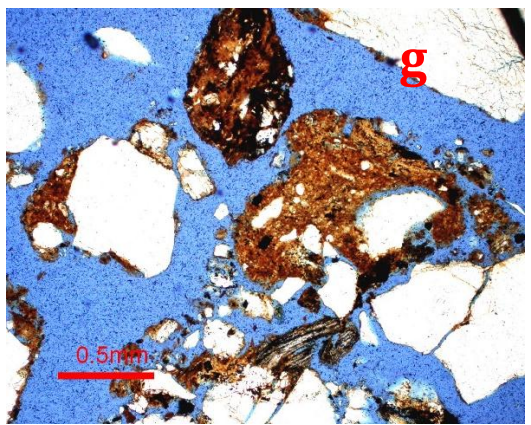
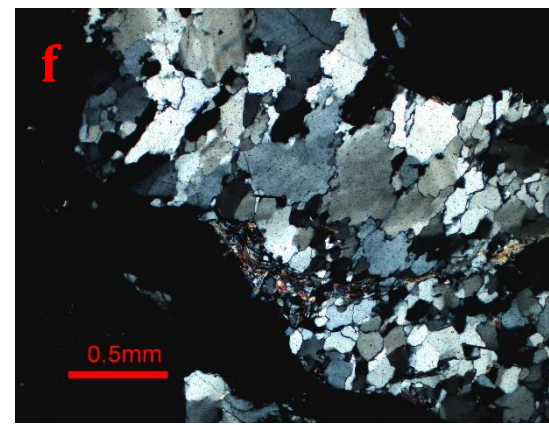
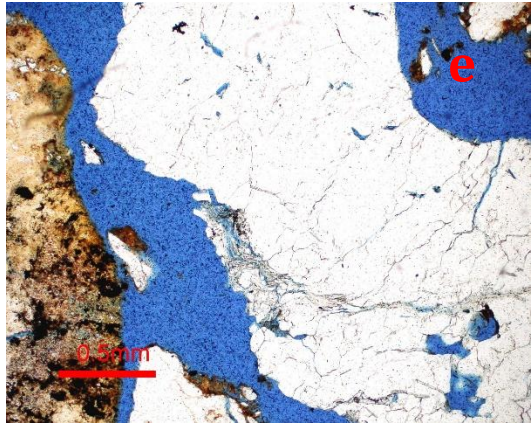
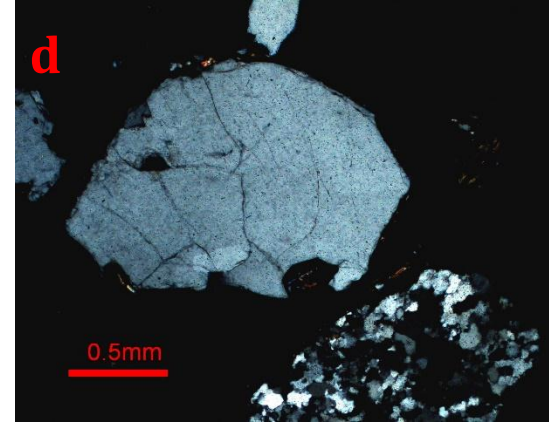
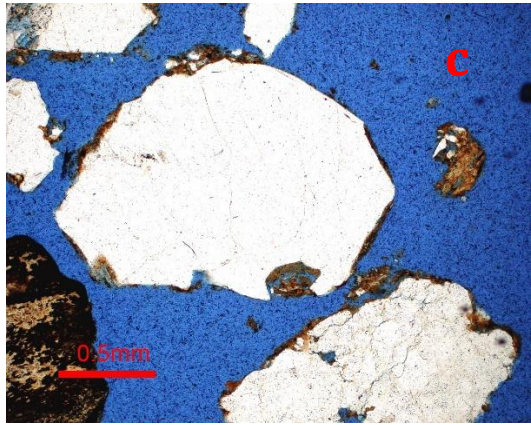
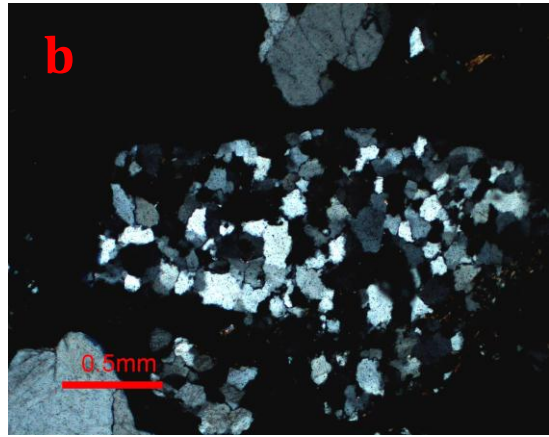
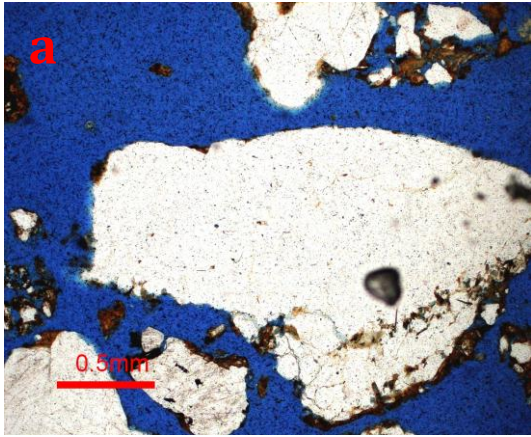
Matriz arcillosa: 15%

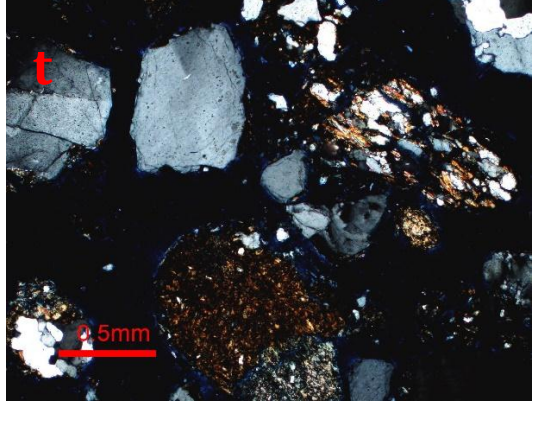
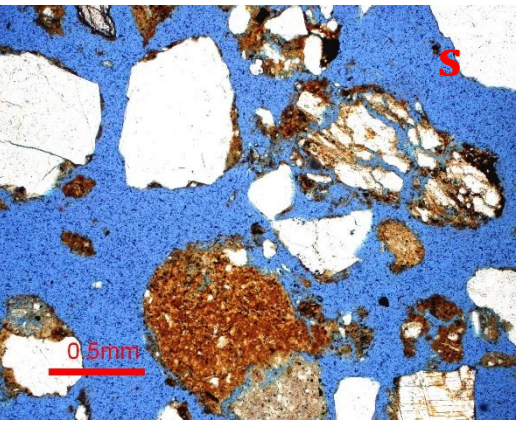
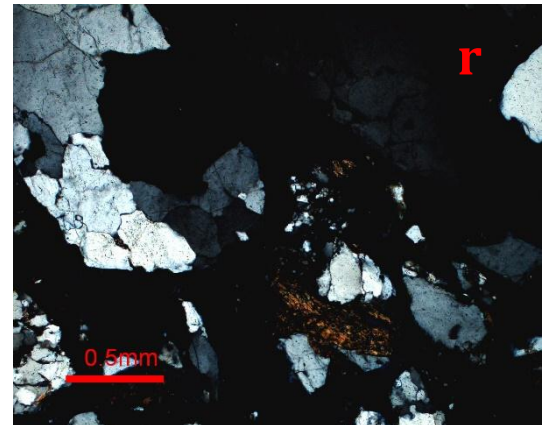
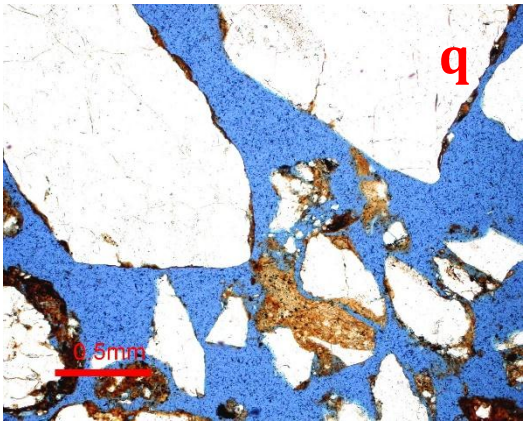
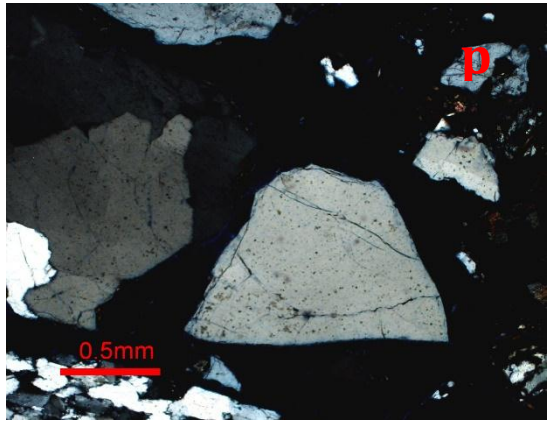
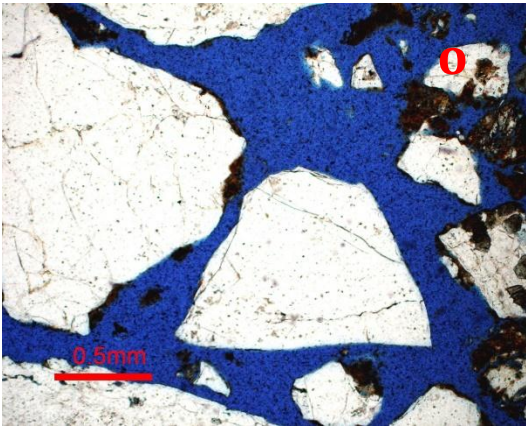
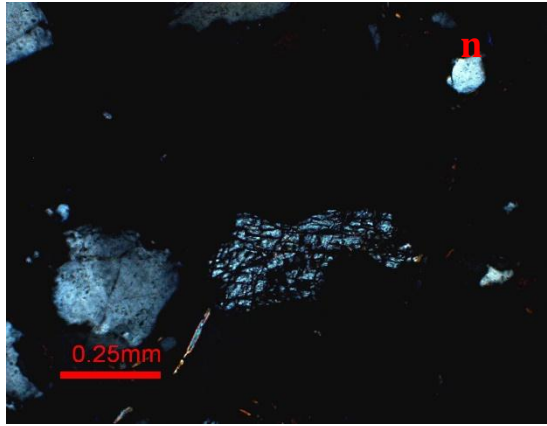
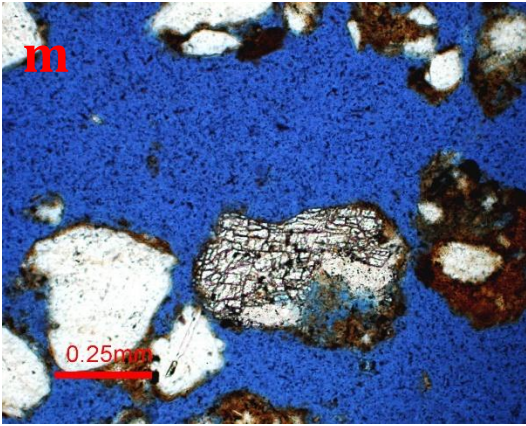
Porosidad: 10%.

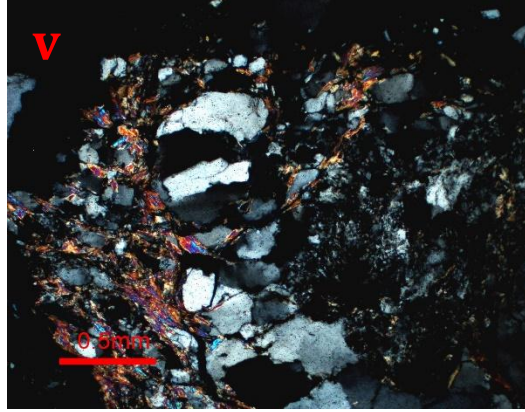
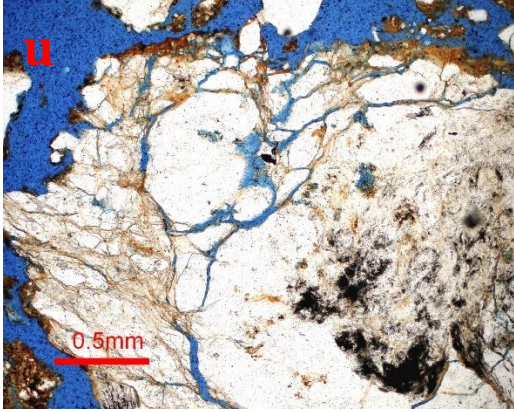
Cemento: 2%

Líticos ígneos: 2%

Figura 10: Petrográfica de la muestra LM- Δ12 – 5. Imagen (a) y (b): Cuarzo policristalino. Imagen (c) y (d): Cuarzo monocristalino. Imagen (e) y (f): Lítico ígneo. Imagen (g) y (h): Óxidos de color rojizo presentes por meteorización. Imagen (m) y (n): Lítico ígneo. Imagen (o) y (p): Cuarzo Monocristalino con extinción recta. Imagen (q) y (r): Cuarzo monocristalino con extinción recta. Imagen (s) y (t): Lítico metamórfico esquistoso. Imagen (u) y (v): Lítico ígneo con presencia de moscovita.







Anexo C: Columna estratigráfica: SE -1

DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA, MINA SAN PEDRO S.E. - 1

AUTORES: María Fernanda Calderón Grande
Laura Milena Meléndez Rueda

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: Uno (1)

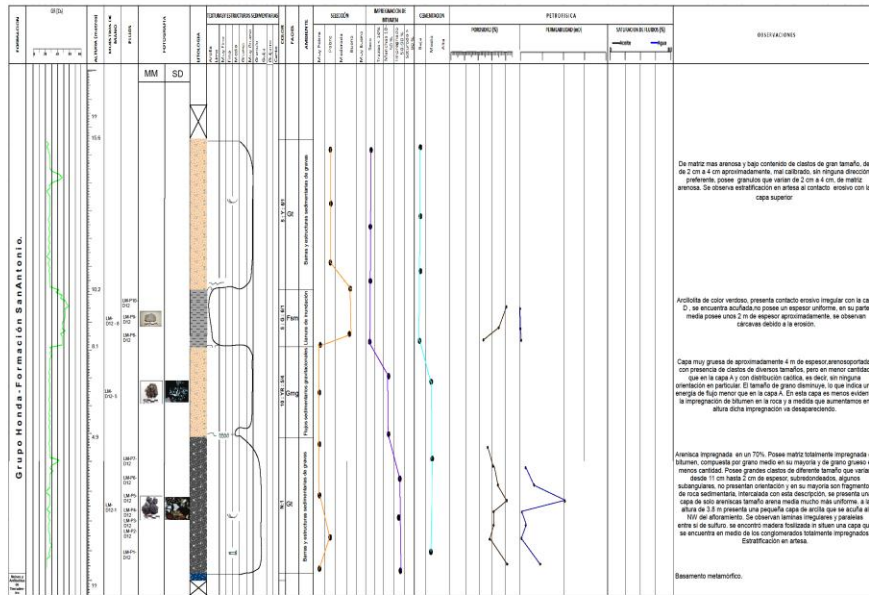
ESPESOR: 15.6 metros

CUENCA: VSM (Límite Valle Medio y Valle Inferior).

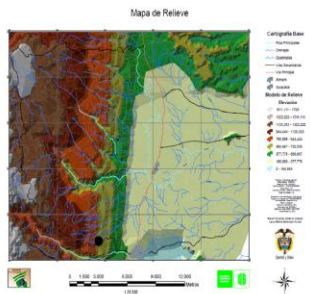
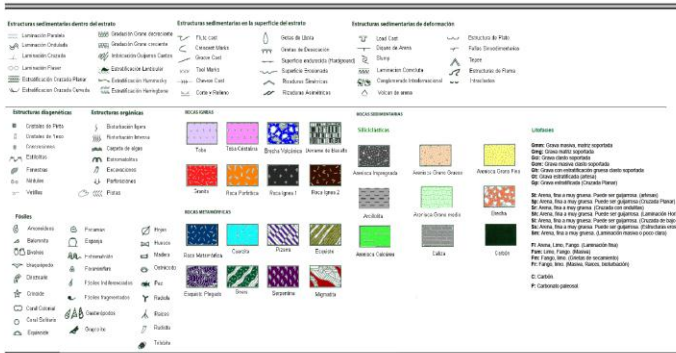
ESCALA: 1:100

GRUPO HONDA.

FECHA: Octubre de 2013



CONVENCIONES



Anexo D: Columna estratigráfica: SE -2

DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA S.E. - 2

AUTORES: María Fernanda Calderón Grande
Laura Milena Meléndez Rueda

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: Dos (2)

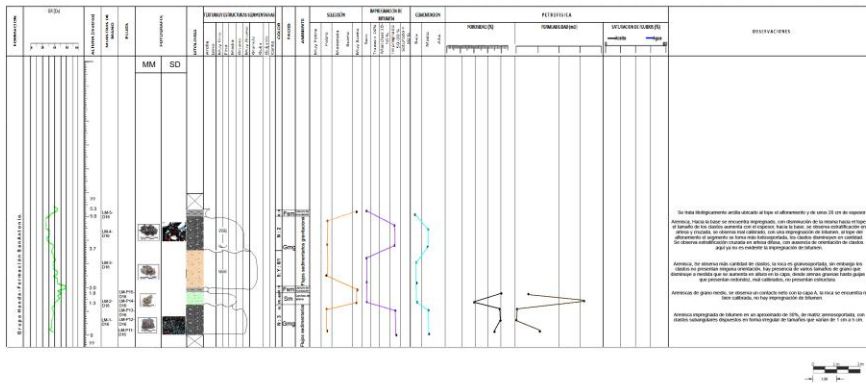
ESPESOR: 5.3 metros

CUENCA: VSM (Límite Valle Medio y Valle Inferior).

ESCALA: 1:100

GRUPO HONDA.

FECHA: Octubre de 2013

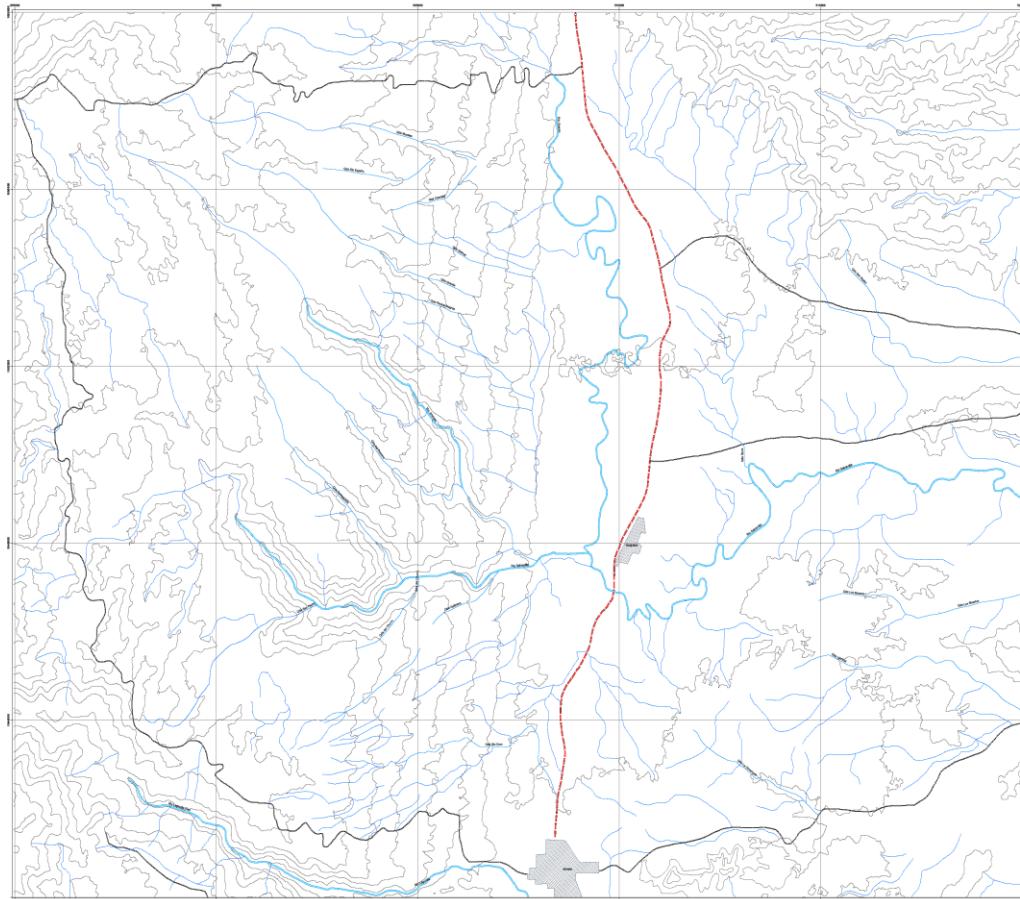


CONVENCIONES



Anexo G: Mapa de red de drenajes del Sur-occidente de Armero Guayabal Tolima

Mapa de Red de Drenaje

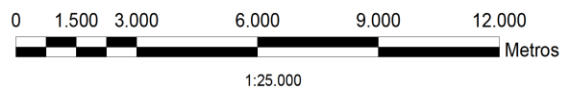


Cartografía Base

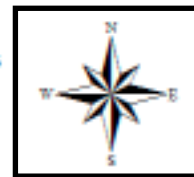
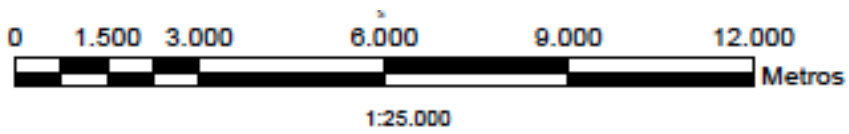
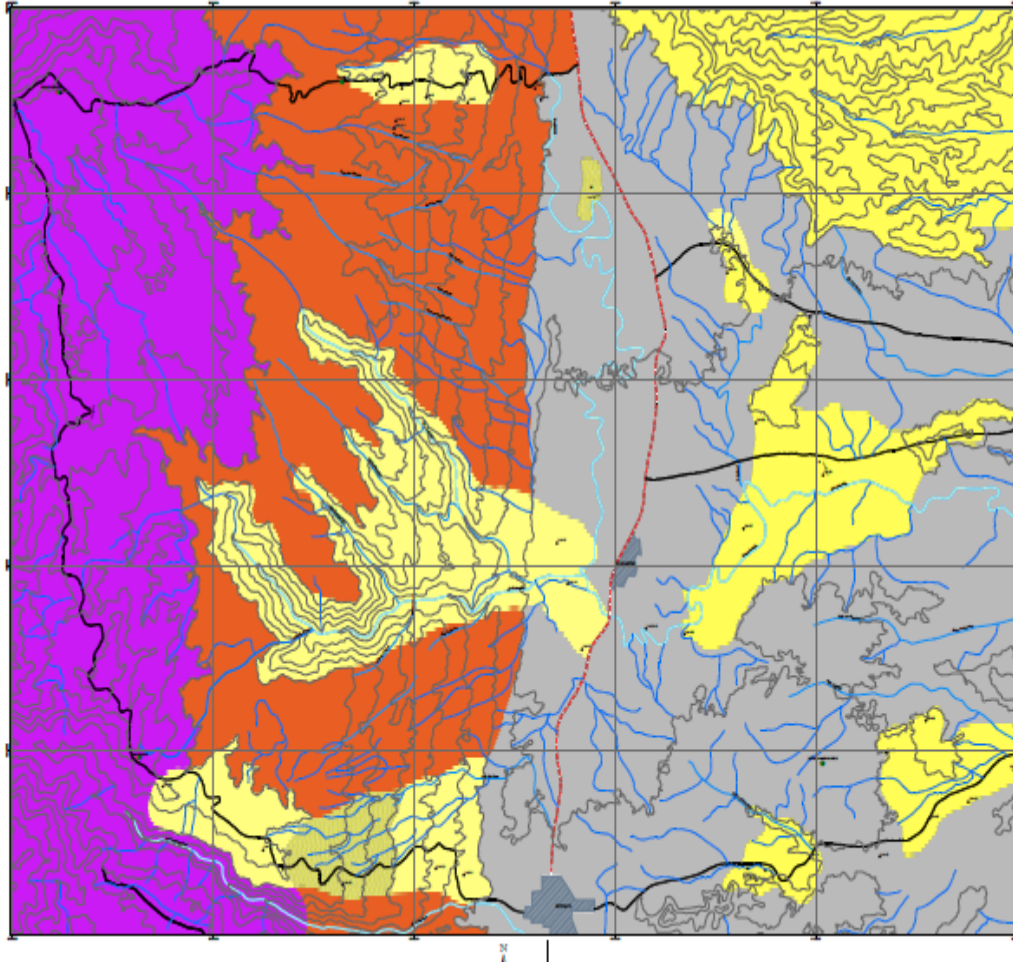
- Curvas de Nivel
- Rios Principales
- Drenajes
- Quebradas
- Vias Secundarias
- Via Principal
- Armero
- Guayabal

Projection: Transverse_Mercator
 False_Easting: 1000000.0
 False_Northing: 1000000.0
 Central_Meridian: -74.88091666666667
 Scale_Factor: 1.0
 Latitude_Of_Origin: 4.899472222222222
 Linear_Unit: Meter (1.0)
 Geographic Coordinate System: GCS_Bogota
 Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
 Prime Meridian: Greenwich (0.0)
 Datum: D_Bogota
 Spheroid: International 1924
 Semimajor Axis: 6378388.0
 Semiminor Axis: 6356911.944127447
 Inverse Flattening: 297.0

Maria Fernanda Calderón Grande
 Laura Milena Melendez Rueda

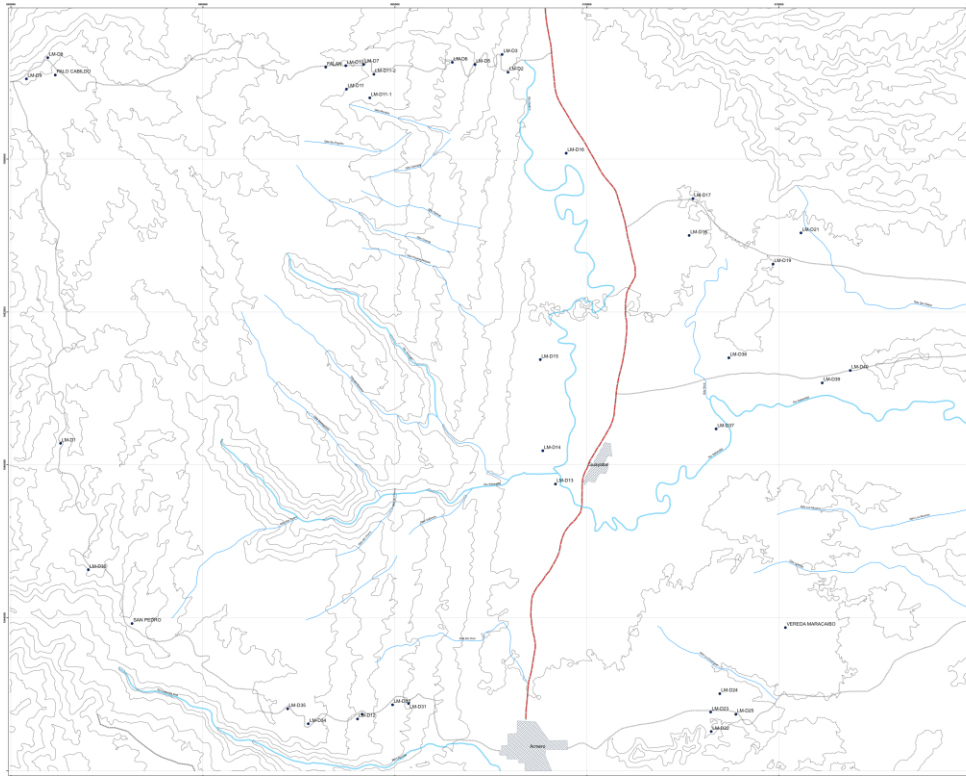


Anexo H: Mapa geológico del Sur Occidente de Armero Guayabal



Anexo I: Mapa de principales estaciones de control geológico del área de estudio

Mapa de Principales Estaciones de Control Geológico



Cartografía Base

- Estaciones
- Curvas de Nivel
- Ríos Principales
- Quebradas
- Vías Secundarias
- Via Principal
- Armero
- Guayabal

Proyección: Transverso Mercator
 Falso Easting: 1000000.0
 Falso Northing: 1000000.0
 Centro Meridiano: -74.00019896666667
 Escala: Factor 1.0
 Latitud de Origen: 4.599472222222222
 Origen del Norte: 0.0

Geographic Coordinate System: GCS_Bogotá
 Angles Unit: Degree
 Datum: SRTM30Plus
 Prime Meridian: Greenwich (G.M.T.)
 Datum: GRS80
 Spheroid: International 1924
 Semimajor Axis: 6378137.0
 Semiminor Axis: 6356752.314140357
 Inverse Flattening: 297.0

Maria Fernanda Calderón Grande
 Laura Milena Meléndez Rueda

