

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 16 de noviembre de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Jully Alexandra Vargas Quintero, con C.C. No. 1.075.286.613,

Faiver Andres Ladino Cerquera, con C.C. No. 1.084.924.382,

Juan Sebastián Canencio Peralta, con C.C. No. 1.075.268.463,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado “Levantamiento estratigráfico y caracterización mineralógica de la formación Guaduala en las secciones de los ríos Baché y Tune en el municipio de Palermo” presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniero de Petróleos; autorizo(amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Jully Vargas

Firma: Alexandra Vargas

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Faiver Ladino

Firma: Faiver Ladino

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Juan Canencio

Firma: Juan Canencio

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Levantamiento estratigráfico y caracterización mineralógica de la formación Guaduala en las secciones de los ríos Baché y Tune en el municipio de Palermo.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas Quintero	Jully Alexandra
Ladino Cerquera	Faiver Andres
Canencio Peralta	Juan Sebastián

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas Cuervo	Roberto

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero de Petróleos

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Petróleos

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

CIUDAD: Neiva - Huila **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 78

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos X Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

Anexo 1. Resultados granulometría, histograma de frecuencia, curva de frecuencia y curva acumulada.

Anexo 2. Análisis petrográfico.

Anexo 3. Resultados prueba de Bouyoucos.

Archivos Autocad en Carpeta Comprimida (Zip)

Plano 1. Mapa Geológico de la sección del río Baché.

Plano 2. Mapa Geológico de la sección del río Tune.

Plano 3. Poligonal de la sección del río Tune.

Planos 4 y 5. Columna estratigráfica de la Formación Guaduala.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Formación Guaduala	Guaduala formation
2. Columna estratigráfica	Stratigraphic column
3. Litofacies	Lithofacies
4. Difracción Rayos-X	X-Ray Diffraction
5. Ambiente de sedimentación	Sedimentation environment

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						   
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El estudio de los ambientes sedimentarios proporciona a la industria del petróleo el conocimiento sobre los procesos que condujeron al origen de las formaciones geológicas que conforman una provincia petrolífera como son las formaciones productoras, generadoras y sellos; en este trabajo se estudian las rocas sello de la formación Guaduala (Seca) en la Subcuenca de Neiva, Valle Superior del Magdalena (VSM). La columna estratigráfica para la formación Guaduala es reconocida en la sección de la carretera Palermo-Santa María sobre la margen del río Baché y levantada en la margen del río Tune en las veredas La Urriaga y San Juan del municipio de Palermo. Según el levantamiento realizado en campo, la formación Guaduala presenta en la sección del río Tune un espesor de 779 metros, y, litológicamente está compuesta por niveles de arcillolitas en capas de estratificación media a masiva con intercalaciones de capas tabulares de areniscas.

Así también, con base en la litología, estructuras sedimentarias e interpretación de los procesos ocurridos para generar cada tipo de litología se determinan los ambientes de sedimentación dividiendo la formación en siete (7) litofacies que son asociadas finalmente en cinco (5) facies. Finalmente, basados en la información procesada, tanto en campo como en laboratorio, se determina que la Formación Guaduala fue depositada en un ambiente sedimentario con clara tendencia regresiva además del avance de ambientes de transición mixtos y continental.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The sedimentary environmental study provides for the Petroleum's Industry the knowledge about the processes that gave birth to geological formations such as the stock, source and seal formations. This research is aimed to the seal rocks found in Guaduala (Seca) formation at Neiva Sub-basin, Upper Magdalena Valley. The Guaduala formation stratigraphic column can be noticed along the road that links Palermo to Santa María which are located aside Baché river, however, the survey was carried out at the Tune river banks in Urriaga and San Juan villages from Palermo county. The Guaduala formation presents a thickness equivalent to 779 meters regarding the field stratigraphic survey. Besides that, it is also formed of claystones in medium to massive-sized, stratification layers with interspersed tubular sandstones layers.

To this way, the sedimentary structures and the diagenesis interpretation were the base for determining the sedimentary environment. Thus, the formation was divided into 7 lithofacies that were assembled in 5 facies. Finally, based on data obtained at field and laboratory, it can be concluded that the Guaduala formation was deposited with on aggressive tendency, besides the advancement of mixed and continental transition environments.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

APROBACION DE LA TESIS

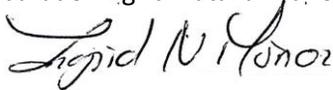
Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Isauro Trujillo Vásquez

Firma: 

Nombre Jurado: Ingrid Natalia Muñoz Quijano

Firma: 

**LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN
MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN GUADUALA EN LAS SECCIONES DE
LOS RIOS BACHÉ Y TUNE EN EL MUNICIPIO DE PALERMO**

JULLY ALEXANDRA VARGAS QUINTERO
FAIVER ANDRES LADINO CERQUERA
JUAN SEBASTIAN CANENCIO PERALTA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2016

**LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN
MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN GUADUALA EN LAS SECCIONES DE
LOS RIOS BACHÉ Y TUNE EN EL MUNICIPIO DE PALERMO**

JULLY ALEXANDRA VARGAS QUINTERO

FAIVER ANDRES LADINO CERQUERA

JUAN SEBASTIAN CANENCIO PERALTA

Trabajo de grado presentado como requisito académico para optar al título de
Ingeniero de Petróleos.

Director

Geólogo Msc. ROBERTO VARGAS CUERVO

Docente del programa de Ingeniería de Petróleos

Universidad Surcolombiana

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

NEIVA

2016

Nota de aceptación

Firma del Director

Firma del Evaluador

Firma del Evaluador

DEDICATORIAS

A Dios y mi familia.

Jully

A Dios por brindarme todo, a mis padres por su apoyo, a mis hermanos por su amor incondicional y a mis amigos, los cuales conocí durante estos años.

Faiver Andrés

A Dios por haberme dado la vida, a mi madre, a mi tía, a mis abuelos, y a mi familia por el apoyo brindado todos estos años en mi crecimiento personal.

Juan Sebastián

AGRADECIMIENTOS

Queremos brindar nuestros más sinceros agradecimientos a las siguientes personas, quienes fueron partícipes del desarrollo de este proyecto:

Al Geólogo Msc. Roberto Vargas Cuervo, Director del proyecto. Gracias por permitirnos hacer parte de su grupo de trabajo y encaminarnos a la geología, por su incondicional apoyo, constancia y amistad.

Al Museo Geológico y del Petróleo, y especialmente al grupo de estudiantes y egresados vinculados a proyectos de geología, puesto que hemos creado un vínculo de trabajo que perdurará en el tiempo.

A los directivos de la Facultad de Ingeniería, por su apoyo en la realización de este proyecto.

Al Geólogo PhD. Gustavo Sarmiento, Director del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, por su apoyo en los análisis de Difracción de Rayos-X.

A la Ingeniera de Petróleos María Angélica García Giraldo, estudiante de la Maestría en Ciencias-Geología de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, por su apoyo en varias de las etapas de la ejecución de este proyecto.

Al Licenciado Efren Mosquera Villarreal, por su apoyo en la ejecución de las pruebas de granulometría.

A Andrés Mauricio Trujillo Castañeda, estudiante del programa de Ingeniería de Petróleos por su apoyo en los trabajos de campo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN ABSTRACT

1. OBJETIVOS	14
1.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. GENERALIDADES	15
2.1. INTRODUCCIÓN	15
2.2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ACCESOS	16
3. ANTECEDENTES.....	19
4. GEOLOGÍA REGIONAL	20
4.1. ESTRATIGRAFÍA.....	21
4.1.1. Basamento económico	21
4.1.2. Cobertura productiva	21
4.1.2.1. Formación Caballos (Kc)	21
4.1.2.2. Formación Villeta (Kv)	22
4.1.2.3. Formación Monserrate (Kg)	23
4.1.2.4. Formación Guaduala (KPgs)	23
4.1.2.5. Formación Gualanday (Pg)	24
4.1.2.6. Formación Potrerillos (Pgpo).....	25
4.1.2.7. Formación Doima (PgNgd).....	25
4.1.2.8. Formación Honda (Ngh).....	25
4.1.2.9. Formación Gigante (NgQgi)	25
4.2. RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE LA NOMECLATURA DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y LA INDUSTRIA PETROLERA	27
4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	29
5. GEOLOGÍA LOCAL.....	32
5.1. INTRODUCCIÓN	32
5.2. ESTRATIGRAFÍA.....	34
5.2.1. Litofacies	34
5.2.2. Facies sedimentarias.....	45
6. INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO	47
6.1. ANÁLISIS TEXTURAL DE ARENISCAS POR EL MÉTODO DE TAMICES	47
6.1.1. Pautas para el análisis	48
6.1.2. Resultados y análisis.....	51

6.2.	ANÁLISIS TEXTURAL DE PELITAS POR EL MÉTODO DE BOUYOCOS	54
6.2.1.	Resultados y análisis.....	55
6.3.	ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO PARA LA DETERMINACIÓN TEXTURAL Y MINERALÓGICA	56
6.4.	DIFRACCIÓN DE RAYOS-X (DRX)	58
6.4.1.	Análisis e interpretación	65
7.	ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL	75
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.	16
Figura 2. Localización de la Plancha 323.	17
Figura 3. Unidades del Paleógeno y Neógeno expuestas en la plancha 323 Neiva.	18
Figura 4. Modelo de elevación digital donde se muestra el piedemonte de la cordillera central con el Valle del Magdalena, en el cuadrángulo, el área reconocida para este trabajo.	20
Figura 5. Columna Estratigráfica generalizada del valle superior del Magdalena subcuenca de Neiva. Fuente: Ecopetrol, ICP-2000, modificado por Vargas 2008.	26
Figura 6. Poligonal abierta para la sección del río Tune (Plano 3).	33
Figura 7. Resumen de resultados CLJ-13.	52
Figura 8. Resumen de resultados CLJ-24 (Ar).	53
Figura 9. Resumen de resultados CLJ-24 (Cong).	53
Figura 10. Resultados DRX, muestra CLJ-59.	60
Figura 11. Resultados DRX, muestra CLJ-38.	61
Figura 12. Resultados DRX, muestra CLJ-24.	62
Figura 13. Resultados DRX, muestra CLJ-07.	63
Figura 14. Distribución de minerales presentes en las muestras.	65
Figura 15. Deconvolución CLJ-07.	67
Figura 16. Deconvolución CLJ-24.	68
Figura 17. Deconvolución CLJ-38.	69
Figura 18. Deconvolución CLJ-59.	70
Figura 19. Asociación de paleoambientes según valores de FWHM para la Caolinita. Tomado y modificado de Bonilla <i>et al</i> , (2008).	71
Figura 20. Escala de cristalinidad de illitas. Tomado de Bonilla <i>et al</i> (2008).	72
Figura 21. Modelo cinético empírico de la transformación Esmectita – > Illita para dos reacciones (Velde & Vasseur, 1992). 1: Esmectita – > I/Sm Irregular (R0) con 100 a 50% de Esmectita (<i>curva punteada</i>); reacción 2: R0 – > I/Sm regular (R1) con 50 a 0% de Esmectita (<i>línea a rayas</i>); la suma de ambas reacciones (<i>línea continua</i>). Fuente: Meunier, (2005).	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nomenclatura de las unidades del Paleógeno y depósitos recientes y cuaternarios de la Subcuenca de Neiva.	28
Tabla 2. Equivalencia de unidades litoestratigráficas del Maestrichtiano-Paleógeno según varios autores.	29
Tabla 3. Escala granulométrica de Udeem-Wentworth (1992).	49
Tabla 4. Grados de sorteamiento.	50
Tabla 5. Intervalos de asimetría.	51
Tabla 6. Grados de agudeza.	51
Tabla 7. Parámetros estadísticos sección río Tune.	52
Tabla 8. Corrección de las lecturas del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer-Oden.	54
Tabla 9. Resultados prueba de Bouyoucos.	56
Tabla 10. Muestras escogidas para el análisis petrográfico.	58
Tabla 11. Resultados DRX.	65
Tabla 12. Resultados de FWHM.	66
Tabla 13. Posiciones (CuK α) de las relaciones usadas para estimar los porcentajes de Illita en los interestratificados Illita/EG-Esmectita. Tomado de Moore <i>et al</i> (1997).	73

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Niveles de arcillolitas y capas de areniscas de la Formación Guaduala.	24
Fotografía 2. Morfología de la Formación Guaduala en la sección del río Tune.	30
Fotografía 3. Morfología del monoclinal de Cerro Chiquito. Contacto entre el miembro Palermo y la formación Guaduala.	30
Fotografía 4. Arcillolitas predominantemente rojas (GPS: E840056 N806495).	35
Fotografía 5. Arcillolitas multicolores (GPS: E840868 N807376).	36
Fotografía 6. Areniscas de color gris claro a verdosas (GPS E841921 N808676).	37
Fotografía 7. Estratificación cruzada en areniscas ubicadas hacia la parte media del segmento 4A.	39
Fotografía 8. Areniscas grises del segmento 4B.	40
Fotografía 9. Arcillolitas abigarreadas del segmento 4C.	41
Fotografía 10. Lodolitas y arcillolitas de diferentes tonalidades.	42
Fotografía 11. Nivel de caolinita en la litofacies 5.	42
Fotografía 12. Capas de areniscas de estratificación fina a media.	44
Fotografía 13. Contacto discordante entre las formaciones Guaduala y Gualanday.	45
Fotografía 14. Afloramiento de arcillolitas donde fue tomada la muestra CLJ-07.	55
Fotografía 15. Toma de muestra de canal.	60

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados granulometría, histograma de frecuencia, curva de frecuencia y curva acumulada.

Anexo 2. Análisis petrográfico.

Anexo 3. Resultados prueba de Bouyoucos.

BOLSILLO 1-5

Plano 1. Mapa Geológico de la sección del río Baché.

Plano 2. Mapa Geológico de la sección del río Tune.

Plano 3. Poligonal de la sección del río Tune.

Planos 4 y 5. Columna estratigráfica de la Formación Guaduala.



RESUMEN

El estudio de los ambientes sedimentarios proporciona a la industria del petróleo el conocimiento sobre los procesos que condujeron al origen de las formaciones geológicas que conforman una provincia petrolífera como son las formaciones productoras, generadoras y sellos; en este trabajo se estudian las rocas sello de la formación Guaduala (Seca) en la Subcuenca de Neiva, Valle Superior del Magdalena (VSM). La columna estratigráfica para la formación Guaduala fue reconocida en la sección de la carretera Palermo-Santa María sobre la margen del río Baché y levantada en la margen del río Tune en las veredas La Urriaga y San Juan del municipio de Palermo.

Según el levantamiento realizado en campo, la formación Guaduala presenta en la sección del río Tune un espesor de 779 metros, y, litológicamente está compuesta por niveles de arcillolitas en capas de estratificación media a masiva con intercalaciones de capas tabulares de areniscas.

Así también, con base en la litología, estructuras sedimentarias e interpretación de los procesos ocurridos para generar cada tipo de litología se determinaron los ambientes de sedimentación dividiendo la formación en siete (7) litofacies que fueron asociadas finalmente en cinco (5) facies.

Las pruebas de laboratorio realizadas para apoyar la interpretación paleoambiental de la depositación de la Formación Guaduala consistieron en análisis granulométricos de arenas y rocas pelíticas, descripción petrográfica, y de igual forma, con el objeto de caracterizar los niveles arcillosos, fueron realizados cuatro pruebas de Difracción de Rayos-X (DRX) para el análisis cualitativo de los minerales arcillosos.

Basados en la información procesada, tanto en campo como en laboratorio, se concluye que la Formación Guaduala fue depositada en un ambiente sedimentario con clara tendencia regresiva además del avance de ambientes de transición mixtos y continental.



ABSTRACT

The sedimentary environmental study provides for the Petroleum's Industry the knowledge about the processes that gave birth to geological formations such as the stock, source and seal formations. This research is aimed to the seal rocks found in Guaduala (Seca) formation at Neiva Sub-basin, Upper Magdalena Valley. The Guaduala formation stratigraphic column can be noticed along the road that links Palermo to Santa María which are located aside Baché river, however, the survey was carried out at the Tune river banks in Urriaga and San Juan villages from Palermo county.

The Guaduala formation presents a thickness equivalent to 779 meters regarding the field stratigraphic survey. Besides that, it is also formed of claystones in medium to massive-sized, stratification layers with interspersed tubular sandstones layers.

To this way, the sedimentary structures and the diagenesis interpretation were the base for determining the sedimentary environment. Thus, the formation was divided into 7 lithofacies that were assembled in 5 facies.

The laboratory testing samples supported the paleo-environmental interpretation about the depositions at Guaduala formation. That consisted of particle size analysis of sands, pelitic rocks, petrographic description with the aim of characterizing the clay levels. Four Diffraction X-Ray tests were done in order to analyze the clayey minerals qualitatively.

Based on data obtained at field and laboratory, it can be concluded that the Guaduala formation was deposited with an aggressive tendency, besides the advancement of mixed and continental transition environments.



1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el levantamiento estratigráfico, reconocimiento estructural y caracterización mineralógica de la formación Guaduala en las secciones de los ríos Baché y Tune en el municipio de Palermo a escala 1:500.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar con base en la litología y de acuerdo a las estructuras sedimentarias, el ambiente de sedimentación de la formación Guaduala.
- Reconocer los diferentes tipos de minerales arcillosos presentes en los niveles de arcillolitas por medio de Difracción de Rayos-X (DRX).
- Analizar texturalmente las arcillolitas por el método de Bouyoucos.
- Realizar el análisis textural de los niveles de areniscas de la zona de interés utilizando el método de tamices.



2. GENERALIDADES

2.1. INTRODUCCIÓN

El ingeniero de petróleos de la Universidad Surcolombiana en su formación académica se ha distinguido por profundizar muchas de las temáticas que competen a la geología, para dar continuidad al desarrollo de las investigaciones y los aportes obtenidos para el Valle Superior del Magdalena (VSM), liderados por el Museo Geológico y del Petróleo con el apoyo del Grupo de Investigación Ecosistemas Surcolombianos (ECOSURC) de la Universidad Surcolombiana, se desarrolló el proyecto de grado “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN GUADUALA EN LAS SECCIONES DE LOS RÍOS BACHÉ Y TUNE EN EL MUNICIPIO DE PALERMO”.

Las propiedades petrofísicas de la Formación Guaduala, la hacen la roca sello por excelencia de uno de los sistemas petrolíferos más importantes de Colombia localizado en la cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM); la presencia de este sistema petrolífero ha generado el interés y desarrollo de muchos trabajos de Geología a lo largo de estos años para analizar los diferentes elementos y procesos geológicos que lo componen, entre ellos, estudios de las rocas generadoras (Grupo Villeta, Formación Loma Gorda), almacén (formación Monserrate) y, la generación, migración y acumulación de hidrocarburos (Macroproyecto de Rezumaderos), todos estos estudios realizados por estudiantes de pregrado de Ingeniería de Petróleos.

De igual forma, se ha profundizado en algunas de las etapas de exploración y especialmente en levantamientos estratigráficos de secciones geológicas directamente relacionadas con el mundo del petróleo, pero sólo en rocas almacén y generadoras, este proyecto, es el primero en trabajar la temática de rocas sello bajo el concepto de estratigrafía.

Para el levantamiento estratigráfico detallado de esta formación en la Subcuenca de Neiva fue escogida la sección geológica de la parte noroccidente del departamento del Huila, en la cual se hace un análisis de los diferentes tipos de litología, ambientes sedimentarios, unidades litoestratigráficas, geología estructural y estratigrafía, además se presenta la caracterización mineralógica de las rocas que conforman esta unidad, con lo cual fue posible determinar distintas propiedades que son características de dichas rocas y las relacionan con la estratigrafía del subsuelo; todos estos parámetros nos permiten tener una visión específica de la geología de la Subcuenca de Neiva y su formación sello.

2.2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ACCESOS

El área de estudio se encuentra ubicada en la subcuenca de Neiva perteneciente al extremo sur del Valle Superior del Magdalena, que limita al norte con el denominado umbral de Natagaima y divide el VSM en dos secciones, Sudeste con el sistema de fallas Algeciras-Garzón y al Oeste con las rocas del Pre-cretáceo de la cordillera central. (Véase Figura 1).

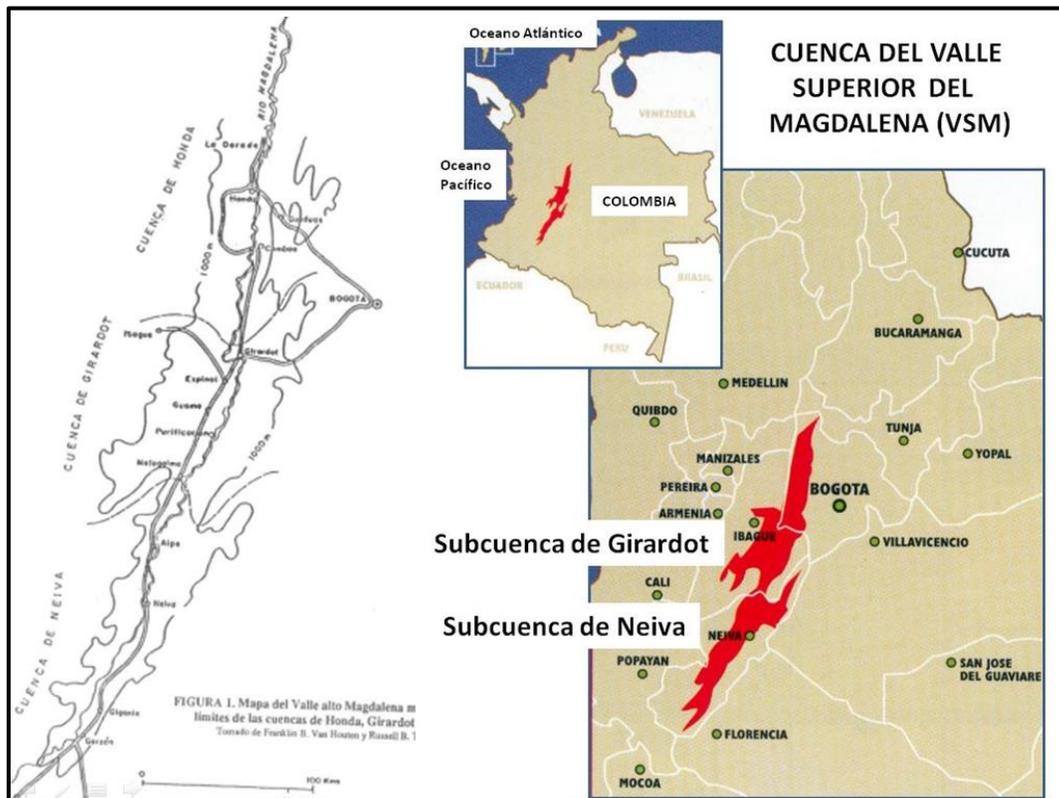


Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.

La base cartográfica utilizada para este proyecto fue consultada y adquirida al SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), utilizando la plancha geológica 323 (Véase Figura 2) a escala 1:100.000; la información geológica de esta plancha fue enriquecida con la información geológica trabajada durante varios años por el Museo Geológico y del Petróleo. La formación Guaduala aflora en la zona central de la plancha en mención (Véase Figura 3) y abarca un área de 15 Km² según asevera Ferreira *et al* (2002).

Fueron reconocidas dos secciones, la primera sobre la cuenca del Rio Baché a lo largo del cauce entre la población de Palermo y trecientos metros aguas arriba del



sector turístico del Pailón; la segunda sección fue realizada en la cuenca baja del río Tune en el sector de San Juan.

La infraestructura vial para el acceso a la sección del Río Baché, está conformada por un carretable pavimentado que de Palermo conduce a Santa María, con una longitud aproximada de 3 Km, en el cual la formación aflora con un espesor de 400 m aproximadamente, esta vía es de carácter secundario y posee un ancho de 4 a 5 m; la infraestructura vial en la sección del Río Tune está conformada por un carretable pavimentado secundario que de Palermo conduce a Teruel, con una longitud aproximada de 20 Km, en la cual la formación aflora con un espesor de 779 metros aproximadamente, es la mejor exposición de la formación ya que se encuentra muy cubierta y reducida en toda la plancha.

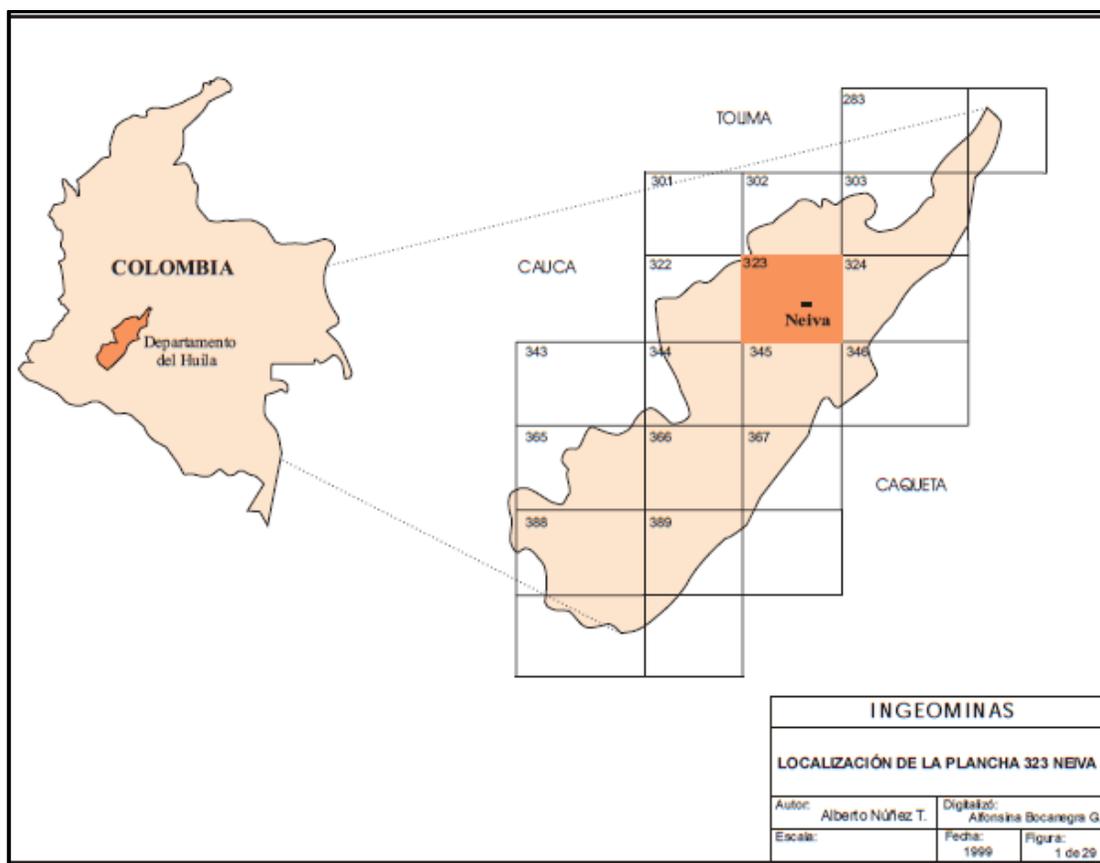


Figura 2. Localización de la Plancha 323. Tomado de Ferreira et al (2002).

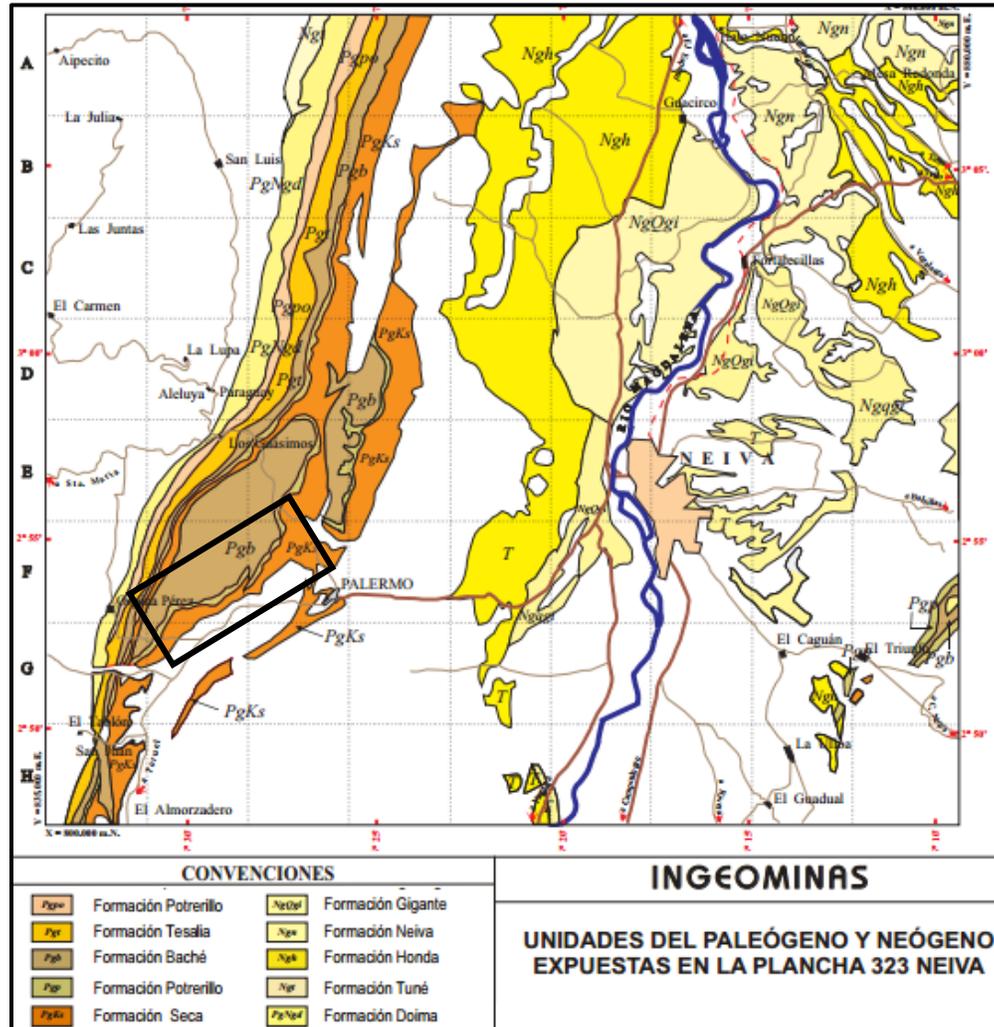


Figura 3. Unidades del Paleógeno y Neógeno expuestas en la plancha 323 Neiva. Tomado de Ferreira et al (2002).



3. ANTECEDENTES

De Porta (1965) utilizó por primera vez el término Guaduala para referirse a los sedimentos presentes encima de la Formación Cimarrona, en el extremo sur del Valle Medio del Magdalena; en los trabajos posteriores se hace referencia a la información proporcionada por De Porta y el resto de información corresponde a estudios hechos a la formación Guaduas que es el equivalente temporal en la Cuenca de Girardot y en la Sabana de Bogotá; trabajos como los citados a continuación:

Bonilla *et al.* (2008) en su tesis de maestría, identifica el ambiente sedimentario de la formación Guaduas, entre continentales y transicionales por medio de Difracción de Rayos-X, en conjunto con otras técnicas analíticas y procedimientos matemáticos de análisis de los espectros.

Palencia & Chávarro. (2013) proporciona información sobre la estratigrafía de la subcuenca de Neiva, incluyendo la descripción de las diferentes formaciones productoras del área. También incluye un marco general, estratigráfico y estructural de los diferentes campos petroleros del área de estudio, que son: Dina Cretáceos, Brisas, Santa Clara y Dina Terciarios.

Mejía *et al.* (2006) en su artículo expone los resultados de los análisis petrográficos efectuados a 30 muestras de carbón, tomadas a los mantos localizados en 3 niveles de la Formación Guaduas, presentes en el Sinclinal de Sueva (Cundinamarca-Colombia). El estudio realizado incluye análisis microscópicos de macerales, microlitotipos y reflectancia media de la vitrinita, con el fin de establecer los factores que controlaron los procesos de depósito y formación de estos carbones.

Guerrero & Sarmiento. (1996) discute la estratigrafía de la Formación Chipaque, Grupo Guadalupe, Formación Guaduas y Formación Socha inferior en proximidades de San Luis de Gaceno; presenta evidencia palinológica, presenta también los ambientes sedimentarios de las unidades estudiadas y divide la sucesión en secuencias estratigráficas con el objeto de contar con un marco de referencia para correlación regional.

4. GEOLOGÍA REGIONAL

El Valle Superior del Magdalena corresponde a una cuenca de intramontaña ubicada entre la Cordillera Central y la Cordillera Oriental. Está limitada al Este y Oeste principalmente por basamento con edades que van desde el Precámbrico al Jurásico, al Sureste por el sistema de fallas de rumbo de Algeciras-Garzón y por el sistema de cabalgamiento del Piedemonte de la Cordillera Oriental. Los sistemas de falla de Bituima y La Salina, y el cinturón plegado de Girardot, corresponden a los límites Norte y Nororientales. El basamento aflorante en el alto Natagaima – El Pata, divide el VSM en dos subcuencas: Girardot y Neiva (Reyes & Osorio, 2005).

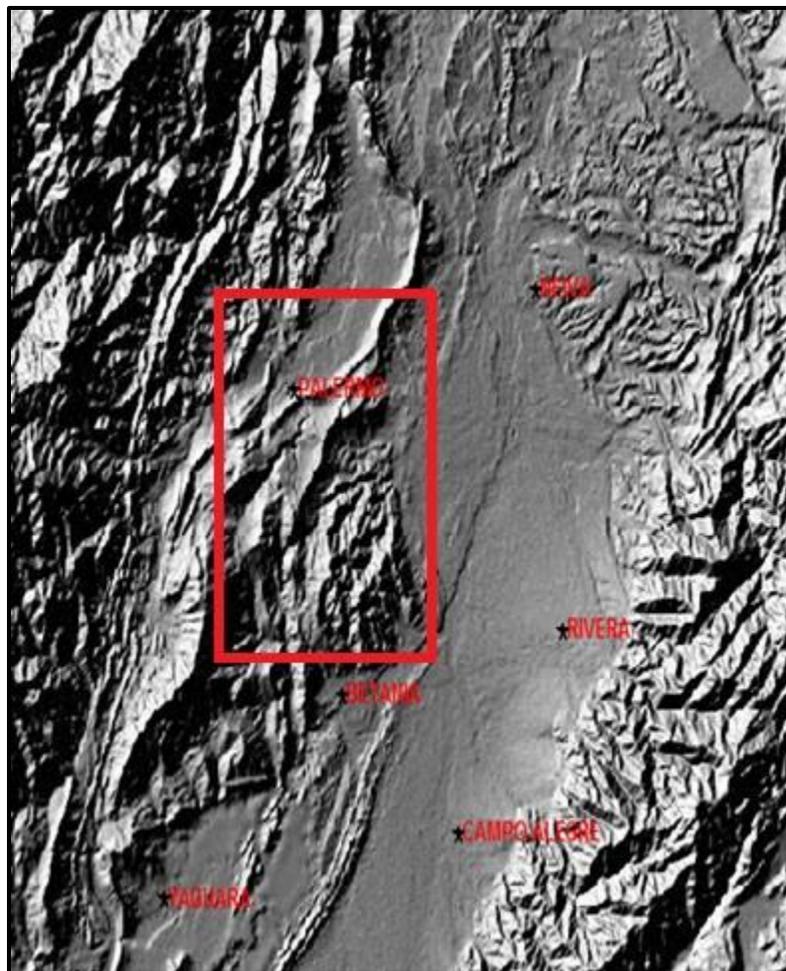


Figura 4. Modelo de elevación digital donde se muestra el piedemonte de la cordillera central con el Valle del Magdalena, en el cuadrángulo, el área reconocida para este trabajo.



4.1. ESTRATIGRAFÍA

Palencia & Chávarro (2013) proporciona información sobre la estratigrafía de la subcuenca de Neiva incluyendo la descripción de las diferentes formaciones, que se citan a continuación:

4.1.1. Basamento económico

El basamento económico pre-cretáceo está conformado por rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida correspondientes al batolito de Ibagué y la formación Saldaña y rocas de metamorfismo regional correspondiente al llamado Macizo de Garzón localizado al este del área está conformado por un núcleo de rocas precámbricas constituidas por migmatitas y gneises, anfibolitas paleozoicas e intrusiones de granitos y cuarzdioritas también de edad paleozoica.

El Jurásico se encuentra representado por una serie de rocas volcánicas y piroclásticas que corresponden estratigráficamente a la formación Saldaña compuesta por riolitas, dacitas, tobas y aglomerados volcánicos, principalmente. Así también se presentan rocas ígneas intrusivas ácidas del batolito de Ibagué.

4.1.2. Cobertura productiva

La cobertura productiva de carácter sedimentario está determinada por dos secuencias deposicionales diferentes caracterizada por presentar rocas de origen clástico y químico. La primera se trata de una secuencia clástica marina que abarca desde el Cretáceo Medio (Aptiano - Albiano) hasta el paleógeno (Paleoceno) de un ambiente marino a transicional desarrollando un ciclo regresivo y en la cual fueron depositados en el área, las formaciones Caballos, Villeta, Monserrate y Guaduala respectivamente. (Véase Figura 4).

La segunda secuencia está compuesta por rocas sedimentarias de origen continental que abarcan desde el Eoceno hasta el reciente, y que corresponden estratigráficamente a las formaciones Gualanday, Doima, Potrerillos, Honda, Gigante y Depósitos Cuaternarios.

4.1.2.1. Formación Caballos (Kc).

En la subcuenca de Neiva esta formación operacionalmente fue dividida en Caballos Inferior, Caballos Medio y Caballos Superior; Flórez y Carrillo (1994) redefinieron estas formaciones denominándolas Formación Alpujarra (Caballos Inferior), El Ocal (Caballos Medio) y Caballos (Caballos Superior).



La Formación Caballos Inferior (LKB) está compuesta por una serie de secuencias arenosas retrogradacionales, siendo un depósito continental a la base con cuarzoarenitas y subarcosas de color blanco a gris claro, de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas bien seleccionadas con pseudomatriz caolinítica. En la parte media y tope predominan lodolitas negras ricas en restos de plantas, que corresponden a depósitos en llanuras aluviales surcadas por canales sinuosos. Reposo discordantemente sobre el basamento económico o puntualmente sobre la formación Yaví. Tiene un espesor promedio de 150 pies.

La formación Caballos Medio (MKB) fue depositada en un ambiente marino restringido (Litoral a Sublitoral) se caracteriza por tener intercalaciones de calizas lumaquelicas y dolomitas de color gris verdoso, algunas glauconitas y lodolitas de color gris a negro, ricas en materia orgánica. Tiene un espesor promedio de 120 pies.

La Formación Caballos Superior (UKB), es el principal yacimiento productor en los Campos Santa Clara y los Mangos, está constituida por cuarzoarenitas muy continuas de grano fino a grueso friables, muy bien a moderadamente seleccionadas, con laminación inclinada y paralela, que fueron originadas como depósitos de cordones de playa progradantes. Presentan intercalaciones de lodolitas e interlaminaciones de arena y lodo y arenitas calcáreas bioclásticas, que representan depósitos marinos marginales (estuarios).

4.1.2.2. Formación Villeta (Kv).

La formación Villeta es una unidad marina transgresiva en donde sus sedimentos fueron depositados en un ambiente nerítico anóxico, sus rocas blandas erosionables dan lugar a una topografía suave de valles. Esta formación se encuentra dividida informalmente por las compañías petroleras que han trabajado en el área en cuatro unidades que de base a tope son:

- Caliza de Tetuán: calizas finogranulares derivadas de organismos plactónicos, ricas en materia orgánica de color marrón oscuro a claro, masivas y muy duras, intercaladas con lodolitas. El contacto con la Formación Caballos es transicional y su ambiente de depósito está por debajo del nivel de acción de las olas (Ambiente anóxico de plataforma).
- Shale de Bambucá: compuesta por shale verde a verde grisáceo con bajo contenido de calcita. El contacto con la Caliza de Tetuán es transicional y el predominio de sedimento arcilloso sugiere proximidad del área fuente y una somerización del fondo y acercamiento a la línea de costa.



- Caliza La Luna o Calizas La Frontera (Cenomaniano-Turoniano): Calizas micríticas derivadas de organismos planctónicos rica en materia orgánica de origen marino, de color crema a gris claro, masivas y blocosas.
- Aico: es una sección arenosa al tope y limosa en la base, que consta de cuarzoarenitas blancas, angulares a subangulares de grano fino a medio, algunas veces calcáreas, que representa una somerización del fondo y un acercamiento a la línea de costa.

4.1.2.3. Formación Monserrate (Kg).

Litológicamente está constituida por cuatro miembros: dos arenosos y dos lutíticos. El K4 con un espesor promedio de 25 metros, está compuesto por arcillolitas y limolitas con un nivel de roca fosfórica. El K3 con un espesor de unos 30 metros está representado por areniscas cuarzosas blancas a grises y de grano fino a medio. La unidad K2 con un espesor de unos 30 metros, está conformada por limolitas silíceas y chert, este miembro presenta dos niveles de roca fosfórica, es muy común el intenso plegamiento de estas rocas. La unidad K1 posee un espesor de unos 35 metros y está compuesto por cuarzoarenitas de grano grueso con cemento silíceo. La formación Monserrate fue depositada en un ambiente de plataforma cercano a la línea de costa, asociado a zonas de frente de costa y plataforma (Reyes et al, 1995), y de acuerdo a su registro fósil está datada como Campaniano a Maestrichtiano. (Beltrán y Gallo, 1968).

4.1.2.4. Formación Guaduala (KPgs).

Esta formación está constituida por dos miembros: el miembro San Francisco compuesto por arcillolitas grises a rojo oscuro a púrpura, blandas, con intercalaciones de limolitas (Véase Fotografía 1). Su ambiente de depósito es el parálico. El miembro Teruel está compuesto por areniscas finas verdosas y arcillolitas con algunas capas de carbón, depositados en un ambiente continental. El contacto de la Formación Guaduala con el suprayacente Grupo Gualanday en el área es una discordancia regional que representa un hiato deposicional del Eoceno inferior. El grado de erosión de estas rocas dan lugar a una topografía suave deprimida que forma valles.



Fotografía 1. Niveles de arcillolitas y capas de areniscas de la Formación Guaduala.

4.1.2.5. Formación Gualanday (Pg).

Esta formación está dividida en tres miembros: Palermo, Bache y Tesalia, respectivamente. El miembro Palermo está representado por una serie de conglomerados grises constituidos por cantos redondeados de líticos, chert y cuarzo e intercalaciones de areniscas en capas de estratificación masiva a gruesa. El miembro Bache está constituido por arcillolitas y lodolitas moteadas y algunos niveles de areniscas y conglomerados. El miembro Tesalia está representado por otra serie de conglomerados oligmíticos con fragmentos de cuarzo lechoso y chert negro, con ligeras intercalaciones de areniscas y arcillolitas varicoloreadas. El material clástico que constituye a los miembros Palermo y Tesalia probablemente fueron derivados de la cordillera central y distribuidos sobre una planicie a manera de amplios abanicos aluviales con fuertes corrientes fluviales. El miembro Bache se depositó sobre una gran planicie asociada a extensos pantanos y algunas corrientes fluviales débiles. La edad de la formación Gualanday corresponde al Eoceno superior según dataciones paleontológicas.



4.1.2.6. Formación Potrerillos (Pgpo).

Constituida por arcillolitas varicoloreadas, blandas y limosas intercaladas con delgados niveles de conglomerados y areniscas conglomeráticas. Esta unidad pertenece al Eoceno superior.

4.1.2.7. Formación Doima (PgNgd).

Reposa discordantemente sobre la formación Potrerillos y está constituida por conglomerados poligmíticos con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas chert y cuarzo, embebidos en una matriz areno-limosa. Esta formación fue depositada en un ambiente fluvial de grandes corrientes sobre planicies ligeramente onduladas. Su edad corresponde al Oligoceno inferior.

4.1.2.8. Formación Honda (Ngh).

Se puede dividir en Honda Inferior constituida por intercalaciones de arcillolitas rojas, cafés rojizas y grises verdosas, interestratificadas con arenitas, algunas veces conglomeráticas, grises a grises verdosas y Honda Superior, conformada predominantemente por arenitas grises a blancas con algunas intercalaciones de lodolitas cafés rojizos a gris verdosas. Se depositó en ambientes fluviales, con facies de canal, abanicos de rotura (crevassessplay), llanura de inundación y lagos pantanosos.

4.1.2.9. Formación Gigante (NgQgi).

Conformada por depósitos vulcanoclásticos provenientes de la actividad volcánica de la cordillera central durante el cuaternario temprano. Litológicamente está compuesta por tobas, aglomerados y rocas clásticas gruesas. El registro fósil de la formación Gigante es muy rico en restos vegetales y xilópalos, material carbonáceo y ocasionalmente restos óseos. Por dataciones radiométricas esta formación tiene una edad de unos 8 millones de años.

En la Figura 5 se presenta la columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca de Neiva.



		GRUPO	FORMACION	AMBIENTE	LITOLOGIA		
CUATERNARIO							
Neógeno	Secuencia Sin-Orogénica	Plioceno-Holoceno	Gigante / Mesa (1000 mts)	Terrestre, Llanuras de Piedemonte.			
		Mioceno	Medio a Superior	Honda (2500 mts)		Terrestre, Llanuras Aluviales	
			Inferior	Barzalosa (60 - 300 mts)		Terrestre, Lagunar	
Paleógeno	Secuencia Sin-Orogénica	Oligoceno	Doima Potrerillo	Terrestre, Ríos entrelazados.			
		Eoceno	Gualanday		Tesalia Bache Palermo		
			Paleoceno		Guaduala	Teruel San Francisco	
					Maastrichtiano	Guaduala	San Francisco
		CRETÁCEO	Superior		Maastrichtiano	Montserrat (150 - 200 mts)	Marino Intera Intamareal.
					Campaniano	K1 K2 K3 K4	
			Inferior		Secuencia Preorogénica	Santoniano	Villeta (700 - 1100 mts)
Albiano	Shale Aco LaLuna Shale Bambuca Caliza Tetuán						
Albiano	Caballos (90 - 200 mts)			Superior Medio Inferior			
Aptiano	Yaví (385 mts)	Fluvial Salobre					
Basamento	Jurásico	Saldaña (800 - 1500 mts)	Subaéreo Vulcanoclástico				
	Triásico	Intrusivo					
	Precámbrico	metamórfico					

Figura 5. Columna Estratigráfica generalizada del valle superior del Magdalena subcuenca de Neiva. Fuente: Ecopetrol, ICP-2000, modificado por Vargas 2008, en Palencia & Guerrero (2013).



4.2. RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE LA NOMECLATURA DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y LA INDUSTRIA PETROLERA

De Porta (1974) discute en su artículo que uno de los problemas con que se tropieza el desarrollo del conocimiento geológico de Colombia es la falta de precisión en la definición de muchas unidades, especialmente las unidades bioestratigráficas, que incluso en muchas publicaciones recientes se apartan por completo de las normas señaladas por el Código de Nomenclatura Estratigráfica.

Por otra parte, señala que la diversidad de Compañías petroleras que han trabajado en una misma área ha dado lugar a una proliferación de términos litoestratigráficos de carácter particular de la compañía, pero que en gran parte de ellos han aparecido en forma casual en cuadros o bien se ha hecho referencia a los mismos de una manera indirecta. De muchos de estos términos no se conoce su sentido original por figurar entre los informes privados de las compañías y en estas condiciones resulta muy difícil establecer correlaciones o equivalencias dentro de una misma área.

Para todos los casos en los que ocurren problemas de este tipo, De Porta trata separadamente la misma unidad en cada una de las áreas en favor de una mayor claridad en la exposición y en el planteamiento de los problemas existentes; a continuación, citamos de su artículo el contenido concerniente a la formación Guaduala, que es el objeto de esta investigación:

“GUADUALA (Formación .: ... Claystone).....Paleoceno

(Valle Superior del Magdalena).

Autores: Geólogos de la International Petroleum Co.

Primera publicación: CHENEVART (Ch.), 1963. – Les dorsales transverses anciennes de Colombie et leurs homologues d'Amérique Latine. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 52, nº 2, p. 910 (Guaduala Formation), Basel.

Otras formas de emplear el término. – Guaduala Claystone (Chevron Petroleum Co. in CORRIGAN, cuadro, 1967).

Descripción. – CHENEVART aplica el nombre de Formación Guaduala a las arcillas rojas de facies continental que se encuentran entre la Formación Umir o Tequendama en la base y la Formación Chicoral en la parte superior. Hacia la parte media y superior de la formación se encuentran algunas intercalaciones arenosas. El espesor de la Formación Guaduala varía de 350 a 460 m.



Relaciones estratigráficas. – Según CHENEVART el contacto con la unidad inferior es normal y se pasa de las shales lagunares del Umir o Tequendama a las arcillas rojas de la Formación Guaduala. Para la Chevrol Petroleum esta unidad descansaría sobre la Formación Vélez y en la nomenclatura de la International Petroleum Co. sobre la Formación Buscavida. CORRIGAN que hace equivalente esta unidad con la Formación Guaduas, señala que en el contacto inferior hay una inconformidad.

Paleontología y edad. – No se han citado fósiles de esta unidad. CHENEVART ha señalado la presencia de *Rzehakina* y basándose en ella considera la edad de la Formación Guaduala como Maastrichtiano-Paleoceno.

Correlaciones. – La Formación Guaduala sería equivalente a la Formación Guaduas tal como la han empleado RAASVELDT & CARVAJAL (1957) y CORRIGAN (1967).”

En la tabla 1 se presenta una correlación de los nombres estratigráficos empleados por el SGC para las unidades del paleógeno y los depósitos del cuaternario y la que se adoptó para los trabajos de grado e investigación del Museo Geológico y del Petróleo y el grupo ECOSURC de la Universidad Surcolombiana.

SUBCUENCA DE NEIVA				
USCO	SIMBOLO	PLANCHAS	LITOLOGIA	EDAD
DEPÓSITOS RECIENTES Y CUATERNARIOS				
Q		USCO	Depósitos aluviales, coluviales, glaciales, de talus, abanicos aluviales, flujos de lodo.	Reciente-Pleistoceno Holoceno
	Qal, Qalo, Qtl	Bloque Neiva	Depósitos aluviales, coluviales, glaciales, de	
ROCAS SEDIMENTARIAS DEL PALEOGENO				
Pgs		USCO	Unidades Litologicas clasticas conformadas por conglomerados, arcillolitas y areniscas	PALEOGENO
	Kpgs	282- 323- 344-345	Arcillolitas abigarreadas y niveles arenosos. (Formación la Seca, Formación Guadala, Formación Guaduas)	PALEOCENO-MAESTRICHIANO
	Kts	302		
	Tkg	301		
	K2E1sc	322- 388		

Tabla 1. Nomenclatura de las unidades del Paleógeno y depósitos recientes y cuaternarios de la Subcuenca de Neiva.



EDAD	ESTA PUBLICACIÓN		CORRIGAN (1967)	BELTRAN Y GALLO (1968)	LAVERDE (1989)	SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO (SGC)
PALEÓGENO	Pg GRUPO GUALANDAY	TESALIA	FORMACIÓN DOIMA		FORMACIÓN DOIMA	FORMACIÓN DOIMA
		BACHE	FORMACIÓN POTRERILLO		FORMACION POTRERILLO	FORMACIÓN POTRERILLO
		PALERMO	FORMACIÓN CHICORAL	GRUPO CHICORAL	TESALIA	FORMACIÓN TESALIA
					BACHE	FORMACIÓN BACHE
					PALERMO	FORMACIÓN PALERMO
MAESTRICHTIANO	KPgs FORMACIÓN GUADUALA	FORMACIÓN GUADUAS	GRUPO GUADUALA	TERUEL	FORMACIÓN SECA	
				SAN FRANCISCO		

Tabla 2. Equivalencia de unidades litoestratigráficas del Maestrichtiano-Paleógeno según varios autores.

4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área estudiada tiene relación directa con el sistema de Fallas de Chusma Teruel donde se integran las fallas que tienen que ver con el levantamiento de la Cordillera central, con un estilo tectónico de cabalgamiento; este sistema localizado al oeste de área de estudio constituye el límite entre las rocas sedimentarias neógenas de la parte plana del valle del río Magdalena y las rocas jurásicas del basamento dan morfología abrupta al piedemonte de la Cordillera central. Es una falla de cabalgamiento de bajo ángulo con transporte tectónico al noreste y con orientación general N00°E.

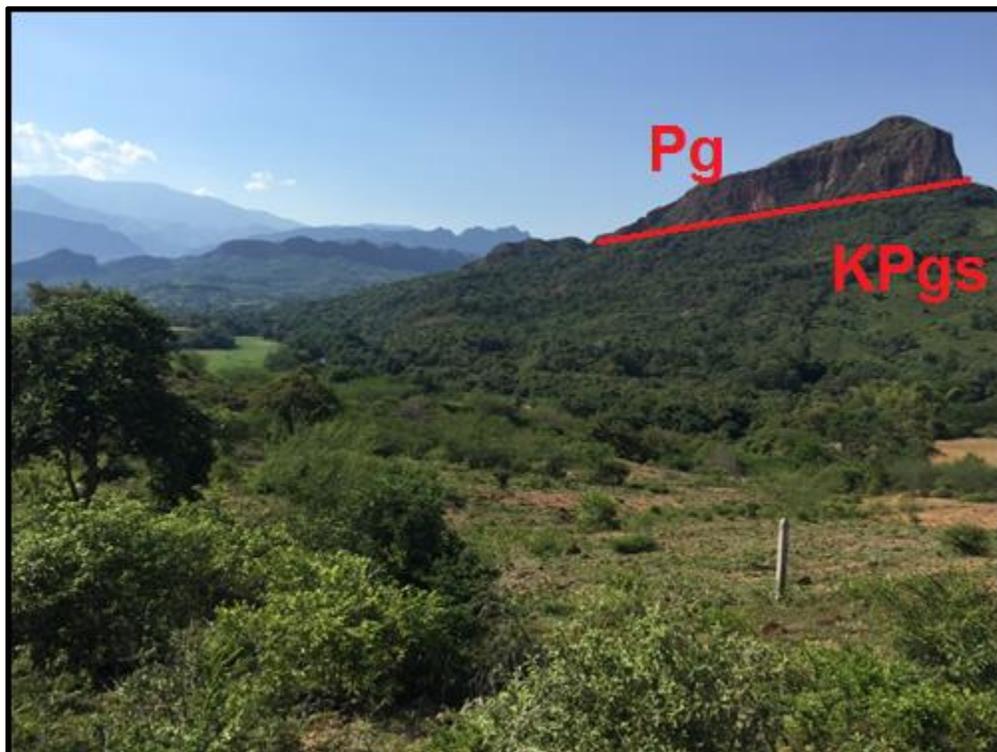
En la interpretación de las imágenes satélite se pueden trazar una serie de alineamientos que podrían corresponder a estructuras geológicas cubiertas por los depósitos fluvio-torrenciales de los ríos Baché y Tune (Véase Fotografía 2).

Estructuralmente el área de la sección del río Baché corresponde a la parte oriental del denominado Monoclinal de Cerro Chiquito la cual cobija toda la secuencia litoestratigrafica de las rocas del paleógeno y neógeno en contacto fallado con las rocas del basamento (Véase Fotografía 3). La estructura en el área de estudio presenta rumbos entre N15°E a N3°E con buzamientos entre los 20° y 60° al NW.

En la Formación Guaduala se presentan pequeños plegamientos dentro de los niveles de arcillolitas y lodolitas no cartografiables a la escala trabajada.



Fotografía 2. Morfología de la Formación Guaduala en la sección del río Tuna.



Fotografía 3. Morfología del monoclin de Cerro Chiquito. Contacto entre el miembro Palermo y la formación Guaduala.



- **Falla de Chusma y frentes de cabalgamiento asociados.**

Esta falla y los frentes de cabalgamiento asociados a ella, tienen vergencia hacia el oriente y trazos irregulares, los cuales llegan a ser fallas de carácter regional como la Falla de San Francisco al nor-occidente y la Falla de Baché al oriente, esta última exhumando rocas cretácicas y haciendo que estas cabalguen sobre las sedimentitas del Paleógeno y Neógeno. Otro frente de cabalgamiento y que afecta el área de estudio, estructurando solo el Paleógeno en superficie, se presenta en la parte meridional del área de estudio, cuya acción y desarrollo en conjunto con la Falla de Chusma propiamente dicha, produce el par sinclinal / anticlinal asimétricos, (San Francisco y Baché), que se desarrolla justo en frente de él.

- **Falla de Baché.**

Su traza se ubica aproximadamente a unos 2 km al oriente de Palermo. Tiene una dirección de N60E. Pone en contacto rocas paleógenas y cretácicas entre sí.

- **Falla de San Francisco.**

Pertenece al sistema del trust de Chusma Dirección aproximada NS a N20E. inclinada entre 40° y 45° al oeste. En la zona de influencia del proyecto minero esta falla diverge generando las fallas de Upar y Baché como también un sin número de fallas normales e inversas causantes de la repetición sucesiva de la Formación Guaduala.



5. GEOLOGÍA LOCAL

5.1. INTRODUCCIÓN

La formación Guaduala reconocida ampliamente a lo largo de la Cordillera Oriental y principalmente en el departamento de Boyacá, Cundinamarca y Huila, conformada por rocas clásticas principalmente, como areniscas, limolitas, lodolitas y arcillolitas, la cual marca la transición de un ambiente marino de plataforma presente hasta finales del cretácico y un ambiente continental influenciado por zonas de pantano con influencia fluvial y con algunos ciclos marcados de entradas del mar.

Esta unidad litológica en la Subcuenca de Neiva no presenta desarrollo de mantos de carbón siendo la característica más importante para las cuencas de Cundinamarca y el Altiplano Cundiboyacense, mientras que, en la Subcuenca de Neiva, los mantos de carbón presentes son muy esporádicos, de delgados espesores y de tipo lignítico.

Para el objetivo del presente estudio fueron reconocidas dos secciones, la primera sobre la cuenca del Rio Baché a lo largo del cauce entre la población de Palermo y trecientos metros aguas arriba del sector turístico del Pailón. De igual forma se reconoció esta sección por la carretera Palermo-Guásimos (Rio Baché) donde se observa esta unidad fallada y repetida y, donde su deposición es casi repetida. (Véase Fotografía 3).

La segunda sección reconocida y levantada estratigráficamente fue realizada en la cuenca baja del rio Tune en el sector de San Juan, donde se describieron los afloramientos naturales, cortes de carreteras y quebradas aledañas.

La definición de las litofacies se basó en la descripción de las características litológicas más sobresalientes macroscópicamente en lo concerniente a su textura y la definición de las estructuras sedimentarias más destacadas como son el tamaño de la estratificación, tipos de contactos entre las capas y estructuras internas siendo las más comunes la laminación plano paralela, ondulada, estratificación cruzada y estratificación flaser. El trabajo de campo de la primera sección fue realizado durante los meses de marzo, abril, mayo en los cuales se desarrollaron visitas de campo para reconocer las características geológicas de la región. Para el levantamiento estratigráfico en la segunda sección se desarrollaron 3 salidas de campo, en la cual se realizó una poligonal abierta (Véase Figura 6) georreferenciada con GPS Garmin (GPSmap 60CSx) para un total de 61 puntos y medidos con Hip-Chain, los afloramientos

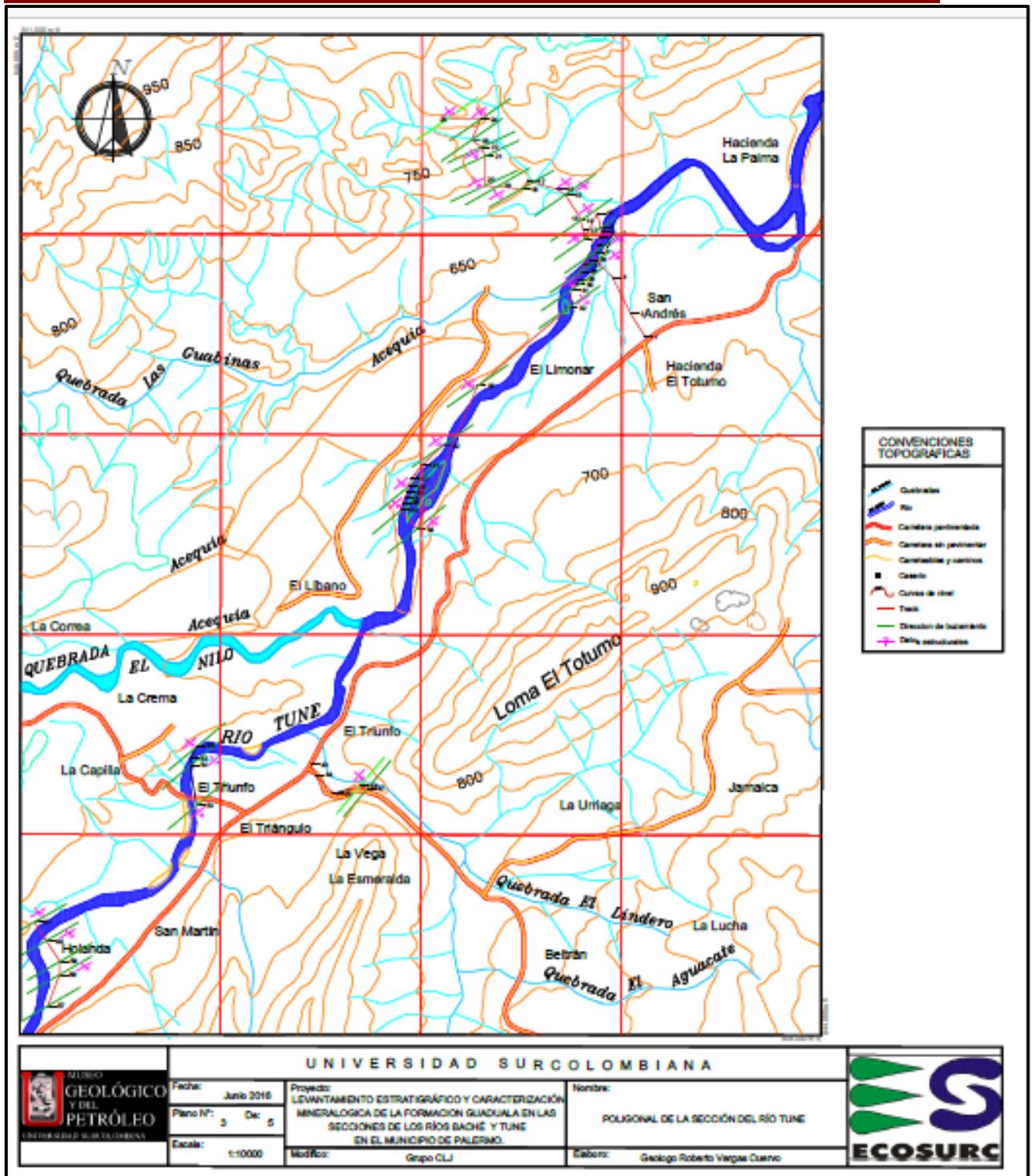


Figura 6. Poligonal abierta para la sección del río Tune (Plano 3).



fueron medidos directamente con cinta métrica o utilizando la vara de Jacob y brújulas tipo Burton azimutales para tomar datos estructurales. En esta poligonal se ubicaron todos los puntos de control con los datos estructurales realizando inicialmente el cálculo de los espesores aparentes y con reconstrucciones planiplásticas, y, por métodos matemáticos se realizó el cálculo del espesor real, dando para la sección del río Tune 779 metros.

5.2. ESTRATIGRAFÍA

En los planos 4/5 y 5/5 se presenta la columna estratigráfica realizada para la sección del Río Tune, la cual, para su descripción fue dividida en siete litofacies basadas en la litología, estructuras sedimentarias y la interpretación de los procesos ocurridos para generar cada tipo de litología.

Estas litofacies (7) fueron asociadas finalmente en cinco facies en las que se determinó con base en todas las características de esta, el ambiente deposicional.

5.2.1. Litofacies:

Para la determinación de la facies sedimentaria las cuales muestran el ambiente de depósito presente en las rocas de la formación Guaduala fueron determinados siete litofacies las cuales se describen a continuación de base a techo.

- **Litofacies 1: (0-88.5 metros)**

Con 88.5 m de espesor se presenta hacia la base de la formación Guaduala y en contacto cubierto con la formación Monserrate. Se inicia con una secuencia de capas de estratificación media de arcillolitas de color gris verdoso con tonalidades violáceas, con presencia de sectores de arcillolitas abigarreadas (Véase Fotografía 4).

Mineralógicamente se encuentran compuestas por cuarzo, del 5-10%, minerales de arcilla 90-95%, y presencia de nódulos (esferulitas) de caolinita. Presentan estructuras sedimentarias internas de tipo no paralela, discontinua, hacia el tope se hace lenticular, este tipo de estructuras y su litología indican un ambiente de depositación por suspensión generado en un ambiente lagunar o de pantano intermareal.



Fotografía 4. Arcillolitas predominantemente rojas (GPS: E840056 N806495).

- **Litofacies 2: (88.5-214.5 metros)**

Con un espesor de 126 metros y en contacto transicional con la litofacies 1. Se presenta un conjunto de estratificación media gradando a gruesa hacia el tope; están conformadas por arcillolitas y niveles de lodolitas. Las arcillolitas son de colores rojizos, violáceos y localmente amarillentas, puntualmente son abigarreadas (Véase Fotografía 5); se presentan a manera de láminas gruesas, localmente fisiles, como también aglomeradas en grano formando una estructura de bloque.

En sus planos de estratificación se observan nidos con diámetros de máximo 5 m.m. embebidos por un material fino, blanco y de aspecto cristalino (caolinita), es común a través de toda la sección la presencia de minerales pesados en trazas correspondiente a óxidos de hierro de tipo oligisto e ilmenita. Las estructuras internas presentes son laminación planoparalelas a estratificación lenticular.

De acuerdo a las estructuras sedimentarias presentes se considera la depositación de la litofacies 2 en su parte baja y media como un ambiente



sedimentario acuático tranquilo en estado de suspensión, mientras que hacia el tope aumenta ligeramente el régimen de flujo manifestando laminación lenticular.



Fotografía 5. Arcillolitas multicolores (GPS: E840868 N807376).

- **Litofacies 3: (214.5-360.5 metros)**

Con un espesor de 146 metros y en contacto erosional con la litofacies 2. Se presenta un conjunto de estratificación media hacia la base, gradando hacia la parte media a fina y muy fina, y, hacia el tope con estratificación media a gruesa.

En esta litofacies son comunes las intercalaciones de areniscas de color gris claro a verdosas (Véase Fotografía 6), duras, cementadas, y localmente presentan diaclasas abiertas rellenas de carbonatos. Las areniscas hacia la base texturalmente son de grano fino y de formas angulares a subredondeadas, moderadamente seleccionadas, con matriz limo-arcillosa y cemento silíceo.

Mineralógicamente están conformadas en 75% armazón y 25% matriz. El armazón de la roca llevado al 100% está conformado en un 55% por cuarzo, 13% feldespatos de tipo ortoclasa y 32% por fragmentos de roca, conformado por chert negro, lodolitas y trazas de minerales pesados. Esta sección de la base presenta laminación planoparalela que es rítmica (arcilla-arena) y estratificación ondulada no paralela, lo cual indica que ocurrieron periodos de corrientes tractivas



alternando con periodos de suspensión bajo condiciones favorables para la depositación de arena y arcilla.

Hacia la parte media de la litofacies 3 la estratificación se hace fina a muy fina, presentando estratificación cruzada de bajo ángulo y ondulitas, indicando procesos de cambio de régimen de flujo muy variables bajo condiciones favorables para la alternancia de arena y arcilla.

Hacia el tope de la litofacies 3 se presentan capas de estratificación media a gruesa conformada por una intercalación de arcillolita con delgados niveles arenosos, principalmente hacia el tope, las areniscas son conglomeráticas conformadas en un 35% de guijas y guijarros, redondeados de chert y limolitas, el 65% restante del armazón corresponde a granos gruesos subangulares de cuarzo. Presentan estructuras internas de tipo estratificación ondulada y estratificación cruzada.



Fotografía 6. Areniscas de color gris claro a verdosas (GPS E841921 N808676).



- **Litofacies 4: (425-555 metros)**

En contacto erosional con la litofacies 3, se presenta una secuencia de capas de areniscas, lodolitas, limolitas y arcillolitas con estratificación desde muy fina a gruesa, y con un espesor de 145 metros; con base en las características litofaciales, como lo son la identificación de estructuras sedimentarias que determinan el régimen de flujo presente, esta sección se ha dividido en cuatro segmentos:

- **Segmento 4A:** Con un espesor de 40 metros se presenta como una secuencia de areniscas con intercalaciones de limolitas, lodolitas y arcillolitas; hacia la base se presentan capas de areniscas de estratificación media y de color gris verdoso, duras, frescas, poco fracturadas y texturalmente conformadas por granos de tamaño medio de formas subredondeadas a subangulares, bien seleccionados y embebidos en una matriz arcillosa (10%); composicionalmente los granos están representados por cuarzo en un 30% de aspecto hialino a lechoso, feldespatos en un 30% los cuales se encuentran altamente caolinitizados y fragmentos de rocas (40%) conformados por chert negro, areniscas y puntualmente minerales pesados de tipo óxidos de hierro, correspondiendo a grawacas líticas, estos niveles de areniscas presentan estratificación cruzada de bajo ángulo (Véase Fotografía 7). Suprayacen a estas capas 20 metros de una secuencia de limolitas, lodolitas y arcillolitas; las limolitas son de color gris claro, presentan una textura limo-arenosa y puntualmente se presentan lentes de arenas, las lodolitas son de color gris oscuro, son finas homogéneas, se presentan en capas de estratificación fina y con laminación planoparalela, las arcillolitas de colores violáceos a rojizos son de textura franco-arenosa y presentan laminación planoparalela discontinua. Suprayacen, en la parte media de la sección, capas de areniscas de estratificación gruesa de color gris verdoso, localmente oxidadas y texturalmente conformadas por granos de tamaño medio a fino, de formas subangulares y bien seleccionadas, embebidas en una matriz arcillosa (10%); composicionalmente corresponden a grawacas líticas; las estructuras sedimentarias presentes hacia la base son laminación planoparalela gruesa discontinua indicando regímenes de flujo unidireccionales, hacia la parte media aumenta el régimen de flujo manifestado por la presencia de estratificación cruzada de bajo ángulo. Hacia el tope del segmento se presenta una alternancia de areniscas de grano fino con delgadas intercalaciones de limolitas, lodolitas y arcillolitas, presenta estratificación lenticular, media a gruesa y hacia el tope, laminación planoparalela indicando un régimen de flujo por suspensión.



Fotografía 7. Estratificación cruzada en areniscas ubicadas hacia la parte media del segmento 4A.

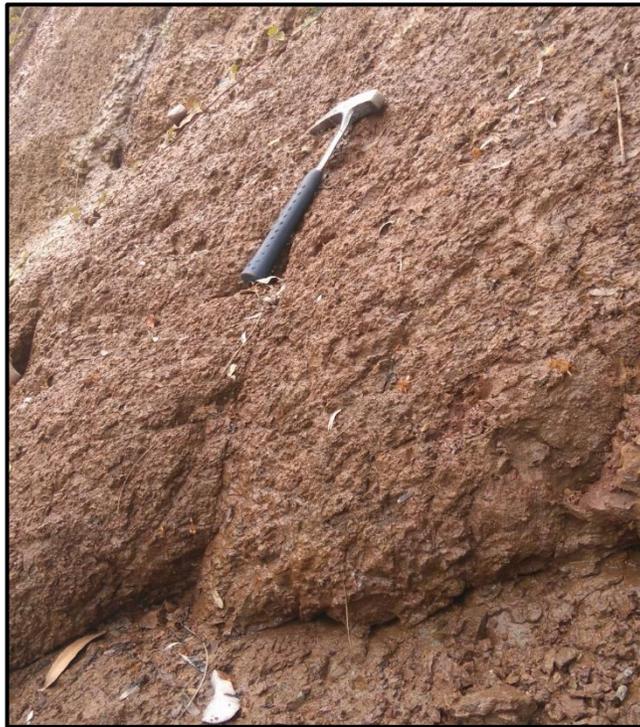
- **Segmento 4B:** localizado en la sección estratigráfica medida entre 398 y 434 metros (espesor de 36 metros), se presenta como una secuencia de arenisca en capas de color gris oscuro, duras, compactas (Véase Fotografía 8). Texturalmente representadas por granos de tamaño fino a grueso, de forma subangulares y regularmente seleccionadas, y mineralógicamente conformadas por 35% de cuarzo hialino y 65% en fragmentos de roca de tipo chert, limolita silíceica y lodolitas embebidas en una matriz limosa (15%).

Las estructuras sedimentarias internas presentes en estas capas se presentan como estratificación cruzada de bajo ángulo hacia la base y gradando hacia el tope con estratificación fina planoparalela. Para este segmento, de acuerdo a las características litológicas y estructuras sedimentarias, se determina que durante su depositación predominaba un alto régimen de flujo con ligeras variaciones en su energía. Las areniscas de este segmento presentan delgadas intercalaciones de limolitas de color café, friables, blandas, en capas de estratificación fina a muy fina, y con laminación planar. Así también, se observa en el tope de este segmento una capa de arenisca ferruginosa la cual puede ser indicadora de un ambiente continental sub-aéreo.



Fotografía 8. Areniscas grises del segmento 4B.

- **Segmento 4C:** localizado en la sección estratigráfica medida entre 434 y 467 metros (espesor de 33 metros), se presenta una secuencia de arcillolitas abigarreadas (Véase Fotografía 9) localmente gradando a limolitas arenosas, y, gradando hacia el tope a capas de areniscas en capas de estratificación muy fina a fina. Las areniscas presentan laminación planoparalela gruesa discontinua, y algunos niveles con estratificación ondulada; estas estructuras pueden indicar una combinación de procesos de regímenes de flujo por tracción y suspensión (arcillolitas). La presencia de ondulaciones es indicadora de la dirección de flujo.



Fotografía 9. Arcillolitas abigarreadas del segmento 4C.

- **Segmento 4D:** localizado en la sección estratigráfica medida entre 467 y 503 metros (espesor de 36 metros), se encuentra representada litológicamente por lodolitas y arcillolitas (Véase Fotografía10), gradando hacia el tope a areniscas. Las lodolitas, las cuales predominan en el segmento, son de textura lodo-arenosa, de color gris oscuro, en capas de estratificación fina a muy fina. Es común la presencia de estructuras sedimentarias internas como laminación planoparalela gradando hacia el tope a laminación ondular, observándose algunos lentes de limos arenosos y arenas. Hacia el tope del segmento se presentan unas capas de arenisca de estratificación media, de color gris oscuro a negruzcas, texturalmente están conformadas por granos de tamaño medio a grueso, moderadamente seleccionadas; en estos niveles es común los niveles de estratificación gradada, de grueso a fino, siendo indicadora de la disminución de regímenes de flujo en ambientes de canal.



Fotografía 10. Lodolitas y arcillolitas de diferentes tonalidades.

- **Litofacies 5: (555-610 metros)**

Conformado por una secuencia monótona de arcillolitas, gradando hacia el tope a lodolitas y limolitas arenosas. Las arcillolitas, predominantes en la litofacies, son de colores rojizos, violáceos y con algunas intercalaciones de niveles caoliníticos de color blanco; las arcillolitas presentes hacia la parte media y de la base son semiplásticas, blandas, y de textura limoarenosa. En algunos planos de estratificación se observan restos leñosos y raicillas fosilizadas. Las estructuras internas presentes, se presentan como laminación planoparalela gruesa, desapareciendo localmente generando una estratificación homogénea. Hacia el tope de la secuencia, se presenta a una gradación de lodolitas, de color gris claro, gradando a limolitas.

Entre los 588 y 594 metros, se presenta un lente de caolinita (Véase Fotografía 11). La secuencia finaliza en limolitas arenosas de color gris amarillento, con estratificación muy fina, en sus estructuras sedimentarias presenta laminación planoparalela discontinua. Durante la depositación de esta litofacies y de acuerdo a la interpretación de sus características se determina que el proceso dominante de depositación fue el de suspensión con algunos aportes muy lentos de granulometría mayor manifestando algunos drenajes de canal.



Fotografía 11. Nivel de caolinita en la litofacies 5.

- **Litofacies 6: (610-727 metros)**

Con un espesor de 117 metros, se presenta como una secuencia de capas de estratificación muy fina a media, conformada por areniscas, limolitas, lodolitas y arcillolitas gradando hacia el tope; hacia la base se inicia con 8 metros de areniscas de color gris claro a rojizo en capas de estratificación fina a media (Véase Fotografía 12), texturalmente están conformadas por granos de tamaño medio a grueso, de formas subangulares a subredondeadas y con estructuras internas de tipo laminación lenticular gruesa gradando a laminación planoparalela discontinua indicando procesos de tracción bajo un régimen inferior de flujo. La secuencia se presenta en una gradación grano-decreciente, generando limolitas y lodolitas arenosas con delgadas intercalaciones de arcillolitas; las estructuras sedimentarias presentes en esta sección son de laminación planoparalela media a gruesa, continua en las arcillolitas y discontinua en los lodos y limos. Esta litología interpreta una depositación por suspensión con cambios cortos de poca duración de régimen inferior de flujo, generando aumento en el tamaño de las partículas.



Fotografía 12. Capas de areniscas de estratificación fina a media.

- **Litofacies 7: (727-779)**

Presente hacia el tope de la formación Guaduala, tanto de la sección del río Tune como la sección del río Baché (Véase Fotografía 13), se presenta como una secuencia de areniscas en capas de estratificación muy fina a media con delgadas intercalaciones de limolitas lodolitas y arcillolitas capas de estratificación muy finas. Las areniscas dominantes en la sección texturalmente son de grano medio a grueso, de formas subangulares a subredondeadas, y mineralógicamente representadas por litoarenitas y grawacas; las estructuras sedimentarias presentes dentro de las capas de areniscas presentan estratificación cruzada de alto ángulo y, sus intercalaciones finas de limolitas y lodolitas con laminación planoparalela discontinua. Hacia la base de la litofacies las areniscas presentan laminación planoparalela discontinua y localmente lenticular, manifestando una combinación de procesos de tracción por régimen de flujo alto y suspensión por regímenes de flujo muy bajo.



Fotografía 13. Contacto discordante entre las formaciones Guaduala y Gualanday.

5.2.2. Facies sedimentarias:

Con base en el levantamiento de la sección estratigráfica del río Tune y reconocimiento geológico en el río Baché, fueron identificadas siete litofacies en las cuales fueron agrupadas con el criterio de interpretación de las estructuras sedimentarias presentes y el proceso sedimentario en el cual se formaron; con esto, se agrupan en cinco facies sedimentarias que muestran la interpretación de los ambientes de sedimentación de la Formación Guaduala en la sección levantada.

- **FACIES A:** Agrupa la litofacies 1 y 2 (véase plano 4 en bolsillo), las cuales corresponden a una secuencia de arcillolitas en capas de estratificación fina a gruesa con estructuras internas de laminación no paralela discontinua a lenticular, correspondiendo la base a una zona de depósito supramareal y el tope en un ambiente continental de pantanos.
- **FACIES B:** Comprende la litofacies 3, conformada por areniscas con niveles de arcillolitas y lodolitas; la interpretación paleoambiental con base



en sus estructuras sedimentarias, indican para la facies B un ambiente de sedimentación de pantanos donde hay predominio de suspensión y en el que existió también la entrada de corrientes externas (quebradas) que aumentaron el régimen de flujo a su paso, viéndose reflejado en la presencia de lentes de arenas. El nivel conglomerático presente con estratificación cruzada es indicador de paleo-canales fluviales.

- **FACIES C:** Corresponde a la asociación de la litofacies 4, con los segmentos 4A, 4B, 4C y 4D; conformadas por areniscas con estratificación cruzada de bajo ángulo a estratificación fina planoparalela e intercalaciones de arcillolitas, limolitas y lodolitas, indicando un ambiente de depósito de una zona supramareal.
- **FACIES D:** Asocia la litofacies 5, conformada por intercalaciones de arcillolitas con delgados niveles de limolitas y lodolitas, donde predomina la laminación planoparalela con algunos niveles de ondulitas, y corresponde a un ambiente de depositación parálico asociado a pantanos con alguna influencia supramareal.
- **FACIES E:** Asocia la litofacies 6 y 7, que corresponden en forma general a una secuencia de arcillolitas hacia la base con laminación planoparalela y localmente ondulada, con dominio hacia el tope de niveles de areniscas con estratificación gradada y estratificación cruzada indicando un ambiente fluvial con la presencia de barras de canal y puntuales, y, zonas de inundación.



6. INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO

Para el proyecto “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN GUADUALA EN LAS SECCIONES DE LOS RÍOS BACHÉ Y TUNE EN EL MUNICIPIO DE PALERMO” y con base en los objetivos propuestos, fueron realizados varios tipos de pruebas de laboratorio con el objeto de caracterizar textural y mineralógicamente las diferentes litofacies determinadas en el levantamiento estratigráfico realizado para la Formación Guaduala la cual tiene un espesor de 779 metros. Dichos análisis son:

- ⇒ Análisis textural de areniscas por el método de tamices.
- ⇒ Análisis textural de pelitas por el método de Bouyoucos.
- ⇒ Análisis petrográfico macroscópico para la determinación textural y mineralógica.
- ⇒ Difracción de Rayos-X para la determinación de la composición mineralógica de las arcillolitas.

6.1. ANÁLISIS TEXTURAL DE ARENISCAS POR EL MÉTODO DE TAMICES

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entiende todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar los fragmentos por el método de cribado o manual midiendo las tres dimensiones más representativas de los fragmentos, por lo general el máximo, el medio y el mínimo, obteniéndose la media; para los granos se procede a un tamizado en una columna decreciente, de arriba hacia abajo, siguiendo la escala de Wentworth y pesando después las fracciones retenidas en cada tamiz, obteniéndose así la clase modal; y, para partículas, se emplean métodos analíticos basados en la diferente velocidad de sedimentación o asentamiento de partículas en un medio líquido en función del diámetro (análisis de pipeta o hidrómetro).

Los análisis granulométricos realizados para este trabajo siguieron la metodología empleada en el laboratorio de construcción de la Universidad Surcolombiana. Se realiza previamente un tamizado húmedo por la dificultad que presenta desagregar el material en sus diferentes tamaños sin fragmentarlas y además de separar las partículas más finas que están adheridas a los granos.



6.1.1. Pautas para el análisis

Para el análisis granulométrico se hace uso de una muestra de arenisca; esta muestra, a la que se le conoce su peso, se hace pasar por una serie de tamices que presentan una numeración específica reteniendo por cada tamiz, una cantidad de arena de la muestra que representa a través de cálculos el porcentaje de muestra retenida.

Este porcentaje se calcula para cada tamiz, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido Tamiz}}{\text{Peso Total Muestra}} * 100$$

Luego de realizar el anterior cálculo para cada tamiz, se calcula el % acumulado en los tamices, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Acumulado} = \% \text{ Retenido}_n + \% \text{ Retenido}_{n+1}$$

La sumatoria de los % acumulados debe dar 100%. Con esto y el tamaño de los granos que retiene cada malla se realiza una gráfica. (Véase Anexo 1).

Para el análisis estadístico, previamente se convierten los diámetros de las partículas expresados en milímetros (mm) a unidades \emptyset (phi). La escala \emptyset se define como el negativo del logaritmo base 2 del tamaño de grano en milímetros (Véase Tabla 3).

$$\emptyset = -\text{Log}_2 N$$

Dónde: N = tamaño de grano en mm.

Se utilizó la escala granulométrica de Udeem- Wentworth, para las equivalencias entre los tamaños expresados en unidades phi y en milímetros, y para determinar exactamente la escala de clasificación textural. Los datos obtenidos han sido representados gráficamente en histogramas y curvas acumulativas, éstos últimos permiten determinar parámetros estadísticos granulométricos, como: medidas de tamaños (Mediana = Md) y medidas de uniformidad (Desviación Estándar Gráfica). Esta última nos define el índice de selección.

El análisis de la información se hizo basado en los datos obtenidos en el laboratorio, en el análisis granulométrico se procesaron los datos de los tamizados a partir de los resultados estadísticos log-normal obtenidos en el software SFT VERSIÓN 2.19 (Wohletz, 2007); este programa utiliza los parámetros estadísticos gráficos de Folk, 1957 (Véase Anexo 1).



Mm	Phi	Elemento		Sedimento		Roca Sedimentaria	
		Bloque		Grava	gruesa	Rudita	
256	-8	Canto			media		
128	-7	Guijarro				Conglomerado Brecha	
64	-6						
322	-5						
16	-4	Granulo		Gravilla	fina		
8	-3						
4	-2						
2	-1						
1	0	Arena	muy gruesa	Arena	muy gruesa	Arenisca	
0.5	1		gruesa		gruesa		
0.25	2		media		media		
0.125	3		Fina		fina		
0.062	4		muy fina		muy fina		
0.031	5	Limo	grueso	Limo	grueso	Lutita	Limolita
0.016	6		medio		medio		
0.008	7		Fino		fino		
0.004	8		muy fino		muy fino		
0.002	9	Arcilla		Arcilla		Arcillolita	
0.001	10						

Tabla 3. Escala granulométrica de Udeem-Wentworth (1992).

Después de obtener los histogramas de frecuencia con sus respectivas curvas, se obtuvo también los siguientes parámetros.

- **Mediana (Md)= Φ 50**

Es el tamaño de grano en el cual la mitad de las partículas son gruesas y la mitad de las partículas son finas. Se mide fácilmente en la curva de frecuencia acumulada, en una distribución normal la moda, la media y la mediana coinciden en curvas asimétricas muestran diferentes valores.

- **Moda**

Corresponde al tamaño de partícula más frecuente de la distribución, puede ser determinada a partir de los histogramas o de las curvas de frecuencia (el pico más alto de la curva), muchas distribuciones para depósitos sedimentarios pueden ser unimodales si tiene una moda, bimodal si tiene dos modas o multimodal si tiene más de dos modas.



- **Media (Mz)**

Es la medida en el centro de la distribución; en otras palabras, es el promedio estadístico expresado en unidades phi puede ser hallada sobre la curva de frecuencia acumulada aplicando la siguiente formula:

$$M_z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/3$$

- **Desviación estándar (selección)**

Mide la uniformidad en el tamaño de grano dentro de una muestra de sedimento. Definido como desviación estándar gráfica, medida en la parte central (68%) de la curva acumulativa y desviación estándar gráfica inclusiva medida en el 90% de la misma, este parámetro, está directamente relacionado con la pendiente de las curvas de frecuencia acumulada (a mayor pendiente, mejor selección de la muestra).

$$\text{Desviación estándar gráfica} = (\phi_{16} - \phi_{84})/2$$

$$\text{Desviación estándar gráfica inclusiva} = ((\phi_{16} - \phi_{84})/4) + ((\phi_5 - \phi_{95})/6.6)$$

Los siguientes valores son los descriptores propuestos por Folk and Ward (1957) en Pierson and Scott (en Hurtado y Murcia) para los diferentes grados de sorteamiento.

<0.35φ	Muy bien seleccionado
0.35φ - 0.49φ	Bien seleccionado
0.50φ - 0.99φ	Moderadamente seleccionado
1.00φ - 1.99φ	Pobremente seleccionado
2.00φ - 3.99φ	Muy pobremente seleccionado
>4.00φ	Extremadamente mal seleccionado

Tabla 4. Grados de sorteamiento.

- **Asimetría (Oblicuidad) - Skl**

Mide la desigualdad de la curva de frecuencia, la cual se establece graficando tamaño de grano (phi) y frecuencia de ocurrencia en la muestra. Un valor positivo indica el desvanecimiento de la curva a la derecha de la media con un exceso de partículas finas, un valor negativo indica un desvanecimiento de la curva a la izquierda de la media y un exceso de gruesos. Se interpreta con base en los siguientes intervalos:



-1.00 a -0.31	Asimetría muy negativa
-0.30 a -0.11	Asimetría negativa
-0.10 a -0.29	Cercanamente simétrica
0.10 a 0.29	Asimetría positiva
0.30 a 0.99	Asimetría muy positiva

Tabla 5. Intervalos de asimetría.

- **Kurtosis**

Es la medida de la desviación simétrica de una curva normal. Se establece haciendo una comparación entre el calibrado en las colas de la distribución y el calibrado en la porción central de la misma. Las curvas se denominan como: Leptocúrtica o puntiaguda si la porción central de la curva es mejor seleccionada, si ocurre lo contrario la curva es platicúrtica o achatada. Una kurtosis con valor de 1 indica que la curva tiene distribución log-normal; una aproximación a esta distribución da como resultado una curva Mesocúrtica.

$$K_g = \frac{(\phi_5 - \phi_{95})}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Los siguientes valores son los descriptores propuestos por Folk and Ward (1957) en Pierson and Scott para los diferentes grados de agudeza.

<0.67	Muy platicúrtica
0.67 - 0.89	Platicúrtica
0.90 - 1.09	Mesocúrtica
1.10 - 1.49	Leptocúrtica
1.50 - 2.99	Muy Leptocúrtica
>3.00	Extremadamente Leptocúrtica

Tabla 6. Grados de agudeza.

6.1.2. Resultados y análisis

Fueron pre-seleccionadas tres muestras de areniscas ubicadas en la columna estratigráfica levantada asociadas a las facies C y E, donde hay predominio de los niveles de areniscas. El procedimiento ejecutado siguió la Norma Técnica Colombiana No. 1504, y fue realizado por los ejecutantes del proyecto en el Laboratorio de Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana. A continuación, se presentan los resultados con su correspondiente interpretación sedimentológica basados en los parámetros

texturales adquiridos, así también, en el anexo 1 se presenta con detalle el procedimiento, datos adquiridos y resultados de cada una de las muestras.

MUESTRA	PARAMETROS ESTADÍSTICOS				
	MEDIANA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	SKEWNESS	KURTOSIS
CLJ 13	1.00	1.00	0.90	0.04	1.10
CLJ 25 Ar	3.00	3.00	0.68	0.16	1.08
CLJ 25 Cong	3.00	3.00	1.80	0.41	1.18

Tabla 7. Parámetros estadísticos sección río Tune.

- MUESTRA CLJ-13**
LOCALIZACIÓN: E842777, N810009
LITOFACIES: 4 - Segmento D, **FACIES:** C
500 Metros

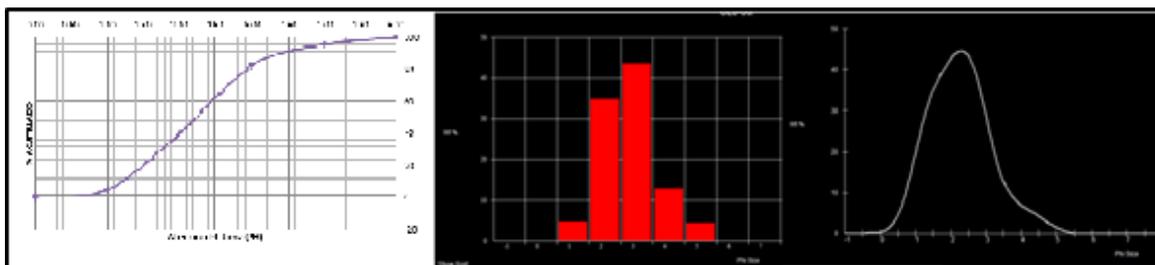


Figura 7. Resumen de resultados CLJ-13.

La muestra CLJ-13 presenta una curva de frecuencia con tendencia unimodal lo que significa que sólo hay una moda por lo que podría decirse que presenta de media a buena selección, con un promedio de grano $Mz = 2.18$ phi que representa un tamaño de grano medio, una desviación estándar de 0.90 marcando así una selección moderada. La curva es positiva simétrica $Sk_1 = 0.04$; lo que representa un predominio de tamaño fino, con una angulosidad gráfica de 1.10 (leptocúrtica), indicando una selección moderada a buena, es decir, es decir, dispersión regular de los tamaños finos.

- **MUESTRA CLJ-25 (Ar)**
LOCALIZACIÓN: E842110, N810513
LITOFACIES: 7, **FACIES:** E
779 Metros

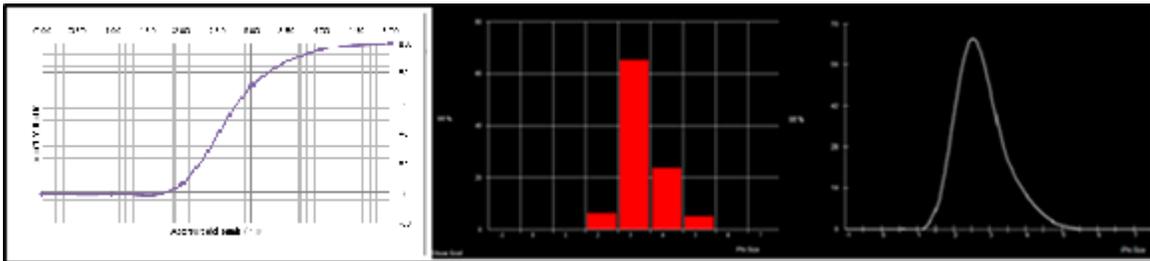


Figura 8. Resumen de resultados CLJ-25 (Ar).

La muestra CLJ-25 (Ar) presenta una curva de frecuencia con tendencia unimodal, con un promedio de grano $Mz = 2.70$ phi lo que indica tamaño de grano de medio a fino, una desviación estándar de 0.68 marcando así una selección moderada (Folk and Ward 1957). La curva es positiva simétrica $Sk_1 = 0.16$; lo que representa un predominio de tamaño fino, con una angulosidad gráfica de 1.08 (mesocúrtica), indicando una selección moderada es decir dispersión regular de los tamaños más finos.

- **MUESTRA CLJ-25 (Cong)**
LOCALIZACIÓN: E842110, N810513
LITOFACIES: 7, **FACIES:** E
779 Metros

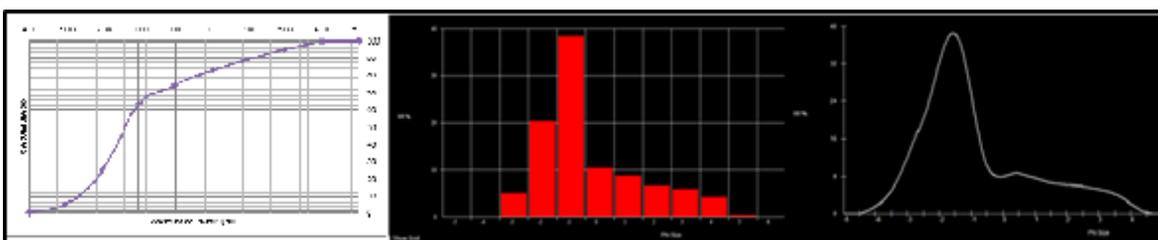


Figura 9. Resumen de resultados CLJ-25 (Cong).

La muestra CLJ-25 (Cong) presenta una curva de frecuencia con tendencia unimodal, con un promedio de grano $Mz = -0.92$ phi, el cual representa un tamaño de grano de grueso a muy grueso, una desviación estándar de 1.80 marcando así una pobre selección. La curva presenta simetría muy positiva $Sk_1 = 0.41$; lo que representa un predominio de tamaño muy fino, con una angulosidad gráfica de 1.18 (Leptocúrtica), indicando poca dispersión y una mejor selección.



6.2. ANÁLISIS TEXTURAL DE PELITAS POR EL MÉTODO DE BOUYOUCOS

El análisis granulométrico de rocas pelíticas está basado en la aplicación de la Ley de Stokes y de la Ley de Impacto, las cuales describen los métodos analíticos que regulan el asentamiento de partículas finas. Este procedimiento consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción mineral de la roca. Estos porcentajes se obtienen mediante la separación de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro. El método aplicado para la determinación de los porcentajes de peso de los diferentes tamaños es denominado Método del Hidrómetro o Bouyoucos, el cual fue utilizado para este proyecto.

La muestra es mezclada con agua en una pipeta y una vez que se asienta, la densidad de la suspensión se puede medir con el hidrómetro. El tiempo que cada tamaño de partícula toma al caer, por debajo de un plano de conjunto imaginario en el cilindro puede ser medido, con las lecturas que son tomadas después de 40 segundos para medir la sedimentación de arena y después de dos horas para medir las partículas de limos.

Con las lecturas del hidrómetro se debe tomar la temperatura sin perturbar la suspensión. Por cada °C por encima o por debajo de 19.44°C es necesario corregir la lectura del hidrómetro 0.2 unidades las cuales se suman o se restan según la temperatura sea mayor o menor respectivamente, para ello se utilizan los factores de corrección propuestos por Fischer-Oden, los cuales se presentan a continuación:

TEMPERATURA °C	FACTOR
14	-1.46
16	-0.98
18	-0.44
19.44	0.00
20	+0.18
22	+0.86
24	+1.61
26	+2.85
28	+3.28

Tabla 8. Corrección de las lecturas del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer-Oden.

Cálculos de los porcentajes de arena, arcilla y limos:

- **Arena**

$$\% \text{Arena Total} = 100 - \frac{\text{Lectura Corregida a 40''}}{\text{Peso de la muestra analizada (gr)}} * 100$$

- **Arcilla**

$$\% \text{Arcilla Total} = \frac{\text{Lectura}_{\text{corregida 2 Horas}}}{\text{Peso de la muestra analizada (gr)}} * 100$$

- **Limo**

$$\% \text{Limos} = \frac{\text{Lectura}_{\text{corregida a 40''}} - \text{Lectura}_{\text{corregida 2 Horas}}}{\text{Peso de la muestra analizada (gr)}} * 100$$

6.2.1. Resultados y análisis

Para el análisis por el método del hidrómetro fueron preseleccionadas cinco (5) muestras de rocas de textura fina y comúnmente denominadas arcillolitas.



Fotografía 14. Afloramiento de arcillolitas donde fue tomada la muestra CLJ-7.



Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Construcciones adscrito al programa de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ingeniería.

En la tabla 9, se muestran los resultados obtenidos para las cinco muestras procesadas en el laboratorio.

MUESTRA	% ARENA	% ARCILLA	% LIMO	CLASIFICACIÓN
CLJ-18	50.44	26.82	22.74	Arena Arcillosa
CLJ-24TG	58.15	24.91	16.94	Arena Limosa
CLJ-07	55.44	15.56	29	Arena Limosa
CLJ-30	85.09	3.41	11.5	Arena Limosa
CLJ-32	68.59	7.41	24	Arena Limosa

Tabla 9. Resultados prueba de Bouyoucos.

Los resultados obtenidos muestran un alto porcentaje de la fracción arena sobre el limo y arcilla, manifestando que los niveles arcillosos determinados macroscópicamente en afloramientos son de carácter muy arenoso y es correlacionable con análisis de este tipo realizados por el Museo Geológico y del Petróleo en Yaguará, Tesalia y Timaná.

Una interpretación paleoambiental del alto contenido de arena en los niveles arcillosos, puede indicar un régimen de flujo fluctuante entre suspensión y tracción característico de áreas de ambientes transicionales entre el mar y el continente, posiblemente a una zona supramareal baja.

6.3. ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO PARA LA DETERMINACIÓN TEXTURAL Y MINERALÓGICA

Dentro de los objetivos del proyecto “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN GUADUALA EN LAS SECCIONES DE LOS RÍOS BACHÉ Y TUNE EN EL MUNICIPIO DE PALERMO” en el cual se contempla el análisis mineralógico y textural de las rocas aflorantes en la sección del río Tune, fue realizada la descripción textural y petrográfica generalizada para toda la columna estratigráfica levantada y dentro de ésta fueron escogidas diez (10) muestras a las cuales se les realizó un análisis petrográfico al microscopio binocular y cuyos resultados se muestran en el anexo 2.



De las diez muestras preseleccionadas (véase tabla 10), cinco corresponden a areniscas y cinco a rocas pelíticas.

En el segmento de la facies B, fueron analizadas tres muestras de areniscas en capas de estratificación media, las cuales son de color gris claro a verdosas, duras, poco fracturadas; composicionalmente, estas rocas corresponden a grawacas líticas las cuales tienen un armazón entre el 75% y 85%, conformado por cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca, aunque todas las muestras presentan una pequeña fracción de minerales pesados.

El cuarzo presenta porcentaje entre 25% - 45%, es de aspecto hialino y localmente algunos granos lechosos, de formas subangulares a subredondeadas.

Los feldespatos con porcentaje del 5 al 15% son principalmente de tipo ortoclasa de color rosada, fresca, y formando granos angulares a subangulares, localmente se observan algunas plagioclasas de color blanco lechoso a grisáceas, algunas frescas y otras semi-meterorizadas.

Los fragmentos de roca presentes en mayor proporción (20% - 50%) son principalmente de chert negro de formas subangulares a subredondeadas y algunos granos de areniscas, limolitas y lodolitas.

Los minerales pesados (del 2 al 5%) es común la presencia de óxidos de hierro los cuales fueron identificados como oligisto e ilmenita.

En los segmentos de las facies C y E, fueron analizadas dos muestras de areniscas en capas de estratificación que van desde fina a gruesa, duras, de colores gris claro a verdosas y amarillas; composicionalmente, estas rocas corresponden a grawacas líticas las cuales tienen un armazón entre el 85% y 90%, conformado por cuarzo, fragmentos de roca y pocos feldespatos, aunque todas las muestras presentan una pequeña fracción de minerales pesados.

El cuarzo presenta porcentaje entre 30% - 35%, es de aspecto hialino y localmente algunos granos lechosos, de formas subangulares a subredondeadas.

Los feldespatos presentes en solo una de las muestras analizadas, con porcentaje del 5% son principalmente de tipo ortoclasa de color rosada y algunas plagioclasas de color blanco lechoso.

Los fragmentos de roca con porcentaje de 65% son principalmente de chert negro, algunos granos de areniscas, limolitas y lodolitas.

Los minerales pesados (del 5 al 7%), se presentan algunos gránulos de aspecto metálico de color negro conformados por óxidos de hierro (Oligisto) y otros gránulos de magnetita.



MUESTRA	LOCALIZACIÓN		CLASIFICACIÓN
	ESTE	NORTE	
CLJ-61	840056	806495	ARCILLOLITA ARENOSA
CLJ-60	840115	806402	ARCILLOLITA ABIGARREADA
CLJ-34	841962	808463	ARCILLOLITA
CLJ-35	841883	808557	ARCILLOLITA
CLJ-36	841890	808592	GRAWACA LÍTICA
CLJ-37	841913	808620	GRAWACA LÍTICA
CLJ-38	841913	808642	ARCILLOLITA
CLJ-39	841921	808676	GRAWACA LÍTICA
CLJ-04	842842	809824	LITOARENITA
CLJ-24	842276	810510	GRAWACA LÍTICA

Tabla 10. Muestras escogidas para el análisis petrográfico.

En el segmento de la facies A fueron analizadas cuatro muestras de arcillolitas de diferentes tonalidades: rojas, amarillas, violáceas, abigarreadas y grises verdosos; están compuestas por granos de tamaño muy fino (del 5 al 10%) y en su mayoría por granos de tamaño arcilla, desde 90% hasta 100%, mineralógicamente compuestas por cuarzo, minerales de arcilla y trazas de minerales pesados.

El cuarzo presenta porcentaje entre 5% - 8%, es de aspecto hialino y localmente lechosos, de formas subangulares a angulares.

Los minerales de arcilla, presentes en mayor proporción, son de aspecto granular, laminar, aglomerados en capas muy finas, de formas astillosas y puntualmente fibrosas, la mayoría formando bloques.

Los minerales pesados (Tz), se presentan algunos granos de color negro a gris verdoso conformados por óxidos de hierro.

6.4. DIFRACCIÓN DE RAYOS-X (DRX)

Con el fin de fortalecer la información obtenida en los análisis realizados a las muestras tomadas, como fueron, granulometría y petrografía, fue realizado análisis a cuatro (4) muestras utilizando la técnica de Difracción de Rayos-X (DRX) de acuerdo a la metodología del análisis cualitativo de minerales arcillosos basados en tratamiento de muestras propuestas por Thorez (1976).

Las muestras fueron preparadas en el Laboratorio de Rocas de la Universidad Surcolombiana y el procesamiento para DRX fue realizado en los laboratorios del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, gracias al apoyo interinstitucional realizado entre el Museo Geológico y del Petróleo y este



Departamento a cargo del Geólogo PhD. Gustavo Sarmiento Perez, y, la estudiante de la Maestría en Ciencias – Geología, la Ingeniera de Petróleos Maria Angélica García Giraldo.

El procedimiento utilizado y realizado en la Universidad Surcolombiana por los autores de este proyecto es el siguiente:

- **Toma de muestras:** después de realizar el levantamiento estratigráfico y como producto final la representación gráfica de éste (columna estratigráfica, véase planos 4 y 5) se preseleccionaron los sectores donde se tomaron las cuatro muestras utilizando la siguiente metodología:
 - **Muestras de canal:** se tomaron dos muestras CLJ-07 y CLJ-59 Por el método de canal el cual consiste en limpiar el afloramiento de materia vegetal y material particulado externo y se realiza un canal vertical perpendicular a la estratificación de 1 m de longitud, un ancho de 20 cm y profundidad de 15 cm. El material es raspado con martillo de geología y depositados sobre una lona impermeable, y depositado en bolsas plásticas de alto calibre donde se almacenaron 3 kg de material rocoso.



Fotografía 15. Toma de muestra de canal.

- **Muestras en panel:** se tomaron dos muestras CLJ-24 y CLJ-38 Por el método de panel, el cual consiste en limpiar el afloramiento de



materia vegetal y material particulado externo y, posteriormente se escogen varios cuadrángulos en un área de 1x1 m y se realiza el muestreo sacando muestras en esquirlas sistemáticamente a través de cuadrángulo.

- **Preparación:** después de preseleccionar las muestras en campo fue realizada la preparación de éstas en el laboratorio de rocas de la Universidad Surcolombiana, la cual consistió en un secado previo en habitación de ambiente controlado entre 25°C y 45% de humedad relativa.
- **Pulverización:** la pulverización se realizó con la ayuda de un mortero y posteriormente se tamiza la muestra buscando que pase por el tamiz de malla No. 200 garantizando una buena dispersión en el agua.
- **Empaque y envío:** el material resultante de cada muestra se le realizó un cuarteo y se empacó y rotuló 500 gr de cada una de éstas para remitirlas al Laboratorio de Caracterización Litológica del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.
- Las muestras remitidas a la Universidad Nacional siguieron el procedimiento propuesto por Thorez, aplicando el método de Etilen Glicol.

Los resultados del análisis de las cuatro muestras (Figuras 10 – 13) se presentan a continuación:

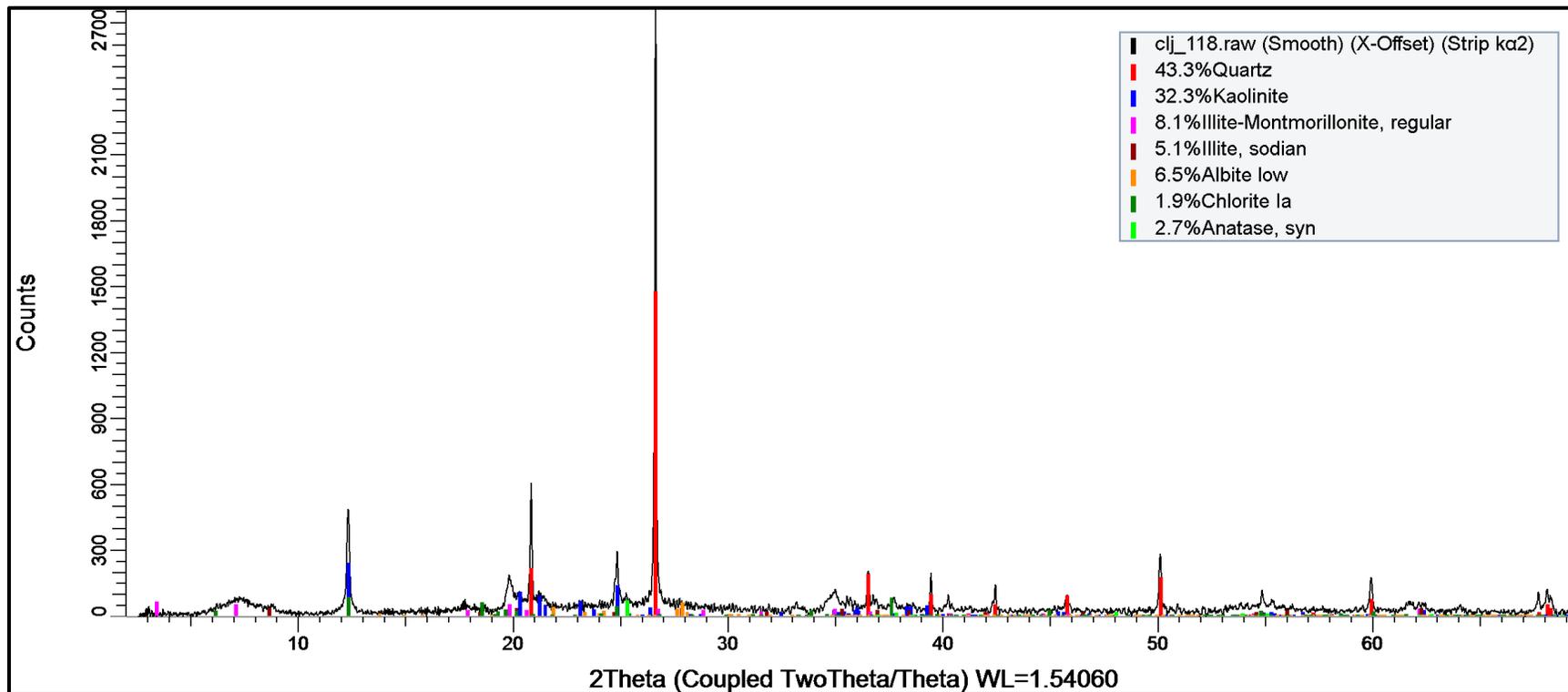


Figura 10. Resultados DRX, muestra CLJ-59.

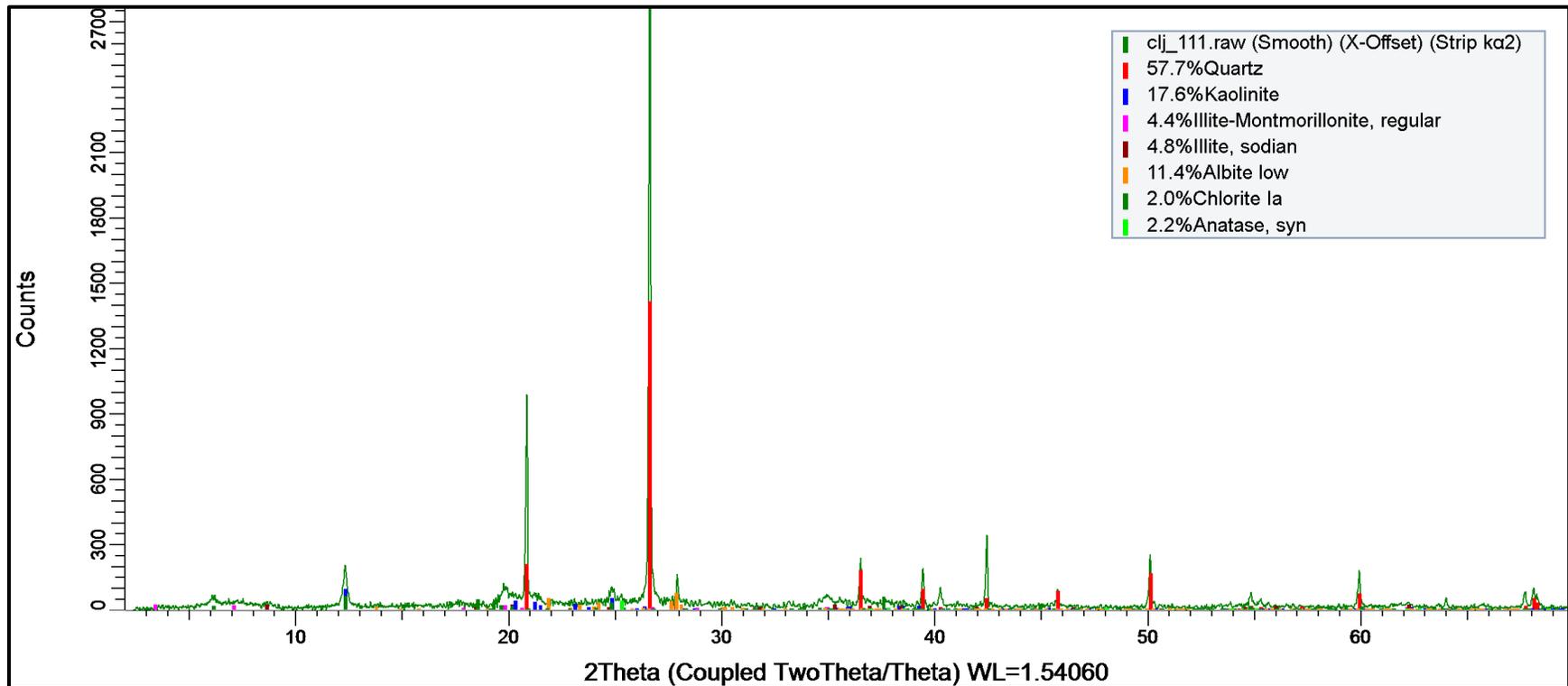


Figura 11. Resultados DRX, muestra CLJ-38.

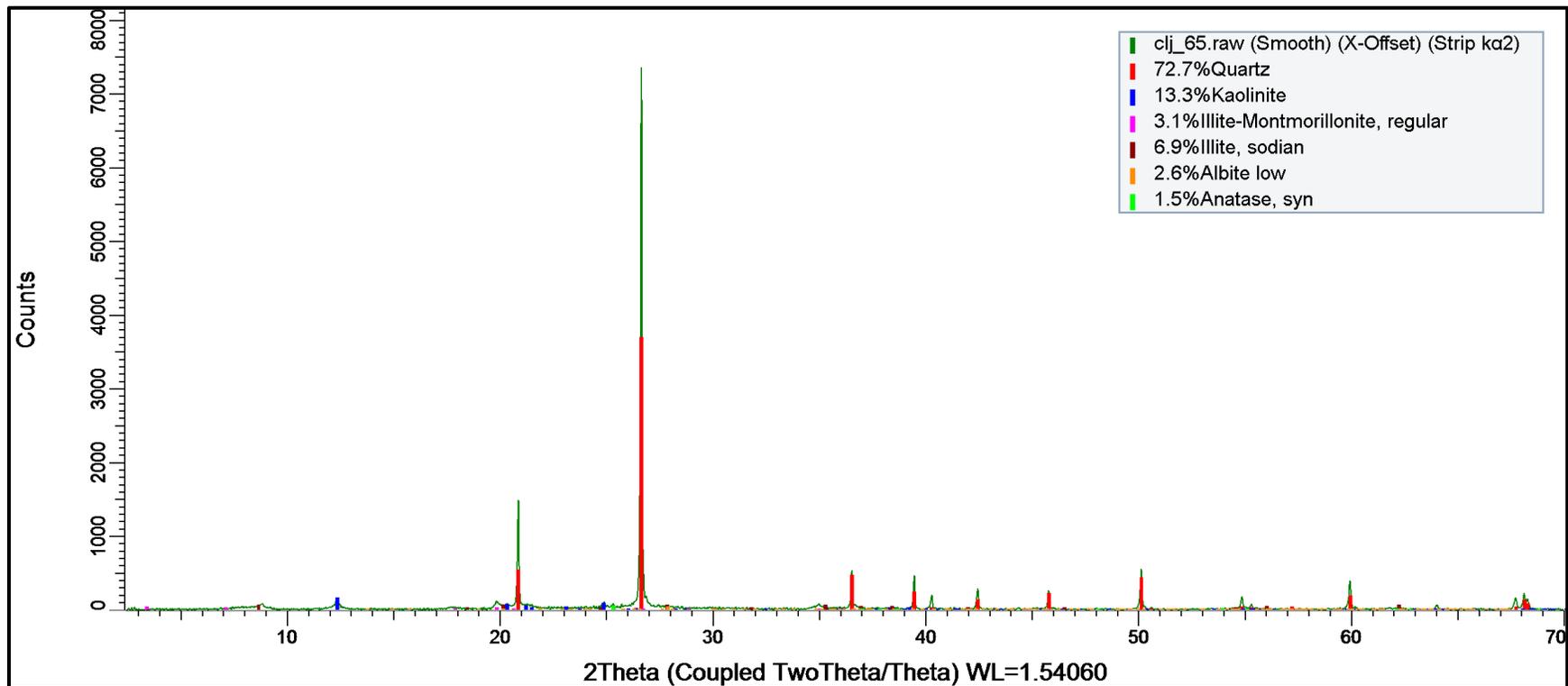


Figura 12. Resultados DRX, muestra CLJ-24.

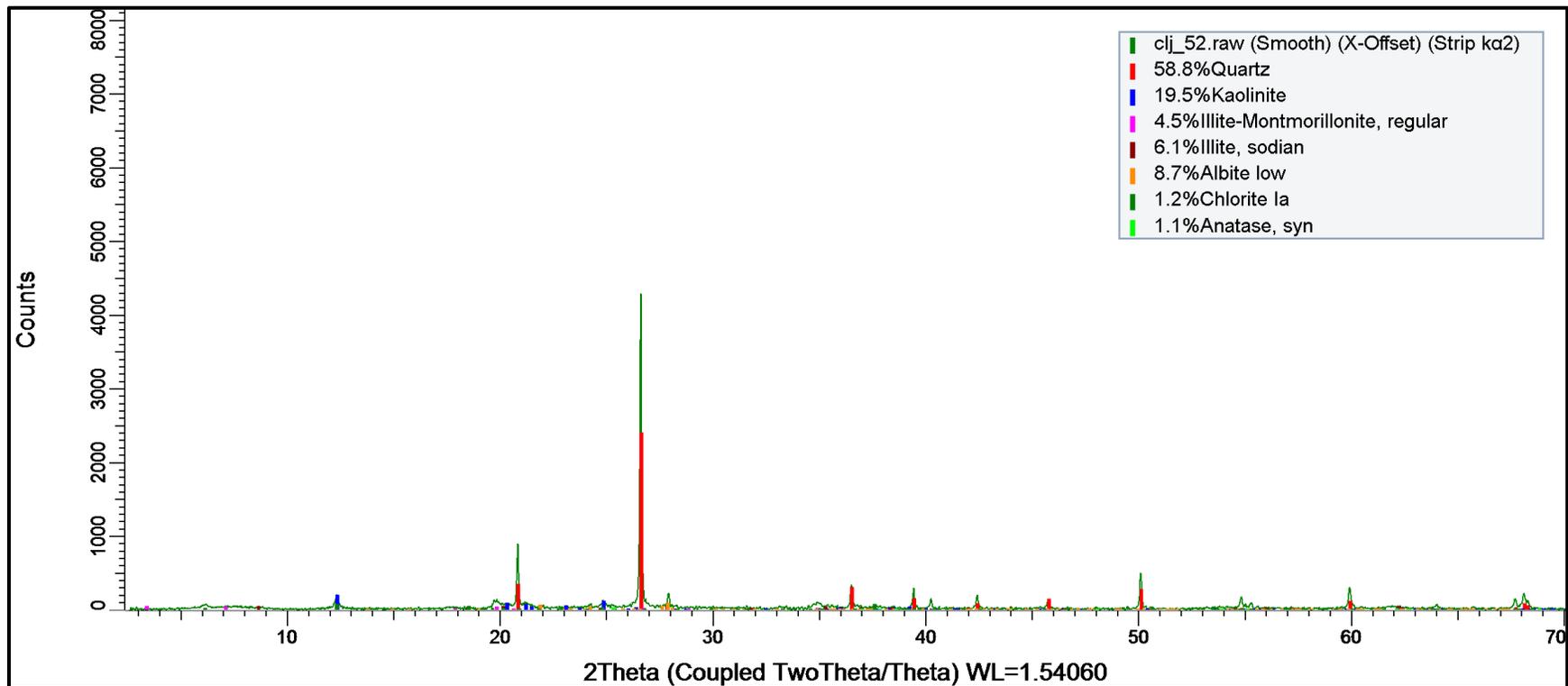


Figura 13. Resultados DRX, muestra CLJ-07.



6.4.1. Análisis e Interpretación

Los resultados anteriores se organizaron en la siguiente tabla:

MUESTRA	QZO	CAOLINITA	ILITA/SMECTITA	ILITA	ALBITA	CLORITA	ANATASA
CLJ-59	43.3	32.3	8.1	5.1	6.5	1.9	2.7
CLJ-38	57.7	17.6	4.4	4.8	11.4	2	2.2
CLJ-024	72.7	13.6	3.1	6.9	2.6	0	1.5
CLJ-07	58.8	19.5	4.5	6.1	8.7	1.2	1.1

Tabla 11. Resultados DRX.

Para comparar gráficamente la distribución en porcentaje la composición de cada grupo de minerales presentes en las muestras se realizó el siguiente diagrama:

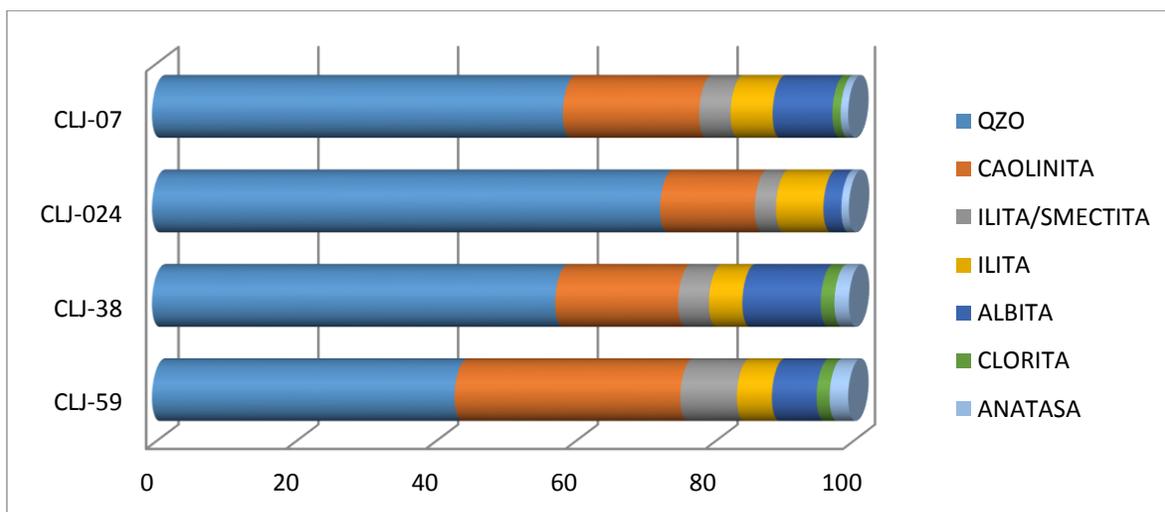


Figura 14. Distribución de minerales presentes en las muestras.

Según la distribución de minerales presentes en la muestra, se observa un gran aporte de minerales arcillosos característicos, como Caolinita, Ilita, y una interestratificación de Ilita/smectica que puede utilizarse como indicador de enterramiento y diagénesis a la cual fueron sometidas las muestras.

Para hacer el análisis de los minerales de arcilla presentes, se utilizó el grado de cristalinidad tenido en cuenta para los análisis de DRX y los factores que influyen la construcción del espectro, como el tamaño del cristalito y la microdeformación de la red, caracterizado en el valor de FWHM para el pico, en donde a menor valor, mayor el grado de cristalinidad y viceversa. Para obtener una medida clara del FWHM de cada ilita y caolinita medidos en el difractograma,



se procedió a realizar una deconvolución matemática del espectro con el fin de identificar el pico asociado al mineral, descartando el efecto de fases abiertas producto de la meteorización actual (Véanse Figuras 15 – 18). Las deconvoluciones realizadas se soportaron con la utilización de la función Pseudo – Voigt. (Bonilla 2008.)

Los resultados de FWHM de cada Illita y Caolinita obtenidos a partir de la deconvolución se resumen en la siguiente tabla:

MUESTRA	FWHM_Illita	IK	FWHM_KAO	ICC	%I en I/Sm
CLJ-07	0.282	0.441	0.168	0.281	65
CLJ-24	0.26	0.415	0.216	0.313	70
CLJ-38	0.239	0.391	0.134	0.259	60
CLJ-59	0.4	0.578	0.132	0.258	65

Tabla 12. Resultados de FWHM.

En donde IK e ICC son los valores de cristalinidad de los minerales a escala internacional. A partir de la tabla anterior se pueden deducir los paleoambientes deposicionales de las cuatro muestras a partir de los valores de FWHM, utilizando la escala de clasificación de Bonilla et al, 2008 para su trabajo de caracterización mineralógica de las arcillolitas de la formación Guaduas, en donde presentan valores de FWHM para la Caolinita muy inferiores a los 0.3, característicos de ambientes netamente continentales, lo cual permite concluir que estos minerales pueden asociarse a ambientes de transición mixtos y continentales; lo cual confirma lo analizado a partir de la interpretación de las pruebas de laboratorio (Granulometría por el Método de Tamices y Bouyoucos) y el trabajo de campo. (Véase Figura 19).

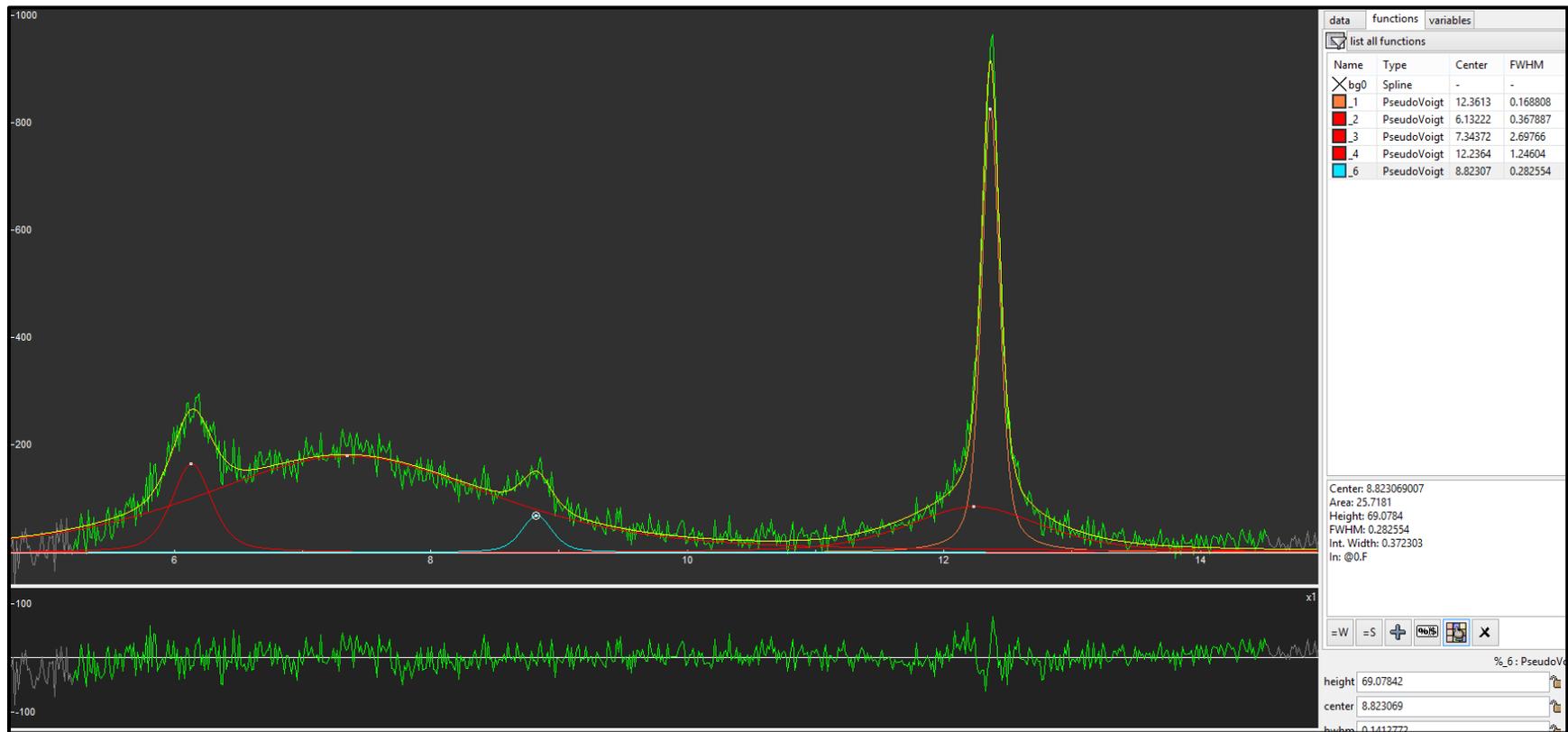


Figura 15. Deconvolución CLJ-07.

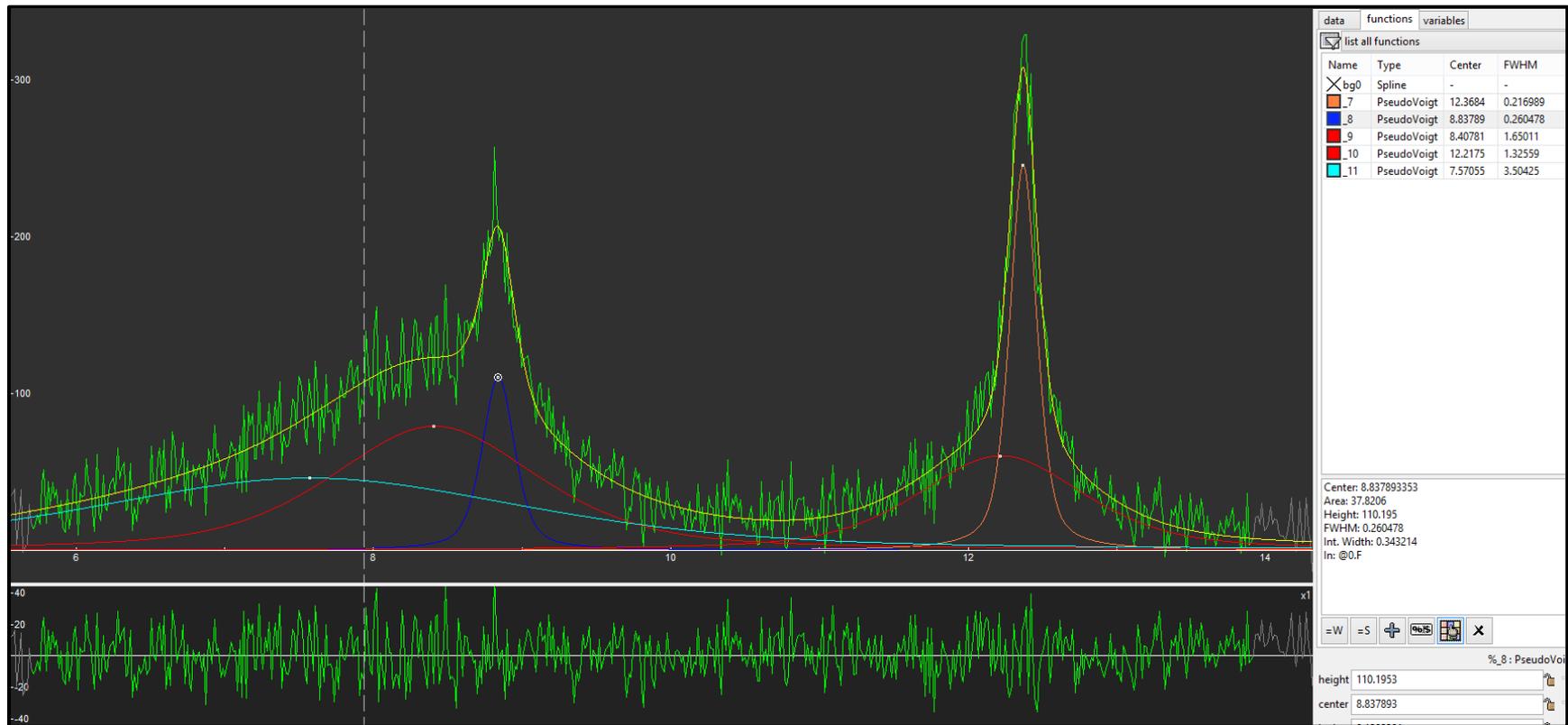


Figura 16. Deconvolución CLJ-24.

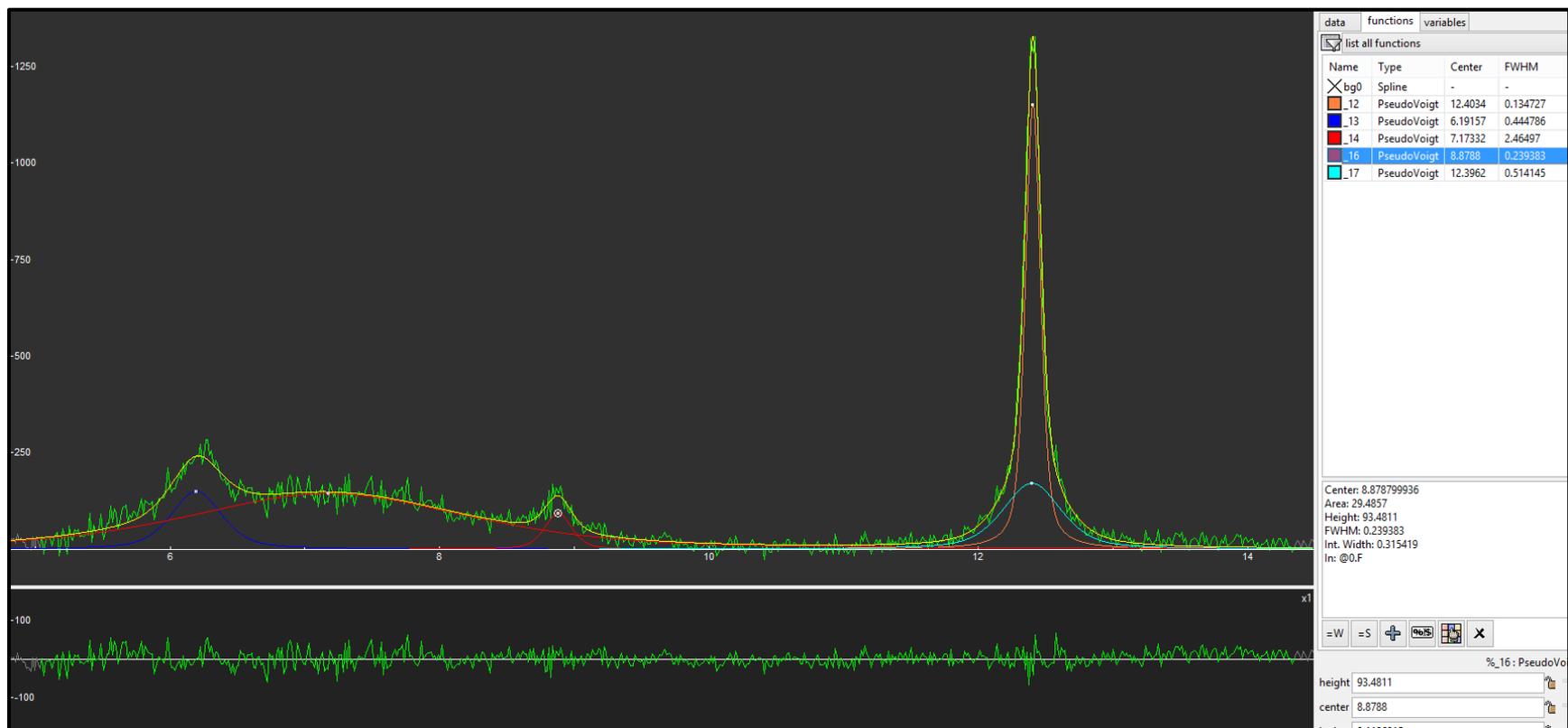


Figura 17. Deconvolución CLJ-38.

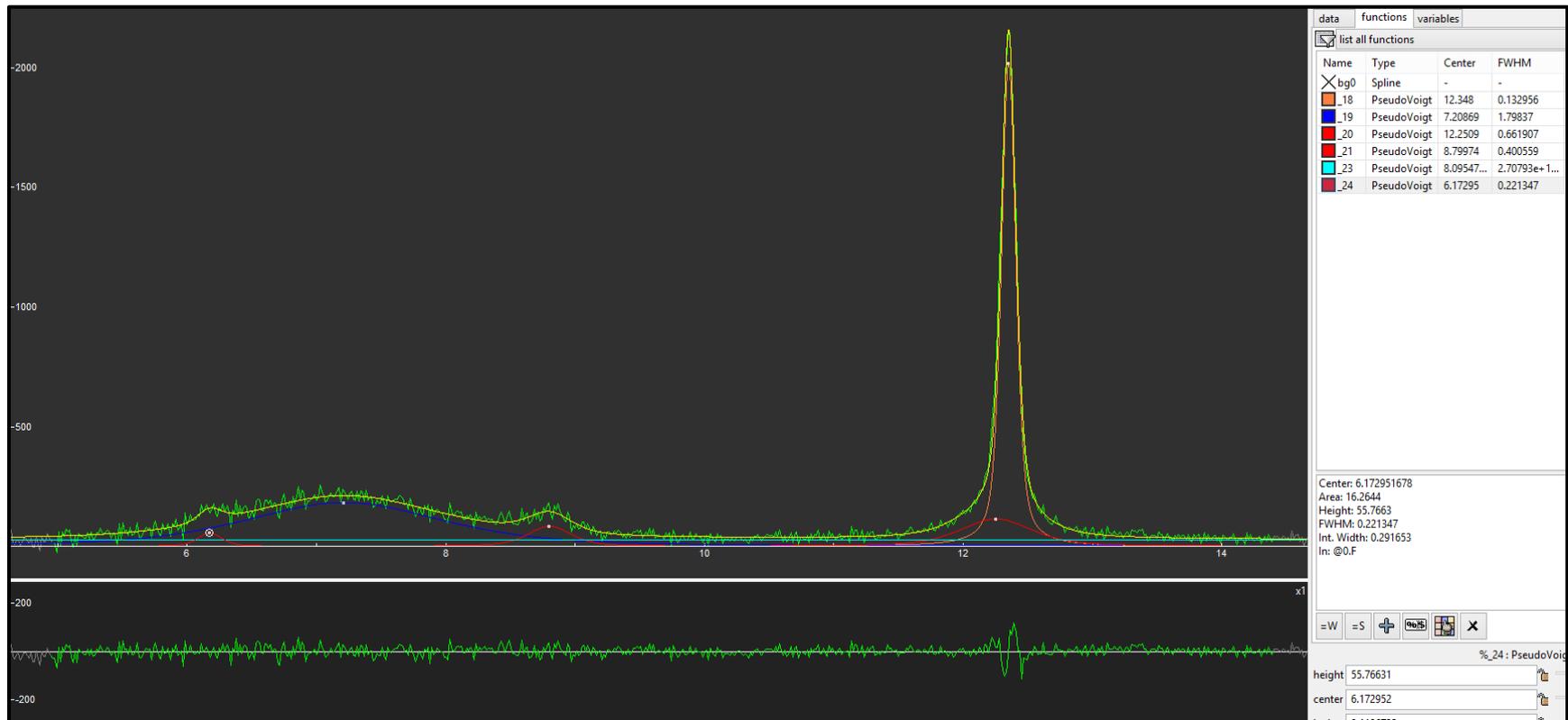


Figura 18. Deconvolución CLJ-59.

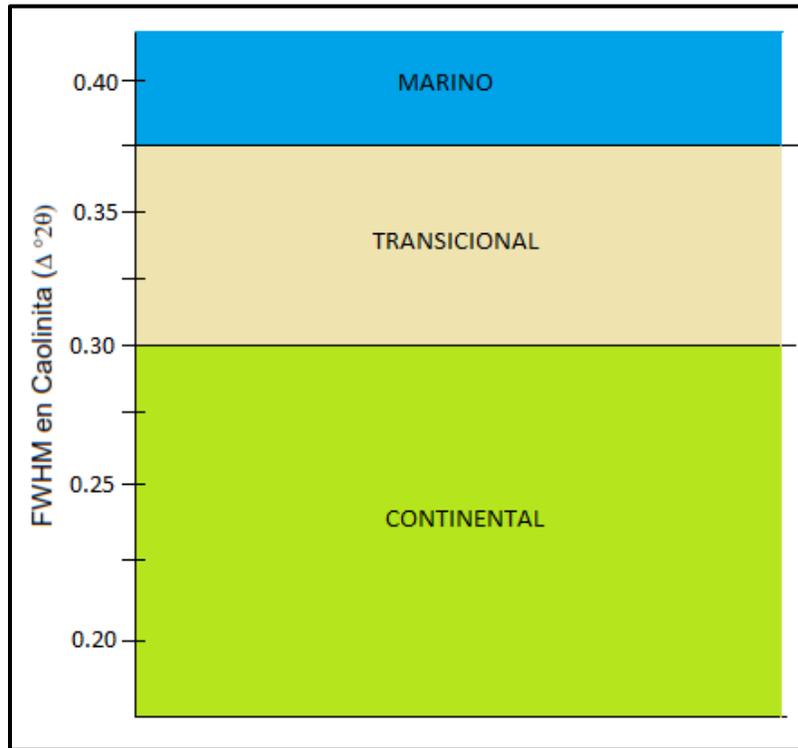


Figura 19. Asociación de paleoambientes según valores de FWHM para la Caolinita. Tomado y modificado de Bonilla et al, 2008.

Los valores de ICC/IK o grado de cristalinidad para la Illita y Caolinita de las 4 muestras se obtuvieron a partir de la relación obtenida de la calibración del equipo utilizado en el Laboratorio de Caracterización Litológica del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional:

$$IK = 1.166x + 0.1119$$

$$ICC = 0.6549x + 0.1713$$

En donde IK corresponde al grado de cristalinidad de la Illita según la escala de Kübler, ICC al grado de cristalinidad de la Caolinita, y “x” el valor medido de FWHM medido a partir de la deconvolución del difractograma. Con los valores de ICC se relacionó el grado de cristalización de la Caolinita según la siguiente figura:

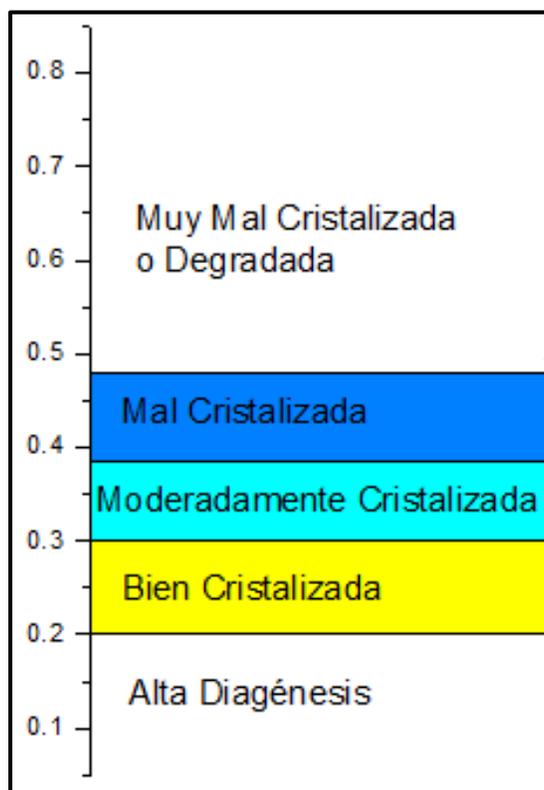


Figura 20. Escala de cristalinidad de Caolinita. Tomado de Bonilla (2008).

Los índices de cristalinidad para la Caolinita oscilan entre los 0.25 y los 0.31, valores que según la figura de escala de cristalinidad corresponden a una buena cristalización tendiendo a moderada.

Con el fin de correlacionar las características de los minerales de arcilla producto de los procesos de enterramiento a que estuvo sometida la sección estudiada, se realizaron las medidas de las segundas reflexiones (002) en los espectros saturados con Etilen Glicol, para determinar la proporción de Illita en los interestratificados (I/Sm) y se determinaron los porcentajes de Illita presentes en la interestratificación de Illita-smectita con los valores de la distancia interplanar “d” a partir de la siguiente tabla:

% Illite	Reichweite	001/002		002/003		$\Delta^{\circ}2\theta$
		d (Å)	$^{\circ} 2\theta$	d (Å)	$^{\circ} 2\theta$	
10	0	8.85	10.31	5.61	15.80	5.49
20	0	8.67	10.20	5.58	15.88	5.68
30	0	8.77	10.09	5.53	16.03	5.94
40	0	8.89	9.95	5.50	16.11	6.16
50	0	9.05	9.77	5.44	16.29	6.52
60	1	9.22	9.59	5.34	16.60	7.01
70	1	9.40	9.41	5.28	16.79	7.38
80	1	9.64	9.17	5.20	17.05	7.88
90	3	9.82	9.01	5.10	17.39	8.38

Tabla 13. Posiciones (CuK α) de las relaciones usadas para estimar los porcentajes de Illita en los interestratificados Illita/EG-Esmectita. Tomado de Moore *et al* (1997).

Con estos porcentajes se puede determinar la reacción Illita --> Esmectita quien es descrita de dos maneras diferentes de acuerdo al aluminio como elemento móvil (1) (Hower *et al.* 1976) o (2) como un elemento inmóvil (Boles and Franks, 1979) en (Meunier, 2005).

1. $1 \text{ Esmectita} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+} \rightarrow 1 \text{ Illita} + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Si}^{4+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
2. $1.6 \text{ Esmectita} + \text{K}^+ \rightarrow 1 \text{ Illita} + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Si}^{4+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{O}^{2-} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$

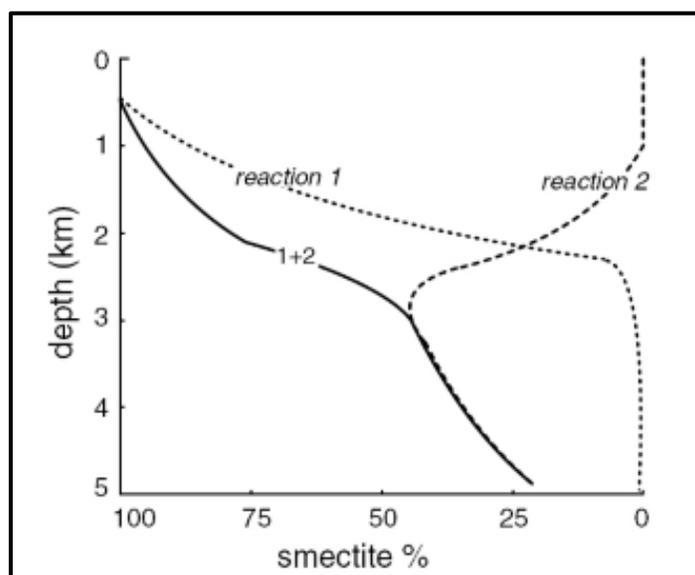


Figura 21. Modelo cinético empírico de la transformación Esmectita – > Illita para dos reacciones (Velde & Vasseur, 1992). 1: Esmectita – > I/Sm Irregular (R0) con 100 a 50% de Esmectita (*curva punteada*); reacción 2: R0 – > I/Sm regular (R1) con 50 a 0% de Esmectita (*línea a rayas*); la suma de ambas reacciones (*línea continua*). Fuente: Meunier, (2005).

A partir de la tabla 10 con valores promedio de 65% de Illita en la relación (I/Sm) se tiene que cumple una relación de tipo Reichweite 1 (R1), los cuales están asociados a transiciones desde finales de la diagénesis temprana hasta las primeras etapas de la diagénesis tardía.

La presencia de clorita y albita denotan eventos regresivos con importante influencia continental, lo que supone una herencia de minerales cloríticos transportados en los sedimentos provenientes de la cordillera.

Con base a lo anterior, los grados de cristalinidad de la Caolinita, así como la proporción de estratificación de Illita-smectita se pueden inferir paleoambientes continentales de sedimentación, en donde los niveles de enterramiento son someros debido a la distribución aleatoria de las estratificaciones de (I/Sm) y un grado de diagénesis somero, con aportes de sedimentos heredados de la cordillera central.

Es importante resaltar que estas conclusiones son relativas y hacen parte de una de las muchas interpretaciones que se pueden obtener a partir de los resultados, debido al poco número de muestras.

7. ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL

Con base en el levantamiento de la columna estratigráfica de la Formación Guaduala en la sección del río Tune, y el reconocimiento geológico realizado a esta misma en la parte baja de la cuenca del río Baché en la zona rural del municipio de Palermo, y apoyados en los análisis de laboratorio realizados en la sección del río Tune, es presumible determinar los eventos que dieron origen a la secuencia sedimentaria de la Formación Guaduala descrita en este trabajo, donde se concluye que los eventos sedimentarios marcan una clara tendencia regresiva al igual que el avance de ambientes de transición mixtos y continental.

Las areniscas de la facies B, las cuales son de carácter inmaduro textural y composicionalmente con un importante contenido de fragmentos líticos suponiendo un aporte proveniente de la cordillera central (Sarmiento, 1991).

Las rocas pelíticas presentes hacia la base de la secuencia, en la facies A evidencian un cambio brusco del depósito de un régimen de flujo alto manifestado por las areniscas de la Formación Monserrate a un régimen de suspensión representado por las intercalaciones de arcillolitas y lodolitas.

La alta proporción de arena en los niveles arcillosos, representado principalmente por cuarzo según los estudios petrográficos y de DRX realizados, son indicadores de una segunda zona de aporte posiblemente proveniente del escudo de Guyana hacia el oriente.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La sección estratigráfica de la Formación Guaduala presenta un espesor real medido de 779 metros.
- Fueron determinadas cinco facies sedimentarias con base en el reconocimiento e interpretación de siete litofacies y diez segmentos identificados con base en la litología y estructuras sedimentarias presente.
- El análisis de facies y estructuras sedimentarias de la Formación Guaduala, permite ubicarla en un ambiente transicional supramareal a continental de pantanos con esporádica actividad fluvial.
- Hacia la base de la Formación Guaduala se determinó un predominio de arcillolitas y lodolitas que presentan laminación planoparalela, lenticular y discontinua, que manifiestan un ambiente de dominio de suspensión vertical aún con influencia procesos regresivos del mar.
- El alto contenido de arena en los niveles arcillosos, dados los resultados de las pruebas de laboratorios realizados a las rocas pelíticas de la Formación Guaduala puede indicar un régimen de flujo fluctuante entre suspensión y tracción característico de áreas de ambientes transicionales entre el mar y el continente, posiblemente a una zona supramareal baja, lo que confirma lo concluido en base al análisis de facies y estructuras sedimentarias.
- Se recomienda realizar otro tipo de pruebas de laboratorio como lo son el Análisis por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y un Análisis Térmico Diferencial (DTA), que no hicieron parte de este proyecto dado su alto costo.
- Para dar continuidad al proyecto, se recomienda hacer estudios de palinología, que permitirán obtener una caracterización de la Formación Guaduala más detallada y completa.

BIBLIOGRAFÍA

- BONILLA G., SARMIENTO G. & GAVIRIA S. (2008). Caracterización mineralógica y paleoambiental de las arcillolitas de la formación Guaduas. Tesis de Maestría. Bogotá D.C: Universidad Nacional.
- DE PORTA J. (1965). Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. – Boletín de Geología UIS No. 22/23. Bucaramanga.
- DE PORTA J. (1974). “AMÉRIQUE LATINE, COLOMBIE, (*deuxième partie*) *Tertiaire et Quaternaire*”. Union Internationale Des Sciences Géologiques. Volume V Fascicule 4 B, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE 15, quai Anatole-France, 75700 PARIS.
- FERREIRA P., NUÑEZ A., & RODRIGUEZ, M. (2002). Memoria explicativa del levantamiento geológico de la plancha 323 NEIVA. INGEOMINAS.
- FOLK R., & WARD V., (1957). Petrology of Sedimentary rocks, 182 p. Hemphill, Austin, Text.
- GUERRERO J. & SARMIENTO G. (1996). Estratigrafía Física, Palinológica, Sedimentológica y Secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera. - Geología Colombiana, n. 20, p. 3-66, 9 Figs., Bogotá.
- HURTADO B.O, & MURCIA H.F. (2003). Caracterización del Depósito de flujo de escombros del Chicoral, volcán cerro Machin, Colombia, 138p. Tesis (Geólogos). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, programa de Geología.
- MEJÍA L., CONVERS C., & GONZÁLEZ J. (2006). Análisis de Microlitotipos en los Carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva, Cundinamarca. GEOLOGÍA COLOMBIANA, 31, pp. 11-26, 11 Figs., Bogotá.
- MEUNIER, A. (2005). *Clays*. Springer Berlin Heidelberg New York.
- MOORE, D. & REINOLDS, R. (1997). X ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals., 2nd ed. OXFORD UNIVERSITY PRESS.

- PALENCIA L., & CHAVARRO M. (2013). Correlación petrofísica en superficie con subsuelo de formaciones productoras subcuenca de Neiva. Proyecto de Grado Ingeniería de Petróleos. Neiva: Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Petróleos.
- PIERSON T.C., & COSTA J.E. (1987). A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, 7: 1-12.
- REYES R., & OSORIO M. (2005). Reconocimiento geológico de la Cordillera Oriental en la Subcuenca de Girardot – Historia exploratoria de los campos Guando y Matachines. PETROBRAS.
- SARMIENTO, G. (1991). Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas (Maastrichtiano – Paleoceno; Colombia); INGEOMINAS, Bogotá.
- SARMIENTO, G. (1992). Estratigrafía y medios de depósito de la Formación Guaduas. Boletín Geológico 32(1-3): 1-44, INGEOMINAS, Bogotá.
- THOREZ, J. (1976). Practical Identification of Clay Minerals. Institute of Mineralogy, Liège State University, Belgium.
- WOHLLETZ, K.H. SFT: Sequential Fragmentation/Transport Analysis, version 2.19 [en línea]: New Mexico: Los Alamos National Laboratory, Los Alamos 2009. Disponible en internet: <http://www.geo.lanl.gov/Wohletz/SFT>.

ANEXOS

**ANEXO 1. RESULTADOS
GRANULOMETRÍA,
HISTOGRAMA DE FRECUENCIA,
CURVA DE FRECUENCIA Y CURVA
ACUMULADA**

1. INTRODUCCIÓN

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entiende todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar los fragmentos por el método de cribado o manual midiendo las tres dimensiones más representativas de los fragmentos, por lo general el máximo, el medio y el mínimo, obteniéndose la media; para los granos se procede a un tamizado en una columna decreciente, de arriba hacia abajo, siguiendo la escala de Wentworth y pesando después las fracciones retenidas en cada tamiz, obteniéndose así la clase modal; y, para partículas, se emplean métodos analíticos basados en la diferente velocidad de sedimentación o asentamiento de partículas en un medio líquido en función del diámetro (análisis de pipeta o hidrómetro).

A los resultados de un análisis granulométrico o sea los porcentajes de las diferentes clases granulométricas se les pueden dar una representación estadística y su interpretación nos dará conclusiones acerca del ambiente de su depositación.

2. MATERIALES Y EQUIPOS

- Juego de tamices
- Vibrador
- Balanza de triple brazo
- Microscopio binocular
- Lupa de mano 10X
- Navaja de acero
- Imán
- Punzón

3. REACTIVOS

- Ácido clorhídrico (HCl – 10%)

4. METODOLOGÍA

- Preparación de la muestra por el sistema de "cuarteo" (tomar aproximadamente 300 g. de la muestra).
- Tamizado de la muestra.
- Pesada de las diferentes fracciones.
- Análisis composicional de las diferentes fracciones.
- Construcción de histogramas y curvas acumulativas con su respectiva interpretación.
- Análisis granulométrico en arenas y areniscas.

5. RESULTADOS

- **MUESTRA CLJ-13**
LOCALIZACIÓN: E842777, N810009



Fotografía 1. Muestra CLJ-13

CLJ-13						
TAMIZ	APERTURA TAMIZ mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% EN PESO QUE PASA	
ARENA GRUESA	20	0.840	5.4	1.83	1.83	98.17
	30	0.590	8.2	2.78	4.61	95.39
ARENA MEDIA	40	0.420	35.3	11.97	16.58	83.42
	50	0.297	67.3	22.81	39.39	60.61
ARENA FINA	100	0.149	128.4	43.53	82.92	17.08
ARENA MUY FINA	140	0.105	27.4	9.29	92.20	7.80
PELITAS	200	0.074	10.4	3.53	95.73	4.27
	FONDO		12.6	4.27	100.00	0.00
	SUMATORIA		295	100.00		
OBSERVACIONES		Arenisca de grano medio a muy fino				

Tabla 1. Resultados CLJ-13

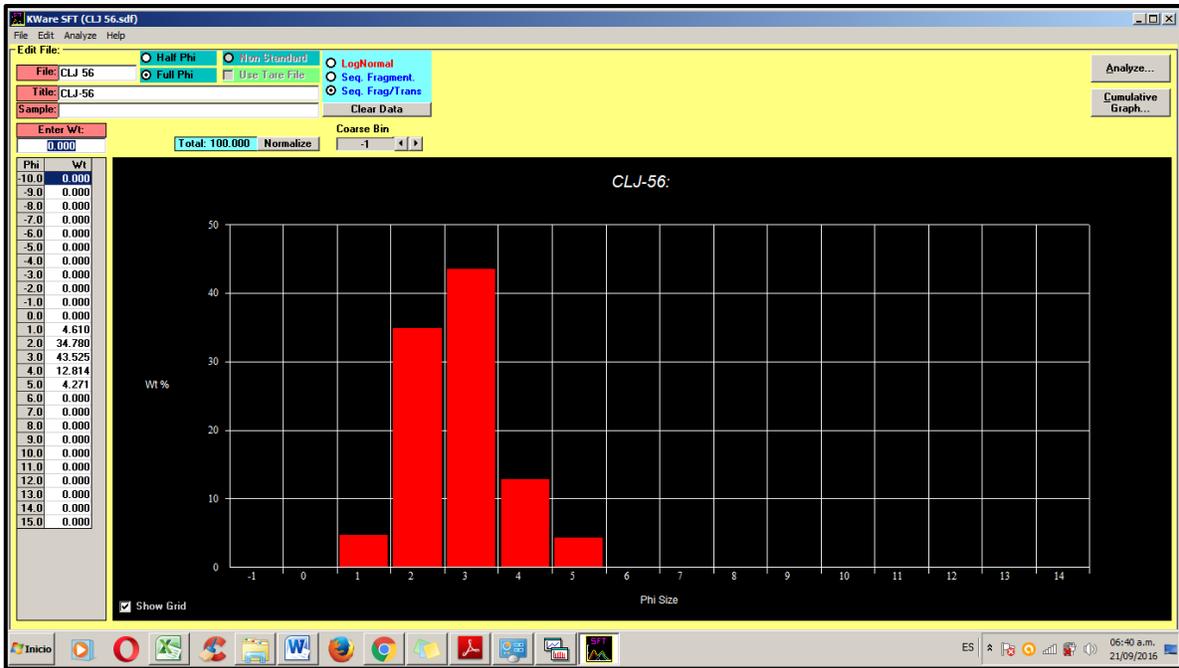


Figura 1. Histograma de frecuencias CLJ-13

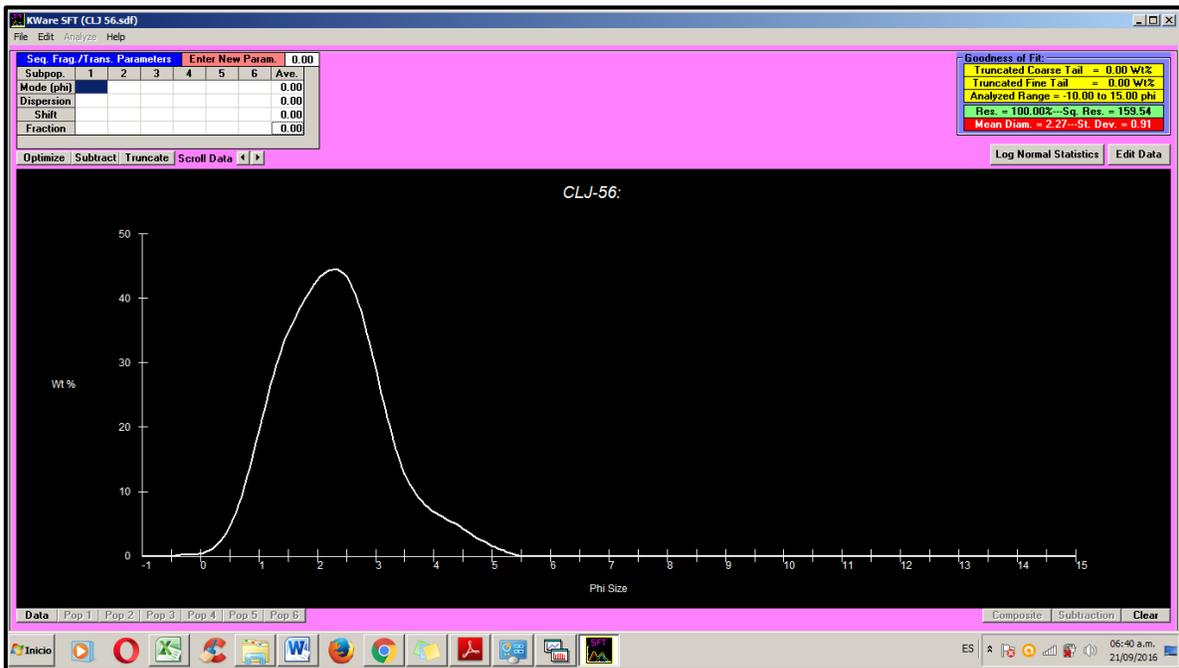


Figura 2. Curva de frecuencias CLJ-13

Figura 3. Curva acumulativa CLJ-13

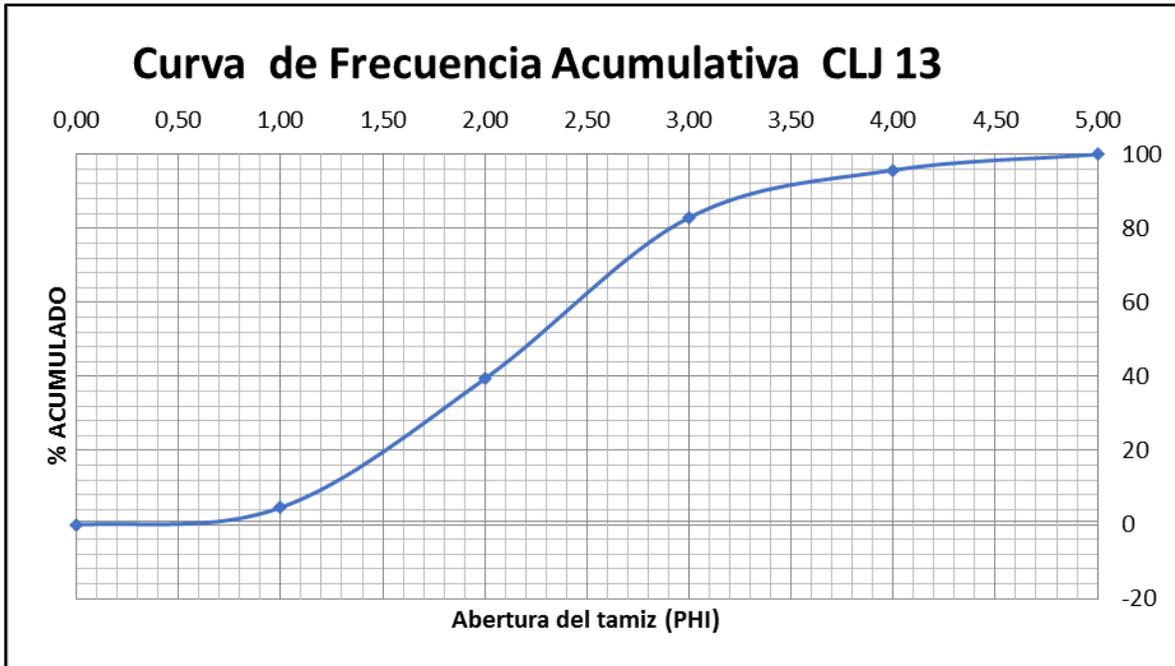
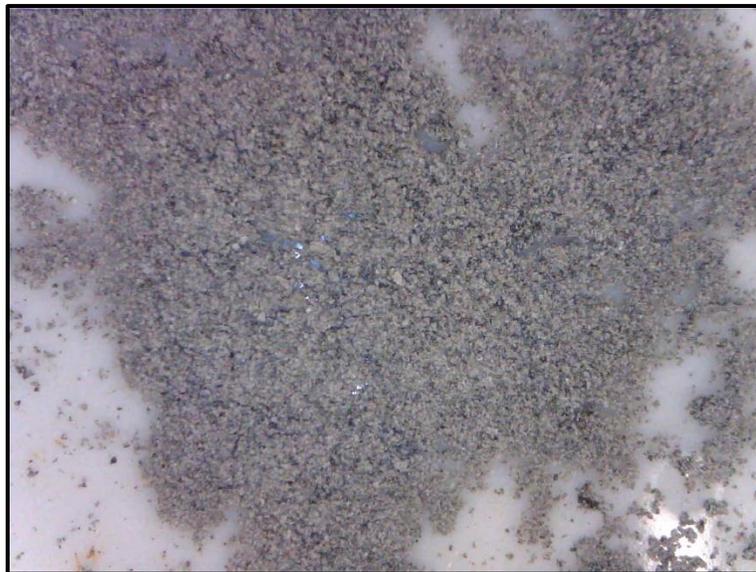


Figura 3. Curva acumulativa CLJ-13

- **MUESTRA CLJ-25 (Ar)**
LOCALIZACIÓN: E842110, N810513



Fotografía 2. Muestra CLJ-25Ar

CLJ-25-Ar.						
TAMIZ	APERTURA TAMIZ mm	PESO RETENIDO gr	%RETENIDO	%RET. ACUMULADO	% EN PESO QUE PASA	
ARENA GRUESA	20	0.840				
	30	0.590	0.1	0.01	99.99	
ARENA MEDIA	40	0.420	18.3	1.80	98.19	
	50	0.297	46	4.52	93.68	
ARENA FINA	100	0.149	662.6	65.08	28.60	
ARENA MUY FINA	140	0.105	126.4	12.41	16.19	
PELITAS	200	0.074	113.9	11.19	5.00	
FONDO			50.9	5.00	0.00	
SUMATORIA			1018.2	100.00		
OBSERVACIONES		Arenisca Fina				

Tabla 2. Resultados CLJ-25 (Ar)

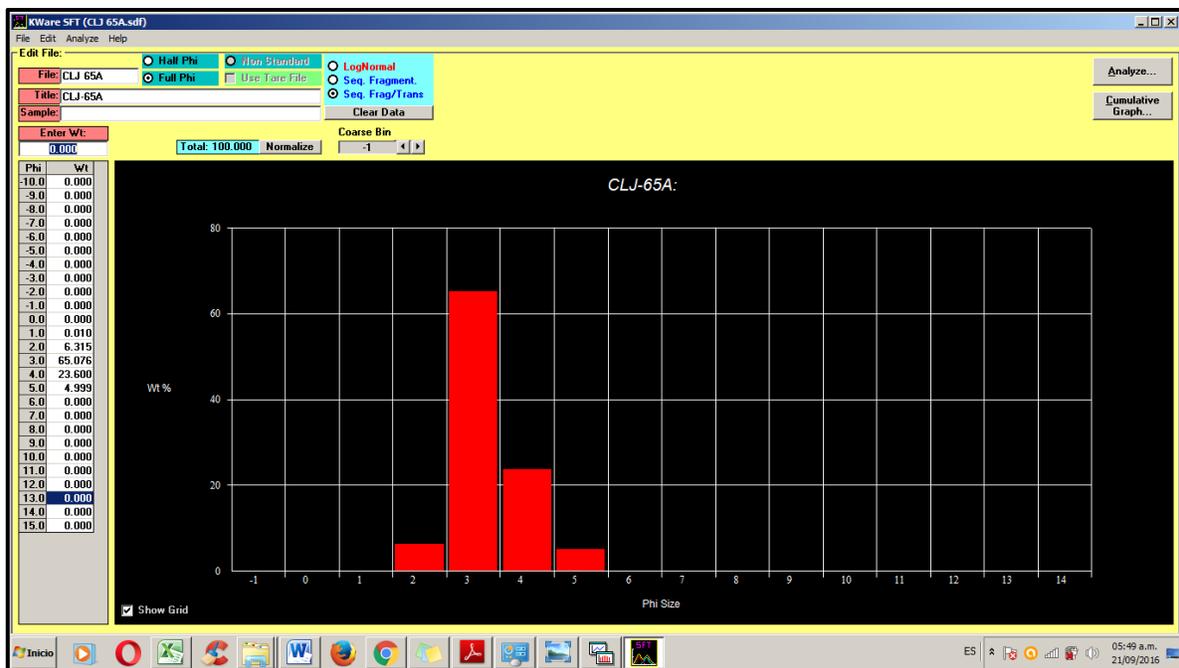


Figura 4. Histograma de frecuencias CLJ-25 (Ar)

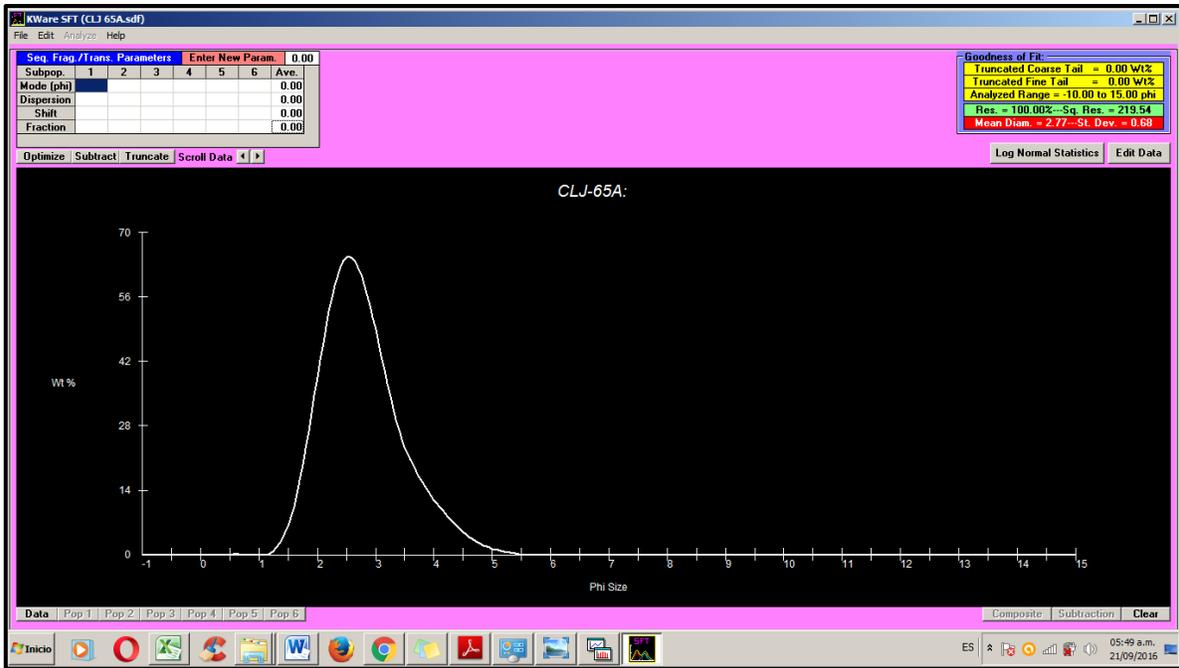


Figura 5. Curva de frecuencias CLJ-25 (Ar)

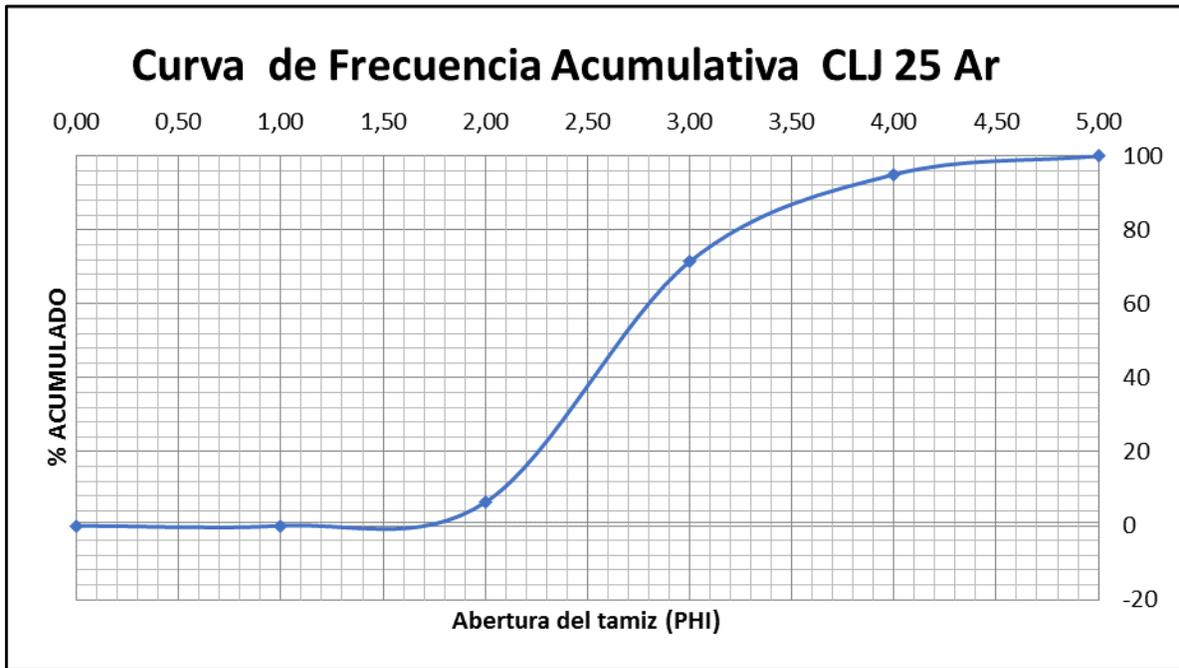


Figura 6. Curva acumulativa CLJ-25 (Ar)

- **MUESTRA CLJ-24 (Cong)**
LOCALIZACIÓN: E842276, N810510



Fotografía 3. Muestra CLJ-24 Cong

CLJ-24-Cong						
	TAMIZ	APERTURA TAMIZ mm	PESO RETENIDO gr	%RETENIDO	%RET. ACUMULADO	% EN PESO QUE PASA
GUIJARROS	1/2"	12.700	3.8	0.47	0.47	99.53
GUIJAS	3/8"	9.525	37.1	4.56	5.03	94.97
	4	4.760	165.4	20.35	25.38	74.62
GRANULOS	8	2.380	263.8	32.46	57.84	42.16
	10	2.000	48.3	5.94	63.78	36.22
ARENA MUY GRUESA	12	1.680	29.5	3.63	67.41	32.59
	16	1.190	55.6	6.84	74.25	25.75
ARENA GRUESA	20	0.840	35.3	4.34	78.59	21.41
	30	0.590	35.5	4.37	82.96	17.04
ARENA MEDIA	40	0.420	28.1	3.46	86.42	13.58
	50	0.297	25.8	3.17	89.59	10.41
ARENA FINA	100	0.149	47.5	5.84	95.44	4.56
ARENA MUY FINA	140	0.105	26.2	3.22	98.66	1.34
PELITAS	200	0.074	8.4	1.03	99.69	0.31
	FONDO		2.5	0.31	100.00	0.00

SUMATORIA	812.8	100.00
OBSERVACIONES		
Conglomerado Arenoso		

Tabla 3. Resultados CLJ-24 (Cong)

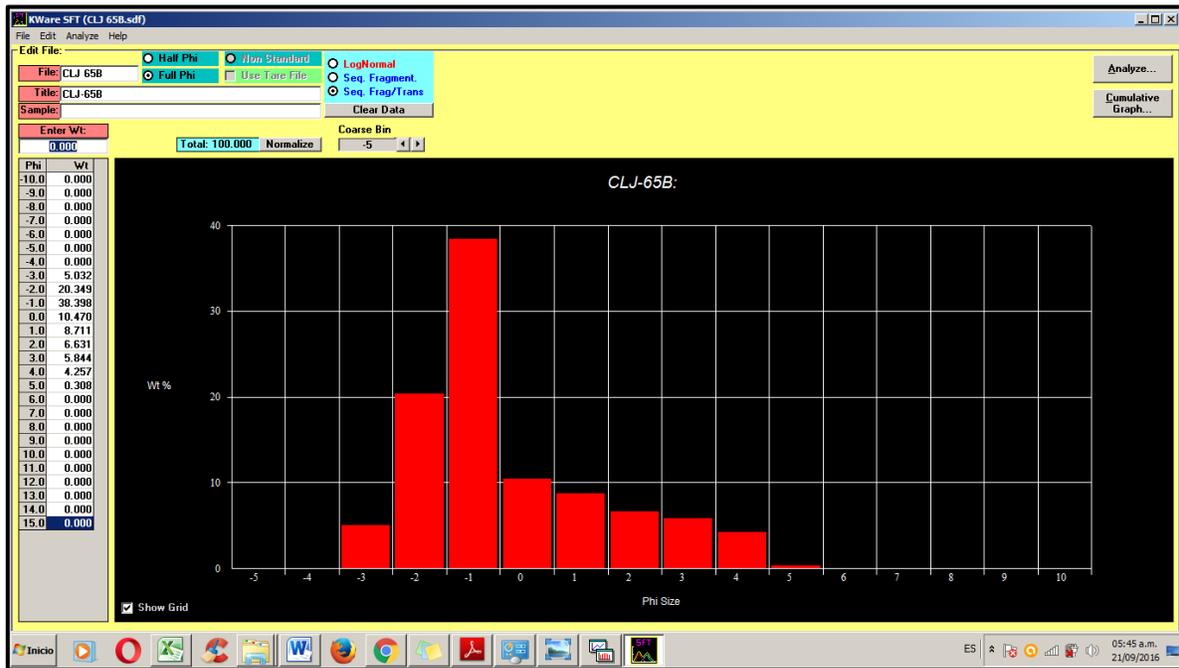


Figura 7. Histograma de frecuencias CLJ-25(Cong)

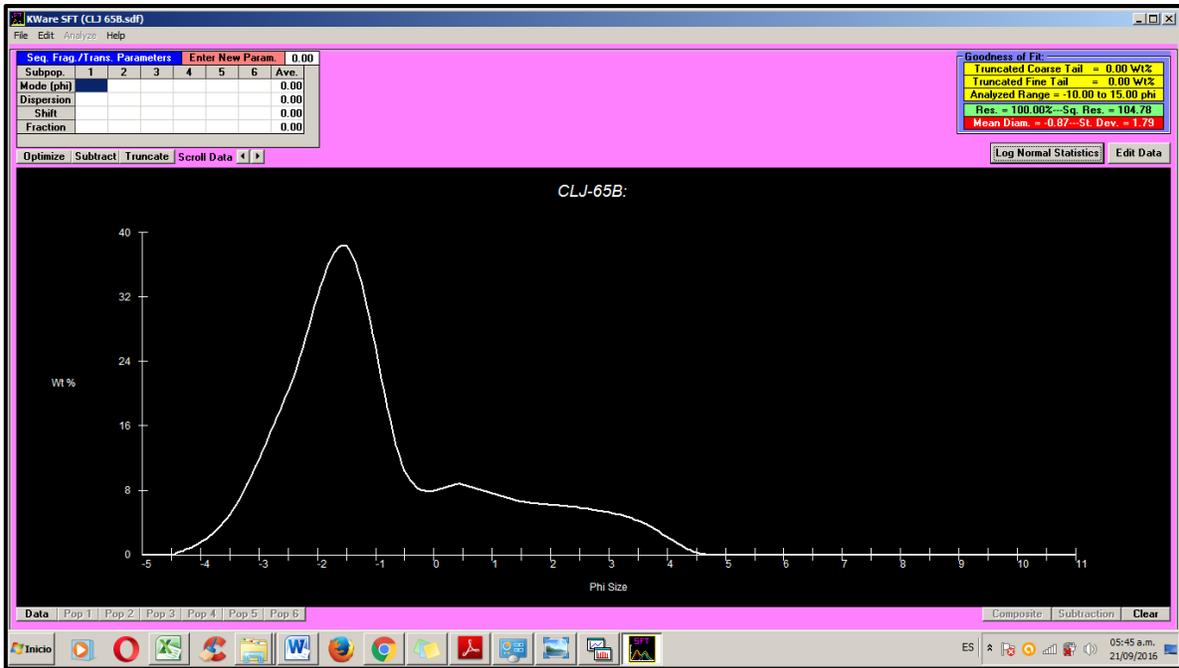


Figura 8. Curva de frecuencias CLJ-25 (Cong)

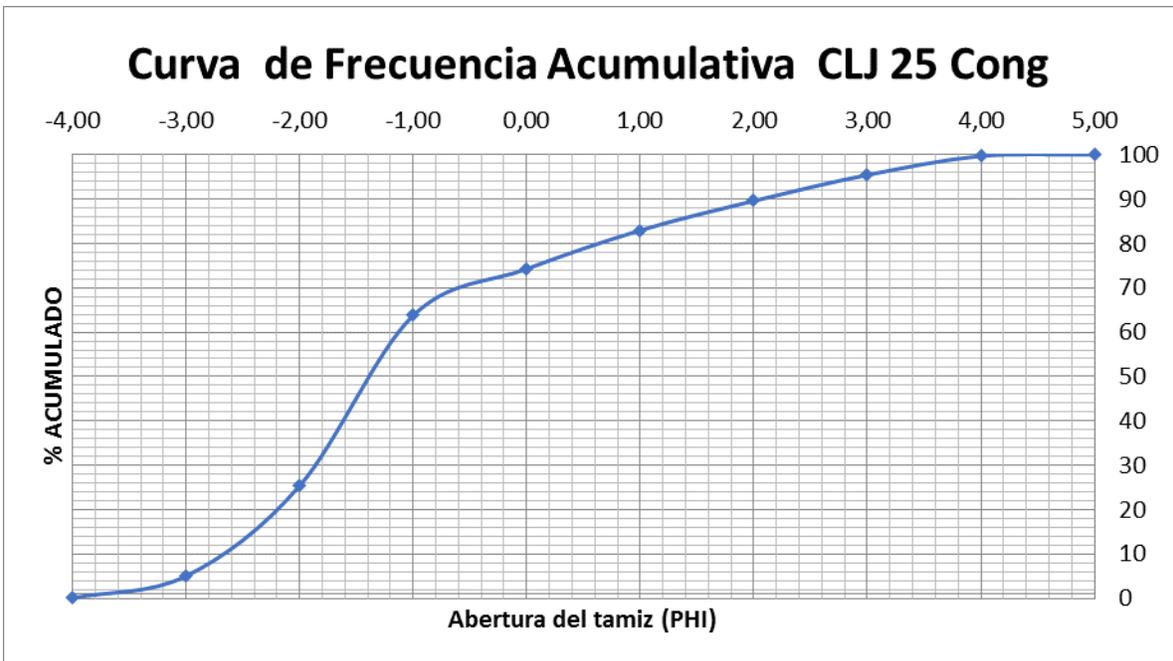


Figura 9. Curva acumulativa CLJ-25 (Cong)

**ANEXO 2.
RESULTADOS PRUEBA DE
BOUYOUCOS**

1. INTRODUCCIÓN

El método del hidrómetro de Bouyoucos es una de las formas más rápidas para analizar el tamaño de las partículas del suelo. La muestra de suelo disperso es mezclada en un cilindro de vidrio alto con agua y una vez que se asienta, la densidad de la suspensión se puede medir con el densímetro. El tiempo que cada tamaño de partícula toma al caer, por debajo de un plano de conjunto imaginario en el cilindro puede ser medido, con las lecturas que son tomadas después de 40 segundos para medir la sedimentación de arena y después de dos horas para medir las partículas de limos.

2. MATERIALES Y EQUIPOS

- Hidrometro con diapasón de 0.995, 1.038
- Cilindros de suspensión de 1000ml. Uno para muestra de 50gr y otro para muestra de 100gr
- Cronometro
- Frasco lavador
- Balanza analítica con aproximación de 0.01gr
- Estufa para secar muestras
- Copa de dispersión
- Termómetros
- Agitadores
- Agua destilada

3. REACTIVOS

Agente dispersante: solución de hexametáfosfato de sodio(NaPO_3)₆ y carbonato de sodio(Na_2CO_3)

Preparación: Disolver en agua 35.7gr de (NaPO_3)₆ y 7.94gr (Na_2CO_3), agite y lleve a volumen de 1L

4. METODOLOGÍA

Se pesan 50g de suelo seco, se pasa a un Erlenmeyer adicionando 10 mL de dispersante, se deja reposar durante unos minutos y se agita por 2 horas. La suspensión del suelo se vierte en el cilindro de 1000 mL, con agua destilada llevar el nivel del agua hasta la marca inferior del cilindro con el hidrómetro dentro, agitar vigorosamente y sumergir el hidrómetro a los 40 segundos tomar la lectura del hidrómetro y la temperatura, dejamos el recipiente quieto que no se perturbe la solución y pasadas 2 horas se vuelven a tomar las lecturas.

- Triture y seque la muestra. Tamizar por la malla 2mm.
- Pesar 50gr si es de composición arcillosa (textura fina), y 100gr si es de composición arenosa (textura gruesa).
- Llevar la muestra a la copa de dispersión y llenar con agua destilada hasta 2 pulgadas por debajo del borde.
- Agregar 5ml del agente dispersante y dejarlo reposar 5 minutos-
- Agitar la muestra durante 6 minutos, para textura gruesa (composición arenosa) y 10 minutos para textura fina.
- Lavar con agua destilada. Si se utilizó 50gr de muestra llevar al nivel hasta la marca inferior y si se emplea 100gr de muestra llevar hasta la marca superior.
- Agitar la suspensión durante 45 s aproximadamente.
- Cronometrar el tiempo después de terminar la agitación.
- Sumergir el hidrómetro en la suspensión.
- Después de 40s tomar la densidad de la suspensión con el hidrómetro leyendo en el menisco superior.
- Tomar la temperatura sin perturbar la suspensión.
- Dejar reposar por 2 horas. Tomar temperaturas y densidades de nuevo.

5. RESULTADOS DEL LABORATORIO



Fotografías 1 y 2. Muestras CLJ-32 y CLJ-30.

Lectura del Hidrómetro (H) y Temperatura (T).

MUESTRA→	CLJ-18	CLJ-24TG	CLJ-07	CLJ-30	CLJ-32
PESO→	50gr	100gr	50gr	100gr	100gr
H:40"	21.5	39	19	12.5	29
T:40"	28°C	27°C	28°C	26°C	26°C
H:40´	11	22.5	4.5	1	5
T:40´	26°C	26°C	28°C	26°C	26°C

Tabla 1. Datos prueba de Bouyoucos para las muestras seleccionadas.

Cálculos:

- Porcentajes de arena:

- CLJ-24 TG

$$\%Arena_{24TG} = 100 - \frac{39 + 2.85}{100} * 100 = 58.15\%$$

- CLJ-18

$$\%Arena_{18} = 100 - \frac{21.5 + 3.28}{50} * 100 = 50.44\%$$

- CLJ-07

$$\%Arena_{07} = 100 - \frac{19 + 3.28}{50} * 100 = 55.44\%$$

- CLJ-30

$$\%Arena_{30} = 100 - \frac{12.5 + 2.41}{100} * 100 = 85.09\%$$

- CLJ-32

$$\%Arena_{32} = 100 - \frac{29 + 2.41}{100} * 100 = 68.59\%$$

- Porcentajes de arcilla:

- CLJ-24TG

$$\%Arcilla_{24TG} = \frac{22.5 + 2.41}{100} * 100 = 24.91\%$$

- CLJ-18

$$\%Arcilla_{18} = \frac{11 + 2.41}{50} * 100 = 26.82\%$$

- CLJ-07

$$\%Arcilla_{07} = \frac{4.5 + 3.28}{50} * 100 = 15.56\%$$

- CLJ-30

$$\%Arcilla_{30} = \frac{1 + 2.41}{100} * 100 = 3.41\%$$

- CLJ-32

$$\%Arcilla_{32} = \frac{5 + 2.41}{100} * 100 = 7.41\%$$

- Porcentajes de limo:

- CLJ-24TG

$$\%Limo_{24TG} = 100 - (58.15 + 24.91) = 16.94\%$$

- CLJ-18

$$\%Limo_{18} = 100 - (50.44 + 26.82) = 22.74\%$$

- CLJ-07

$$\%Limo_{07} = 100 - (55.44 + 15.56) = 29.00\%$$

- CLJ-30

$$\%Limo_{30} = 100 - (85.09 + 3.41) = 11.5\%$$

- CLJ-32

$$\%Limo_{32} = 100 - (68.59 + 7.41) = 24.00\%$$

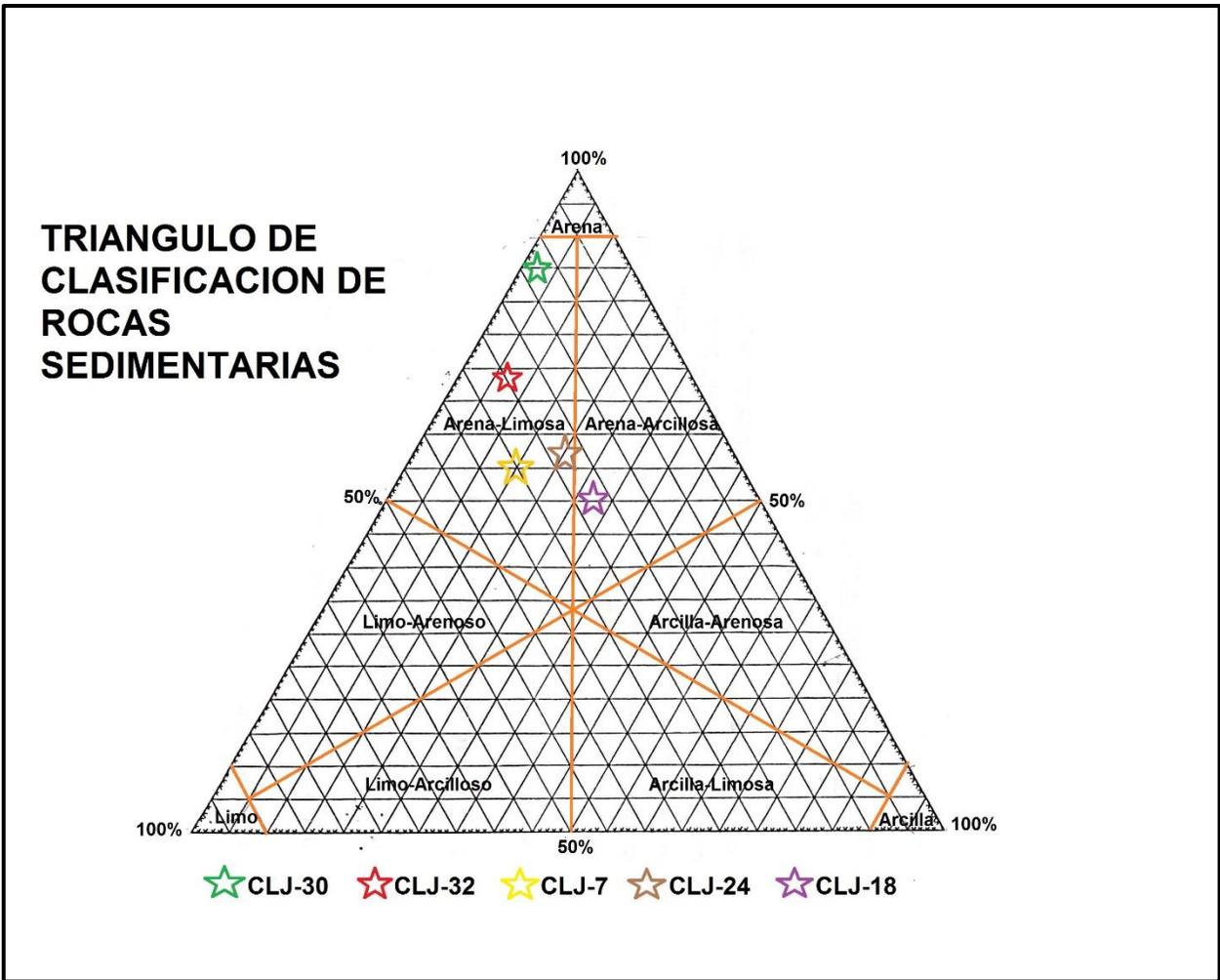


Figura 1. Triángulo de clasificación de rocas sedimentarias en el que se muestran los puntos ploteados de las muestras analizadas.

**ANEXO 3.
ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

1. INTRODUCCIÓN

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el proyecto de grado: “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN GUADUALA EN LAS SECCIONES DE LOS RIOS BACHÉ Y TUNE EN EL MUNICIPIO DE PALERMO” se realizó el análisis mineralógico para 8 muestras recolectadas en la sección del Rio Tune.

Para dicho análisis fue realizado el Análisis Granulométrico de los sólidos en suspensión como también el análisis mineralógico para cada fracción. A continuación, se presenta la metodología y equipos utilizados para este trabajo:

2. EQUIPOS

- Tamices americanos Nos. 100 – 200 - 320
- Microscopio binocular NIKON.
- Lupa de bolsillo 20X.
- Imán electromagnético.
- Punzones y separadores de arenas
- Ácido HCl

3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el análisis de las muestras provenientes de los afloramientos a lo largo del margen del Rio Tune:

- Se realiza una caracterización general de las muestras, determinando su color, los principales componentes mineralógicos y se subdivide la muestra en fracciones metálicas, no metálicas.
- Se clasifica la muestra texturalmente, en la cual se tiene en cuenta el tamaño de grano y el porcentaje de los mismos presentes en la muestra.

TAMAÑO DEL ELEMENTO CONSTITUYENTE (GRANO – PARTÍCULA)	DIÁMETRO DEL GRANO (mm) RANGOS
GRANULO	4 – 2
ARENA MUY GRUESA	2 – 1
ARENA GRUESA	1 – 0.5
ARENA MEDIANA	0.5 – 0.25
ARENA FINA	0.25 – 0.125
ARENA MUY FINA	0.125 – 0.0625
LIMO	0.0625 – 0.031
ARCILLAS	0.031 – 0.00006

Tabla 1. Terminología empleada en el tamaño del grano y partícula.

Se determina la composición mineralógica de cada muestra de acuerdo con las subdivisiones realizadas en el primer paso (fracción no metálica, fracción metálica).

Para este análisis se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Dentro de la fracción metálica se emplea un imán para la detección de los minerales Magnéticos.
- Para la detección de los carbonatos se emplea el ácido clorhídrico (HCl).

Por último, se determina el porcentaje de los principales minerales presentes en cada una de las fracciones de la muestra y a la vez se detalla la clasificación textural empleada en el segundo paso.

4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MINERALÓGICO

1 DE 10

MUESTRA: CLJ-61

FECHA: 10/08/2016

LOCALIZACIÓN: E840056, N806495

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca de color rojizo con tonalidades amarillentas y violáceas localmente de estructura abigarreada, se observan algunos granos de cuarzo traslucido minerales de arcilla, esferulitas blancas.



Fotografía 1. Muestra CLJ-61

TEXTURA

La muestra está compuesta por granos de tamaño muy fino (10%) y partículas tamaño arcilla (90%).

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	8%	Minerales pesados	2%
Minerales de arcilla	85%		
Esferulitas	5%		

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (8%) compuesto por una fracción
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (8%) de aspecto hialino, translucido, localmente de aspecto lechoso y de formas angulares a subangulares, se presentan en contactos flotantes y localmente puntuales.

- **MINERALES DE ARCILLA:** (85%)

Está conformado por una masa homogénea fina, de aspecto granular y laminada de colores abigarrados, blandos, frágiles y se desintegran fácilmente al aplicarles presión.

- **ESFERULITAS:** (5%)

Se presentan algunas estructuras esféricas con diámetros entre 0.1 – 1 milímetro de un material blanco de aspecto cristalino, blando, frágil y se desintegra fácilmente a presión. Es posible que correspondan a rellenos de caolinita.

FRACCIÓN METÁLICA

- **MINERALES PESADOS:** (2%)

Se observan algunos granos de tamaño muy fino de color negro a gris verdoso de minerales pesados que pueden corresponder a óxidos de hierro, e ilmenita.

NOMBRE DE LA ROCA: ARCILLOLITA ARENOSA

MUESTRA: CLJ-60

FECHA: 10/08/2016

LOCALIZACIÓN: E840115, N806402

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca sedimentaria clástica de color gris verdoso con tonalidades violáceas conformado por minerales de arcilla, cuarzo y minerales pesados.



Fotografía 2. Muestra CLJ-60

TEXTURA

La muestra está compuesta por granos de tamaño muy fino (5%) y partículas tamaño arcilla (95%). Presenta estructuras sedimentarias externas de tipo no paralela discontinua, lenticular y localmente algún tipo de estructuras flaser.

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	5%	Minerales pesados	Tz
Minerales de arcilla	95%		

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (5%) compuesto por una fracción
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (5%) de aspecto lechoso a localmente hialino y de formas subangulares.
- **MINERALES DE ARCILLA:** (95%)

Se presentan aglomeradas en capas muy finas y estos son de formas laminares. Se presentan minerales de formas astillosas y localmente fibrosas, estos son frágiles, friables y se desintegran a presión.

FRACCIÓN METÁLICA

- **MINERALES PESADOS:** (Tz)

Se observan algunas trazas de granos de color gris oscuro a negro, de aspecto metálico y que puede corresponder a óxidos de hierro (oligisto)

NOMBRE DE LA ROCA: ARCILLOLITA ABIGARREADA

MUESTRA: CLJ-34

FECHA: 10/08/2016

LOCALIZACIÓN: E841962, N808463

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca sedimentaria clástica de color rojo y tonalidades violáceas, compuesta por cuarzo y minerales de arcilla, moteada con forma de nidos sub-esféricos y elongados paralelos a los planos de estratificación de color blanco lechoso de aspecto cristalino.



Fotografía 3. Muestra CLJ-34

TEXTURA

La muestra está compuesta por granos de tamaño muy fino (5%) y partículas tamaño arcilla (95%).

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	5%	Minerales pesados	Tz
Minerales de arcilla	95%		

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (5%) compuesto por una fracción
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (5%) de aspecto hialino, de formas subangulares y algunos presentan caras cristalinas frescas.
- **MINERALES DE ARCILLA:** (95%)

Se presentan a manera de láminas muy fisiles y en formas blocosas, angulares, con caras rectas, presenta dentro de sus caras estructura redondeadas de material fino, blanco de aspecto cristalino (caolinita)

FRACCIÓN METÁLICA

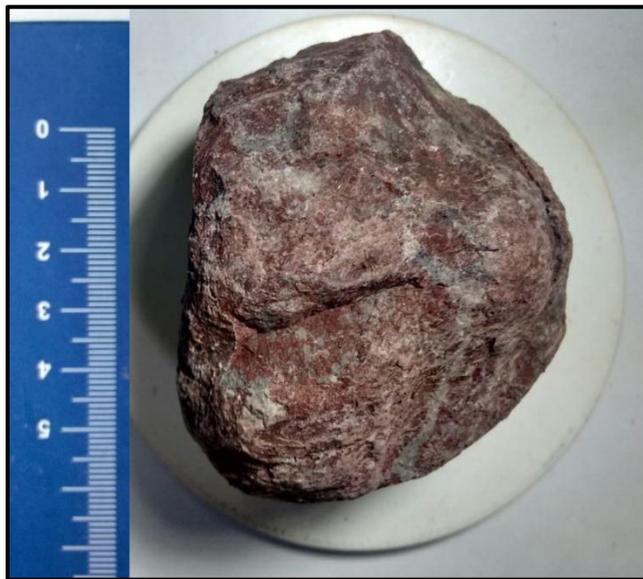
- **MINERALES PESADOS:** (Tz)

Se observan algunas trazas de granos de color negro, de aspecto metálico y que puede corresponder a óxidos de hierro.

NOMBRE DE LA ROCA: ARCILLOLITA

MUESTRA: CLJ-35**FECHA:** 11/08/2016**LOCALIZACIÓN:** E841883, N808557**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO**

Roca sedimentaria clástica de color violáceo, con nidos de color gris claro a negruzco generando una textura abigarreada.



Fotografía 4. Muestra CLJ-35

TEXTURA

La muestra está compuesta por partículas tamaño arcilla (100%).

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Minerales de arcilla	100%	Minerales pesados	Tz

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **MINERALES DE ARCILLA:** (100%) Se presentan a manera de láminas gruesas, como también aglomeradas en granos formando una estructura de bloques, son blandas frágiles y se descomponen a presión, es común la textura abigarreada.

FRACCIÓN METÁLICA

- **MINERALES PESADOS:** (Tz)

Se observan algunas trazas de granos de color negro, de aspecto metálico y que puede corresponder a óxidos de hierro.

NOMBRE DE LA ROCA: ARCILLOLITA

MUESTRA: CLJ-36

FECHA: 10/08/2016

LOCALIZACIÓN: E841890, N808592

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca sedimentaria clástica de color gris claro, dura, fresca, poco friable, conformada por cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y minerales pesados.



Fotografía 5. Muestra CLJ-36

TEXTURA

La muestra está compuesta por granos de tamaño medio (40%), grano fino a muy fino 60%, de formas angulares a sub-angulares, puntualmente se observan algunos granos sub-redondeados. El armazón de la roca corresponde al 70% y 30% de matriz limo-arcilloso.

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	40%	Minerales pesados	5%
Minerales de arcilla	25%		
Fragmentos de roca	20%		
Feldespatos	10%		

ARMAZÓN 75%

Llevados sus componentes al 100% se tiene:

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (55%) compuesto por dos fracciones.
 - **CUARZO DE GRANO MEDIO:** (10%) se observan algunos granos de formas redondeadas a subredondeadas de aspecto hialino, traslucido.
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (45%) granos de cuarzo de color blanco lechoso a hialino, de formas angulares y subangulares,
- **FELDESPATOS:** (13%)

Granos de ortoclasa de color gris claro a rosado, puntualmente algunos cristales verdes, de formas angulares, fresco, blando y se observan algunas caras cristalinas.

- **FRAGMENTOS DE ROCA:** (25%):

Se observan granos finos a medio de lodolitas y limolitas, de color gris oscuro a verdosos, blandos frágil, semimeteorizados.

MATRIZ: (25%)

Se observa un material fino conformado por minerales de arcilla.

MINERALES PESADOS: (7%)

FRACCIÓN MAGNÉTICA: (2%)

- **MAGNETITA:** Se presentan cristales de hábito filiforme a laminar de color negro mate y son atraídos por el imán.

FRACCIÓN NO MAGNÉTICA:

- **ÓXIDOS DE HIERRO: (5%)**

Se observan granos de aspecto metálico de color gris oscuro a negruzco, conformados mineralógicamente por oligisto e Imelnita.

NOMBRE DE LA ROCA: GRAWACA LÍTICA

MUESTRA: CLJ-37

FECHA: 16/08/2016

LOCALIZACIÓN: E841913, N808620

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca sedimentaria clástica de color gris claro a verdoso, dura, fresca, localmente cortada con venas de carbonatos, conformada por cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y minerales pesados.



Fotografía 6. Muestra CLJ-37

TEXTURA

La muestra está compuesta por granos de tamaño medio (60%), grano fino a muy fino 40%, de formas angulares a sub-angulares, bien seleccionados. El armazón de la roca corresponde al 80% y 20% de matriz limo-arcilloso.

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	24%	Minerales pesados	2%
Minerales de arcilla	20%		
Fragmentos de roca	50%		
Feldespatos	4%		

ARMAZÓN 80%

Llevados sus componentes al 100% se tiene:

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (30%) compuesto por dos fracciones.
 - **CUARZO DE GRANO MEDIO:** (5%) hialino, translucido muy débilmente re-trabajado.
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (25%) granos de cuarzo de color blanco lechoso y puntualmente hialino, de formas subredondeadas a subangulares.
- **FELDESPATOS:** (5%)

Granos de plagioclasa de color gris claro a blanco, anhedrales, blandos, semimeteorizados.

- **FRAGMENTOS DE ROCA:** (62%):

Se presenta a manera de granos de formas subredondeadas a subangulares y conformado por sílex y areniscas.

MINERALES PESADOS: (3%)

FRACCIÓN NO MAGNÉTICA

- **ÓXIDOS DE HIERRO: (3%)**

Se presentan algunos gránulos de aspecto metálico de color negro conformados por óxidos de hierro (Oligisto).

MATRIZ: (20%)

Se observa un material fino conformado por material limo-arcilloso de color gris oscuro a negruzco.

NOMBRE DE LA ROCA: GRAWACA LÍTICA

MUESTRA: CLJ-38**FECHA:** 16/08/2016**LOCALIZACIÓN:** E841913, N808642**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO**

Roca sedimentaria clástica de color pardo rojizo, dura, frágil, fresca, de textura limo-arcillosa y conformada por minerales de arcilla de características semiplásticas.

**Fotografía 7.** Muestra CLJ-38**TEXTURA**

La muestra está compuesta por partículas tamaño arcilla (95%).

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	5%	Minerales pesados	Tz
Minerales de arcilla	95%		

FRACCIÓN NO METÁLICA

MINERALES DE ARCILLA: (95%):

Se presentan en forma de láminas gruesas, como formando fragmentos angulares de aspecto de bloques.

FRACCIÓN METÁLICA

MINERALES PESADOS: (3%)

- **ÓXIDOS DE HIERRO:**

Se presenta a manera de granos muy finos de aspecto metálico y brillante (Oligisto).

NOMBRE DE LA ROCA: ARCILLOLITA

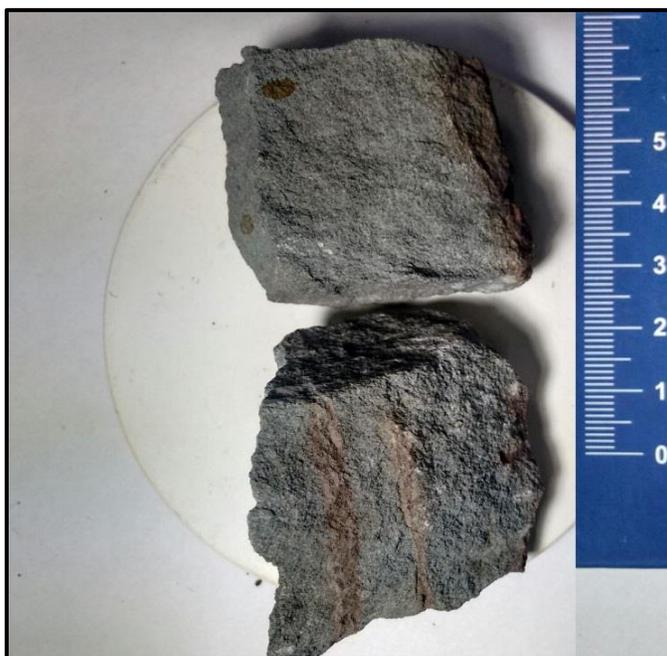
MUESTRA: CLJ-39

FECHA: 16/08/2016

LOCALIZACIÓN: E841921, N808676

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca sedimentaria clástica de color gris verdoso, dura, cementada, fresca, conformada por cuarzo, feldspatos, fragmentos de roca, puntualmente se observan algunos cristales de illita y minerales pesados.



Fotografía 8. Muestra CLJ-39

TEXTURA

La roca está conformada por granos de tamaño medio (60%) y grano fino a muy fino 40%, de formas subangulares a subredondeadas. El armazón de la roca corresponde al 85% y 15% de matriz limo-arcillosa.

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	43%	Minerales pesados	1%
Minerales de arcilla	15%		
Fragmentos de roca	23%	Illita	2%
Feldespatos	16%		

ARMAZÓN 85%

Llevados sus componentes al 100% se tiene:

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (50%) compuesto por dos fracciones.
 - **CUARZO DE GRANO MEDIO:** (30%) granos de formas subredondeadas, de aspecto hialino a lechoso.
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (20%) granos de cuarzo de color blanco lechoso y puntualmente hialino, de formas subangulares a angulares.

- **FELDESPATOS:** (20%)

Granos de tamaño fino y medio de ortoclasa de color rosado, cristalina de formas angulares y plagioclasa de color gris blanco lechoso.

- **FRAGMENTOS DE ROCA:** (25%):

Se presenta a manera de granos de tamaño medio a fino, de formas subredondeadas y conformado por chert, fragmentos de areniscas.

- **ILLITA:(3%)** $K_{0.6}Na_{0.05}Fe_{3+}1.3Mg_{0.4}Fe_{2+}0.2Al_{0.3}Si_{3.8}O_{10}(OH)_2$

Se observan granos muy finos de color verde cristalino, frágil, blando.

MINERALES PESADOS: (2%)

FRACCIÓN NO MAGNÉTICA:

- **ÓXIDOS DE HIERRO:**

Se presentan algunos gránulos de aspecto metálico de color negro conformados por óxidos de hierro (Oligisto).

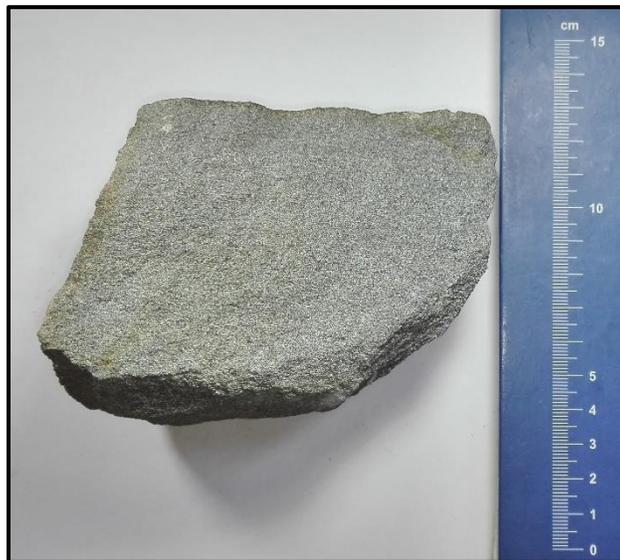
MATRIZ: (15%)

Se observa un material fino conformado por material limo-arcilloso de color gris oscuro a negruzco.

NOMBRE DE LA ROCA: GRAWACA LÍTICA

MUESTRA: CLJ-04**FECHA:** 13/09/2016**LOCALIZACIÓN:** E842842, N809824**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO**

Roca sedimentaria clástica de color gris claro, fresca, cohesiva, conformada por cuarzo, fragmentos de roca, puntualmente se observan algunos minerales pesados.



Fotografía 9. Muestra CLJ-04

TEXTURA

La roca está conformada por granos de tamaño medio (55%) y grano muy fino (45%), de formas subangulares. El armazón de la roca corresponde al 90% y 10% de matriz lodo-arcillosa.

COMPOSICIÓN:

		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	40%	Minerales pesados	5%
Minerales de arcilla	10%		
Fragmentos de roca	45%		

ARMAZÓN 90%

Llevados sus componentes al 100% se tiene:

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (45%) compuesto por dos fracciones.
 - **CUARZO DE GRANO MEDIO:** (25%) granos de formas subangulares, de aspecto hialino y translucido.
 - **CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO:** (20%) granos de cuarzo de color blanco lechoso y puntualmente hialino, de formas subangulares a angulares.

- **FRAGMENTOS DE ROCA:** (50%):

Se presenta a manera de granos de tamaño medio a fino, de formas subangulares y conformado por chert, fragmentos de areniscas.

MINERALES PESADOS: (5%)

FRACCIÓN NO MAGNÉTICA:

- **ÓXIDOS DE HIERRO:**

Se presentan algunos gránulos de aspecto metálico de color negro conformados por óxidos de hierro (Oligisto).

MATRIZ: (10%)

Se observa un material fino conformado por material lodo-arcilloso de color gris oscuro.

NOMBRE DE LA ROCA: LITOARENITA

MUESTRA: CLJ-24

FECHA: 13/09/2016

LOCALIZACIÓN: E842276, N810510

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y RELACIONES DE CAMPO

Roca sedimentaria clástica de tonalidades amarillentas, oxidada, cohesiva, conformada por cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, puntualmente se observan minerales pesados de tipo óxido de hierro y magnetita.



Fotografía 10. Muestra CLJ-24

TEXTURA

La roca está conformada por granos de tamaño grueso (75%) y grano muy grueso (25%), de formas subangulares. El armazón de la roca corresponde al 85% y 15% de matriz lodo-arcillosa.

COMPOSICIÓN:

FRACCIÓN NO METÁLICA		FRACCIÓN METÁLICA	
Cuarzo	43%	Minerales pesados	4%
Minerales de arcilla	15%		
Fragmentos de roca	32%	Magnetita	2%
Feldespatos	4%		

ARMAZÓN 85%

Llevados sus componentes al 100% se tiene:

FRACCIÓN NO METÁLICA

- **CUARZO:** (50%) compuesto por dos fracciones.
 - **CUARZO DE GRANO GRUESO:** (40%) granos de formas angulares a subangulares, de aspecto lechoso.
 - **CUARZO DE GRANO MUY GRUESO:** (10%) granos de cuarzo de color blanco lechoso y puntualmente hialino, de formas subangulares a angulares.
- **FELDESPATOS:** (6%)

Granos de tamaño fino y medio de ortoclasa de color rosado, cristalina de formas angulares y plagioclasa de color gris blanco lechoso.

- **FRAGMENTOS DE ROCA:** (37%):

Se presenta a manera de granos de tamaño medio a fino, de formas subredondeadas y conformado por chert, fragmentos de areniscas.

MINERALES PESADOS: (7%)

FRACCIÓN NO MAGNÉTICA:

- **ÓXIDOS DE HIERRO:**

Se presentan algunos gránulos de aspecto metálico de color negro conformados por óxidos de hierro (Oligisto).

MAGNETITA: Se presentan cristales de hábito laminar de color negro mate y son atraídos por el imán.

MATRIZ: (15%)

Se observa un material fino conformado por material arcilloso de color gris oscuro a negruzco.

NOMBRE DE LA ROCA: GRAWACA LÍTICA