

**INFORME DE EXPLORACIÓN MINIMA SUPERFICIAL, Y PROPUESTA DEL MODELO  
GEOLOGICO PARA LA EVALUACIONDE RECURSOS Y RESERVAS EN EL AREA DE  
LA SOLICITUD DEL CONTRATO DE CONCESIÓN DIFERENCIAL N# GH4-123,  
LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE ARACATACA MAGDALENA.**



**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR:  
CRISTIAN FELIPE BELTRAN CELIS**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
MANIZALES  
2022**

**INFORME DE EXPLORACIÓN MINIMA SUPERFICIAL, Y PROPUESTA DEL MODELO  
GEOLOGICO PARA LA EVALUACIONDE RECURSOS Y RESERVAS EN EL AREA DE  
LA SOLICITUD DEL CONTRATO DE CONCESIÓN DIFERENCIAL N# GH4-123,  
LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE ARACATACA MAGDALENA.**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR:  
CRISTIAN FELIPE BELTRAN CELIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE: GEOLOGO**

**DIRECTOR  
MSc SERGIO JOSE CASTRO**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
MANIZALES**

**2022**

## **RESUMEN**

En el siguiente informe se evidencia la exploración mínima superficial y la propuesta de modelo geológico para la estimación de recursos y reservas, en el área de solicitud de contrato de concesión diferencial GH4-123, ubicada en el municipio de Aracataca, Magdalena. El informe fue realizado siguiendo las normativas vigentes (Código de minas de Colombia) con sus respectivos términos de referencia. El objetivo es identificar los diferentes depósitos de material de construcción en campo, con su respectivo análisis estratigráficos, geomorfológicos entre otros, para ver si es potencialmente de interés con el fin de realizar trabajos destinados al desarrollo de un proyecto de explotación minera, para la extracción de los materiales como arenas, gravas y recebo, para suministrar material granular de utilidad en la construcción de la vía doble calzada, que va desde la población de Bosconia, Cesar hasta el municipio Ciénaga Magdalena.

## **ABSTRACT**

The following report shows the minimum surface exploration and the geological model proposal for the estimation of resources and reserves, in the area of request for the differential concession contract GH4-123, located in the municipality of Aracataca, Magdalena. The report was made following current regulations (Colombian Mining Code) with their respective terms of reference. The objective is to identify the different deposits of construction material in the field, with their respective stratigraphic and geomorphological analysis, among others, to see if it is potentially of interest in order to carry out works destined to the development of a mining exploitation project, for the extraction of materials such as sand, gravel and top dressing, to supply granular material useful in the construction of the dual carriageway, which goes from the town of Bosconia, Cesar to the Ciénaga Magdalena municipality.

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. JUSTIFICACIÓN .....	11
3. OBJETIVOS .....	12
3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
4. GENERALIDADES .....	13
4.1 LOCALIZACIÓN .....	13
4.1.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DEL CONTRATO DE CONCESIÓN .....	14
4.1.2 VÍAS DE ACCESO AL TÍTULO.....	15
4.2 CLIMA .....	17
4.2.1 TEMPERATURA .....	17
4.2.2 PRECIPITACIÓN.....	18
4.2.3 LLUVIA.....	19
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONALES.....	20
5.1 CONTACTOS CON LA COMUNIDAD Y ENFOQUE SOCIAL .....	20
5.2 TOPOGRAFÍA DEL ÁREA .....	20
5.3 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA .....	21
5.3.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	21
<b>5.3.1.1 Granulita De Los Mangos</b> .....	23
<b>5.3.1.2 Batolito De Bolívar</b> .....	25
<b>5.3.1.3 Conglomerados de Macaraquilla</b> .....	27
<b>5.3.1.4 Formación Zambrano</b> .....	28
<b>5.3.1.5 Unidad Arenosa de Fundación</b> .....	31
5.3.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	34
<b>5.4.2.1 Estructuras Regional</b> .....	35
<b>5.4.2.2 Estructuras Local</b> .....	35
5.3.3 GEOMORFOLOGÍA .....	37
<b>5.3.3.1 Morfografía</b> .....	38
<b>5.3.3.2 Morfometría</b> .....	38
<b>5.3.3.3 Clasificación De Las Unidades Geomorfológicas</b> .....	43
6. GEOLOGÍA LOCAL Y DEPÓSITOS DE INTERÉS ECONÓMICO .....	49

6.1	GEOLOGIA LOCAL .....	49
6.1.1	CONGLOMERADOS DE MACARAQUILLA .....	49
6.1.2	FORMACIÓN ZAMBRANO .....	50
6.1.3	DEPÓSITO DE TERRAZAS ALUVIALES .....	51
6.1.4	DEPÓSITO ALUVIAL .....	52
6.2	EXPLORACION DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES .....	56
6.3	EXCAVACIÓN DE TRINCHERAS Y APIQUES.....	60
6.4	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO. ....	66
6.3.1	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	66
6.3.2	ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA. ....	67
6.5	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS .....	69
6.5.1	DIRECCIÓN DE FLUJO .....	69
6.5.2	ACUMULACIÓN DE FLUJO.....	70
6.5.3	CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	70
6.6	BATIMETRÍA .....	71
7.	MODELO GEOLÒGICO Y PROPUESTA DE EVALUACIÓN.....	73
7.1	MODELO GEOLOGICO.....	73
7.2	ESTIMACION DE RECURSOS Y RESERVAS .....	74
7.2.1	RECURSOS MINERAL .....	74
7.2.1.1	<b>Recurso Inferido</b> .....	75
7.2.1.2	<b>Recurso indicado</b> .....	77
7.2.1.3	<b>Recursos Medidos</b> .....	79
7.2.2	FACTORES MODIFICADORES.....	81
7.2.3	RESERVAS MINERALES.....	82
7.2.3.1	<b>Reservas Probables</b> .....	82
7.2.3.2	<b>Reservas Probadas</b> .....	84
8.	CONCLUSIONES .....	86
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	87

## INDICE DE FIGURAS

(FIGURA # 1, Mapa de localización del contrato de concesión) .....	13
(FIGURA # 2, Mapa de delimitación del contrato de concesión (plataforma ANNA)) .....	14
(FIGURA # 3, Mapa de vías de acceso).....	15
(FIGURA # 4, Grafico del clima anual para la región de estudio) .....	17
(FIGURA # 5, Grafico de temperatura para la región de estudio).....	18
(FIGURA # 6, Grafico de probabilidad diaria de precipitación para la región de estudio) .....	19
(FIGURA # 7, Grafico de precipitación de lluvia mensual para la región de estudio).....	19
(FIGURA # 8, Mapa topográfico escala 1:25.000(Zona norte)).....	20
(FIGURA # 9, Mapa topográfico escala 1:10.000).....	21
(FIGURA # 10, Modelo de la evolución tectónica de la zona de estudio (INGEOMINAS)) .....	22
(FIGURA # 11, Foto del Servicio Geológico Colombiano de la unidad Granulita de los Mangos) .	24
(FIGURA # 12, Foto del Servicio Geológico Colombiano de la unidad Batolito de Bolívar) .....	26
(FIGURA # 13, Foto del Servicio Geológico Colombiano de la unidad Conglomerados de Macaraquilla) .....	27
(FIGURA # 14, Foto del Servicio Geológico Colombiano de la unidad Formación Zambrano).....	29
(FIGURA # 15, Columna estratigráfica para la formación Zambrano (INGEOMINAS)) .....	30
(FIGURA # 16, Foto del Servicio Geológico Colombiano de la unidad Arenosa de Fundación).....	32
(FIGURA # 17, Columna estratigráfica para la unidad arenosa de Fundación (INGEOMINAS)) ...	32
(FIGURA # 18, Mapa geológico regional escala en 1:25000).....	34
(FIGURA # 19, Mapa geológico-estructural del costado occidental de la SNSM) .....	36
(FIGURA # 20, Modelo estructural (INGEOMINAS)) .....	36
(FIGURA # 21, Mapa geología estructural).....	37
(FIGURA # 22, Mapa de morfografía) .....	38
(FIGURA # 23, Mapa de pendientes) .....	39
(FIGURA # 24, Mapa de curvaturas de laderas).....	41
(FIGURA # 25, Mapa de rugosidad del terreno) .....	42
(FIGURA # 26, Mapa de unidades geomorfológicas) .....	48
(FIGURA # 27, Mapa geológico local).....	53
(FIGURA # 28, Perfil geológico (corte A)) .....	53
(FIGURA # 29, Perfil geológico (corte B)) .....	54
(FIGURA # 30, Perfil geológico (corte C)) .....	54

(FIGURA # 31, Mapa perfiles geológicos).....	54
(FIGURA # 32, Columna Estratigráfica (1)) .....	55
(FIGURA # 33, Columna Estratigráfica (2)) .....	55
(FIGURA # 34, Columna Estratigráfica (3)) .....	56
(FIGURA # 35, Mapa zonas susceptible a explotación).....	59
(FIGURA # 36, Mapa de ubicación de apiques).....	66
(FIGURA # 37, Mapa de unidades hidrogeológicas).....	67
(FIGURA # 38, Mapa de zonas de recarga y descarga).....	68
(FIGURA # 39, Mapa de dirección de flujo) .....	69
(FIGURA # 40, Mapa de acumulación de flujo).....	70
(FIGURA # 41, Mapa de delimitación de cuencas hidrográficas).....	71
(FIGURA # 42, Mapa batimétrico de la quebrada Macaraquilla).....	71
(FIGURA # 43, Mapa y perfiles batimétricos de la quebrada Macaraquilla) .....	73
(FIGURA # 44, Modelo geológico 3D) .....	73
(FIGURA # 45, Mapa de estimación de Recurso minero).....	80
(FIGURA # 46, Diagrama de factores modificadores) .....	81
(FIGURA # 47, Mapa de estimación de Reservas mineras) .....	85

## **INDICE DE TABLAS**

(TABLA # 1, Delimitación del contrato de concesión) .....	14
(TABLA # 2, Unidades Cronológicas del precámbrico).....	25
(TABLA # 3, Pendientes en %) .....	40
(TABLA # 4, Rugosidad).....	42
(TABLA # 5, Recursos inferidos para material de cantera).....	76
(TABLA # 6, Recursos inferidos para material de arrastre) .....	77
(TABLA # 7, Recursos indicados para material de cantera).....	78
(TABLA # 8, Recursos indicados para material de arrastre) .....	78
(TABLA # 9, Recursos medidos para material de arrastre).....	80
(TABLA # 10, Reservas probables para material de cantera).....	83
(TABLA # 11, Reservas probadas para material de arrastre) .....	85

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

(FOTOGRAFÍAS # 1, Vías de acceso).....	16
(FOTOGRAFIA # 2, Ambiente morfogenético deposicional).....	44
(FOTOGRAFIA # 3, Ambiente morfogenético erosivo).....	44
(FOTOGRAFIA # 4, Paisaje geomorfológico en valle) .....	45
(FOTOGRAFIA # 5, Paisaje geomorfológico en piedemonte).....	46
(FOTOGRAFIA # 6, Relieve geomorfológico en vallecito).....	47
(FOTOGRAFIA # 7, Relieve geomorfológico en loma) .....	47
(FOTOGRAFÍAS # 8, Conglomerados de Macaraquilla) .....	49
(FOTOGRAFÍAS #9, Formación Zambrano).....	50
(FOTOGRAFÍAS # 10, Terrazas Aluviales).....	51
(FOTOGRAFÍAS # 11, Depósitos Aluviales) .....	52
(FOTOGRAFÍAS # 12, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla(1)).....	57
(FOTOGRAFÍA # 13, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla (2)) .....	57
(FOTOGRAFÍA # 14, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla (3)) .....	58
(FOTOGRAFÍA # 15, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla(4)) .....	59
(FOTOGRAFÍAS # 16, Apique 1).....	60
(FOTOGRAFÍAS # 17, Apique 2).....	61
(FOTOGRAFÍAS # 18, Apique 3).....	62
(FOTOGRAFÍAS # 20, Apique 5).....	64
(FOTOGRAFÍAS # 21, Apique 6).....	65

# 1. INTRODUCCIÓN

El área corresponde a la solicitud del contrato de concesión diferencial No GH4-123 radicada con fecha de septiembre del 2022 ante la agencia nacional minera, se encuentra ubicada en el municipio de Aracataca del departamento del Magdalena, y fue presentada por el señor Sergio Iván Pulgarín, ante la (ANM), como potencialmente de interés para realizar trabajos destinados al desarrollo de un proyecto de explotación minera, para la extracción de los materiales como arenas, gravas y recebo, para suministrar material granular de utilidad en la construcción de la vía doble calzada, que va desde la población de Bosconia, Cesar hasta el municipio Ciénaga Magdalena.

En el anterior orden de ideas y con el propósito de cumplir con la fase mínima exploratoria, se realizaron los trabajos geológicos de campo y oficina cuyos resultados se han plasmado en el presente informe técnico, con base en los Términos de Referencia de Trabajos de Exploración y Programa Mínimo Exploratorio de la Agencia Nacional de Minería (ANM). El informe está dividido en 2 segmentos, exploración geológica en superficie, propuesta de evaluación y modelo geológico.

La etapa de exploración geológica en superficie, se inicia con una revisión bibliográfica de los diferentes estudios hechos en la zona y la cartografía base suministrada por el Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS), posteriormente se realizó un levantamiento topográfico del área de estudio a partir de los modelos de elevación digital (DEM) de resolución 12,5 m generados por el satélite ALOS PALSAR de la Nasa. Los mapas se diseñaron a varias escalas, con su respectivo intervalo de curvas de nivel, convenciones, esquema de presentación y las demás propiedades que debe contener, como lo indica la resolución 406000 del 2015, emitida por el ministerio de Minas y Energía.

En la exploración de campo se identificaron varias unidades geológicas, geomorfológicas, hidrogeológica y estructurales descritas detalladamente en el informe. Así mismo se realizaron estudios hidrogeológicos y una batimetría en la quebrada Macaraquilla, para tener una mejor comprensión de la génesis y características del depósito. En las labores de exploración y cumpliendo el programa mínimo exploratorio en superficie, se realizaron varios apiques para tener un mejor control de las unidades geológicas, como los conglomerados de Macaraquilla y los depósitos aluviales.

En la etapa de la propuesta de evaluación y modelo geológico, se analizaron e interpretaron todos los resultados de la exploración para proponer y caracterizar un modelo geológico para los depósitos. A partir del modelo se propusieron los diseños del proceso extractivo más idóneo para los depósitos.

Por último, con base en el conjunto de la información obtenida, se realizó una estimación de los recursos y reservas del material a explotar dentro del área de la solicitud de contrato de concesión diferencial, aplicando el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas Mineras (ECRR), tanto para la extracción en cantera como de material de arrastre.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

El señor Sergio Iván Pulgarín en calidad de titular de la solicitud de contrato de concesión diferencial, requirió al autor del presente documento la asesoría a fin de desarrollar la etapa de exploración geológica en superficie y, la evaluación y modelo geológico, con el objetivo de cumplir con los términos de referencia de trabajo de exploración, programa mínimo exploratorio y programas de trabajos y obras (PTO), acogidos mediante la resolución No 299 del 13 de junio del 2018, como documentos técnicos para avanzar a la fase de explotación.

Teniendo como fundamento normativo el Artículo 78 del Código de Minas, como base para el desarrollo del Programa Mínimo Exploratorio (PME) con el objetivo de determinar la existencia de un yacimiento mineral, su extensión, espesor, calidad y su viabilidad económica. Se procederá a realizar el estudio de exploración geológica en superficie, que se verá reflejado en la elaboración de documentos técnicos que permitan ubicar y definir las características del depósito para realizar la estimación de los recursos y reservas mineras, contemplando la aplicación del Estándar Colombiano de Recursos y Reservas Mineras (ECRR).

El propósito principal del desarrollar de la etapa de exploración es, determinar los recursos y reservas mineras, que sirvan de soporte para el estudio económico del proyecto, es decir, estudios de prefactibilidad y factibilidad, que indican si es económicamente viable explotar el material.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVOS GENERALES**

Desarrollar el Programa Mínimo Exploratorio (PEM) y la propuesta de evaluación y modelo geológico, para la solicitud de contrato de concesión diferencial ubicado en el municipio de Aracataca, con el fin de determinar el potencial minero de la zona de estudio, haciendo una estimación de recursos y reservas mineras, con el fin de aportar elementos técnicos que soporten el diseño y viabilidad del proyecto.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

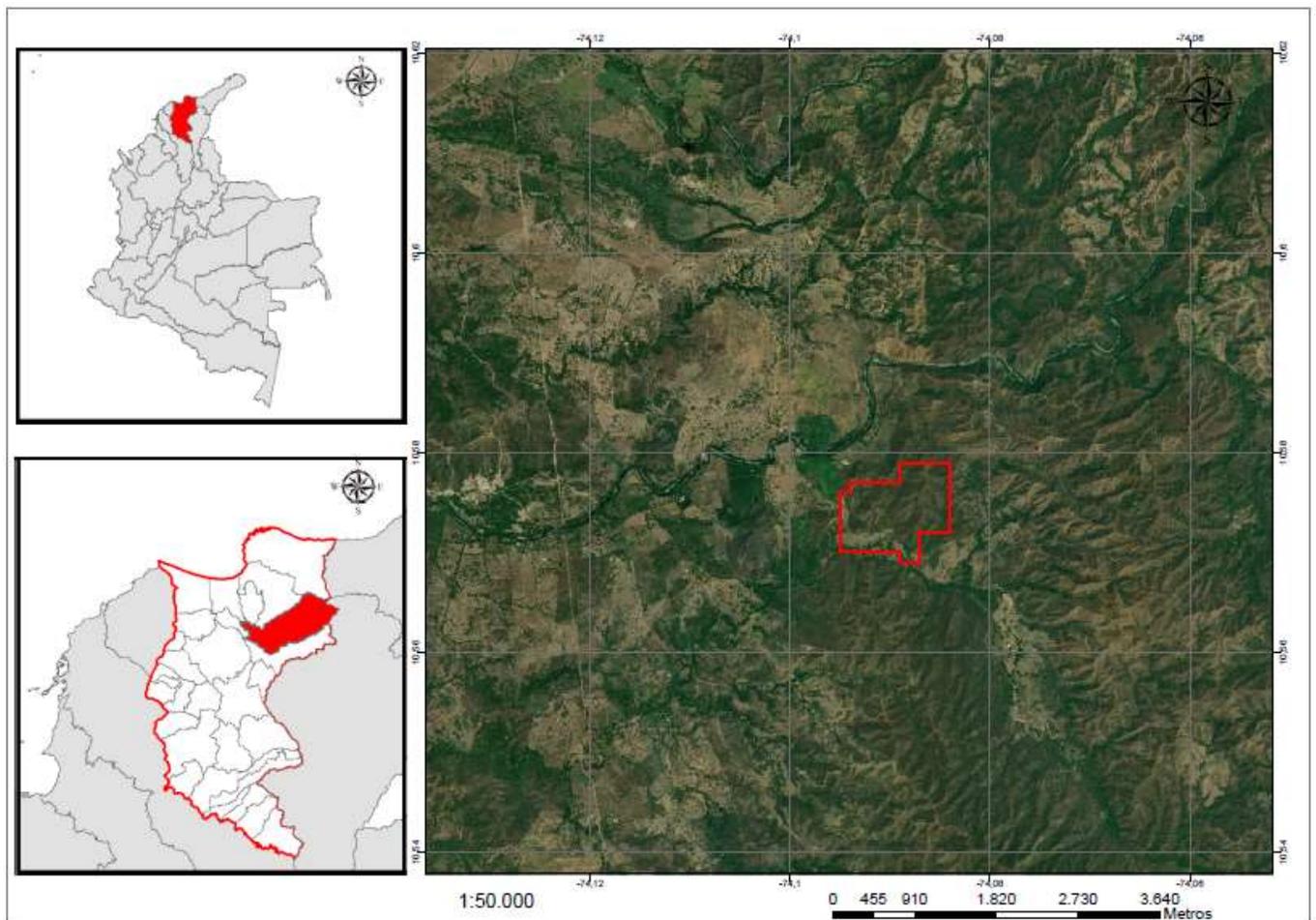
- Realizar el reconocimiento geológico del área del proyecto a escala regional y local. A fin de caracterizar el depósito mineral respecto a sus atributos estratigráficos, físicos y químicos, a partir de relaciones de campo, para los materiales de gravas, arenas y recebo, para el área de contrato de concesión diferencial.
- Identificar las unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio, de acuerdo con la metodología del IGAC (Zinck ,2012), con una escala 1:10000.
- Diseñar los mapas topográfico, geológico, geomorfológico, entre otros, según los términos de referencia para el programa mínimo exploratorio siguiendo los parámetros establecidos en la resolución 40600 de 2015, emitida por el ministerio de Minas y Energía, digitalizados en los softwares Arcgis y Surfer.
- Estimar recursos y reservas mineras para gravas, arenas y recebo a partir de la información geológica recolectada durante los trabajos exploratorios y la aplicación del Estándar Colombiano de Recursos y Reservas Mineras (ECRR).

## 4. GENERALIDADES

### 4.1 LOCALIZACIÓN

El área de la solicitud de contrato de concesión diferencial, se encuentra ubicado a 9 km al oriente del municipio de Aracataca y al costado occidental de la Sierra Nevada De Sanata Marta, en el departamento del Magdalena, en la vereda Macaraquilla, con un área de 99,03 hectáreas.

La zona de interés exploratorio está localizada entre el rio Aracataca y la quebrada Macaraquilla, en el piedemonte de la sierra Nevada, como se observa en la **figura 1**.



(FIGURA # 1, Mapa de localización del contrato de concesión)

#### 4.1.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DEL CONTRATO DE CONCESIÓN

El área de la solicitud hace parte de la plancha 25 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- y las coordenadas de alinderación (Delimitación) según la Resolución 504 del 18 de Setiembre de 2018 de la ANM (**Figura 2**), aplica para la solicitud del contrato de concesión diferencial. Las coordenadas se encuentran en la **Tabla 1**, las cuales se encuentra georreferenciadas bajo el origen geográfico MAGNA SIRGAS Colombia, origen Bogotá.

VERTICE	ESTE	NORTE
<b>1</b>	999289	1661665
<b>2</b>	998742	1661665
<b>3</b>	998742	1661444
<b>4</b>	998195	1661444
<b>5</b>	998195	1661333
<b>6</b>	998085	1661333
<b>7</b>	998085	1660670
<b>8</b>	998742	1660670
<b>9</b>	998742	1660559
<b>10</b>	998961	1660559
<b>11</b>	998961	1660891
<b>12</b>	999289	1660891

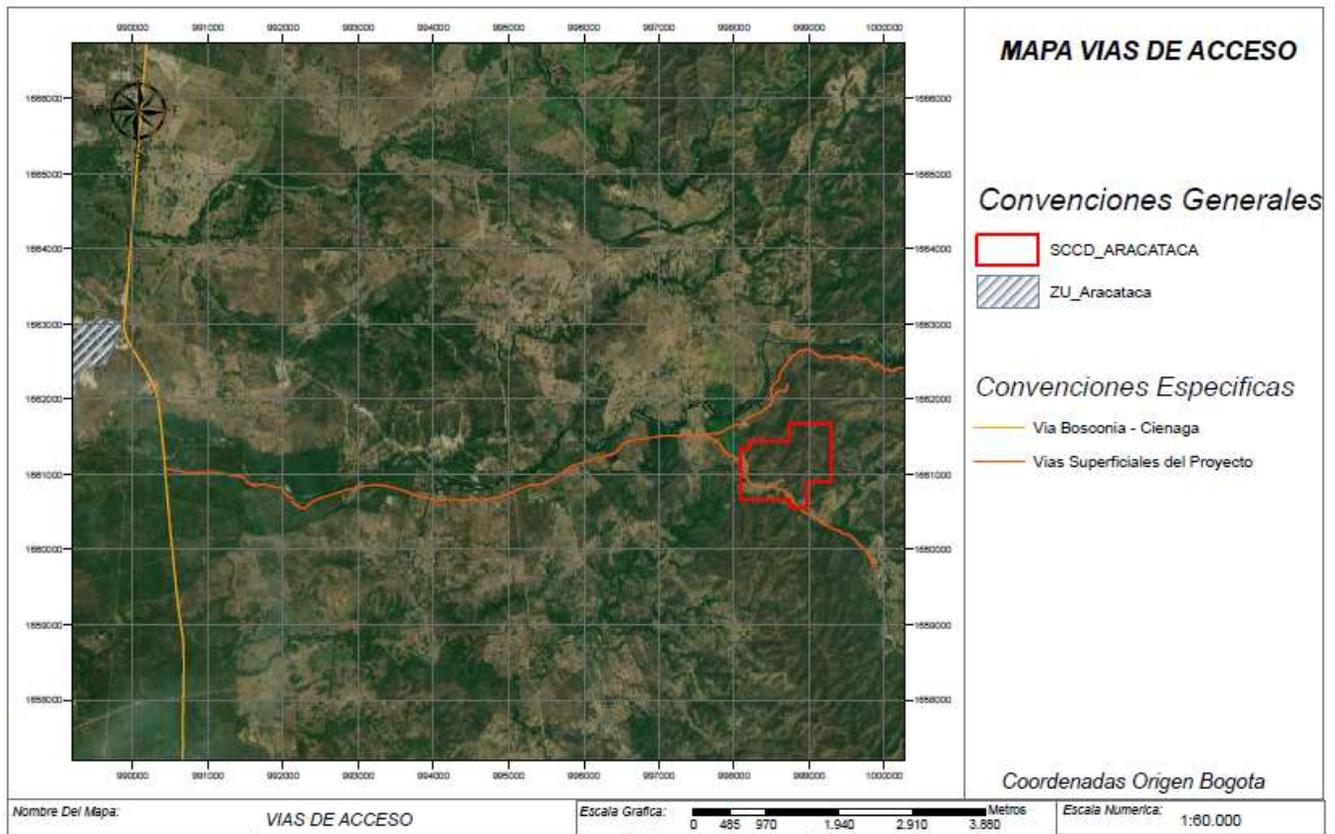
(TABLA # 1, Delimitación del contrato de concesión)



(FIGURA # 2, Mapa de delimitación del contrato de concesión (plataforma ANNA))

#### 4.1.2 VÍAS DE ACCESO AL TITULO

La vía de acceso a la solicitud de contrato se concesión diferencial, parte da la troncal del caribe, que comunica los municipios de Bosconia y de Ciénaga, con una dirección de sur a norte, en la desviación en el rio Aracataca.



(FIGURA # 3, Mapa de vías de acceso)

Para acceder al título, hay una vía carretable que lo cruza, con dirección a la vereda Macaraquilla, ubicada en dirección a la Sierra Nevada De Sanata Marta (Figura 3).



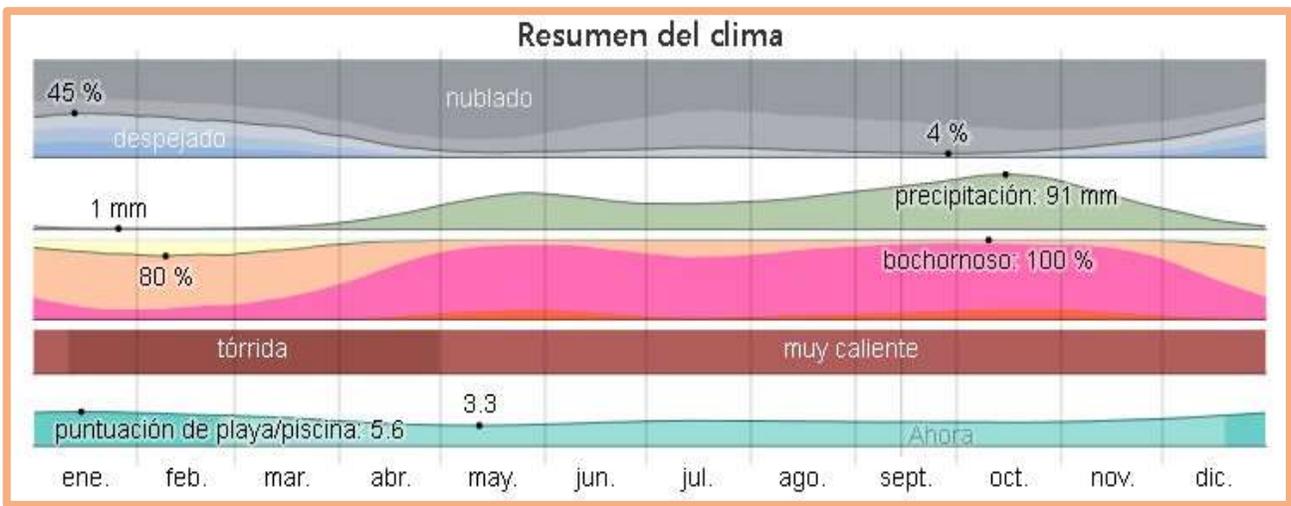
*(FOTOGRAFÍAS # 1, Vías de acceso)*

En las **Fotografías 1** se observa el estado actual de la vía carretables, que comunican con la solicitud. Se puede apreciar que en general el estado de la vía es bueno, pero en ciertos tramos hay un deterioro de esta por el invierno y la falta de mantenimiento. Con el desarrollo del proyecto se busca el mantenimiento óptimo de estas vías para el desarrollo de la zona.

## 4.2 CLIMA

En la exploración de campo se observó, el gran potencial de arrastre (Gravas y Arenas) que transporta la quebrada Macaraquilla y el río Aracataca, con el fin de entender la dinámica fluvial de estos drenajes, se hizo una recopilación del comportamiento del clima en la zona de estudio, porque estos factores tienen gran injerencia en el comportamiento hidrológico e hidrogeológico de los drenajes.

La recopilación bibliográfica del estado climatológico, se realizó sobre el Municipio de Aracataca, estación más cercana al título. La información es suministrada por el IDEAM que se mostraron en la **figura 4**.



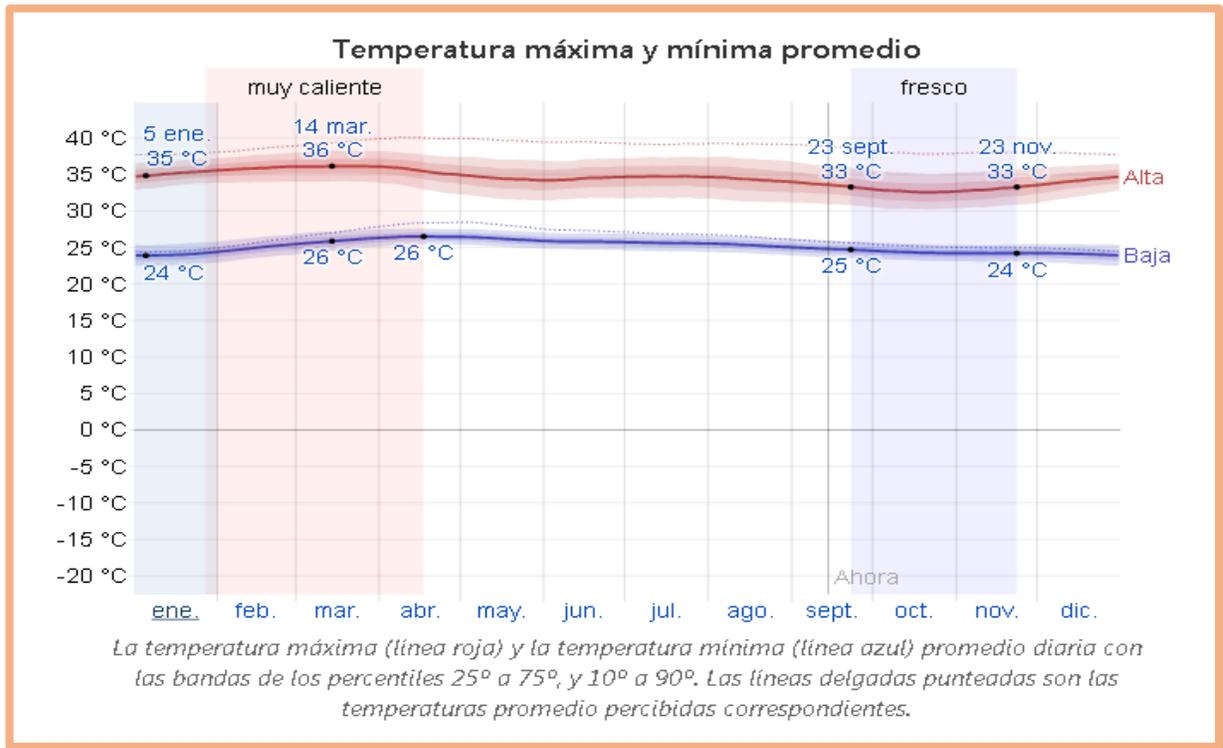
(FIGURA # 4, Grafico del clima anual para la región de estudio)

### 4.2.1 TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general.

La temperatura del medio ambiente está regida por la presión atmosférica y demás fenómenos que ocurren sobre esta.

En la siguiente grafica (**Figura 5**) se hace un análisis anual de las temperatura máxima y mínima de cada mes, resaltado la época del año con mayores temperatura y menores en la zona.



(FIGURA # 5, Grafico de temperatura para la región de estudio)

#### 4.2.2 PRECIPITACIÓN

Para poder comprender las dinámicas hidrológicas de los afluentes, es necesario analizar el comportamiento de las precipitaciones durante el año, para poder determinar las características hidrogeológicas y sedimentológicas del cauce.

En la siguiente grafica (**Figura 6**) se observa la probabilidad de precipitación para el municipio de Aracataca durante el año, marcando meses de días secos y húmedos, dependiendo si se alcanza el milímetro cubico diario es húmedo, si no es seco. La Probabilidad de precipitación está basada en la toma de datos en los años anteriores.

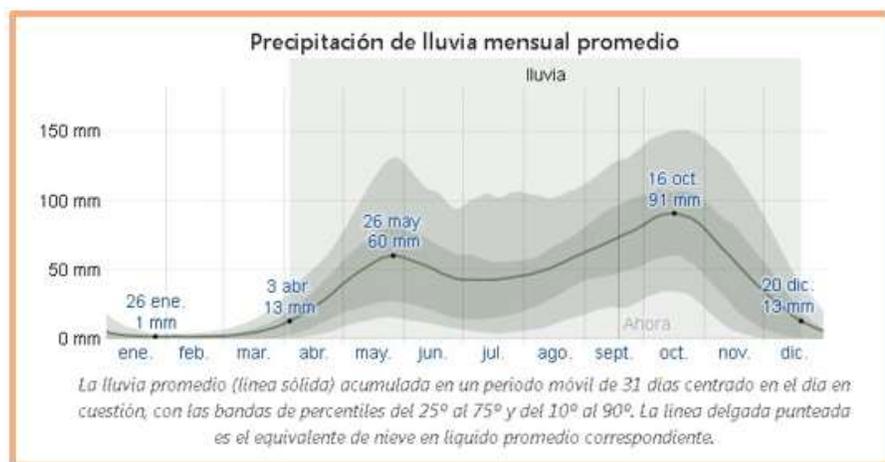


(FIGURA # 6, Grafico de probabilidad diaria de precipitación para la región de estudio)

#### 4.2.3 LLUVIA

La lluvia está ligada a la precipitación de la región, la cual está regida por los fenómenos climático, como el fenómeno de la niña y el niño, tormentas tropicales por estar cerca de la costa caribeña y de más cambios climáticos.

La siguiente grafica (**Figura 7**) representa el promedio mensual de precipitación de lluvia para el municipio de Aracataca para el año 2019, se espera que en los siguientes años no haya gran variación de los datos.



(FIGURA # 7, Grafico de precipitación de lluvia mensual para la región de estudio)

## 5. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONALES

### 5.1 CONTACTOS CON LA COMUNIDAD Y ENFOQUE SOCIAL

Durante todas las etapas que lleva este proyecto, se ha manifestado a la comunidad alrededor del contrato de concesión, el interés de desarrollar el proyecto minero, para el beneficio mutuo.

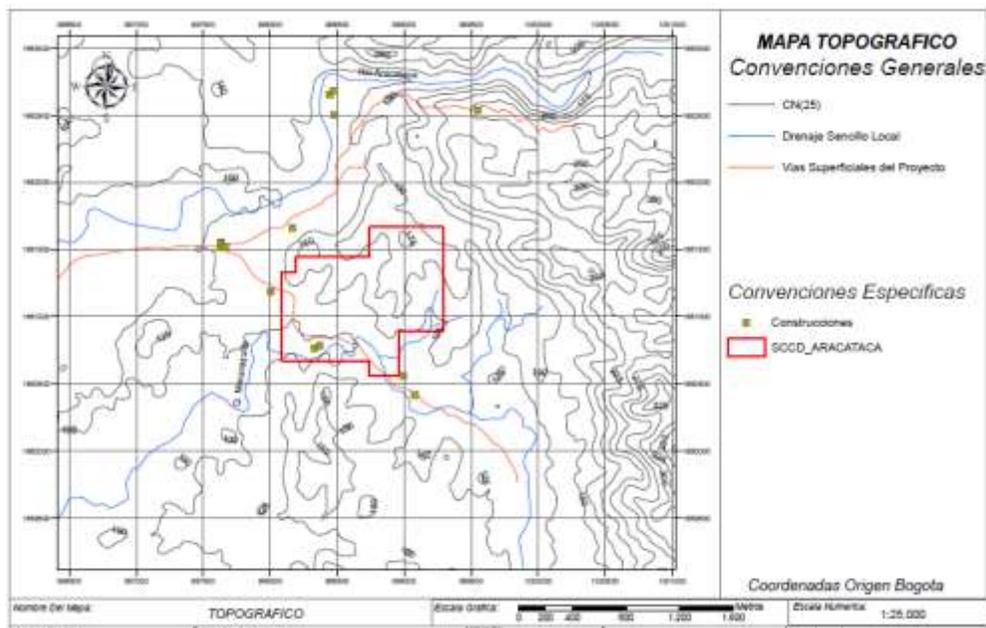
El mes de septiembre del 2020, se hizo una reunión con la comunidad, manifestando el interés minero de la zona, manifestando los beneficios que conlleva desarrollar el proyecto, como es la generación de empleo en diferentes áreas, el mantenimiento de las vías de accesos e inversión en la escuela de la vereda, entre otros, para generar un ambiente de prosperidad económica y social para la región.

### 5.2 TOPOGRAFÍA DEL ÁREA

Se realizó el levantamiento topográfico, a diferentes escalas, como lo sugiere la ANM en los términos de referencia para la solicitud del contrato de concesión diferencial. Los mapas topográficos se realizaron a partir del modelo de elevación digital (DEM) 12,5 metros de resolución, para un mejor detalle y exactitud.

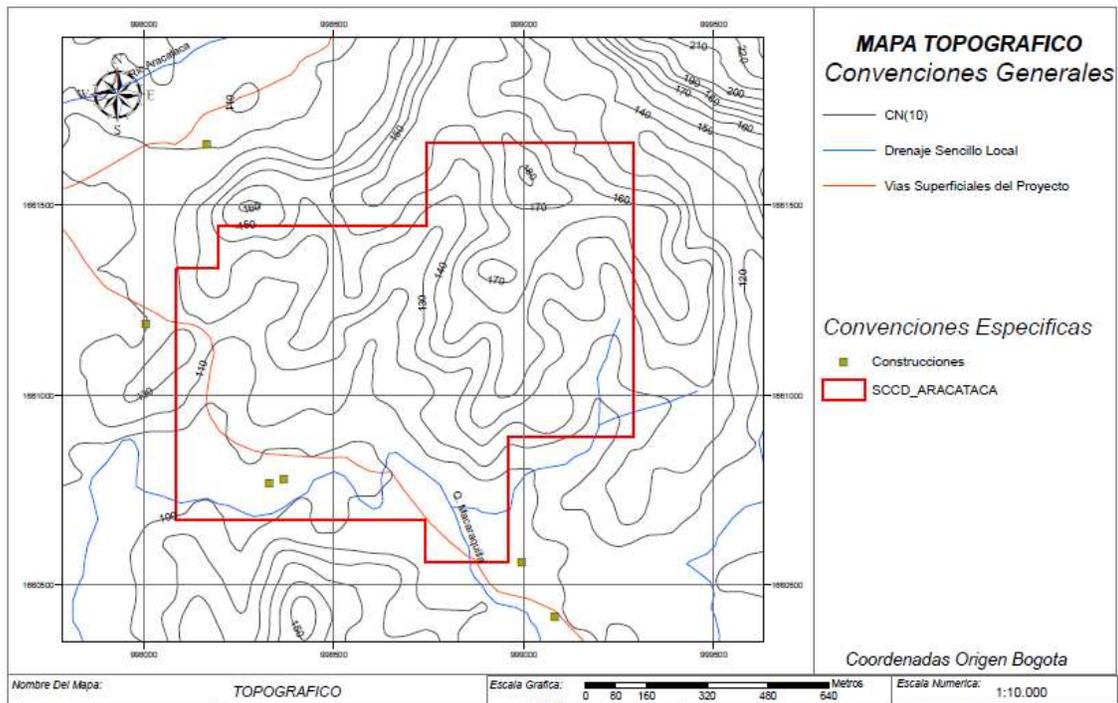
La información principal como; las vías primarias y terciarias, las construcciones y drenajes se adquirieron a partir de las planchas 25-II-D e imágenes satelitales.

En la **figura 8**, está el mapa topográfico a escala 1:25.000, con sus respectivas convenciones.



(FIGURA # 8, Mapa topográfico escala 1:25.000(Zona norte))

Siguiendo las recomendaciones de la agencia nacional minera (ANM), se realizó el mapa topográfico en el área de mayor interés exploratorio, con una escala menor, para tener mayor detalle de la zona, con curvas de nivel cada 10 metros como se observa en **la figura 9**.



(FIGURA # 9, Mapa topográfico escala 1:10.000)

## 5.3 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

### 5.3.1 GEOLOGIA REGIONAL

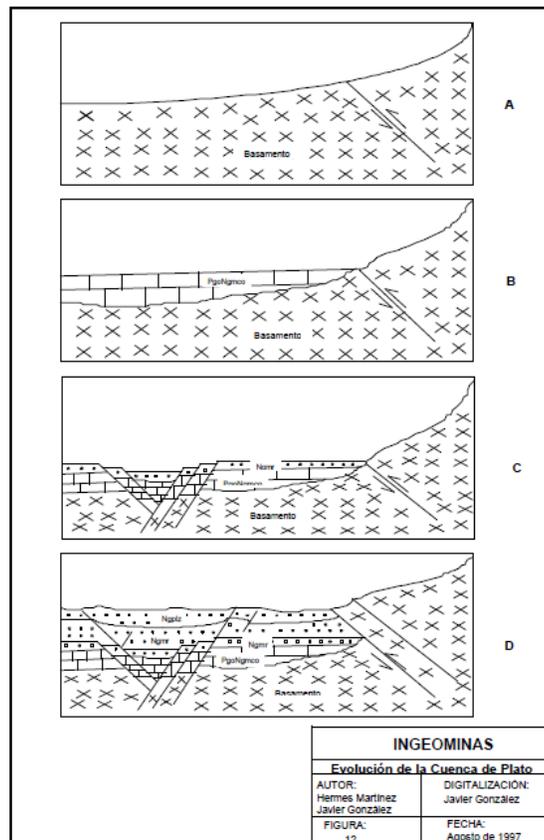
La solicitud de contrato de concesión diferencial, está ubicado en flanco occidental de la Sierra Nevada de Sanata Marta, donde hay un cambio geológico y topografía, debido a la falla Guamachito que pone en contactos unidades metamórficas del proterozoico, como es la granulita de los mangos y cuerpos ígneos intrusivos del pérmico hasta el jurásico, con unidades geológicas terrígenas de cenozoico y depósitos cuaternarios.

La evolución geológica de la zona comienza con un metamorfismo en el proterozoico, dando origen a la unidad granulita de los mangos, a finales del pérmico hasta el jurásico hubo varios cuerpos ígneos instruyendo a este. A finales de los 70, German Duque Caro propuso que el bloque de la Sierra

Nevada de Santa Marta estuvo conectado con la cordillera central, debido a la dinámica tectónica de la época, se desplazó hacia el norte. German Bayona con datos paleo-magnéticos y Camilo Montes proponen una serie de bloques rotacionales, que comenzó a desplazarse hace 50 MA hasta la posición actual, este desplazamiento da origen a la apertura de la cuenca inferior del Magdalena, la sub cuenca del Plato - San Jorge, y el acortamiento de la cuenca Cesar – Ranchería.

Los recientes estudios termo – cronológicos realizados por Diego Villagómez, sugieren que la exhumación de este bloque comenzó hace 65 MA hasta los 40 MA, durante este tiempo, se depositó la formación conglomerados de Macaraquilla, de un origen fluvio torrencial.

Durante el Oligoceno se inicia una ligera invasión del mar, y se origina la deposición de la Formación Ciénaga de Oro en la superficie plana. Esta formación corresponde a sedimentos de ambientes marinos someros. Hacia el Mioceno se inicia la deposición de la Formación Rancho y al tiempo se inicia una fase distensiva de la cuenca; se produce la apertura de dos ejes principales de depósito, uno muy profundo con dirección NW y el otro eje con dirección NE. En estas cuencas se genera espacio de acomodación, para posterior depositaciones, como la formación Zambrano, como se observa en la **figura 10**.



(FIGURA # 10, Modelo de la evolución tectónica de la zona de estudio (INGEOMINAS, memoria explicativa N 25))

### 5.3.1.1 Granulita De Los Mangos

Para la memoria explicativa de la plancha 26, de Ingeominas (2007), se ha denominado “Granulita de Los Mangos” a un conjunto de rocas metamórficas bandeadas que se halla ampliamente distribuido en toda la Sierra Nevada de Santa Marta; estas rocas se encuentran afectadas por metamorfismo de alto grado (granulitas, anfíbolitas y neises), generalmente presentan textura granoblástica y bandeamiento de espesor variable. En este informe se ha incluido dentro de esta unidad, a la secuencia metamórfica que aparece desde la Quebrada La Cristalina al sur hasta la Falla Donachui en la parte más alta de la sierra al norte, que fue denominada por Tschanz et al. (1969) como “Rocas Metamórficas no diferenciadas”(p.70)

Esta unidad aflora ampliamente en toda la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), sin embargo, se pueden señalar tres grandes cinturones regionales de granulitas asociados a trenes estructurales con dirección predominante NE - SW así:

- Cinturón occidental de granulitas asociado al sistema de las fallas de Sevilla, Don Diego y Las Vueltas; ubicado al occidente de una franja de intrusivos Triásico-Jurásicos que contienen un gran número de remanentes de Granulita de los mangos asociados a lineamientos estructurales con dirección NE - SW, especialmente observados en el Batolito Central.
- Cinturón central de granulitas que constituye la zona topográficamente más alta de la SNSM, fraccionada por intrusiones Jurásicas del Batolito de Bolívar y por la facies cuarzo monzonita del Batolito de Pueblo Bello y Patillal; esta franja se observa separada de la occidental por un conjunto de cuerpos intrusivos jurásicos.
- Cinturón oriental de granulitas asociado al sistema de las fallas de Ariguanicito, Palmarito, Atiquimaqueo y Ranchería, que en la cartografía geológica se observan como sectores de granulitas más homogéneos y extensos que los referenciados en los dos anteriores cinturones.

#### ➤ *Descripción Litológica*

Es una secuencia metamórfica de rocas densas, en capas paralelas, de grano medio a grueso, con textura granoblástica, de colores grises oscuros en los niveles máficos a ultramáficos y de colores claros en rocas de composición intermedia, el bandeamiento es característico, varía desde centímetros hasta cientos de metros, también presenta delgadas capas calcáreas (mármol) con diópsido y calcosilicatadas intercaladas con las granulitas. Esta unidad es dividida por Tschanz et al., (1969) de acuerdo con sus características petrográficas en los siguientes grupos de granulitas: (1) cuarzo pertíticas, (2) de composición intermedia, (3) máficas, (4) calcáreas, (5) ultramáficas y (6) ricas en granate. Las descripciones detalladas presentadas a continuación corresponden a las observaciones realizadas en campo, incluye las descripciones de afloramiento (**Figura 11**) y de muestras de mano, además de los análisis petrográficos Ingeominas (2007).



(FIGURA # 11, Fotografía de INGEOMINAS de la unidad Granulita de los Mangos (Memoria explicativa N 26))

### ➤ *Contactos*

La unidad “Granulita de Los Mangos” es la unidad más antigua que aflora en la SNSM, por esta razón se desconoce la naturaleza de su contacto inferior; generalmente se encuentra esta unidad intruida por cuerpos plutónicos del Jurásico o del Terciario y es cubierta por unidades metamórficas de menor grado o por rocas volcánicas. Ingeominas (2007).

A pesar de que el contacto no se observó en el terreno, la unidad “Granulita de Los Mangos” se encuentra en contacto intrusivo con rocas plutónicas pertenecientes al Batolito Central y al Plutón de Buriticá. Se observan contactos de tipo intrusivo de varios cuerpos de tonalita horbléndica del “Batolito de Santa Marta y Plutón de Buriticá” penetrando niveles de la “Granulita de Los Mangos”

### ➤ *Edad y Correlación*

Las dataciones radiométricas efectuadas en rocas pertenecientes a la unidad “Granulita de Los Mangos” se relacionan en la **Tabla 2**.

Restrepo-Pace et al. (1997) con base en los anteriores datos correlaciona las granulitas de la SNSM con rocas similares datadas radiométricamente provenientes del basamento andino del Macizo de Garzón y del Macizo de Santander en Colombia; Tschanz et al. (1969), las correlacionan con niveles de La Serranía de Perijá en Colombia y del Macizo de Mérida en Venezuela. Igualmente, rocas similares son reportadas en el Complejo de borde de falla de Imacata en la parte noreste del Escudo de la Guyana en Venezuela donde se reporta granulitas de edad radiométrica de 3.136 m.a. (Martin-Bellizia, 1968, map).

Ordoñez et al. (1999), reportan edades modelo TDM para isócrona Sm-Nd con el par Granate - Roca Total, con valores entre 1.47 y 1.92 Ga, lo que sugiere que los protolitos de la secuencia vulcano-sedimentaria son tan antiguos como 1.9 Ga. De igual forma reportan una edad isocrónica de  $971 \pm 8$  m.a., valor que es interpretado como la edad del metamorfismo de facies granulita responsable de la formación de estas rocas y asociado con la orogenia Greenville. Ingeominas (2007).

Litología	Tipo de Análisis	Autor	Material Analizado	Edad - millones de años (m.a.)	Edad
Neis cuarzo pertítico	Rb-Sr	Tschanz et al., 1974	Roca total	$752 \pm 70$	Precámbrico
Neis cuarzo pertítico	Rb-Sr	Tschanz et al., 1974	Roca total	$1300 \pm 100$	Precámbrico
Neis Hornblenda-piroxeno-granate-plagioclasa	K-Ar	Tschanz et al., 1974	Hornblenda	$940 \pm 30$	Precámbrico
Granulita	Rb-Sr	Faure D., 1978	Roca total	$1300 \pm ?$	Precámbrico
Granulita	Ar-Ar	Restrepo-Pace et al., 1995	Biotita	$561 \pm 6$	Precámbrico
Neis cuarzo pertítico	Ar-Ar	Restrepo-Pace et al., 1995	Biotita	$845 \pm ?$	Precámbrico
Granulita	Sm-Nd	Restrepo-Pace et al., 1995		$1720 \pm ?$	Precámbrico
	U-Pb	Restrepo-Pace et al., 1997	Circón	$1513 \pm 35$	Precámbrico
Neis cuarzo pertítico	U-Pb	Restrepo-Pace et al., 1997	Circón	$456 \pm 60$	Precámbrico
Anfibolitas, neises y granulitas	Sm-Nd	Ordóñez et al., 1999	Granate - roca total	$971 \pm 8$	Precámbrico

(TABLA # 2, Unidades Cronológicas del precámbrico, (INGEOMINAS, memoria explicativa N 26))

### 5.3.1.2 Batolito De Bolívar

El Batolito de Bolívar es un cuerpo plutónico de composición tonalítica a granodiorítica (Gansser, 1955), que aflora en la parte alta al occidente de la SNSM, especialmente hacia el pico Bolívar (5.800 msnm, aproximadamente) que es el que le otorgó el nombre a la unidad, Ingeominas (2007). En el presente estudio se incluyen dentro del batolito, tonalitas que en el mapa de Tschanz et al., (1969) (p. 162).

### ➤ *Descripción Litológica*

El Batolito de Bolívar consta de rocas plutónicas de composición granodiorítica a tonalítica, de colores claros, se encuentra intruido por diques aplíticos y pegmatíticos con alto contenido de feldespato potásico, estos diques son cortados por diques diabásicos.

Consiste en roca plutónica de composición intermedia, textura fanerítica, grueso granular, holocristalina, hipidiomórfica, índice de color 50, con plagioclasa (60% a 85%), cuarzo (10% a 30%) y feldespato potásico ( $\leq 10\%$ ); minerales máficos como anfíbol con textura poiquilítica (30%), y biotita (20%) del total de la roca como se aprecia en la **figura 12**; y minerales de alteración como epidota, clorita, flogopita y pirita; se observa leve orientación de los minerales y de los enclaves; estos últimos son irregulares, alargados, de composición máfica, de  $< 10$  cm de longitud, Ingeominas (2007).



(FIGURA # 12, Fotografía de INGEOMINAS de la unidad Batolito de Bolívar, (Memoria explicativa N 26) )

### ➤ *Contactos*

El Batolito de Bolívar está en contacto intrusivo con el Batolito de Aracataca al sur, con el Batolito Central al norte y noreste, con la unidad “Gabros y dioritas hornbléndicas máficas” al oeste y con la “Granulita de Los Mangos” al oeste y al sureste. Algunas ‘ventanas’ de rocas metamórficas pertenecientes a la “Granulita de Los Mangos” se observan dentro del batolito, Ingeominas (2007).

Por la vía que lleva de Aracataca a la Vereda La Fuente se pueden observar rocas de textura y composición similar, que han sido cartografiadas como “Gabros y dioritas hornbléndicas máficas” o como Batolito de Bolívar, sin embargo, en campo es muy difícil determinar el contacto entre estas dos unidades.

➤ *Edad y Correlación*

No hay dataciones en esta unidad y su edad no es conocida con certeza. Podría ser Jurásico Medio o Superior como el Batolito Central o incluso más viejo. Las observaciones hechas en campo permiten sugerir que el Batolito de Bolívar y los “Gabros y dioritas hornbléndicas máficas” pueden hacer parte del mismo plutón; además Tschanz et al. (1969), sugieren que el Batolito de Bolívar puede hacer parte del Batolito Central según las observaciones de Gansser (1955). Ingeominas (2007).

### 5.3.1.3 Conglomerados de Macaraquilla

En los nacimientos de la quebrada Macaraquilla, en una faja de 2 km<sup>2</sup>, y conforman un relieve abrupto con pendientes fuertes y terminaciones angulosas por efecto de fallamiento.

➤ *Descripción Litológica*

Para la memoria explicativa de la plancha 25, de Ingeominas (2003). Los conglomerados de Macaraquilla están constituidos por conglomerados de guijarro a guijo, grano-soportados redondeados, compuestos de roca cristalina, en matriz arenolodosa, compactos. Se disponen en capas tabulares de 1 a 5 y 7 m con capas delgadas discontinuas lenticulares de arenisca gruesa, granos bien calibrados y bien redondeados como se observa en la **figura 13**. Se presentan intercalados con areniscas de grano medio a grueso, bien calibradas de color amarillo pardo con materia orgánica, carbonosa y micácea, con laminación plana a ondulosa paralela en capas tabulares gruesas y lodolitas con laminación plana paralela continua, micáceas y con materia orgánica de color gris verdoso y amarillento. (p. 27)



(FIGURA #13, Fotografía de INGEOMINAS de la unidad Conglomerados de Macaraquilla, (Memoria explicativa N 25))

➤ **Contactos**

La posición estratigráfica de esta unidad es dudosa, pero por efecto de la Falla Tres Vueltas se encuentra en contacto fallado e indefinido con la Unidad Arenosa de Fundación. Las relaciones estratigráficas no están bien definidas entre los conglomerados de Macaraquilla y los Gabros y Dioritas hornbléndicas. La diferenciación de esta unidad es clara hacia el norte, pero al sur no fue posible verificar su presencia, así que se estableció la Falla Tres Vueltas como el límite entre ésta y la Unidad Arenosa de Fundación. Ingeominas (2003).

➤ **Edad y Correlación**

Esta unidad se considera de edad más antigua que la edad de la Unidad Arenosa de Fundación. Su posición relativa en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, el tipo de litología y grado de compactación y la inclinación de los estratos hacia el oeste, aunque exagerada por acción de la falla, hacen pensar que puede representar un depósito de abanico más antiguo que los depósitos en el sector norte, de la Sierra Nevada, que permite asignarles edad paleógena, probablemente del Paleoceno - Eoceno dudoso. Tschanz et al. (1969) mencionan conglomerados dentro de las Gravas de Fundación, aunque afirma que no son abundantes hacia la Sierra Nevada, sin embargo, describe conglomerados con guijos de 10 a 15 cm, bien redondeados a lo largo del frente montañoso en nacimientos del río Tucurínca, Ingeominas (2003).

➤ **Ambiente**

Los Conglomerados de Macaraquilla son de origen continental y están conformados por fajas de sedimentos derivados de abanicos aluviales depositados al pie de pendientes montañosas.

#### **5.3.1.4 Formación Zambrano**

Weiske (1938, en De Porta, 1974) introdujo el termino de capas de Zambrano para referirse a areniscas calcáreas con bancos fosilíferos aflorantes en los alrededores del municipio de Zambrano a orillas del río Magdalena. (p. 34).

➤ **Descripción Litológica**

La unidad geológica se puede separar en dos conjuntos: un conjunto inferior (A) con predominio arcilloso y uno superior (B) con predominio arenoso. Ingeominas (2003).

Conjunto A: corresponde a la parte inferior de la sección, con las siguientes características:

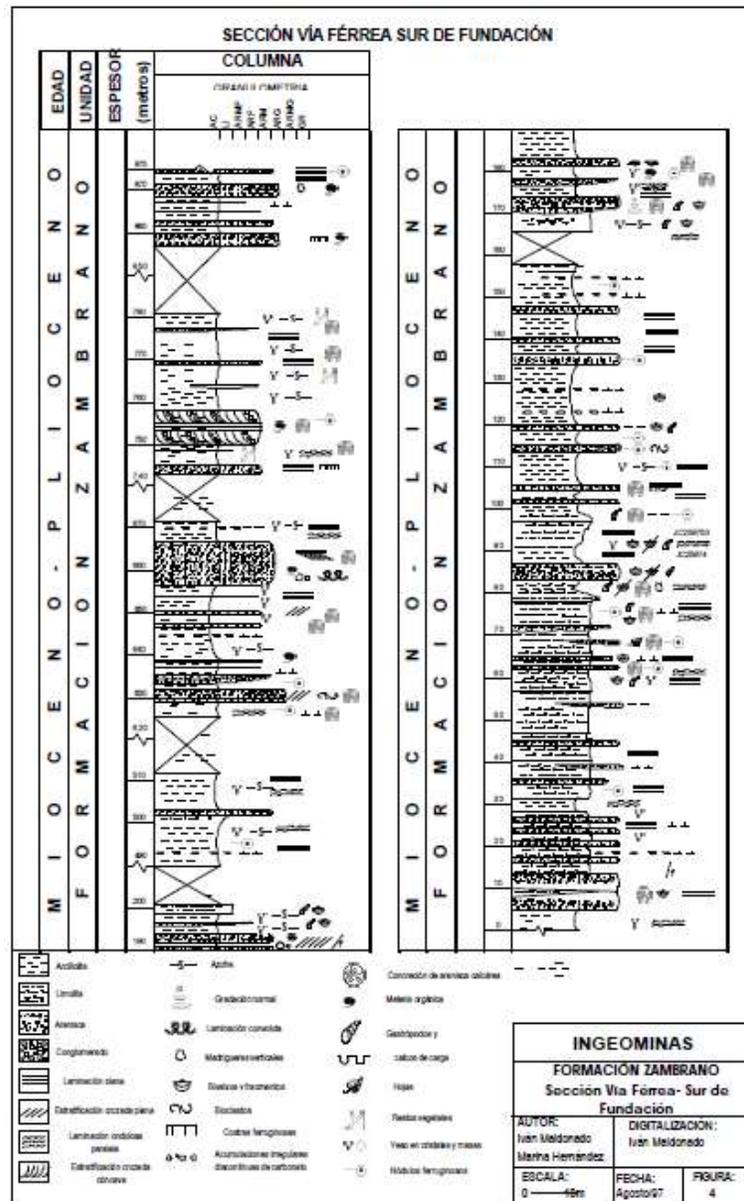
Lodolitas grises, silíceas, localmente calcáreas, laminación plano paralela en capas delgadas a gruesas, frecuentemente fisiles; por alteración tienen una coloración amarilla y se presentan costras de oxidación de hasta 2 cm de espesor concordantes con la estratificación, de igual forma, láminas de yeso. Intercaladas aparecen areniscas sublíticas, de grano fino, amarillo claro, alteradas son amarillo oscuro a pardo, dispuestas en capas delgadas a gruesas, masivas o con laminación plano paralela u ondulosa.

Con frecuencia aparecen areniscas calcáreas bioclásticas con abundante contenido fósil de bivalvos y gasterópodos thalassionoides, en capas medianas y gruesas. Asociado con las lodolitas se encuentra yeso de hasta 1 cm de espesor, entre los planos de estratificación y a veces en diaclasas. Espesor del Conjunto A: 255 m.

Conjunto B: corresponde a la parte superior de la sección y se caracteriza por: areniscas de grano fino sublíticas en capas delgadas a gruesas, con predominio de las últimas; de color amarillo claro a rojizo, cemento silíceo o calcáreo, internamente son masivas, ocasionalmente con laminación plano paralela a ondulosa. Son frecuentes capas medianas y gruesas de areniscas calcáreas bioclásticas, caracterizadas por el contenido de ostreidos, bivalvos y gasterópodos (**Figura 14**), también son frecuentes concreciones de areniscas calcáreas hasta de 40 cm de espesor. Se intercalan lodolitas grises, fisiles con laminación plano paralela en capas delgadas y medianas; alteradas son amarillo claras; se presenta yeso traslúcido de hasta 3 cm de espesor. Espesor del conjunto: 265 m. En **la figura 15** se puede apreciar el levantamiento de la columna estratigráfica de esta unidad, por el INGEOMINAS



(FIGURA # 14, Fotografía de INGEOMINAS de la unidad Formación Zambrano (Memoria explicativa N 25))



(FIGURA # 15, Columna estratigráfica para la formación Zambrano (INGEOMINAS, memoria explicativa N 25))

➤ **Contactos**

Su límite inferior no se observa en campo y su límite superior no está expuesto. La definición de sus contactos es fotogeológica con control de campo. En el área, la Formación Zambrano está sobre la Formación Jesús del Monte con un contacto que no se observó en campo, Campo de La Cruz, como concordante (Reyes et al., 1994); el contacto superior es discordante con la Unidad Arenosa de Fundación, en el resto del área aparece cubierta por depósitos cuaternarios recientes. Ingeominas (2003).

### ➤ *Edad y Correlación*

De acuerdo con la microfauna estudiada (Duque-Caro et al., 1996) y la descrita por Peters & Sarmiento (1956), la edad corresponde al Plioceno temprano. La Formación Zambrano se correlaciona con la Formación Tubará del área de Barranquilla y con la Formación Cerrito del área de Sincelejo. Igualmente es equivalente a la llamada Serie de Fundación de Oppenheim (1942, en De Porta, 1974) del área de Fundación. Ingeominas (2003).

### ➤ *Ambiente*

Duque-Caro et al. (1996), postulan un ambiente marino muy somero y un depósito de relleno de canal con abundante contenido de conchas transportadas; igualmente postulan una asociación en ambientes de pantanos y lagunas evaporíticas.

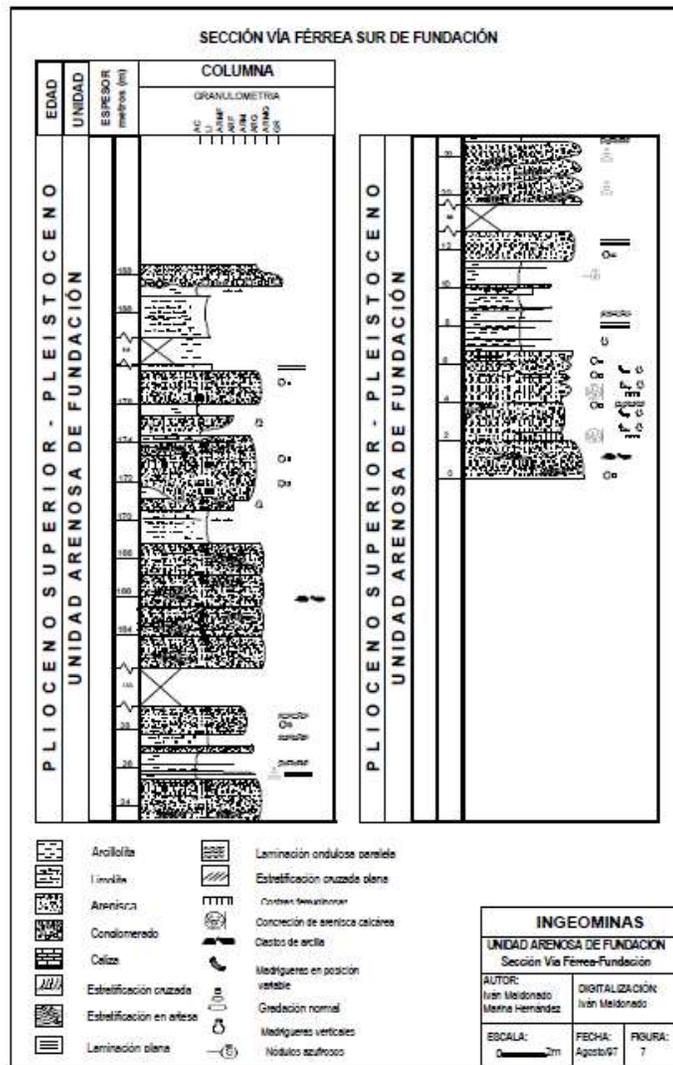
## 5.3.1.5 Unidad Arenosa de Fundación

### ➤ *Descripción Litológica*

Esta unidad es predominantemente arenosa, mal consolidada, con las capas diferenciables por cambios tonales. Está constituida por areniscas de grano grueso y medio, y menos frecuentemente areniscas de grano fino, con abundante bioturbación, thalassinoideos y madrigueras con niveles irregulares delgados de conglomerado e intercalaciones de arcillolitas - limolitas vari coloreadas, localmente con acumulaciones de carbonato. Las areniscas presentan estratificación plana paralela, cruzada plana a cóncava y convoluta, evidenciada por la presencia de halos y costras ferruginosas, la superficie expuesta muestra una estructura mamilar con aspecto de flujo muy característica; las lodolitas muestran estratificación plana paralela. La geometría de las capas es tabular y lenticulares, algunas bastante irregulares con espesores de pocos centímetros a espesores de 5 a 7 m en las areniscas (**Figura 16**). Los contactos son planos a muy irregulares en la base de las areniscas, que pueden gradar lateralmente a lodolitas o que cortan capas de lodolitas y areniscas finas. La estratificación es apenas visible evidenciada por cambios de color en la roca. El rasgo que diferencia esta unidad de la Formación Zambrano es su carácter arenoso friable, la presencia de niveles irregulares conglomeráticos y halos ferruginosos y su intensa bioturbación, además, las arcillolitas y limolitas son, por lo general, vari coloreadas. Ingeominas (2003). (p. 49)



(FIGURA # 16, Fotografía de INGEOMINAS de la unidad Arenosa de Fundación (Memoria explicativa N 25))



(FIGURA # 17, Columna estratigráfica para la unidad arenosa de Fundación (INGEOMINAS, Memoria explicativa N 25))

### ➤ *Contactos*

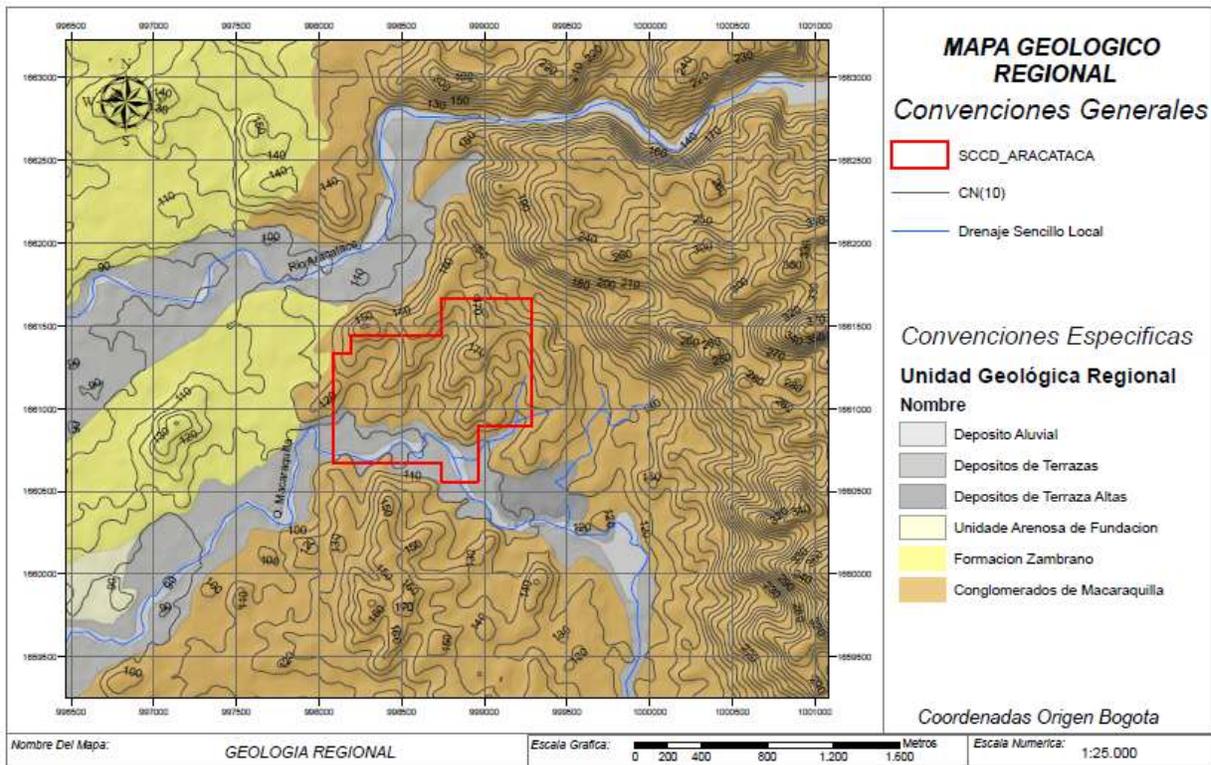
El contacto inferior de la Unidad Arenosa de Fundación parece ser discordante con la Formación Zambrano, sin embargo, los datos estructurales de la sección vía férrea de Fundación en estas dos formaciones insinúan un contacto concordante y gradacional. El contacto de esta unidad con cuerpos plutónicos de edad triásico-jurásica no ha sido determinado, mientras que el contacto con los Conglomerados de Macaraquilla de edad paleógena es fallado y en parte no se ha definido. Los límites de esta unidad no han sido establecidos con precisión y, por lo tanto, sus contactos tampoco están bien definidos. El límite inferior se estableció para el sitio donde se levantó la columna (**Figura 17**), después de un cubierto de 204 m y la aparición de un conjunto de areniscas medias bastante bioturbadas con abundantes tubos verticales. En este sector, las capas de la Formación Zambrano parecen ser discordantes respecto a la Unidad Arenosa de Fundación, ya que éstas presentan inclinaciones bastante suaves, menores a 30°, respecto a la Formación Zambrano con valores de 50° a 70°, sin embargo, al occidente, los datos son concordantes, lo que hace suponer que es el resultado de un comportamiento estructural. Ingeominas (2003).

### ➤ *Edad y Correlación*

Tschanz et al. (1969) mencionan una unidad clástica de grano grueso bajo el nombre informal de ‘facies Molasa’, incluían algunas gravas que afloran en cercanías de Fundación. Estas rocas de la facies Molasa’ y que corresponden a la unidad definida aquí como Unidad Arenosa de Fundación, incluyen dos áreas cerca a Fundación y Aracataca, en donde afloran gravas y arenas gruesas definidas informalmente por geólogos de la Shell (Tschanz et al., 1969), como Conglomerados de Macondo, debido a que afloran sobre la quebrada de este nombre, y Conglomerados de Aracataca, respectivamente. Según Tschanz et al. (1969), la edad es probablemente miocena media o tardía, debido a que se identificaron formas de edad miocena a la base de esta unidad y a que descansa sobre la unidad ‘facies de cuenca’. Ingeominas (2003).

### ➤ *Ambiente*

Teniendo en cuenta las características de la unidad, se deduce un ambiente de litoral con facies de canal probablemente más relacionados con la presencia de estuarios.



(FIGURA # 18, Mapa geológico regional escala en 1:25000)

En la **figura 18** se observa el mapa de geología regional a escala 1:25000, con las unidades geológicas que lo componen.

### 5.3.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la solicitud contrato de concesión diferencial y sus alrededores, pasa el Sistema de Fallas de Santa Marta, el cual es descrito en la literatura como un conjunto de estructuras con rumbo  $N19.1^{\circ}W \pm 23^{\circ}$  y cinemática tipo lateral izquierdo con componente vertical inversa (París et al., 2000). Este tipo de cinemática de acuerdo con el elipsoide de deformación generaría fallas NW de tipo normal, fallas de tipo inverso y pliegues con tendencia al NE, y fallas EW dextrales de tipo normal (Keller, 1986).

Gracias a la injerencia que tiene sistema de falla Sanata Marta sobre la zona, genera estructuras geológicas, como fallas y pliegues, de nivel local como regional.

#### 5.4.2.1 Estructuras Regional

**Falla Santa Marta.** París et al. (2000) describen la Falla de Santa Marta como un lineamiento topográfico fuerte fácilmente reconocible en imágenes de satélite y aerofotografías que se caracteriza porque su traza está marcada por cambios abruptos en las pendientes entre los bloques oriental y occidental. Tiene una longitud de 374.1 Km, un rumbo promedio de  $N19.1^{\circ}W \pm 23^{\circ}$  y un buzamiento fuerte al E hasta vertical (París et al., 2000). Según estos autores, el sentido del movimiento es sinistral e inverso, la tasa de movimiento es desconocida y la edad del último movimiento es probablemente cuaternario (<1.6 m.a.).

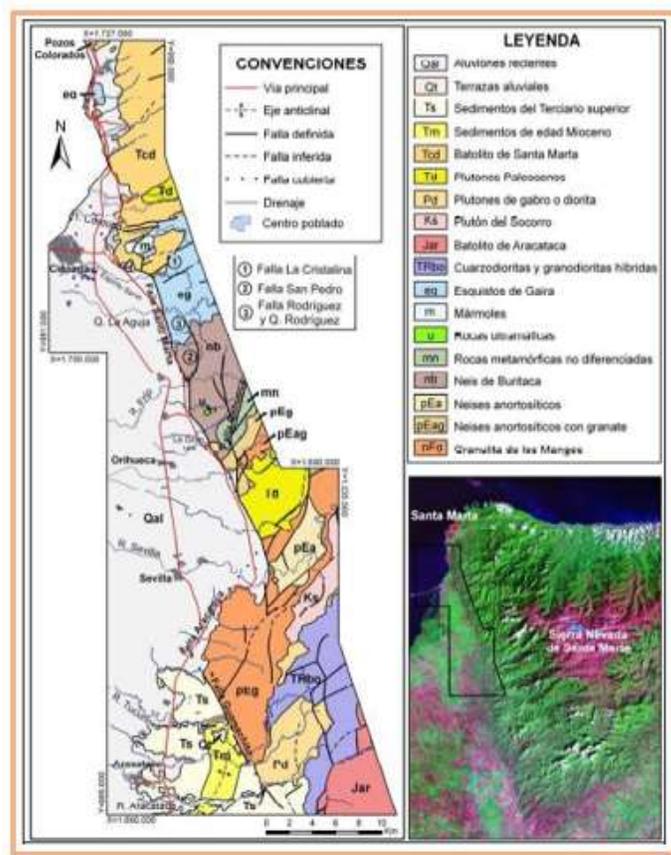
Según la cartografía a escala 1:100.000 realizada por Hernández (2003) entre Santa Marta y Ciénaga (Magdalena), la Falla de Santa Marta domina el patrón de fallamiento en la zona y pone en contacto las rocas cristalinas de la Sierra Nevada de Santa Marta con rocas más recientes del valle fluviolacustre de la Ciénaga Grande de Santa Marta (**Figura 19**). También se observan rasgos geomorfológicos que confirman el carácter rumbo deslizante de la falla, como ganchos, lomos de obturación y presión (sector de las quebradas Espíritu Santo y Rodríguez) (Hernández, 2003).

#### 5.4.2.2 Estructuras Local

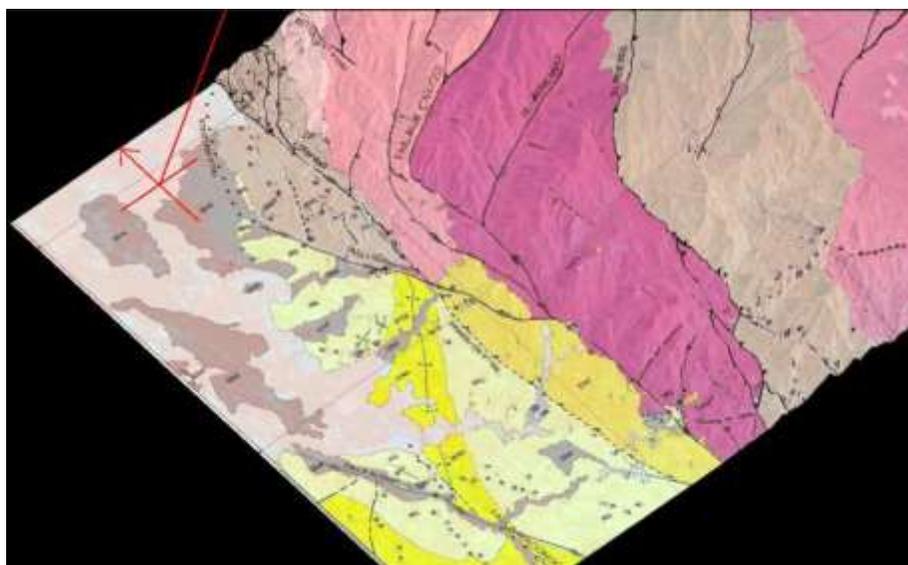
**Falla Guamachito.** Es una estructura inversa de rumbo  $N30^{\circ}W$  y 21 Km de longitud que transporta las rocas precámbricas de la Granulita de los Mangos y los batolitos de Aracataca y bolívar de edad permo-triásica sobre rocas sedimentarias del Cenozoico (GEOSEARCH, 2007) (ver **Figura 20**).

**Falla Rio Piedras:** Es una estructura inversa, de rumbo predominante NS y 5 Km de longitud, que pone en contacto formaciones del cenozoico, como los son los conglomerados de Macaraquilla y la unidad arenosa de fundación. (GEOSEARCH, 2007) (ver **Figura 20**).

**Anticlinal de Fundación:** Es una estructura originada por los esfuerzos compresivos de la placa del caribe con la Sierra Nevada de Santa Marta, afectando la formación Zambrano, la unidad arenosa de fundación y los depósitos cuaternarios. El eje del anticlinal tiene un rumbo  $N 55 E$ , con una longitud de 3 Km.

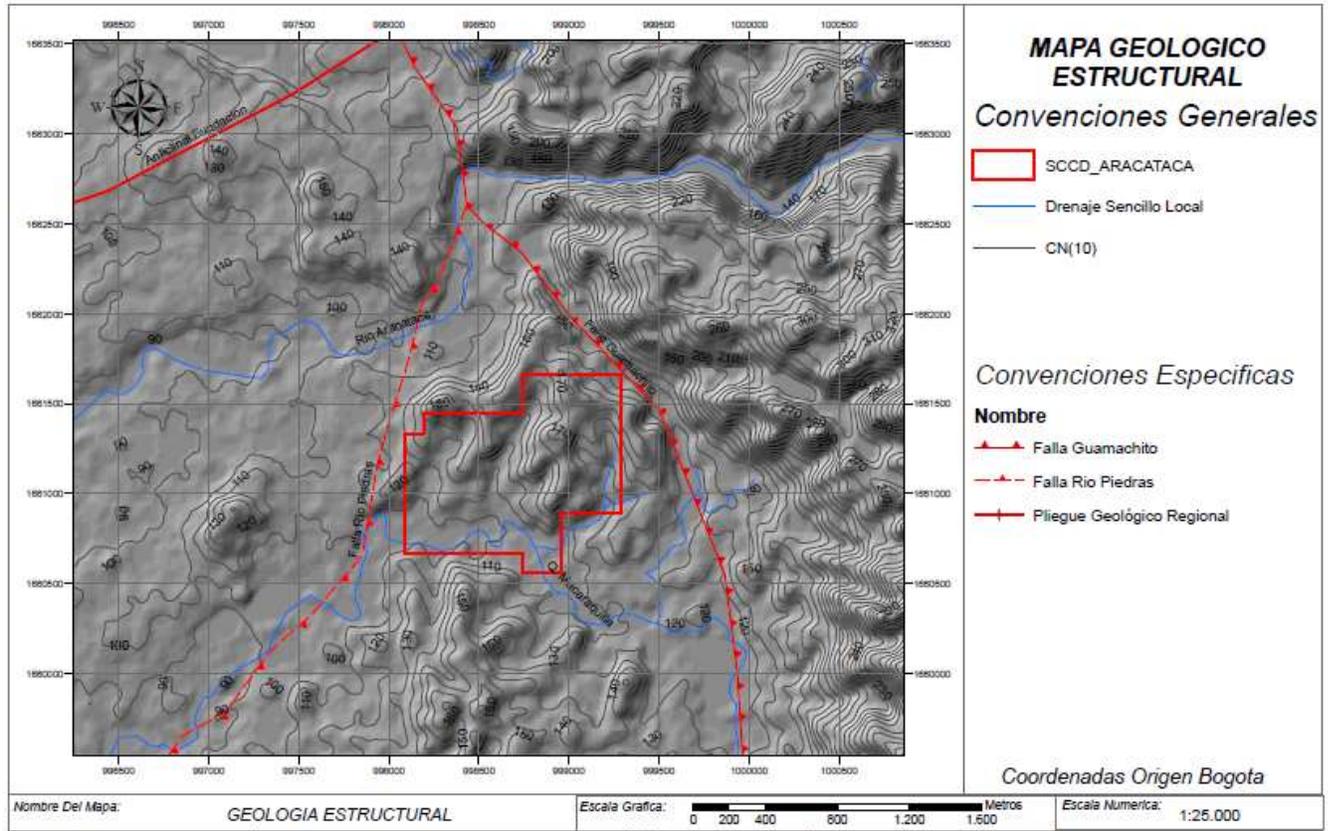


(FIGURA # 19, Mapa geológico-estructural del costado occidental de la SNSM, Thermochronology, geochronology and geochemistry of the Western and Central cordilleras and Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia: The tectonic evolution of NW South America)



(FIGURA # 20, Modelo estructural (INGEOMINAS, memoria explicativa N 26))

En la **figura 21** se puede apreciar las unidades geológicas estructurales como fallas y anticlinales, que tiene injerencia en la zona de estudio y sus alrededores.



(FIGURA # 21, Mapa geología estructural)

### 5.3.3 GEOMORFOLOGÍA

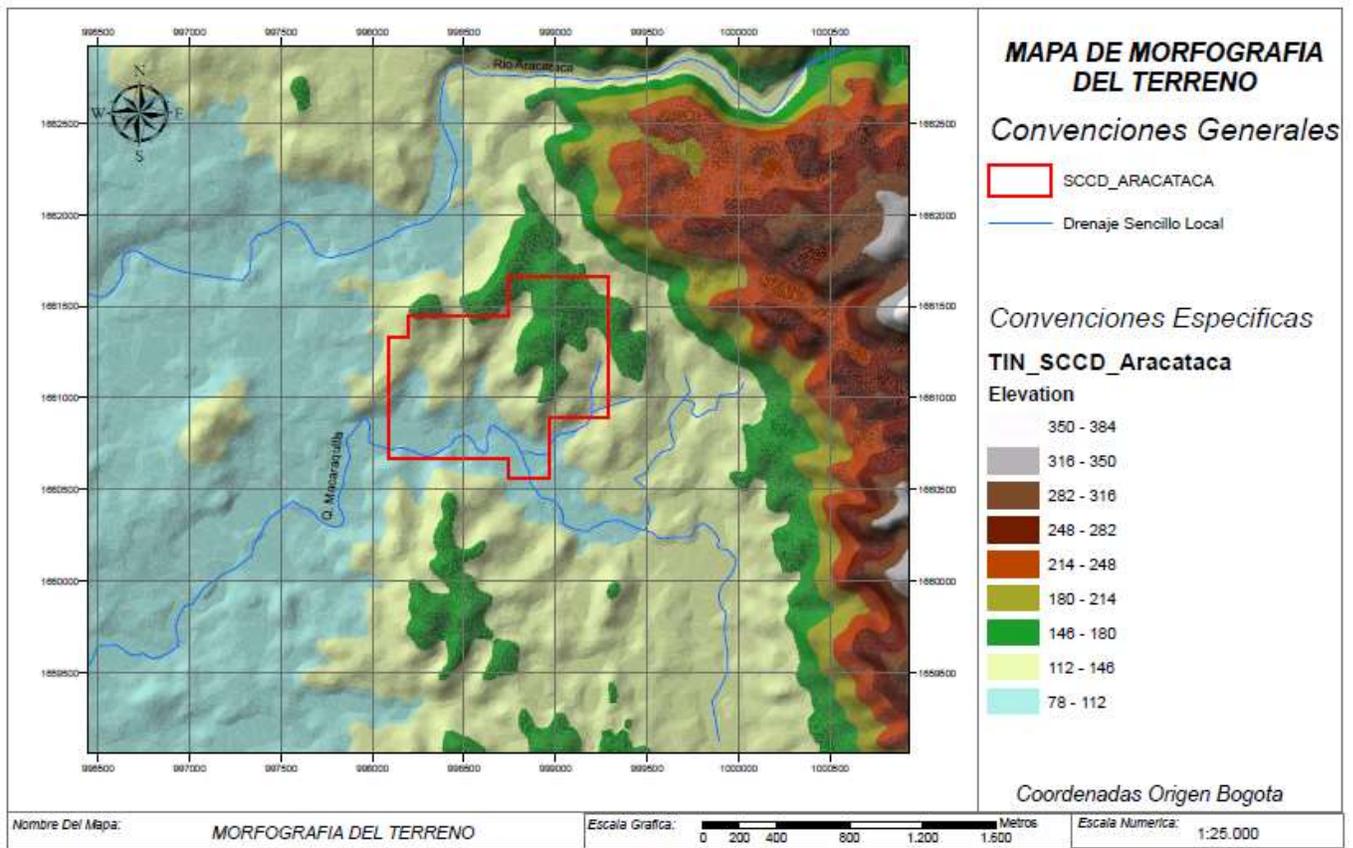
En este capítulo se presentan los estudios y análisis geomorfológicos, con el objetivo de tener una mejor comprensión del origen y evolución del relieve de la zona de estudio (flanco occidental de la Sierra Nevada De Sanata Marta).

En la solicitud de contrato de concesión y a sus alrededores, se observa la transición de geomorfogenesis que va del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta a la cuenca del Valle Inferior del Magdalena.

Para realizar los estudios geomorfológicos de la zona de estudio, se utilizó la metodología del IGAC (Guía Metodológica), con el fin de tener mayores herramientas técnicas, y unificación de conceptos.

### 5.3.3.1 Morfografía

En términos generales, la morfografía se encarga del análisis de las formas del relieve. En este estudio la evaluación del componente morfográfico, se hace desde el punto de vista de la morfometría, obteniendo de esta última los parámetros necesarios para caracterizar el relieve en el área de la solicitud de contrato de concesión (**Figura 22**).



(FIGURA # 22, Mapa de morfografía)

### 5.3.3.2 Morfometría

Las características morfométricas permiten describir el relieve de una manera cuantitativa, estas son estudiadas con relación a sus propiedades topográficas y características geométricas; dadas por los rangos de las pendientes, curvaturas de la ladera y el índice de rugosidad del terreno.

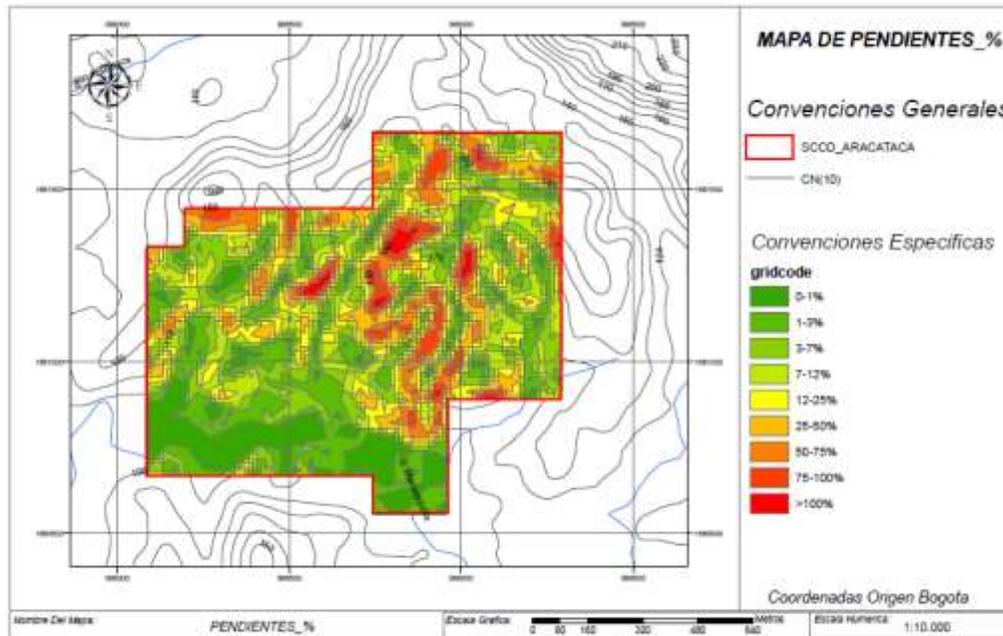
Para el análisis morfométrico se utilizó el Modelo de Elevación digital (DEM) e imágenes satelitales. El modelo de elevación digital utilizado de Colombia, con una resolución 12.5 m.

## ➤ La pendiente

La pendiente corresponde a la relación entre la posición vertical del terreno respecto a la variación en la posición horizontal. La obtención de la pendiente parte del modelo digital de elevación del proyecto y su análisis es importante, ya que da indicios de la estabilidad del terreno en la medida en que conforme disminuye el valor de la pendiente, disminuye proporcionalmente la susceptibilidad a presentarse procesos erosivos o de remoción en masa, sin embargo, de igual forma, si la pendiente disminuye, proporcionalmente aumenta la probabilidad de que esa zona sufra procesos de inundación.

Los rangos de clasificación de la pendiente son los definidos por el ANLA en su resolución 2182 del 2016 en su formato GDB (1 – 3%, 3 – 7%, 7 – 12%, 12 – 25%, 25 – 50%, 50 – 75%, 75 – 100% y >100%).

En la **figura 23 y tabla 3**, se observa que en general las pendientes dentro de la solicitud de contrato de concesión diferencial, son bajas al sur del polígono por los depósitos aluviales, las cuales son sus características morfométricas principales, los rangos que más predominan son a nivel (0 a 1 %), ligeramente plana (1 a 3 %) y ligeramente inclinada (3 a 7 %) con un porcentaje de cobertura (12,29%), (19,13%) y (17,39%) respectivamente, donde la posibilidad de ocurrencia de procesos de movimientos en masa es bajo y donde la susceptibilidad a eventos de inundación que puedan estar asociados a la quebrada Macaraquilla. Desde el centro del polígono hasta el norte, hay un cambio de pendiente, con respecto a la zona sur de este, aumentando los rangos de pendientes que predominan moderadamente inclinada (7 a 12%), fuertemente inclinada (12 a 25%) y ligeramente inclinada (25 a 50%), con sus respectivos porcentajes de cobertura de (16,43%), (11,89%) y (10,11%). Los rangos de porcentajes restante no representan una cobertura significativa.



(FIGURA # 23, Mapa de pendientes)

PENDIENTE	AREA (ha)	PORCENTAJE (%)
A nivel (0-1%)	12,28	12,29
Ligeramente plana (1-3%)	19,11	19,13
Ligeramente inclinada (3-7 %)	17,78	17,79
Moderadamente inclinada (7-12%)	16,42	16,43
Fuertemente inclinada (12-25%)	11,88	11,89
Ligeramente escarpada (25-50%)	10,10	10,11
Moderadamente escarpada (50-75%)	6,73	6,73
Fuertemente escarpada (75-100%)	4,32	4,32
Totalmente escarpada (>100%)	1,32	1,33
<b>TOTAL</b>	99,03	100

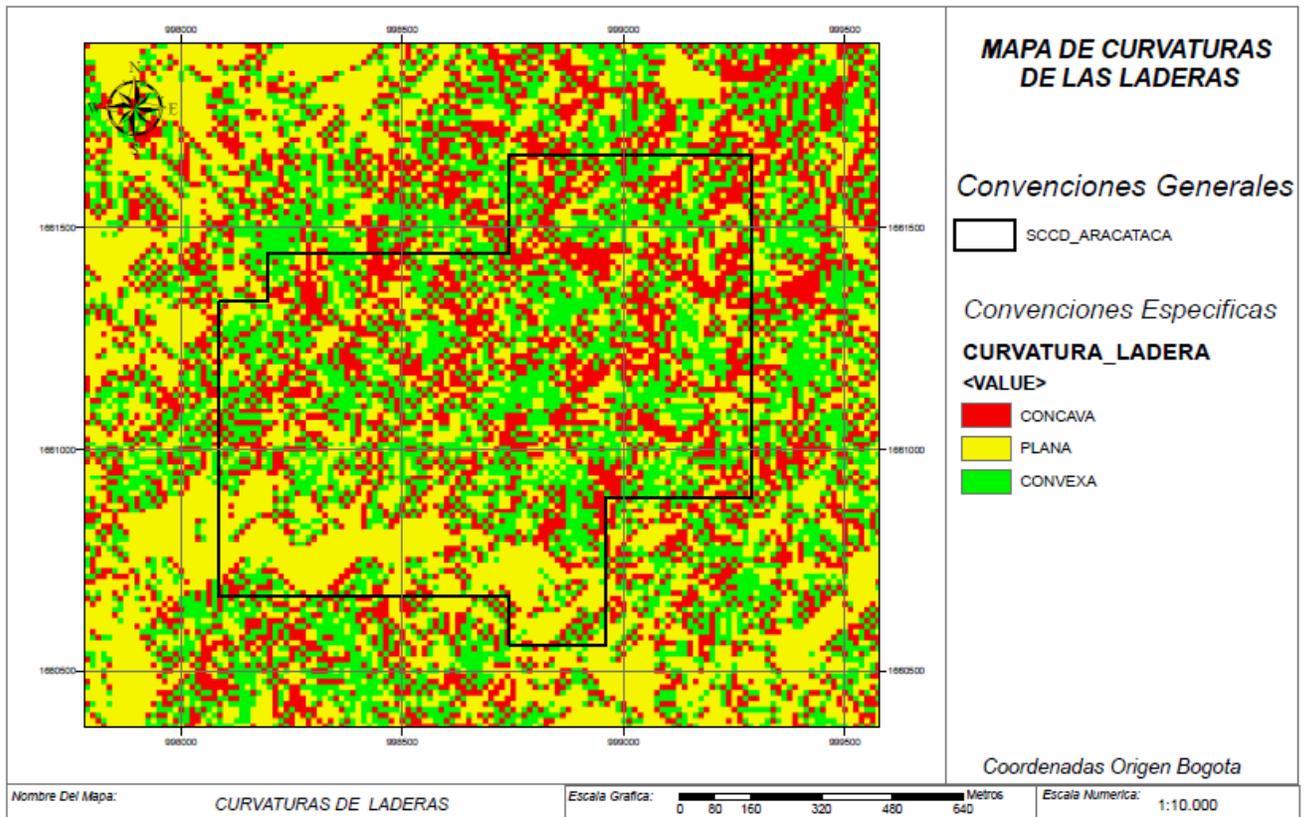
(TABLA # 3, Pendientes en %)

### ➤ Curvatura de Laderas

El análisis morfométrico de la curvatura que posee una ladera permite mostrar la tendencia de esta a ser recta, cóncava o convexa, y de esta manera identificar zonas más propensas a la erosión o en las cuales se puede encauzar el flujo de corrientes hídricas existentes, así como la identificación de lugares en donde los sedimentos pueden depositarse con mayor facilidad.

El concepto de la curvatura de ladera corresponde a la variación de la pendiente; en términos matemáticos sería la derivada de la pendiente o segunda derivada de la superficie. En el caso de estudio, la determinación se hace procesando un Modelo Digital de Elevación que tiene una precisión de 12.5 m X 12.5 m y el rango de clasificación es,  $> 0.1$ , la superficie tiende a ser convexa,  $< -0.1$ , la superficie tiende a ser cóncava y entre 0.1 y -0.1, la superficie tiende a ser plana.

En la **Figura 24**, se puede observar, que en la zona sur del polígono la curvatura de ladera que predomina es plana por sus características geomorfogenesis del depósito aluvial, en cambio en la zona central hasta la norte, hay un cambio en la distribución de la curvatura de ladera, donde predominan las cóncavas y convexa, por las características y modelamiento de la formación conglomerados de Macaraquilla.



(FIGURA # 24, Mapa de curvaturas de laderas)

### ➤ Rugosidad del terreno

La rugosidad es una característica del terreno que permite medir la heterogeneidad del relieve y tiene como fundamento el análisis de la variación de la pendiente en un área determinada.

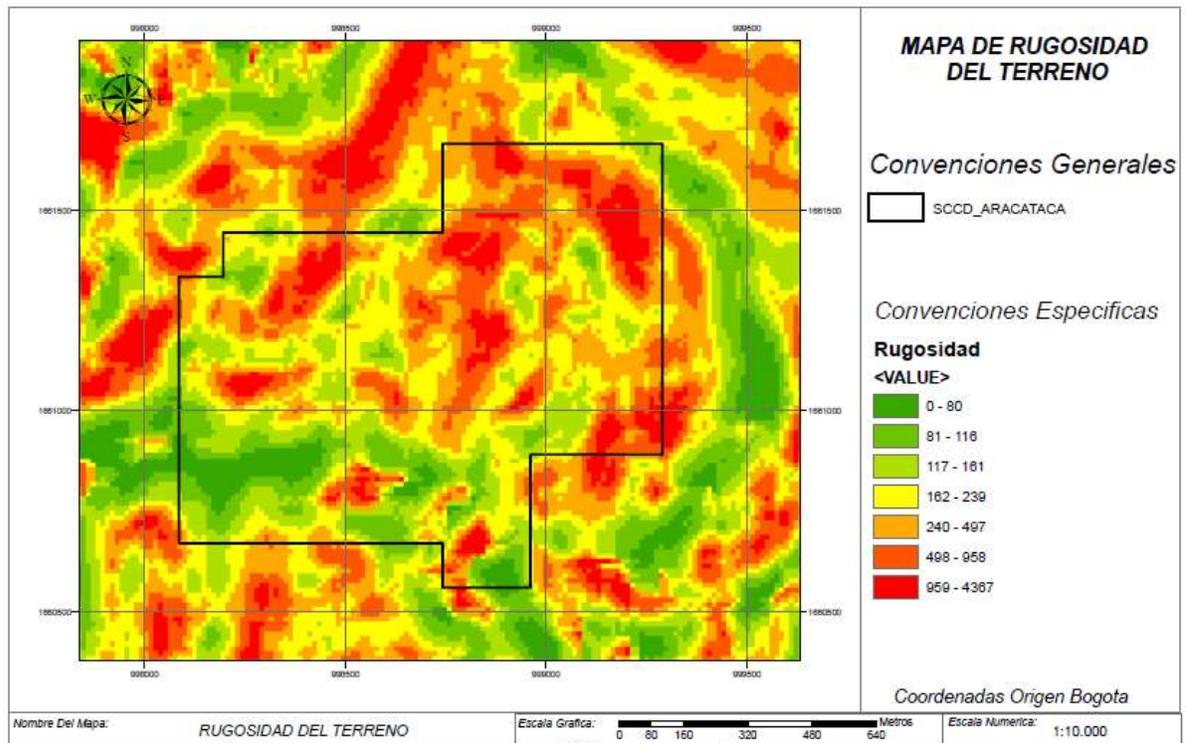
Para este estudio se realiza la estimación de la rugosidad teniendo en cuenta el índice de Rugosidad del Terreno o “TRI” por sus siglas en inglés; para generar la clasificación del área según este índice se emplea un DEM de precisión 12,5 m X 12,5 m. Por medio del SIG ARCGIS, se procesó el DEM con la herramienta Focal Statistics, con el fin de crear 3 ráster, para procesarlo con la función Raster Calculator con la siguiente ecuación:

$$Roughness = (FS_{mean} - FS_{min}) / (FS_{max} - FS_{min})$$

Los rangos de valores usados para la clasificación del “TRI” se encuentran en la **Tabla 4** y los resultados obtenidos para el área del proyecto se observa en la figura 33.

CLASIFICACIÓN	RANGO RUGOSIDAD
A nivel	0-80
Casi a nivel	81-116
Levemente Rugoso	117-161
Medianamente Rugoso	162-239
Moderadamente Rugoso	240-497
Altamente Rugoso	498-958
Extremadamente Rugoso	959-4367

(TABLA # 4, Rugosidad)



(FIGURA # 25, Mapa de rugosidad del terreno)

De acuerdo con los resultados obtenidos del Índice de Rugosidad del Terreno para el área del proyecto, los valores son muy heterogéneo, por consecuencia los valores están distribuido en todos los rangos de rugosidad, los rangos que más prevalecen en el área de estudio son casi a nivel (81- 116), medianamente rugosos (162 - 239), moderadamente rugoso (240 - 497) y altamente rugoso (498 - 958), lo que se puede interpretar que la rugosidad y los demás parámetros morfométricos de la solicitud de contrato de concesión diferencial tienen unas geformas muy heterogéneas , en toda áreas del polígono (**Figura 25**).

### 5.3.3.3 Clasificación De Las Unidades Geomorfológicas

La clasificación de las unidades geomorfológicas para la solicitud de contrato de concesión diferencial, se realiza siguiendo la metodología de Zinck (2012) y que a su vez es adoptada por el IGAC; y que se modificada de acuerdo con los requerimientos del modelo de datos utilizado en la geodatabase propuesta por la ANM. Los niveles taxonómicos propuestos en dicha metodología, organizándola de mayor a menor escala son:

- Geoestructura
- Ambiente morfogenético
- Paisaje geomorfológico
- Relieve
- Forma del terreno

#### ➤ **Geoestructura**

Este nivel corresponde a la escala más regional que maneja la metodología de clasificación geomorfológica propuesta por Zinck (2012); a este nivel se hace referencia a las extensas porciones continentales que se caracterizan por ciertos rasgos estructurales propios de su geología. Para el caso de la solicitud de contrato de concesión diferencial, se identifica una geoestructuras regional predominante: tipo cordillera, en donde se existe una zona de levantamiento tectónico, exhumando rocas de edad del paleógeno principalmente.

#### ➤ **Ambiente Morfogenético**

Según la metodología propuesta por Zinck (2012), este nivel taxonómico corresponde a las condiciones geodinámicas que controlan la formación y/o degradación de las estructuras geomorfológicas de la zona. Para la solicitud de contrato de concesión diferencial se identificaron 2 tipos de ambientes morfogenéticos.

- Ambiente Depositional

En este ambiente ocurren los procesos de acumulación de sedimentos que han sido transportados por los diferentes afluentes y cuerpos de agua que han actuado en el área hasta la actualidad; claramente estos procesos tienen amplio predominio en inmediaciones al cauce de la quebrada Macaraquilla, relacionando a este directamente las unidades de orígenes fluvial, aluvial y coluvio-aluvial (**Fotografía 2**). Se puede considerar que actualmente este es uno de los ambientes morfogenéticos que más predominan en la zona de estudio.



*(FOTOGRAFIA # 2, Ambiente morfogenético deposicional)*

- Ambiente Denudacional o Erosivo

Este ambiente se encuentra modelado principalmente por los agentes fluvial y eólico, en donde los procesos de remoción de materiales ocurren por la acción de las corrientes hídricas, escorrentía (erosión pluvial), por acción del viento y todo esto a su vez interactuando con las diferentes pendientes que se encuentran en la zona. Este agente predomina en toda el área del polígono, con mayor impacto en la formación conglomerados de Macaraquilla como se observa en la **fotografía 3**.



*(FOTOGRAFIA # 3, Ambiente morfogenético erosivo)*

➤ **Paisaje Geomorfológico**

En este nivel taxonómico por definición, corresponde a una porción de espacio constituida por una repetición de tipos de relieve similares o por una asociación de tipos de relieve diferentes. Para la solicitud de contrato de concesión diferencial se agruparon 2 distintos tipos de relieve que se definieron como unidades de paisaje geomorfológico de la siguiente manera:

- Valle

Porción de terreno alargada y plana, intercalada entre dos zonas circundantes de relieve más alto (piedemonte). Un valle está generalmente drenado por un solo río (Quebrada Macaraquilla (**Fotografía 4**)). Son frecuentes las confluencias de corrientes de agua. Para su reconocimiento, un valle debe tener un sistema de terrazas que, en su mínima expresión, comporta por lo menos una vega y una terraza baja.



*(FOTOGRAFIA # 4, Paisaje geomorfológico en valle)*

- Piedemonte

Porción de terreno inclinada al pie de unidades de paisaje más elevadas (p.e. altiplanicie, montaña), tiene un relieve de colinas y lomas, expuesto por exhumación del sistema de fallas Santa Marta, como se observa en la **fotografía 5**.



*(FOTOGRAFIA # 5, Paisaje geomorfológico en piedemonte)*

### ➤ **Relieve Geomorfológico**

El relieve corresponde a una unidad espacial que equivale a un elemento del paisaje constituido a su vez por una asociación de las múltiples formas que puede tener un terreno. Las unidades geomorfológicas asociadas fueron diferenciadas mediante las dinámicas de sedimentación/erosión que ocurren en el polígono de estudio. En la **(Figura 26)** está representado las unidades geomorfológicas a nivel taxonómico relieve geomorfológico, por la escala y conceptos técnicos.

- Vallecito

Los vallecitos son una unidad de relieve caracterizado por ser depresiones alargadas, flanqueadas por dos zonas más altas y/o por vertientes de pendientes variables (**Fotografía 6**).



*(FOTOGRAFIA # 6, Relieve geomorfológico en vallecito)*

- Loma

Unidad del relieve caracterizado por ser por ser sistemas de montículos con dimensiones parecidas, modelado por agentes de erosión hídrica superficial (**Fotografía 7**).



*(FOTOGRAFIA # 7, Relieve geomorfológico en loma)*

## ➤ Forma del Terreno

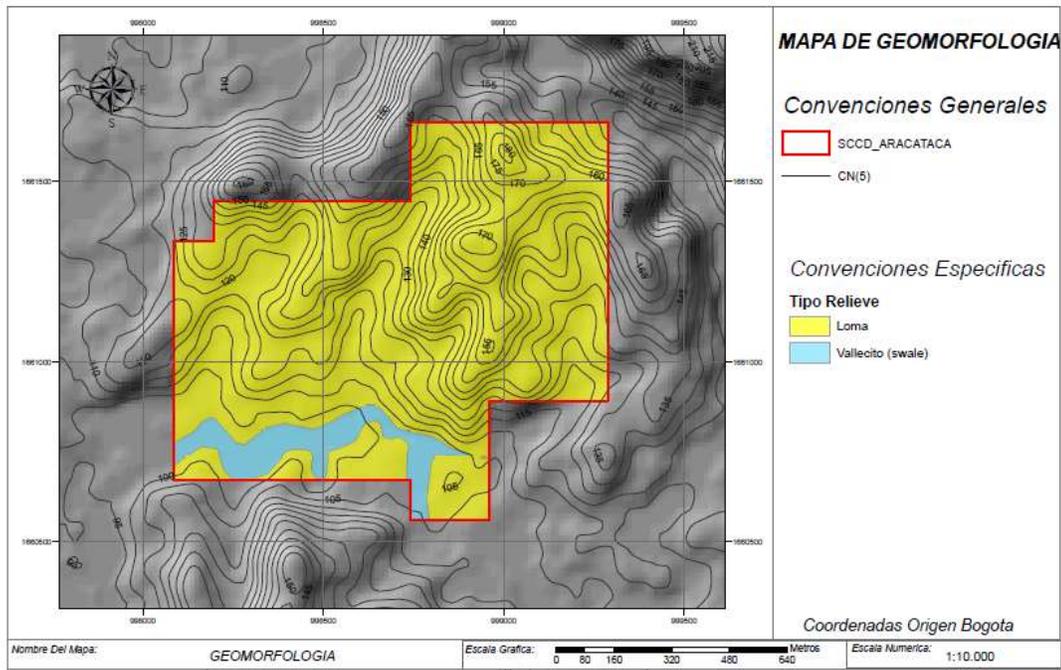
Corresponde a la unidad geomorfológica elemental (nivel más bajo), la cual puede ser dividida sólo por medio de fases. Se caracteriza por su geometría, dinámica, e historia.

- Vega

Forma de terreno que corresponde a una superficie de perfil topográfico planocóncavo localizada en la posición más baja del vallecito; está constituida por depósitos aluviales heterométricos dispuestos en ambos lados del cauce. Se caracteriza por tener configuración alargada y estrecha, contorno irregular y pendiente ligeramente plana a ligeramente inclinada. La unidad recibe y cede aluviones de su cauce y es inundada periódicamente, generado por la quebrada Macaraqulla

- Cima y Ladera

Forma de terreno representada por una superficie de perfil topográfico convexo, de forma redondeada y una superficie inclinada que corresponde a la parte intermedia o flanco de la loma. Presenta perfil topográfico rectilíneo-cóncavo. Conformada por unidad geológica conglomerados de Macaraqulla.



(FIGURA # 26, Mapa de unidades geomorfológicas)

## 6. GEOLOGÍA LOCAL Y DEPÓSITOS DE INTERÉS ECONÓMICO

### 6.1 GEOLOGIA LOCAL

#### 6.1.1 CONGLOMERADOS DE MACARAQUILLA

- Descripción de Campo:

En la zona sur oriental del municipio de Aracataca aflora la formación “Conglomerados de Macaraquilla”, una unidad geológica detrítica, compuesta por conglomerados intercalados con capas lenticulares de arenisca. La litología predominante de la formación son, los conglomerados de tamaños guijos a cantos (2 – 256 mm), ocasionalmente bloques (>256mm), con una textura matriz soportada que prevalece en la mayoría de la formación, esporádicamente clasto soportado. La composición de la matriz es arenosa, con sedimentos de cuarzo, plagioclasas y fragmentos líticos, y de los clastos son de rocas plutónicas y metamórficas, que provienen de la Sierra Nevada de Sanata Marta. La unidad tiene una moderada selección de los clastos y una buena redondez de estos.

La arenisca está compuesta principalmente por plagioclasas, cuarzo y micas, de tamaños grueso a medio, con una moderada selección y una estratificación lenticular, como se observa en **las fotografías 8**. La unidad tiene un bajo grado de fracturamiento y de meteorización, con una capa orgánica que no superan el metro.

Los contactos observados en campo fueron fallados uno con la unidad arenosa de fundación, por la falla Rio Piedras y el otro con el batolito de bolívar por la falla Guamachito.



(FOTOGRAFÍAS # 8, Conglomerados de Macaraquilla)

## 6.1.2 FORMACIÓN ZAMBRANO

- Descripción de Campo:

En la zona oriental del municipio de Aracataca aflora la formación Zambrano, una unidad sedimentaria compuesta por detritos, químicos y bioquímicos intercalados con lodolitas grises con contenido fósil. En la exploración de campo predominó la litología arenisca bioclásticas de tamaño fino a grueso, el contenido fósil que abundan es de bivalvos y gasterópodos. La unidad presenta procesos de cementación en ciertos afloramientos, por la misma composición de esta (**Fotografías 9**).

La estratificación de la unidad es plano paralelo, en ocasiones ondulosa. La formación presenta un bajo a moderado grado de fracturamientos, causado por las fallas locales y regionales, y el anticlinal de fundación, también presenta un bajo grado de meteorización.

Los contactos encontrados en campo fueron: en la zona norte de la zona de estudio, se encuentra el contacto fallado con el batolito de Bolívar, por la falla Guamachito, y en contacto discordante con la unidad arenosa de fundación y los depósitos actuales.



*(FOTOGRAFÍAS #9, Formación Zambrano)*

### 6.1.3 DEPÓSITO DE TERRAZAS ALUVIALES

- Descripción de Campo:

Los depósitos de terrazas aluviales afloran a los costados de los ríos Aracataca y la quebrada Macaraquilla, son depósitos que evidencia el curso y las dinámicas de estos drenajes en el pasado. Los depósitos están compuestos principalmente por gravas de tamaños guijos a cantos y arenas de tamaño fino a muy grueso, con una composición cuarzo – lítica, ocasionalmente capas lodosas, la unidad presenta una mala selección de los clastos y una redondez muy variada que va de sub angular a bien redondeados (**Fotografías 10**).

El depósito no está bien consolidado, su estratificación es lenticular, en ocasiones paralela plana, presenta un moderado a alto grado de meteorización, generando horizontes de suelo mayores a un metro.

Los contactos de este depósito se encuentran discordante e inconforme con las otras unidades geológicas presentes en la solicitud.



*(FOTOGRAFIAS # 10, Terrazas Aluviales)*

#### 6.1.4 DEPÓSITO ALUVIAL

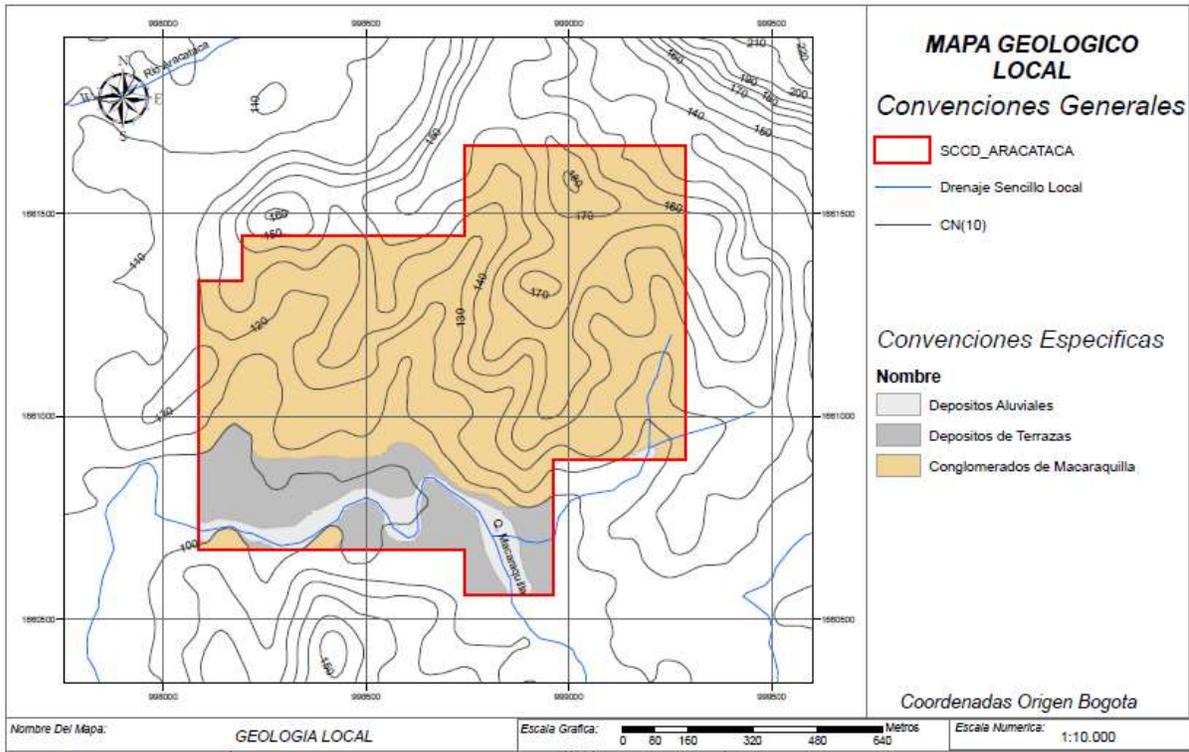
- Descripción de Campo:

Los depósitos aluviales recientes, se originan a través de las dinámicas de transporte y depositación de los drenajes (Ríos y quebradas) que ocurren actualmente dentro de la zona de estudio. Estos depósitos están compuestos principalmente por gravas de tamaño guijarros a bloques y arenas cuarzo-feldespáticas y lítica, estos clastos provienen de la Sierra Nevada de Sanata Marta. La selección del depósito es mala, con un nivel medio de transporte, por la redondez de los clastos.

El depósito por ser reciente presenta un bajo grado de meteorización y de fracturamiento, tiene una estratificación predominantemente lenticular como se observa en las **fotografías 11**. Los contactos de esta unidad son discordantes con las demás unidades geológicas.



*(FOTOGRAFIAS # 11, Depósitos Aluviales)*

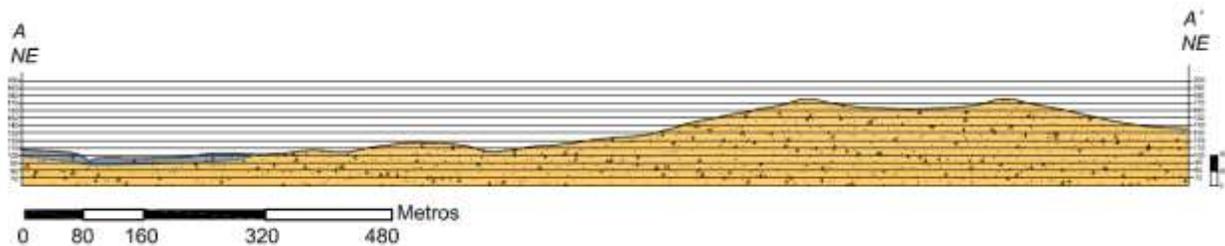


(FIGURA # 27, Mapa geológico local)

- **Perfiles Geológicos**

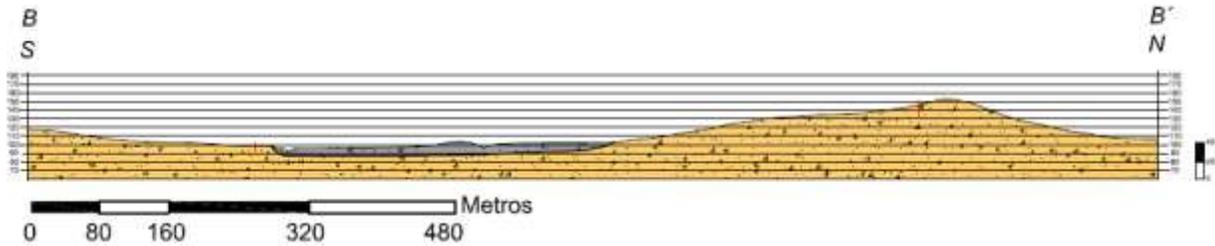
Para poder comprender mejor la geología del depósito se desarrollaron varios perfiles geológicos con su respectiva escala a detalle, a partir del mapa geológico con el trazado de los perfiles, con sus respectivas curvas a nivel a detalle, como lo solicita la (ANM). Estos perfiles permiten interpretar mejor el yacimiento. El mapa de los trazos de los perfiles se observa en la **figura 31**.

El perfil geológico A – A' (**Figura 28**), este trazado transversal sobre el polígono seleccionado para el estudio, cruzando con los conglomerados de Macaraquilla y la quebrada Macaraquilla con sus depósitos.

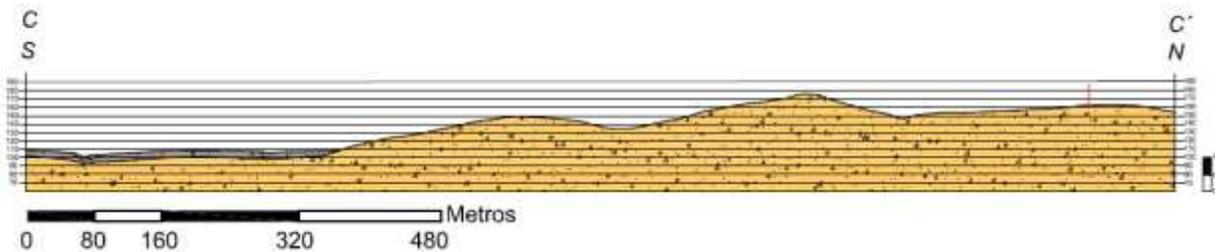


(FIGURA # 28, Perfil geológico (corte A))

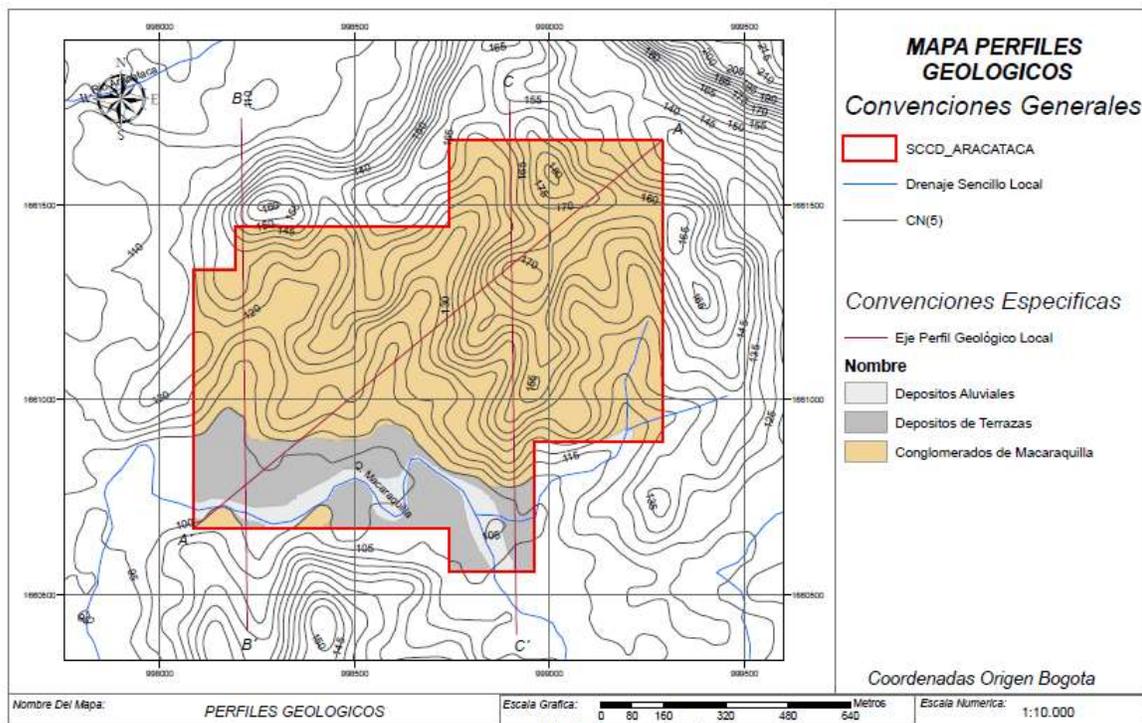
Los perfiles geológicos B -B` y C - C`, tienen un trazo de sur a norte, atravesando la unidad conglomerados de Macaraquilla y los depósitos aluviales de la quebrada Macaraquilla, como se ve en las figuras 29 y 30.



(FIGURA # 29, Perfil geológico (corte B))



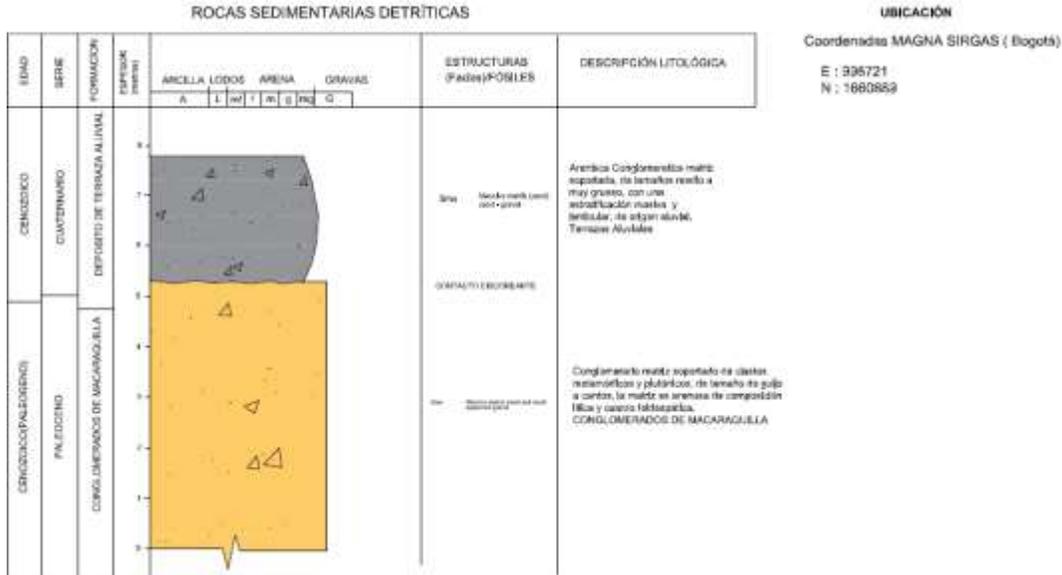
(FIGURA # 30, Perfil geológico (corte C))



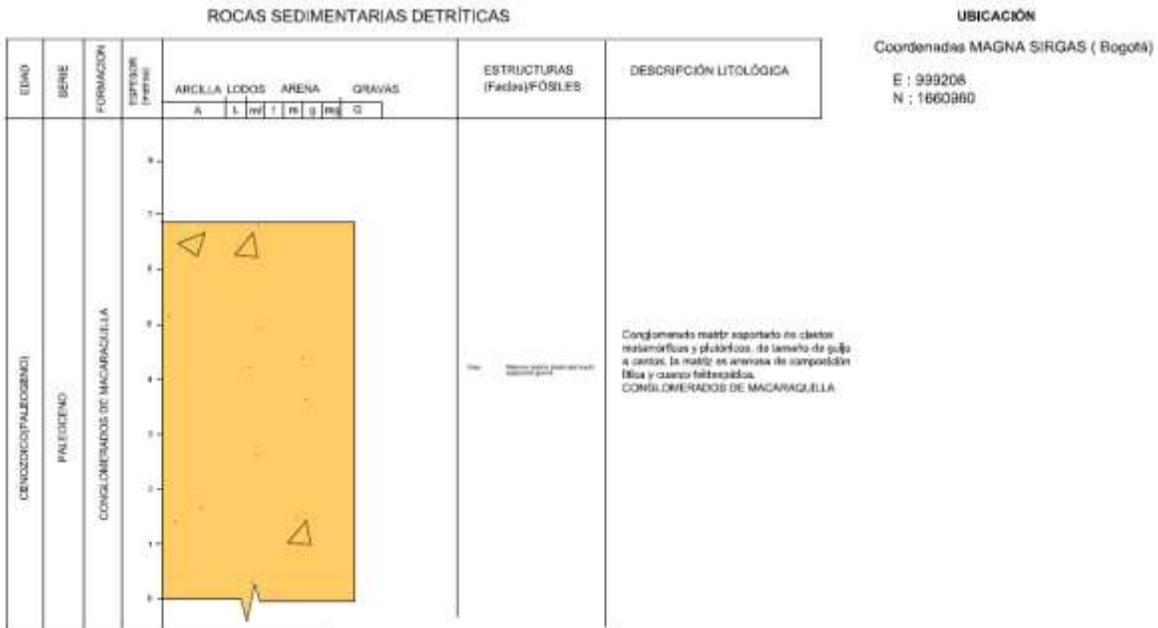
(FIGURA # 31, Mapa perfiles geológicos)

- **Columnas Estratigráficas**

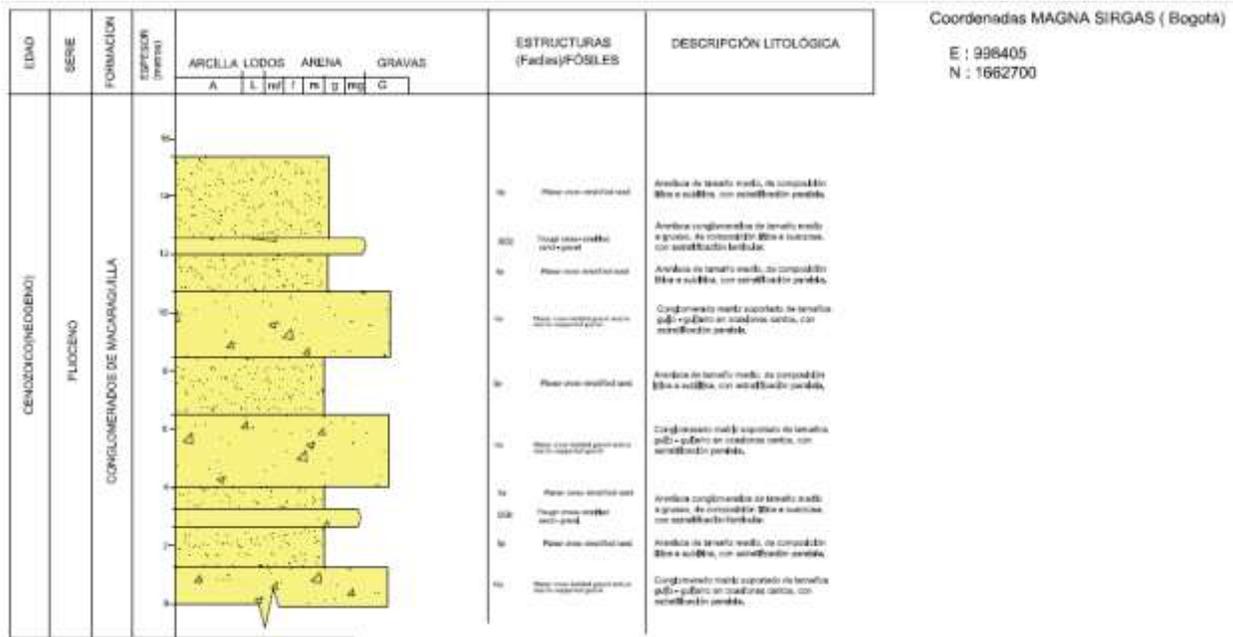
En la exploración de campo para la solicitud de contrato de concesión, se encontraron varios afloramientos que nos permitieron hacer un levantamiento de varias columnas estratigráficas, para poder comprender a detalle, como son las formaciones geológicas de interés, y poder caracterizar mejor los depósitos.



(FIGURA # 32, Columna Estratigráfica (1))



(FIGURA # 33, Columna Estratigráfica (2))



Coordenadas MAGNA SIRGAS ( Bogotá )  
 E : 998405  
 N : 1662700

(FIGURA # 34, Columna Estratigráfica (3))

En las **figuras 32, 33 y 34**, se ve plasmado el levantamiento de las columnas estratigráficas de las unidades geológicas de interés exploratorio.

## 6.2 EXPLORACION DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES

Durante la exploración de campo en el área de la solicitud de contrato de concesión diferencial, en el municipio de Aracataca, se encontró varios depósitos aluviales dentro y alrededores de la zona de estudio, originados por las dinámicas fluviales de la quebrada Macaraquilla y el río Aracataca.

Estos dos afluentes tienen origen en la Sierra Nevada de Santa Marta, en el flanco occidental, con una dirección de flujo Este – Oeste. Estos drenajes tienen una capacidad de carga muy alta, por la cantidad y el tipo clastos que transportan y se depositan.

La metodología de exploración de los depósitos aluviales consistió en realizar un recorrido por todo el cauce de la quebrada Macaraquilla (Zona de estudio), identificando varios depósitos aluviales recientes como antiguos. A los depósitos se le hizo una breve caracterización de litología y dimensiones, para ir seleccionando las zonas con mayor potencial de explotación.



*(FOTOGRAFÍAS # 12, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla(1))*

En la zona Sur – Este del área de estudio, se encuentra los depósitos aluviales de la quebrada Macaraquilla, con un relieve bajo a sus alrededores. En este sector se encontraron dos tipos de depósitos aluviales, uno más recientes con un grado nulo de pedogénesis, una cohesión baja y los tamaños de los materiales son predominantemente arenas medias a muy gruesas y gravas de guijos a guijarros. El otro depósito es más antiguo con una pedogénesis moderada, mayor grado de cohesión y una mejor selección de material como limos y arenas finas, como se observa en las **fotografías 12**



*(FOTOGRAFÍA # 13, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla (2))*

En la zona sur del polígono de estudio, se encuentran los depósitos aluviales recientes, con una mayor concentración de material sobre las playas. La litología que prevalece son arenas de todo los tamaños y gravas que van de los guijos hasta los cantos, la composición predominante de los clastos es de origen plutónico, pero también se encuentran volcánicas y metamórficas. Esta área tiene un mayor relieve causando que haya un espacio de acomodación menor, por lo siguiente unos espesores mayores en los depósitos de la quebrada Macaraquilla (**Fotografías 13 y 14**).

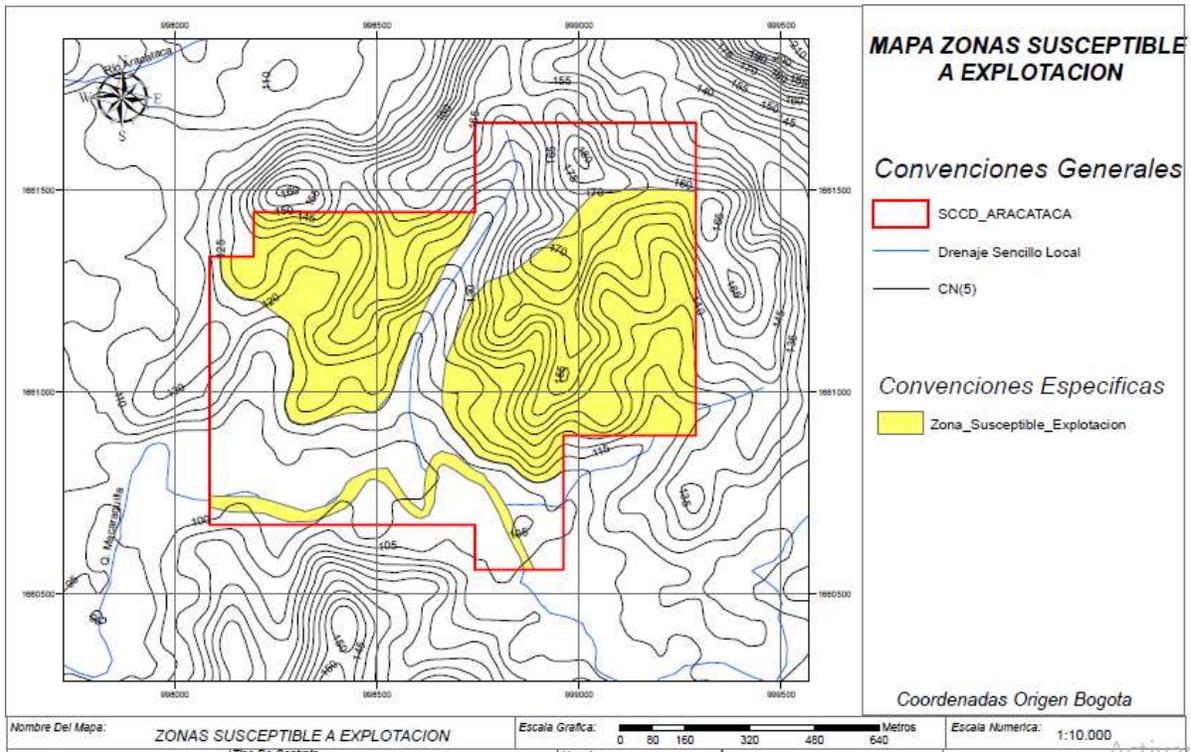


*(FOTOGRAFÍA # 14, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla (3))*

En el sector sur oeste de la zona de estudio se encontró los depósitos de la quebrada Macaraquilla, prologados por todo el cauce de la quebrada en forma tabular, como se observa en la **fotografía 15**. La litología encontrada fue gravas de tamaños guijos a guijarros y arena lítica de todos los tamaños. El depósito tiene un bajo grado de cohesión y no presenta desarrollo de suelo (pedogénesis). El relieve que lo circunda es más escarpado que en las otras zonas de estudio, aumentando los espesores de los depósitos.



(FOTOGRAFÍA # 15, Depósitos Aluviales Quebrada Macaraquilla(4))



(FIGURA # 35, Mapa zonas susceptible a explotación)

Las zonas susceptibles a explotación, se seleccionaron por el nivel de conocimiento técnico que se tiene sobre los depósitos de interés, como su estratigrafía, caracterización mineralógica, dimensiones, estudios hidrogeológicos, factores elementales de viabilidad ambiental y económica entre otros (**Figura 35**). Estas áreas están dispuestas a pequeños cambios, respecto a mayor información que se recolecte del depósito.

### 6.3 EXCAVACIÓN DE TRINCHERAS Y APIQUES

En el desarrollo de la exploración superficial, para las unidades conglomerados de Macaraquilla y los depósitos aluviales (unidades de interés exploratorio), se realizó 6 apiques con el objetivo de hacer control geológico. Los apiques fueron ubicados, en base a la bibliografía geológica de la zona, para saber la prolongación horizontal y la profundidad de las unidades geológicas superficiales. La ubicación de los apiques se puede apreciar en la **figura 36**.

#### Apique 1

Coordenadas:

N:1662314

E:997853



(FOTOGRAFÍAS # 16, Apique 1)

### Descripción:

La ubicación del apique está en una loma al costado norte del río Aracataca. La unidad litológica encontrada es conglomerado de matriz soportado y clastos soportado, según la bibliografía del servicio geológico colombiano lo podemos asociar a la formación Zambrano.

La pedogénesis de la unidad es moderada a baja, con un rango de espesor del suelo, de 20 a 40 cm. Los materiales extraídos son arenas de tamaño medio a muy grueso y las gravas de tamaño guijos a guijarros, algunos cantos. La estratificación es lenticular y horizontal en otras partes del apique (**Fotografías 16**).

### Apique 2

Coordenadas:

N:1660924

E:998285



*(FOTOGRAFÍAS # 17, Apique 2)*

### Descripción:

La ubicación del apique está en una loma entre la quebrada Macaraquilla y el río Aracataca. Por los materiales encontrados y la información bibliográfica del servicio geológico colombiano, podemos deducir que es la unidad geológica “los conglomerados de Macaraquilla”. Esta unidad predomina en la zona de estudio.

La pedogénesis es baja a moderada, con un espesor de 20 a 30 cm de suelo, los demás materiales extraídos fueron clastos de tamaño de guijo a cantos y la matriz es de arena de tamaño fino a muy grueso. La estratificación es masiva, los espesores de esta unidad son mayores a 20 metros, respecto a la exploración superficial (**Fotografías 17**).

### Apique 3

Coordenadas:

N:1660634

E:998947



*(FOTOGRAFÍAS # 18, Apique 3)*

Descripción:

La ubicación del apique está entre la quebrada Macaraquilla y la vía que va a la SNSM, con la excavación encontramos una unidad arcillosa con intercalación con capas de arenas, este material no es predominante en la zona.

La pedogénesis es de baja a moderada con un rango de 10 a 25 cm de suelo, los materiales que encontramos fueron arcilla poco compacta de colores claro a violeta, con contenidos de limo y arenas. Esta unidad lítica se encuentra intercalada con arena de tamaño medio, y su estratificación es lenticular (**Fotografías 18**).

#### **Apique 4**

Coordenadas:

N:1660004

E:999806



*(FOTOS # 19, Apique 4)*

Descripción:

La ubicación del apique está a una distancia menor a 50 metros de la quebrada Macaraquilla. En la geomorfología y en los materiales extraídos, por la excavación se pudo interpretar que esta unidad geológica es un depósito aluvial reciente de la quebrada Macaraquilla.

La pedogénesis es muy baja, no superando los 10 cm. Los materiales son arenas, de tamaño fino a muy grueso y las gravas de guijo a guijarros, con una redondez de moderada a alta, por el transporte (**Fotografías 19**).

El Depósito no está bien consolidado y la estratificación es lenticular. En la foto podemos observar que el nivel freático está a 1,2 metros, por la influencia de la quebrada Macaraquilla.

### **Apique 5**

Coordenadas:

N:1661094

E:998636

Descripción:

La ubicación del apique se encuentra dentro de la solicitud de contrato de concesión diferencial, en la zona central, a proximidades del contacto geológico de los conglomerados y los depósitos aluviales.

En la excavación se encontró una unidad litológica conglomerática matriz soportada, los clastos son de composición variada de tamaños guijos a cantos, con una redondez de sub angulares a sub redondeados, la matriz está compuesta por arenas líticas y cuarzo feldespática de tamaño fino a muy grueso. La pedogénesis del afloramiento es moderada con espesor de suelo que van de los 0,5 a 1 m (**Fotografías 20**),



*(FOTOGRAFÍAS # 20, Apique 5)*

## Apique 6

Coordenadas:

N:1660902

E:999173

Descripción:

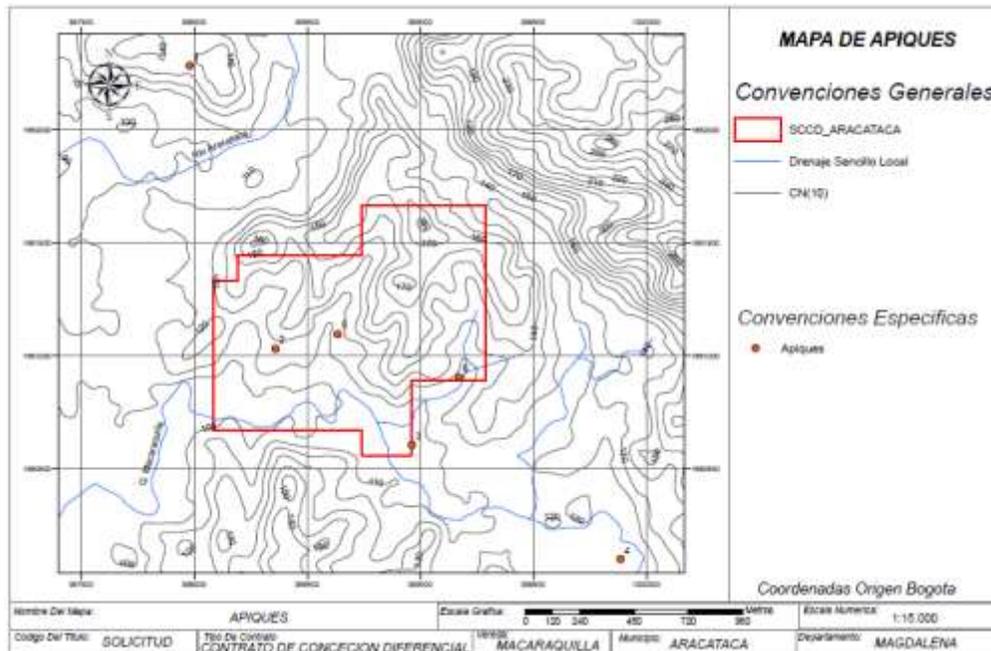
Con finalidad de hacer un buen control litológico del yacimiento se tomó en cuenta afloramientos dentro de la zona de estudio para poder caracterizarlo mejor.

En la zona oriental del polígono de estudio se realizó una exploración detallada, encontrando la unidad geológica los conglomerados de Macaraquilla, con las siguientes características: La composición de los clastos son variados que van de rocas metamórficas a rocas plutónicas de tamaño guijo a cantos ocasionalmente bloques con una redondez promedio de sub redondeados, la matriz es arenosa de composición lítica a cuarzo feldespática con unos tamaños que van de fino a grueso (**Fotografías 21**).

La pedogénesis de los afloramientos es de baja a moderada dependiendo de la exposición superficial, con una generación de suelo que van de los 15 cm hasta el metro.



*(FOTOGRAFÍAS # 21, Apique 6)*



(FIGURA # 36, Mapa de ubicación de apiques)

## 6.4 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO.

### 6.3.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.

De acuerdo a la clasificación de las unidades frente al comportamiento hidrogeológico, se consideran los siguientes tipos: Ver **Figura 37**.

- **Acuíferos:** Estrato o formación geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua por sus poros y/o grietas.
- **Acuicludos:** Formación geológica que pudiendo contener agua en su interior algunas veces hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto, no es posible su explotación.
- **Acuitardos:** Formación geológicas que pueden contener agua, pero la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos.
- **Acuífugas:** Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir.

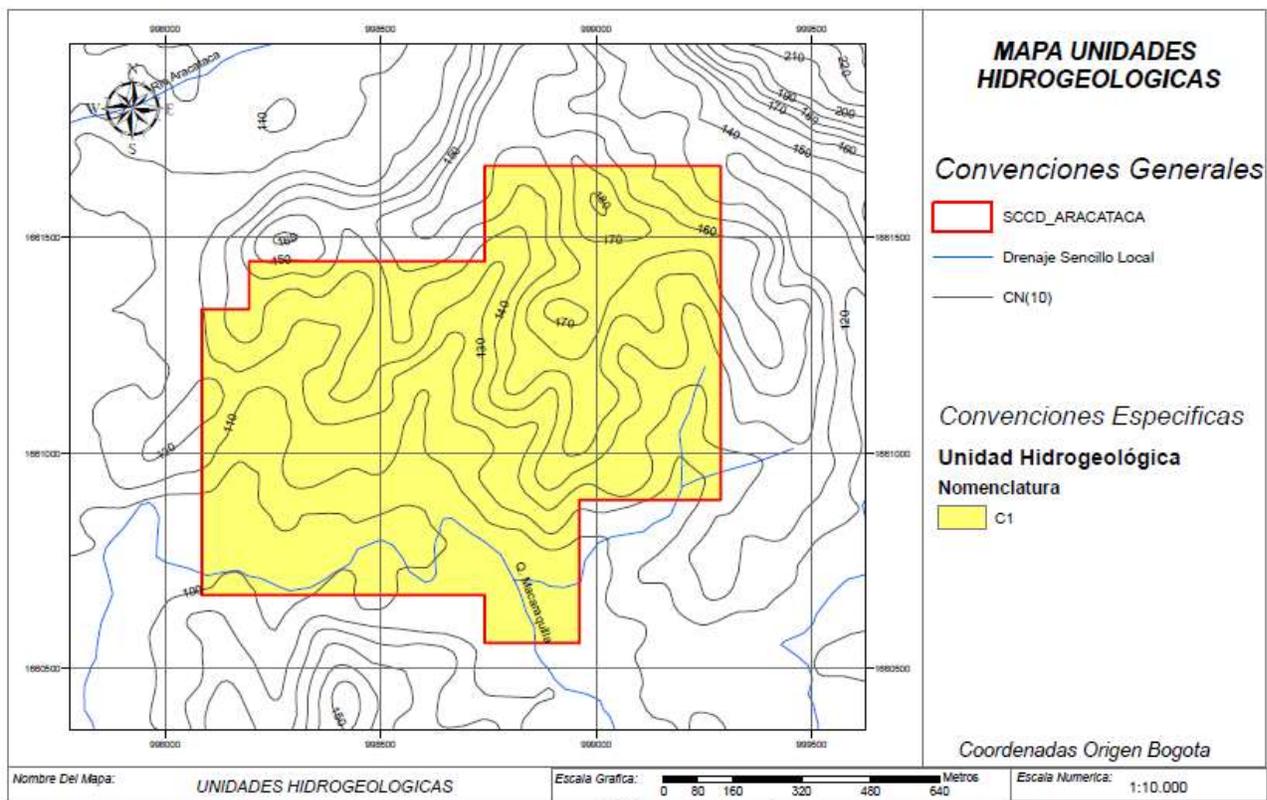
La hidrogeología en el área de estudio (título minero), predominan una unidad hidrogeológica, la cual se caracterizan por ser acuífugas, por lo siguiente ninguna formación geológica tiene la capacidad de retener ni transmitir fluidos en gran cantidad.

La información es suministrada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), en su plataforma geoportala, e igualmente la información es comparada con la exploración de campo, para tener una mayor confiabilidad con esta información.

La unidad hidrogeológica es:

C1: Complejo de sedimentos y rocas de muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambientes lacustres, deltaicos y marinos y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, salada en las regiones costeras.

La unidad geológica que compone, esta unidad hidrogeológica son los conglomerados de Macaraquilla, y los depósitos cuaternarios.



(FIGURA # 37, Mapa de unidades hidrogeológicas)

### 6.3.2 ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA.

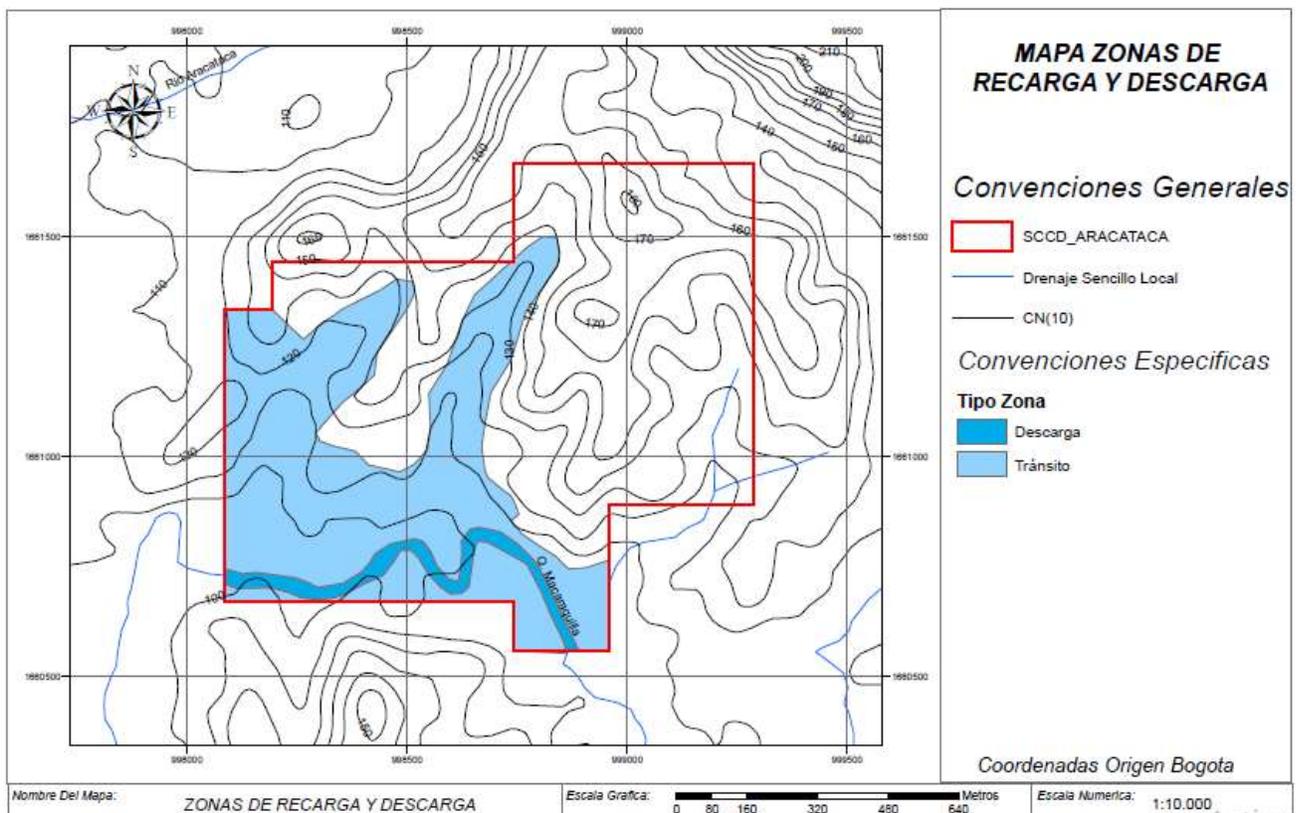
Acorde a las condiciones naturales y los diferentes actores que interviene y aportan fluidos se encuentran: el agua de lluvia, corrientes fluviales intermitentes y las aguas del río las fuentes naturales de recarga identificadas. (Figura 38)

La descarga de aguas sub-superficiales ocurre de forma natural hacia el río.

Se estima que un 15% del agua de lluvia, tanto la directa como la canalizada por intermedio de cauces de corrientes intermitentes que descienden de la ladera adyacente, se infiltra en el terreno hasta la zona saturada, mientras que el porcentaje restante se drena superficialmente hacia el río, se evapora y/o permanece como humedad en el subsuelo, lo que sugiere un aporte de agua relativamente bajo a la formación. Por lo siguiente se considera como una zona de tránsito

La quebrada, por tratarse de una corriente caudalosa de agua inconstantes, y de condiciones hidráulicas y sedimentológicas definidas, periódicamente se conecta hidráulicamente a través de un medio poroso constituido por gravas de excelente permeabilidad constituyentes del cauce variable y terrazas aluviales de cauces antiguos.

La descarga del acuífero se produce de forma natural hacia el río y la quebrada, ya que en el área licenciada no presenta uso por explotación y aprovechamiento del recurso mediante pozos o aljibes. El abatimiento del nivel freático ocurre al descender.



(FIGURA # 38, Mapa de zonas de recarga y descarga)

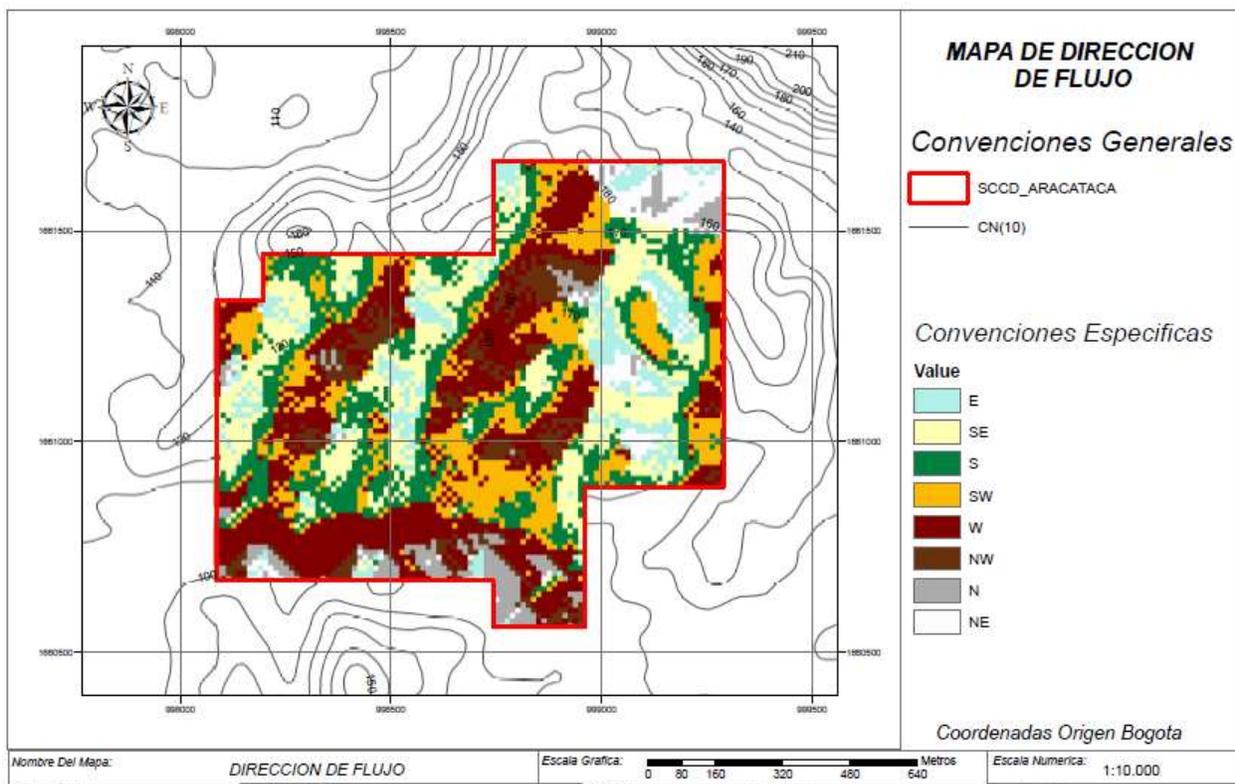
## 6.5 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Para tener una mejor comprensión de las dinámicas fluviales dentro del área del contrato de concesión y sus zonas de influencia se realizaron estudios hídricos a partir de modelos digitales de elevación (DEM), para poder caracterizar mejor los depósitos aluviales de la quebrada Macaraquilla.

Los resultados de estos estudios, se deben complementar con la información suministrada del IDEAM, como clima, probabilidad de precipitaciones y lluvias, para poder tener más elementos técnicos con el fin tener una mejor comprensión de los depósitos aluviales.

### 6.5.1 DIRECCIÓN DE FLUJO

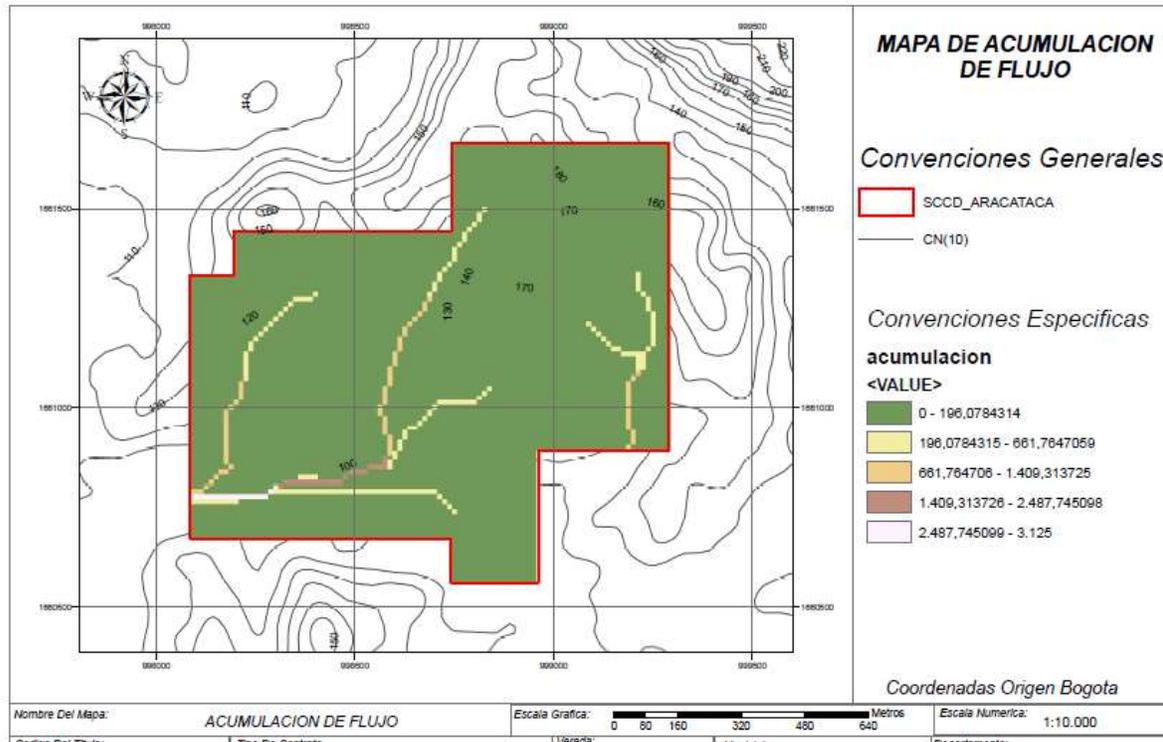
Dentro de la solicitud del contrato de concesión diferencial se evaluó a partir del DEM, la dirección de flujo en las 8 orientaciones geográficas, como se puede observar en el mapa (**Figura 39**). Estos resultados sirven para interpretar como es el comportamiento de los flujos de escorrentías, quebradas y ríos.



(FIGURA # 39, Mapa de dirección de flujo)

## 6.5.2 ACUMULACIÓN DE FLUJO

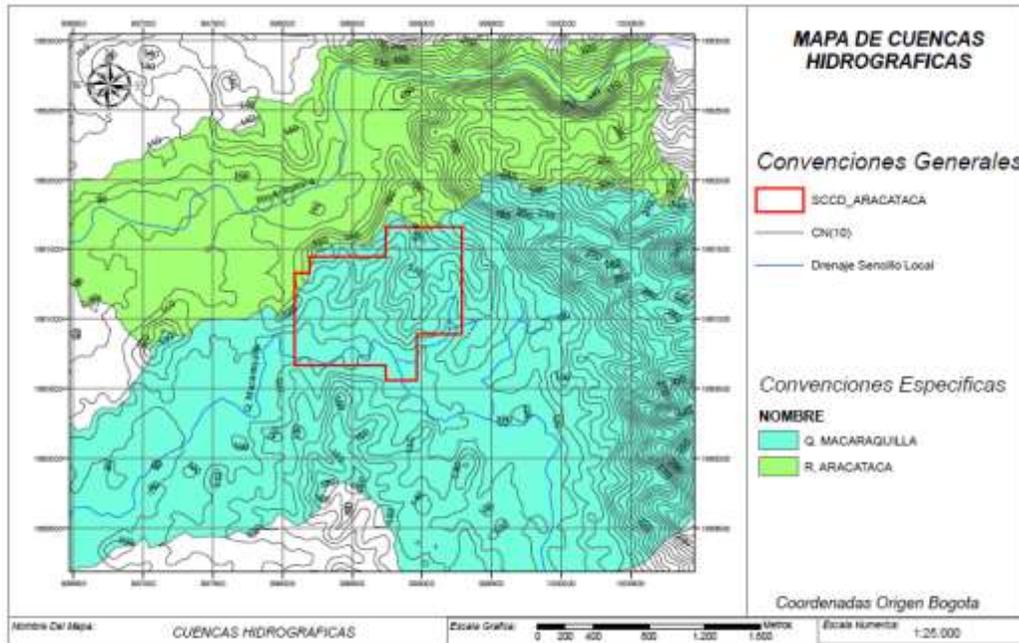
Los resultados obtenidos a partir del procesamiento del DEM, se puede observar las zonas de acumulación de flujo al costado occidental, donde convergen los diferentes tipos de drenajes (quebradas y ríos), esta información se ve relacionada a posible acumulación de material (arenas y gravas) transportado por los drenajes, como se observa en la **figura 40**.



(FIGURA # 40, Mapa de acumulación de flujo)

## 6.5.3 CUENCAS HIDROGRÁFICAS

A partir del procesamiento del DEM se pudo identificar las cuencas y sub cuencas hidrográficas (**Figura 41**) que están dentro de la zona de estudio, para poder identificar los diferentes parámetros que afectan los depósitos, como el origen de la cuenca, zonas de recarga y descarga, y las unidades geológicas se ven afectadas por sus dinámicas fluviales (Erosión y transporte).

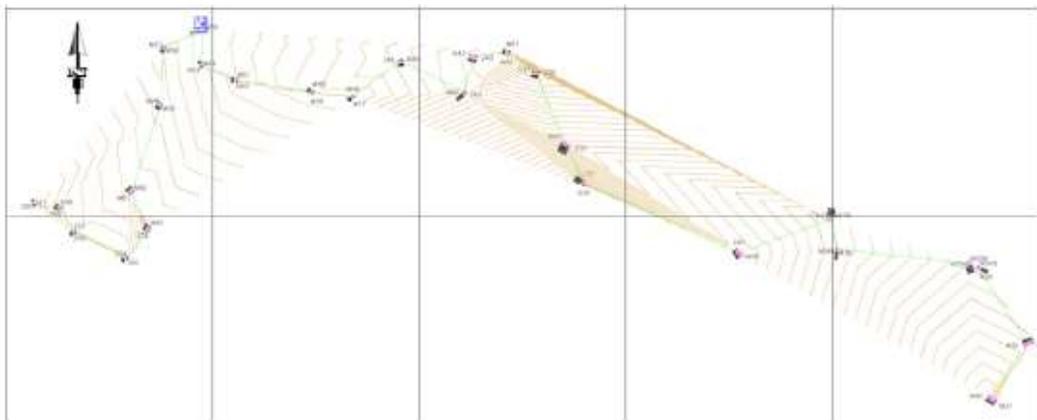


(FIGURA # 41, Mapa de delimitación de cuencas hidrográficas)

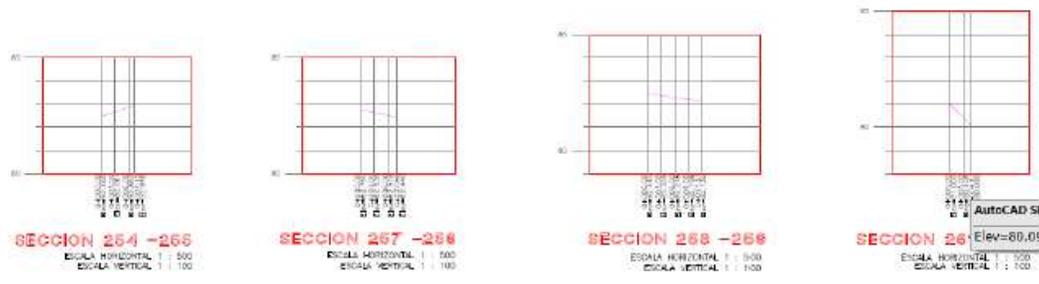
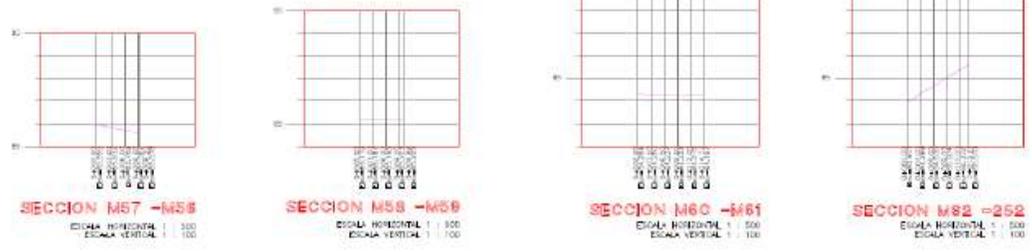
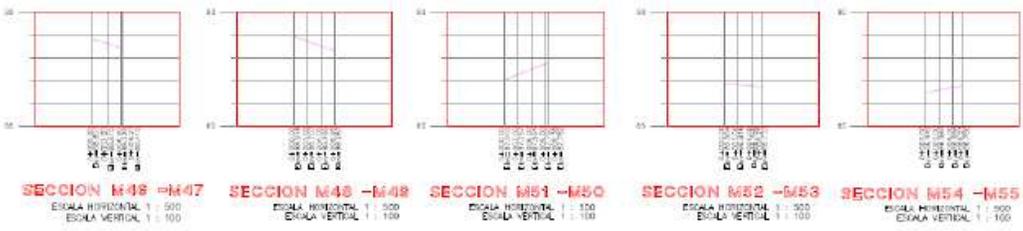
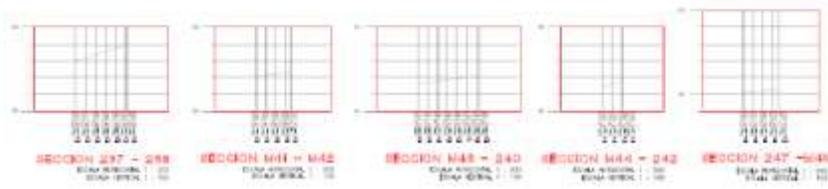
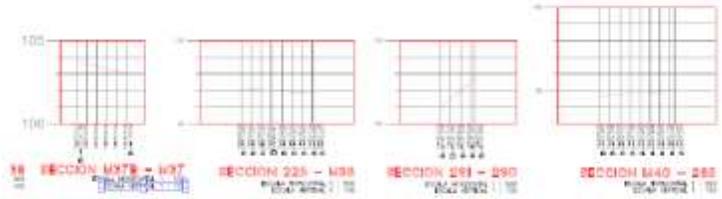
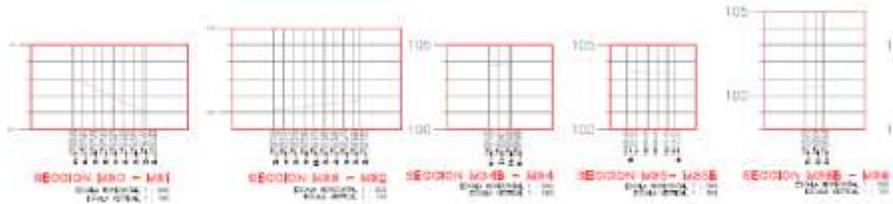
## 6.6 BATIMETRÍA

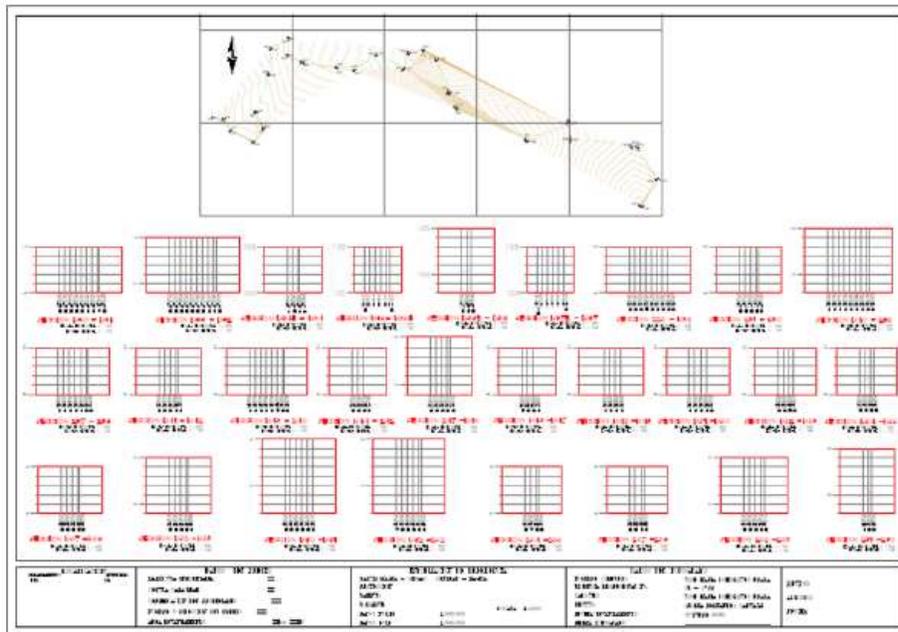
Se realizó la batimetría de la quebrada Macaraquilla (Figura 42 y 43), para entender las dinámicas del lecho de la quebrada, para identificar las zonas de depositación del material de arrastre, para poder identificar las zonas de interés de explotación, en el canal activo de la quebrada Macaraquilla y del río Aracataca.

Las dinámicas de la quebrada Macaraquilla son muy diferentes a la del río Aracataca, por las condiciones climatológicas de la zona, siendo esta un drenaje de escorrentía en verano. En el invierno la quebrada tiene una gran capacidad de transporte de material, generando grandes depósitos de material de arrastre.



(FIGURA # 42, Mapa batimétrico de la quebrada Macaraquilla)



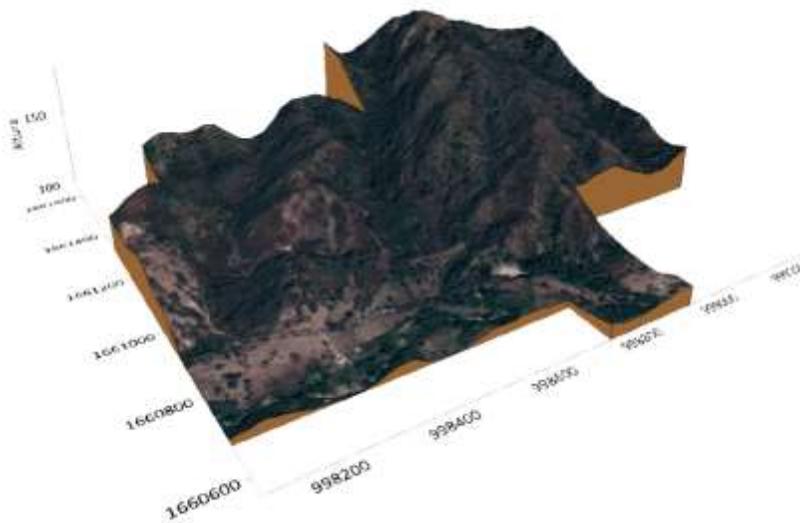


(FIGURA # 43, Mapa y perfiles batimétricos de la quebrada Macaraquilla)

## 7. MODELO GEOLÓGICO Y PROPUESTA DE EVALUACIÓN

### 7.1 MODELO GEOLOGICO

Con el fin de tener más criterios para la propuesta de diseño de explotación y la estimación de recursos y reservas, se hizo un modelo 3D en el software Surfer 15 a partir del DEM 12,5 metros y las imágenes satelitales. En la **figura 44** se puede observar el modelo 3D con sus dimensiones a escala, que nos permite comprender y dimensionar mejor los depósitos.



(FIGURA # 44, Modelo geológico 3D)

## 7.2 ESTIMACION DE RECURSOS Y RESERVAS

Siguiendo los términos de uso actualizados para el cálculo de recursos y reservas mineras se toman los términos de referencia consignados en el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales –ECRR- establecidos por la comisión colombiana de Recursos y Reservas Minerales en mayo de 2018.

Para dar cumplimiento a la Agencia Nacional de Minería (ANM), según los términos de referencia estipulados y nombrados en el apartado anterior, se procede a realizar la propuesta de categorización de Recursos y Reservas mineras para materiales de construcción.

### 7.2.1 RECURSOS MINERAL

Los recursos minerales son divididos en tres categorías según el ECRR, de acuerdo con el incremento de confianza geológica. Recursos Inferidos, Recursos Indicados y Recursos Medidos son las tres categorías establecidas para evaluar los recursos minerales (**Figura 45**).

- **Recurso Mineral Inferido:** Es aquella parte de un recurso mineral, para la cual la cantidad y el tenor o calidad son estimadas sobre muestreo y evidencias geológicas limitadas. La evidencia geológica es suficiente para asumir, pero no para verificar la continuidad geológica, el tenor o la calidad, un recurso mineral inferido, tiene un menor nivel de confianza del que se aplica a un recurso mineral indicado, y no debe ser convertido en una reserva mineral.
- **Recurso Mineral Indicado:** Es la parte de un recurso mineral para la cual la cantidad, tenor o calidad, densidad, forma y características físicas, son estimadas con suficiente confianza para permitir la aplicación de los factores modificadores, para soportar la planeación minera y la evaluación de la viabilidad económica del depósito. La evidencia geológica se deriva de exploración detallada y confiable, ensayos realizados mediante técnicas apropiadas, y toma de muestras suficientes para asumir la continuidad geológica y el tenor o calidad entre los puntos de observación donde se recolectan los datos y las muestras.
- **Recurso Mineral Medido:** Es aquella parte de un recurso mineral, para la cual la cantidad, tenor o calidad, densidad, forma y características físicas, son estimados con suficiente confianza, para permitir la aplicación de los factores modificadores, para soportar la planeación minera y la evaluación de la viabilidad económica del depósito. La evidencia geológica se deriva de exploración detallada y confiable, ensayos realizados mediante técnicas apropiadas, y toma de muestras suficientes para asumir la continuidad geológica y el tenor o calidad entre los puntos de observación donde se recolectan los datos y las muestras. Un Recurso Mineral Medido tiene un nivel de confianza más alto que el que se aplica a un Recurso Mineral Indicado o un recurso mineral inferido. Puede ser convertido en una reserva mineral probada o, bajo ciertas

circunstancias, a una Reserva Mineral Probable. La clasificación utilizada por el ECRR para presentar informes de resultados de exploración y estimación de reservas y recursos.

La propuesta de estimación de recurso y reservas minera para la solicitud de contrato de concesión diferencial, solo se llevó la estimación a recurso mineral indicado en la metodología bancos descendentes, por el grado conocimiento que se tiene sobre el yacimiento en la formación geológica conglomerados de Macaraquilla, faltando algunas prácticas que nos permita caracterizarlo mejor.

Para la metodología de explotación por medio de dársenas, la estimación de los recursos mineros se pudo caracterizo mejor el depósito, con la finalidad de llevar los recursos a la categoría de medidos.

Las estimaciones de los recursos minerales se llevó a cabo gracias la exploración de campo, donde se localizaron estaciones de campo para determinar las características litológicas del depósito para poder definir que fracción del área explorada es susceptibles para entrar a etapa explotación para materiales de construcción. Por medio, del levantamiento de columnas estratigráficas, perfiles geológicos detallados y la elaboración de apiques expuestos en la descripción del informe, se determinan las dimensiones del depósito sobre la continuidad del polígono.

#### 7.2.1.1 Recurso Inferido

##### ➤ Material de Cantera

La estimación de los recursos inferidos se realiza por el método de densificación de perfiles cada 50 metros aproximadamente, los perfiles son elaborados en el software Surfer donde se estima el área de los perfiles y posteriormente se determina el área promedio entre los perfiles (perfiles vecinos) y se multiplica por la distancia entre ellos (50 metros) para obtener el volumen entre los perfiles y después se suma el volumen entre los perfiles, para estimar un volumen total.

$V = ((A1 + A2) / 2) * H$  Donde:

V= Volumen en metros cúbicos

A1: Área vertical perfil 1. A2: Área vertical perfil 2.

H: Separación equidistante entre perfiles.

La estimación de recursos inferido para la solicitud de contrato de concesión diferencial, es aproximadamente de 15'644.484,2 m<sup>3</sup> de material, como se observa en la **tabla 5**.

Perfiles	Área (m <sup>2</sup> )	Rango	Promedio De Áreas De Perfiles(m <sup>2</sup> )	Distancia Entre Perfiles (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
A	9882,41				
B	8519,04	A - B	9200,72	50	460036,1
C	10303,77	B-C	9411,41	50	470570,3
D	10933,17	C-D	10618,47	50	530923,6
E	12534,02	D-E	11733,60	50	586679,8
F	9969,39	E-F	11251,70	50	562585,2
G	10019,66	F-G	9994,52	50	499726,1
H	8371,54	G-H	9195,60	50	459779,9
I	9529,49	H-I	8950,52	50	447525,8
J	8515,30	I-J	9022,40	50	451119,8
K	6481,96	J-K	7498,63	50	374931,4
L	4337,84	K-L	5409,90	50	270494,9
M	11120,30	L-M	7729,07	50	386453,5
N	10346,65	M-N	10733,48	50	536673,8
O	21863,43	N-O	16105,04	50	805251,9
P	22953,59	O-P	22408,51	50	1120425,3
Q	24002,35	P-Q	23477,97	50	1173898,5
R	24323,45	Q-R	24162,90	50	1208145,1
S	13818,90	R-S	19071,17	50	953558,7
T	20004,62	S-T	16911,76	50	845588,0
U	16753,10	T-U	18378,86	50	918943,2
V	17105,45	U-V	16929,27	50	846463,7
W	17792,15	V-W	17448,80	50	872440,0
X	16698,63	W-X	17245,39	50	862269,6
				Total	15'644.484,2

(TABLA # 5, Recursos inferidos para material de cantera)

➤ Material de Arrastre

La estimación de los recursos inferidos, se realizó por la metodología del cálculo de todas las áreas que se encuentre los depósitos aluviales recientes, multiplicado por el espesor promedio de los depósitos, para hallar el volumen total del depósito.

Los resultados de la estimación por esta metodología dieron como resultado un volumen aproximado de 19.642,5 m<sup>3</sup> de material (Tabla 6). Este tipo de extracción se consideran renovables según las características hidrológicas e hidrogeológicas de la quebrada, por lo siguiente el volumen del depósito puede variar.

<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
<b>13095</b>	1,5	19642,5

(TABLA # 6, Recursos inferidos para material de arrastre)

### 7.2.1.2 Recurso indicado

➤ Material de Cantera

La estimación de los recursos indicado se realiza por el método de densificación de perfiles cada 50 metros aproximadamente, los perfiles son elaborados en el software Surfer donde se estima el área de los perfiles, a partir de una cota general para cada contrato de concesión y posteriormente se determina el área promedio entre los perfiles (perfiles vecinos) y se multiplica por la distancia entre ellos (50 metros) para obtener el volumen entre los perfiles y después se suma el volumen entre los perfiles, para estimar un volumen total.

La estimación de recursos indicados para la solicitud de contrato de concesión diferencial, es aproximadamente de 14'162.346,3 m<sup>3</sup> de material, a partir de la cota 110 msnm, como se observa en la **tabla 7**.

<b>Perfiles</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Rango</b>	<b>Promedio De Áreas De Perfiles(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Distancia Entre Perfiles (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>A</b>	3710,05				
<b>B</b>	3582,78	A - B	3646,42	50	182320,9
<b>C</b>	6067,92	B-C	4825,35	50	241267,6
<b>D</b>	5227,22	C-D	5647,57	50	282378,6
<b>E</b>	6723,71	D-E	5975,46	50	298773,2
<b>F</b>	6678,57	E-F	6701,14	50	335057,1
<b>G</b>	7442,26	F-G	7060,42	50	353020,8
<b>H</b>	8371,54	G-H	7906,90	50	395345,0
<b>I</b>	9529,49	H-I	8950,52	50	447525,8
<b>J</b>	8515,30	I-J	9022,40	50	451119,8

<b>K</b>	6481,96	J-K	7498,63	50	374931,4
<b>L</b>	4337,84	K-L	5409,90	50	270494,9
<b>M</b>	11120,30	L-M	7729,07	50	386453,5
<b>N</b>	10346,65	M-N	10733,48	50	536673,8
<b>O</b>	21863,43	N-O	16105,04	50	805251,9
<b>P</b>	22953,59	O-P	22408,51	50	1120425,3
<b>Q</b>	24002,35	P-Q	23477,97	50	1173898,5
<b>R</b>	24323,45	Q-R	24162,90	50	1208145,1
<b>S</b>	13818,90	R-S	19071,17	50	953558,7
<b>T</b>	20004,62	S-T	16911,76	50	845588,0
<b>U</b>	16753,10	T-U	18378,86	50	918943,2
<b>V</b>	17105,45	U-V	16929,27	50	846463,7
<b>W</b>	17792,15	V-W	17448,80	50	872440,0
<b>X</b>	16698,63	W-X	17245,39	50	862269,6
				<b>Total</b>	<b>14'162.346,3</b>

(TABLA # 7, Recursos indicados para material de cantera)

➤ Material de Arrastre

La estimación de los recursos indicados se realizó con la metodología, del cálculo de las playas o point bar donde hay una buena concentración del material aluvial, calculando el área de cada playa y la profundidad de esta, para encontrar el volumen.

La estimación de los recursos indicados dio como resultado un volumen aproximado de 6.588,8 m<sup>3</sup>, que puede variar según las dinámicas del afluente, como se aprecia en la **tabla 8**.

<b>PLAYAS</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	845	1,6	1352
<b>2</b>	760	1,5	1140
<b>3</b>	1027	1,4	1437,8
<b>4</b>	640	1,6	1024
<b>5</b>	1090	1,5	1635
<b>Total</b>			<b>6.588,8</b>

(TABLA # 8, Recursos indicados para material de arrastre)

### 7.2.1.3 Recursos Medidos

➤ Material de Arrastre

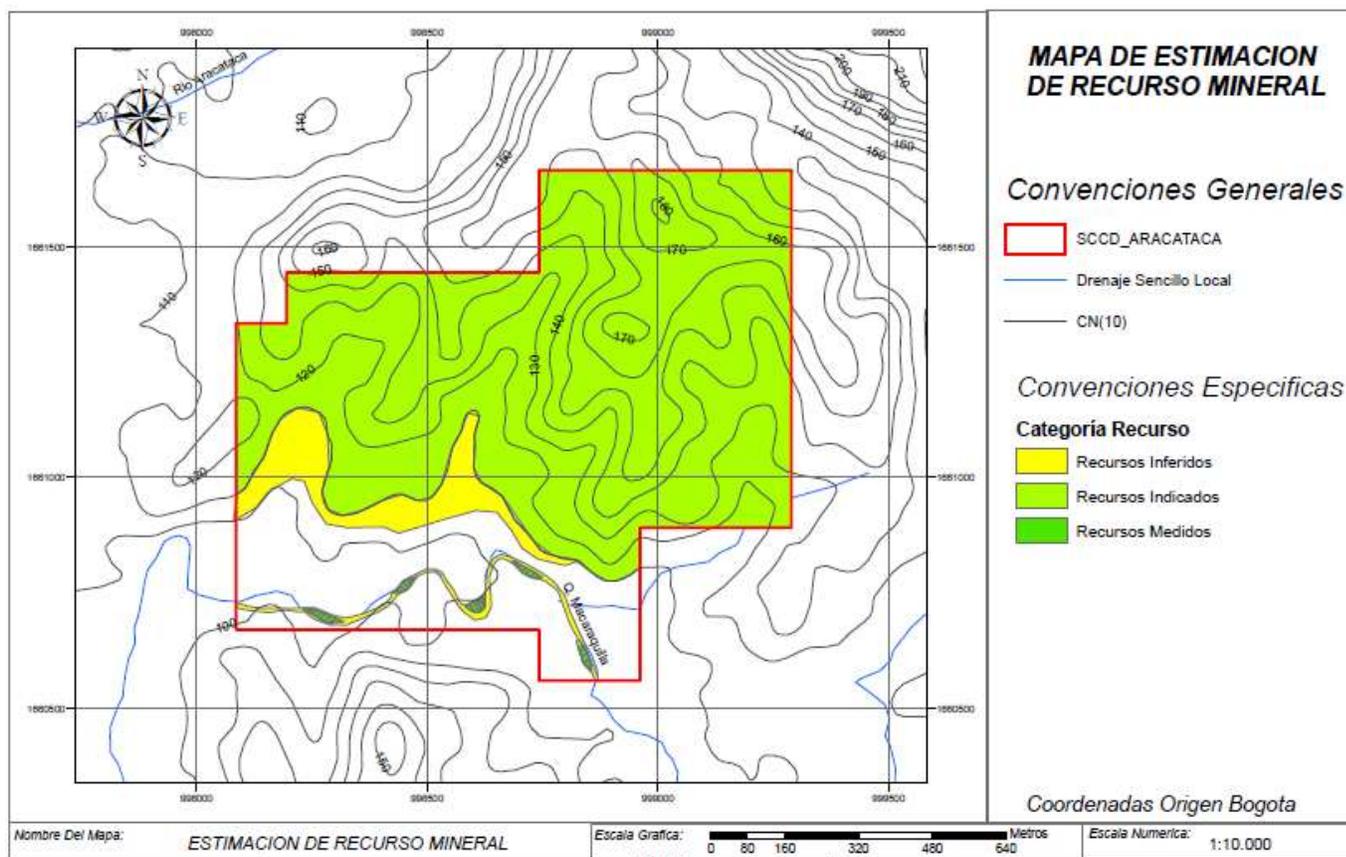
La estimación de los recursos medidos se realizó a partir del diseño de explotación por dársenas, con este parámetro, se calculó el área de las 34 dársenas proyectadas y su valor se multiplicó por la profundidad hasta la cual se realizará la explotación; con lo cual se obtiene el volumen de material a extraer de cada una de las dársenas y la sumatoria de estos volúmenes determina el total a extraer durante el primer ciclo de extracción, lo anterior sin que se presenten procesos de recarga.

Los resultados de la estimación de los recursos medidos, dieron como volumen final de 3.826,16 m<sup>3</sup> de material anual (**Tabla 9**).

PLAYAS	AREA (m <sup>2</sup> )	DARSENA	AREA (m <sup>2</sup> )	PROFUNDIDAD (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
1	845	Dársena 1	33,27	1,2	39,92
		Dársena 2	94,57	1,2	113,48
		Dársena 3	169,77	1,2	203,72
		Dársena 4	107,37	1,2	128,84
		Dársena 5	84,26	1,2	101,11
		Dársena 6	64,46	1,2	77,35
2	760	Dársena 7	68,45	1,2	82,14
		Dársena 8	77,35	1,2	92,81
		Dársena 9	145,33	1,2	174,39
		Dársena 10	108,54	1,2	130,24
		Dársena 11	97,16	1,2	116,59
		Dársena 12	43,34	1,2	52,01
		Dársena 13	26,41	1,2	31,69
3	1027	Dársena 14	55,05	1,2	66,06
		Dársena 15	84,46	1,2	101,35
		Dársena 16	131,61	1,2	157,93
		Dársena 17	150,00	1,2	180,00
		Dársena 18	201,19	1,2	241,43
		Dársena 19	109,18	1,2	131,02
4	640	Dársena 20	28,71	1,2	34,45
		Dársena 21	30,09	1,2	36,10
		Dársena 22	60,32	1,2	72,39
		Dársena 23	116,15	1,2	139,38
		Dársena 24	121,68	1,2	146,01

5	1090	Dársena 25	96,37	1,2	115,64
		Dársena 26	56,67	1,2	68,01
		Dársena 27	120,11	1,2	144,13
		Dársena 28	164,44	1,2	197,33
		Dársena 29	160,36	1,2	192,43
		Dársena 30	119,28	1,2	143,14
		Dársena 31	103,72	1,2	124,46
		Dársena 32	64,20	1,2	77,04
		Dársena 33	43,58	1,2	52,29
		Dársena 34	51,06	1,2	61,27
					3.826,16

(TABLA # 9, Recursos medidos para material de arrastre)

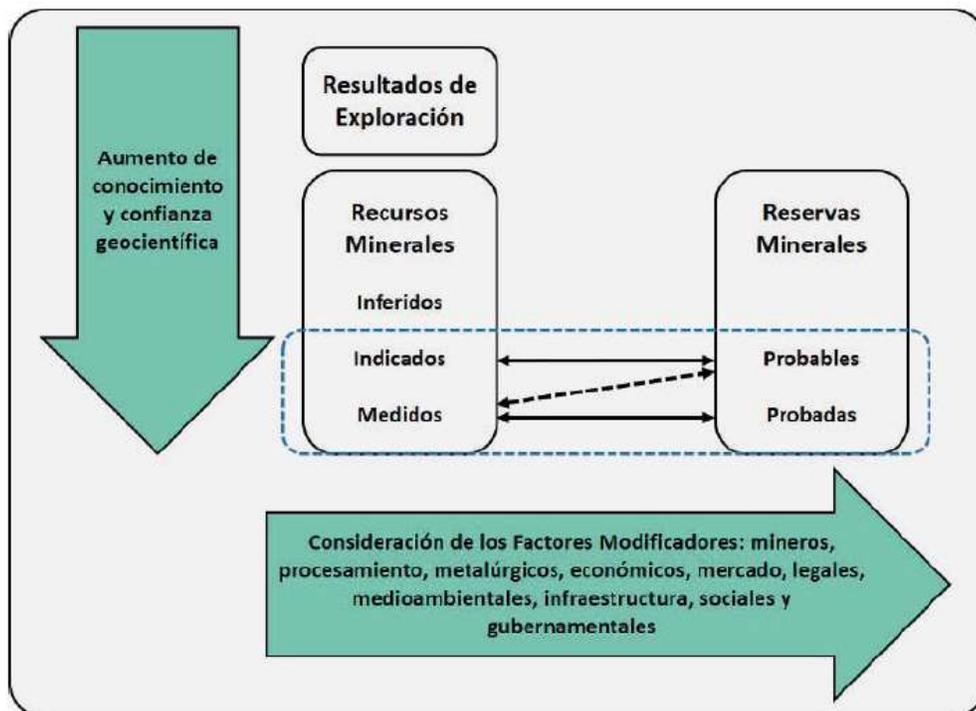


(FIGURA # 45, Mapa de estimación de Recurso minero)

## 7.2.2 FACTORES MODIFICADORES

Se aplicarán los siguientes factores modificadores a los recursos indicados para ser llevados a la categoría de reservas probables (**Figura 46**).

- **Complejidad geológica:** clasificada como baja, debido al conocimiento que se tiene del yacimiento, como la continuidad lateral y vertical, observadas en labores de exploración superficial, por lo que su valor porcentual de error en este caso es nulo.
- **Profundidad** (sensu stricto): la continuidad vertical del yacimiento está definida y es apreciables en las labores de exploración superficial con levantamiento de columna estratigráfica.
- **Estudio de prefactibilidad y factibilidad:** el cual sirve como base para definir las reservas minerales explotables, siendo las reservas probables y probadas las mismas reservas explotables y que serán tenidas en cuenta en la vida útil del proyecto.
- **Guías minero ambientales:** que permiten definir la porción explotable del yacimiento debido a factores ambientales, sociales y mineros.
- **Factor de recuperación mina (FRM):** asociado al sistema de explotación se plantea un factor de recuperación del 80 % para reservas probables.
- **Factor de recuperación por condiciones ambientales (FRCA):** se define un factor de recuperación por condiciones ambientales del 90% para reservas probables.



(FIGURA # 46, Diagrama de factores modificadores)

### 7.2.3 RESERVAS MINERALES

Las Reservas Mineras son aquellas porciones de los Recursos Minerales, que después de la aplicación de todos los Factores Modificadores dan como resultado un tonelaje o tenor estimados, que en opinión de la Persona Competente que realiza las estimaciones pueden ser la base de un proyecto técnica y económicamente viable. Es inaceptable estimar una Reserva Minera sin un diseño de mina o un plan de mina a través de un proceso de aplicación de Factores Modificadores sobre el Recurso Mineral.

Las Reservas Mineras se subdividen, en orden ascendente de confianza, en Reservas Mineras Probables y Reservas Mineras Probadas.

- Reserva Minera Probable: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado, y en algunas circunstancias, de un Recurso Mineral Medido. La confianza de los Factores Modificadores aplicados a una Reserva Minera Probable es más baja que los aplicados a una Reserva Minera Probada. Una Reserva Minera Probable tiene un nivel de confianza más bajo que una Reserva Minera Probada, pero es de calidad suficiente para servir de base en la decisión sobre el desarrollo de un depósito.
- Reserva Minera Probada: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Una Reserva Minera Probada implica un alto grado de confianza en los Factores Modificadores. Una Reserva Minera Probada representa la categoría de más alta confianza en la estimación de Reservas e implica un alto grado de confianza en la continuidad geológica y en la consideración de los Factores Modificadores.

Se determina para la solicitud de contrato de concesión diferencial, que la totalidad de los recursos indicados y medidos estimados en los apartados anteriores, se le aplicarán los factores modificadores para poder categorizar las reservas probables y probadas según la génesis y el conocimiento que se tiene de los depósitos (**Figura 47**).

#### 7.2.3.1 Reservas Probables

##### ➤ Material de Cantera

La estimación de reservas probables se realizó aplicando los factores modificadores que afectan a la hora de la extracción del material, en este caso de gravas y arenas. La estimación de reserva se hizo a partir de los resultados obtenidos de la estimación de recursos indicados y la aplicación de factores modificadores de recuperación (FRM – 80%) y factor de recuperación por condiciones ambientales (FRCA-75%).

Se obtienen las reservas probables multiplicando el volumen entre los perfiles de recursos indicado por ambos factores modificadores y realizando la sumatoria de los volúmenes obtenidos, para dar las reservas probables.

Perfiles	Área (m <sup>2</sup> )	Rango	Promedio De Áreas De Perfiles(m <sup>2</sup> )	Distancia Entre Perfiles (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	FRM	FRCA	Reservas (m <sup>3</sup> )
<b>A</b>	3710,05							
<b>B</b>	3582,78	A - B	3646,42	50	182320,9	0,8	0,75	109392,5
<b>C</b>	6067,92	B-C	4825,35	50	241267,6	0,8	0,75	144760,6
<b>D</b>	5227,22	C-D	5647,57	50	282378,6	0,8	0,75	169427,1
<b>E</b>	6723,71	D-E	5975,46	50	298773,2	0,8	0,75	179263,9
<b>F</b>	6678,57	E-F	6701,14	50	335057,1	0,8	0,75	201034,2
<b>G</b>	7442,26	F-G	7060,42	50	353020,8	0,8	0,75	211812,5
<b>H</b>	8371,54	G-H	7906,90	50	395345,0	0,8	0,75	237207,0
<b>I</b>	9529,49	H-I	8950,52	50	447525,8	0,8	0,75	268515,5
<b>J</b>	8515,30	I-J	9022,40	50	451119,8	0,8	0,75	270671,9
<b>K</b>	6481,96	J-K	7498,63	50	374931,4	0,8	0,75	224958,8
<b>L</b>	4337,84	K-L	5409,90	50	270494,9	0,8	0,75	162296,9
<b>M</b>	11120,30	L-M	7729,07	50	386453,5	0,8	0,75	231872,1
<b>N</b>	10346,65	M-N	10733,48	50	536673,8	0,8	0,75	322004,3
<b>O</b>	21863,43	N-O	16105,04	50	805251,9	0,8	0,75	483151,1
<b>P</b>	22953,59	O-P	22408,51	50	1120425,3	0,8	0,75	672255,2
<b>Q</b>	24002,35	P-Q	23477,97	50	1173898,5	0,8	0,75	704339,1
<b>R</b>	24323,45	Q-R	24162,90	50	1208145,1	0,8	0,75	724887,0
<b>S</b>	13818,90	R-S	19071,17	50	953558,7	0,8	0,75	572135,2
<b>T</b>	20004,62	S-T	16911,76	50	845588,0	0,8	0,75	507352,8
<b>U</b>	16753,10	T-U	18378,86	50	918943,2	0,8	0,75	551365,9
<b>V</b>	17105,45	U-V	16929,27	50	846463,7	0,8	0,75	507878,2
<b>W</b>	17792,15	V-W	17448,80	50	872440,0	0,8	0,75	523464,0
<b>X</b>	16698,63	W-X	17245,39	50	862269,6	0,8	0,75	517361,7
							<b>Total</b>	<b>8'497.407,8</b>

(TABLA # 10, Reservas probables para material de cantera)

La estimación de reservas probables para la solicitud de contrato de concesión es aproximadamente de 8'497.407,8 m<sup>3</sup> de material, a partir de la cota 110 msnm, como se observa en la **tabla 10**.

### 7.2.3.2 Reservas Probadas

➤ Material de Arrastre

La estimación de reservas probadas se realizó aplicando los factores modificadores que afectan a la hora de la extracción del material, en este caso de gravas y arenas. La estimación de reserva se hizo a partir de los resultados obtenidos de la estimación de recursos medidos y la aplicación de factores modificadores de recuperación (FRM – 85%) y factor de recuperación por condiciones ambientales (FRCA-90%).

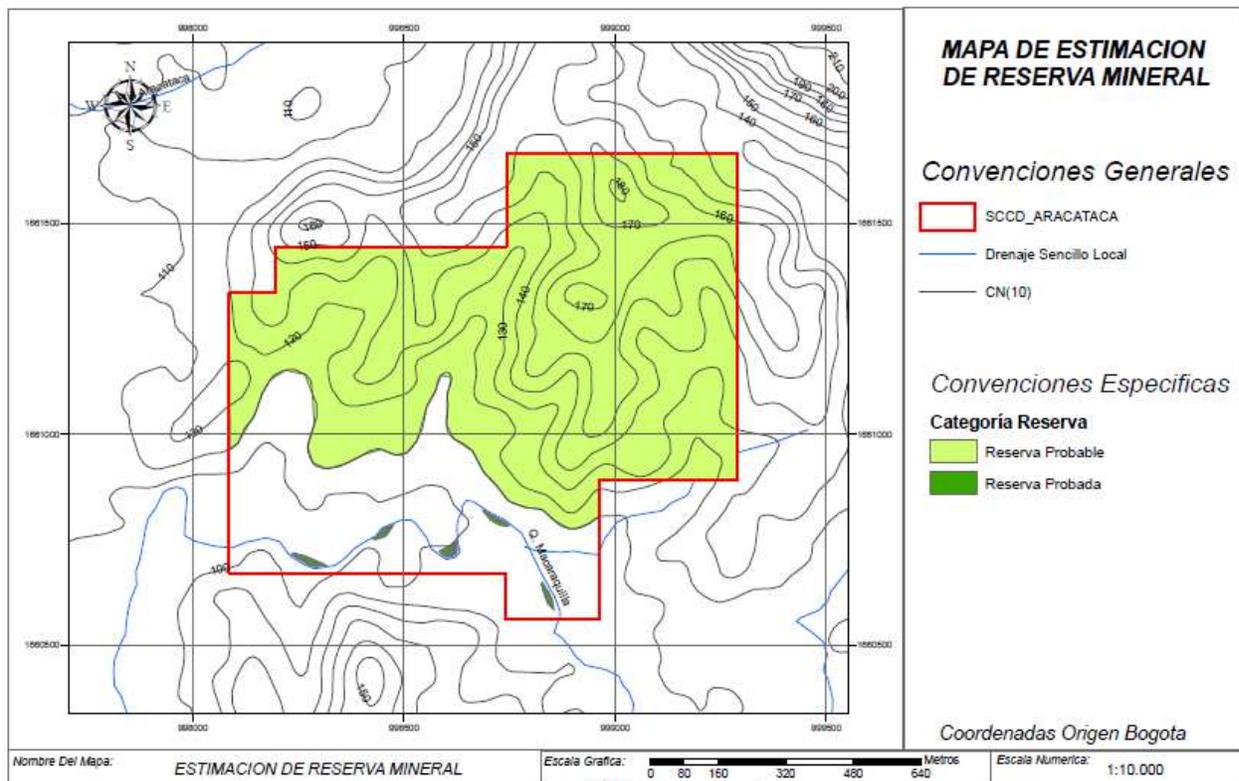
Se obtienen las reservas probadas multiplicando el volumen de las dársenas de los recursos medidos por ambos factores modificadores y realizando la sumatoria de los volúmenes obtenidos, para obtener las reservas probadas.

Las reservas probadas para la solicitud de contrato de concesión diferencial por el método de extracción por dársenas son de 2.927,02 m<sup>3</sup> de material anual (**Tabla 11**).

PLAYAS	AREA (m <sup>2</sup> )	DARSENSA	AREA (m <sup>2</sup> )	PROFUNDIDAD (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	FRM	FRCA	RESERVAS (m <sup>3</sup> )
1	845	Dársena 1	33,27	1,2	39,92	0,85	0,90	30,54
		Dársena 2	94,57	1,2	113,48	0,85	0,90	86,82
		Dársena 3	169,77	1,2	203,72	0,85	0,90	155,85
		Dársena 4	107,37	1,2	128,84	0,85	0,90	98,56
		Dársena 5	84,26	1,2	101,11	0,85	0,90	77,35
		Dársena 6	64,46	1,2	77,35	0,85	0,90	59,17
2	760	Dársena 7	68,45	1,2	82,14	0,85	0,90	62,84
		Dársena 8	77,35	1,2	92,81	0,85	0,90	71,00
		Dársena 9	145,33	1,2	174,39	0,85	0,90	133,41
		Dársena 10	108,54	1,2	130,24	0,85	0,90	99,64
		Dársena 11	97,16	1,2	116,59	0,85	0,90	89,19
		Dársena 12	43,34	1,2	52,01	0,85	0,90	39,78
		Dársena 13	26,41	1,2	31,69	0,85	0,90	24,24
3	1027	Dársena 14	55,05	1,2	66,06	0,85	0,90	50,53
		Dársena 15	84,46	1,2	101,35	0,85	0,90	77,54
		Dársena 16	131,61	1,2	157,93	0,85	0,90	120,82
		Dársena 17	150,00	1,2	180,00	0,85	0,90	137,70
		Dársena 18	201,19	1,2	241,43	0,85	0,90	184,69
		Dársena 19	109,18	1,2	131,02	0,85	0,90	100,23
4	640	Dársena 20	28,71	1,2	34,45	0,85	0,90	26,35
		Dársena 21	30,09	1,2	36,10	0,85	0,90	27,62

5	1090	Dársena 22	60,32	1,2	72,39	0,85	0,90	55,38
		Dársena 23	116,15	1,2	139,38	0,85	0,90	106,62
		Dársena 24	121,68	1,2	146,01	0,85	0,90	111,70
		Dársena 25	96,37	1,2	115,64	0,85	0,90	88,47
		Dársena 26	56,67	1,2	68,01	0,85	0,90	52,03
		Dársena 27	120,11	1,2	144,13	0,85	0,90	110,26
		Dársena 28	164,44	1,2	197,33	0,85	0,90	150,96
		Dársena 29	160,36	1,2	192,43	0,85	0,90	147,21
		Dársena 30	119,28	1,2	143,14	0,85	0,90	109,50
		Dársena 31	103,72	1,2	124,46	0,85	0,90	95,21
		Dársena 32	64,20	1,2	77,04	0,85	0,90	58,93
		Dársena 33	43,58	1,2	52,29	0,85	0,90	40,00
		Dársena 34	51,06	1,2	61,27	0,85	0,90	46,87
		<b>TOTAL</b>						

(TABLA # 11, Reservas probadas para material de arrastre)



(FIGURA # 47, Mapa de estimación de Reservas mineras)

## 8. CONCLUSIONES

- Gracias a la exploración de campo, en el área del contrato de concesión diferencial, ubicada en el municipio de Aracataca, se pudo hacer una descripción detallada de las unidades geológicas a escala regional y local, identificando las acumulaciones de materiales pétreos como gravas, arenas y recebo, con potencial para su eventual explotación económica en el título minero.
- En la exploración de campo se pudo identificar algunos de los parámetros morfológicos y morfométricos, y se clasificaron las unidades geomorfológicas hasta los niveles taxonómicos inferiores como relieve geomorfológico y forma del terreno, siguiendo la metodología del IGAC (Zinck ,2012), a una escala 1:10000.
- Se diseñaron los diferentes mapas para cada una de las etapas de la exploración mínima superficial (Topografía, geológica, geomorfológica, entre otros) y modelo geológico, cumpliendo con los parámetros establecidos en la resolución 40600 de 2015 emitida por el ministerio de minas y energía, y los términos de referencia de la ANM, en los softwares de ArcGis y Surfer.
- Mediante la información recolectada y previamente procesada se realizó la estimación de recursos y reservas para la solicitud de contrato de concesión diferencial, aplicando el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas Mineras (ECRR). La estimación de las reservas se realizó a partir de la aplicación de los factores modificadores a los recursos mineros, para cada uno de los tipos de depósitos, proporcionando como resultado unas reservas probables para cantera de **8'497.407,8** m<sup>3</sup> de material y reservas probadas para material de arrastre de **2.927,02** m<sup>3</sup> anuales.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – ideam. (2013). *guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. Bogotá.

Zinck (2012). caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por el IGAC.

Instituto colombiano de geología y minería ingeominas. (1984). *reseña explicativa del mapa geológico preliminar plancha 25 Fundación*. Bogotá: república de Colombia ministerio de minas y energía instituto colombiano de geología y minería.

Instituto colombiano de geología y minería ingeominas. (1984). *reseña explicativa del mapa geológico preliminar plancha 26 la sierra nevada de santa marta*”. Bogotá: república de Colombia ministerio de minas y energía instituto colombiano de geología y minería.

Agencia nacional de minería (ANM). (2018). *términos de referencia trabajo de exploración, programa mínimo exploratorio y programa de trabajos y obras (PTO) para materiales y minerales distintos del espacio y fondo marino*. Bogotá.

Agencia nacional de minería (ANM). (2018). *estándar colombiano para el reporte público de resultados de exploración, recursos y reservas minerales (ECRR)*. Bogotá.

Villagmez(2010) *Thermochronology, Geochronology and Geochemistry of the Western and Central Cordilleras and Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia: The Tectonic Evolution of NW South America*.

Agencia nacional de minería (ANM). (2021). *Guía de buenas prácticas para la exploración y estimación de recursos y reservas de materiales de arrastre*.

Tschanz et al., (1969) *Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia*

Servicio Geológico Colombiano. (2021). *Geoportal*. Obtenido de *Geoportal*: <https://sgcolombiano.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=fcd48e0987c14759963007d04167469f>