

Caracterización de unidades geológicas para ingeniería (UGI) a escala 1:5.000 de las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga para el desarrollo de estudios geotécnicos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Río de Oro, práctica empresarial en Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S.

Kevin Julián Jaimes Tarazona

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director

Leonardo Palmera Sánchez

Geólogo M.Sc en Geociencias

Tutor

José Neyith Contreras Sandoval

Geólogo M.Sc en Geotecnia

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2024

### **Agradecimientos**

A todo el equipo de ALICON & Ing. S.A.S., a José, Diana y Heidi por recibirme en su equipo. A Joel, Edward, César, Juanpa, Karen, Lisseth, Sonia, Gina y Erika por todas las enseñanzas compartidas.

A mi director de trabajo de grado, Leonardo, por hacer posible este trabajo.

A mis padres, mi abuela y mi hermana, por todo su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros de universidad, por todos los momentos compartidos.

A mi novia, María Fernanda Mejía, mi media vida y eterno amor.

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	12
1. Justificación .....	13
2. Objetivos .....	14
2.1. Objetivo General .....	14
2.2. Objetivos Específicos .....	14
3. Localización de las áreas de estudio .....	15
4. Marco Geológico .....	17
4.1. Miembro órganos .....	17
4.2. Miembro Finos .....	17
4.3. Miembro Gravoso .....	18
4.4. Miembro Limos Rojos .....	18
5. Antecedentes .....	19
6. Marco teórico .....	20
6.1. Análisis mecánico del suelo .....	20
6.2. Consistencia del suelo .....	20
6.2.1. Límite plástico (PL) .....	21
6.2.2. Límite líquido (LL) .....	21
6.3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	22
6.4. Unidades de geología para ingeniería (UGI) .....	24
6.4.1. Unidades de roca .....	24
6.4.2. Unidades de suelo .....	24

6.5. Elementos geomorfológicos.....	25
7. Metodología .....	26
8. Resultados .....	28
8.1. Movimientos en masa .....	28
8.2 Elementos geomorfológicos.....	32
8.2.3. Elementos geomorfológicos de origen denudacional (D).....	32
8.2.4. Elementos geomorfológicos de origen fluvial (F) .....	41
8.2.5. Elementos geomorfológicos de origen antropogénico (A) .....	44
8.3. Unidades geológicas para ingeniería .....	53
8.3.1. Unidades de roca sedimentaria .....	53
8.3.2. Suelos transportados de origen gravitacional .....	54
8.3.3. Suelos transportados de origen aluvial .....	57
8.3.4. Suelos transportados de origen fluvial.....	59
8.3.5. Suelos de origen antropogénico .....	61
8.4. Zonificación geotécnica .....	68
8.4.1. Zonas de origen antrópico (A) .....	68
8.4.2. Zonas de origen denudacional (D).....	69
8.4.3. Zonas de origen fluvial (F) .....	74
10. Conclusiones.....	79
Referencias Bibliográficas .....	80

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Criterios para la asignación de símbolos</i> .....	23
Tabla 2 <i>Nomenclatura de elementos geomorfológicos</i> .....	25
Tabla 3 <i>Movimientos en masa identificados en la quebrada La Picha</i> .....	28
Tabla 4 <i>Movimientos en masa identificados en la quebrada Chapinero</i> .....	29
Tabla 5 <i>Movimientos en masa identificados en la quebrada Dos Aguas</i> .....	30
Tabla 6 <i>Movimientos en masa identificados en la quebrada Cuyamita</i> .....	31

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Mapa de localización de las áreas de estudio</i> .....	16
Figura 2 <i>Corte esquemático con espesores promedio de la formación Bucaramanga</i> .....	18
Figura 3 <i>Límites de Atterberg</i> .....	21
Figura 4 <i>Carta de plasticidad de Casagrande</i> .....	22
Figura 5 <i>Metodología para el desarrollo de la práctica empresarial</i> .....	26
Figura 6 <i>Estaciones en las áreas de estudio</i> .....	27
Figura 7 <i>Lomo denudado</i> .....	33
Figura 8 <i>Coluvión</i> .....	34
Figura 9 <i>Cono de talus</i> .....	35
Figura 10 <i>Escarpe denudacional</i> .....	36
Figura 11 <i>Cono de flujo de detritos</i> .....	37
Figura 12 <i>Hondonada</i> .....	38
Figura 13 <i>Laderas inclinadas a muy empinadas</i> .....	39
Figura 14 <i>Laderas muy empinadas a fuertemente escarpadas</i> .....	40
Figura 15 <i>Laderas planas a inclinadas</i> .....	41
Figura 16 <i>Cauce activo</i> .....	42
Figura 17 <i>Planicie de inundación</i> .....	43
Figura 18 <i>Terraza baja</i> .....	44
Figura 19 <i>Laderas explanadas con llenos</i> .....	45
Figura 20 <i>Ladera explanada</i> .....	46
Figura 21 <i>Depósitos de cantera</i> .....	47

Figura 22 <i>Obras de ingeniería</i> .....	48
Figura 23 <i>Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada La Picha</i> .....	49
Figura 24 <i>Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Chapinero</i> .....	50
Figura 25 <i>Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Dos Aguas</i> .....	51
Figura 26 <i>Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Cuyamita</i> .....	52
Figura 27 <i>Roca intermedia de la formación Girón</i> .....	54
Figura 28 <i>Suelo transportado de depósito coluvial</i> .....	55
Figura 29 <i>Suelo transportado de depósito de cono de talus</i> .....	56
Figura 30 <i>Suelo transportado de flujo de detritos</i> .....	57
Figura 31 <i>Suelo transportado del miembro órganos gravoso</i> .....	58
Figura 32 <i>Suelo transportado del miembro órganos arenoso</i> .....	59
Figura 33 <i>Suelo transportado de cauce actual</i> .....	60
Figura 34 <i>Suelo transportado de terraza baja</i> .....	61
Figura 35 <i>Suelo de llenos antrópicos</i> .....	62
Figura 36 <i>Suelo de depósitos de cantera</i> .....	63
Figura 37 <i>Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada La Picha</i> .....	64
Figura 38 <i>Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Chapinero</i> .....	65
Figura 39 <i>Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Dos Aguas</i> .....	66
Figura 40 <i>Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Cuyamita</i> .....	67
Figura 41 <i>Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada La Picha</i> .....	75
Figura 42 <i>Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Chapinero</i> .....	76
Figura 43 <i>Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Dos Aguas</i> .....	77
Figura 44 <i>Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Cuyamita</i> .....	78

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. *Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada La Picha*

Apéndice B. *Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Chapinero*

Apéndice C. *Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Dos Aguas*

Apéndice D. *Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Cuyamita*

Apéndice E. *Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada La Picha*

Apéndice F. *Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Chapinero*

Apéndice G. *Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Dos Aguas*

Apéndice H. *Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Cuyamita*

Apéndice I. *Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada La Picha*

Apéndice J. *Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Chapinero*

Apéndice K. *Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Dos Aguas*

Apéndice L. *Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Cuyamita*

Apéndice M. *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada La Picha*

Apéndice N. *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada Chapinero*

Apéndice Ñ. *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada Dos Aguas*

Apéndice O. *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada Cuyamita*

Apéndice P. *Clasificación de suelos de la quebrada La Picha*

Apéndice Q. *Clasificación de suelos de la quebrada Chapinero*

Apéndice R. *Clasificación de suelos de la quebrada Dos Aguas*

Apéndice S. *Clasificación de suelos de la quebrada Cuyamita*

*Nota:* Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

## Resumen

**Título:** Caracterización de unidades geológicas para ingeniería (UGI) a escala 1:5.000 de las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga para el desarrollo de estudios geotécnicos de la planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) río de oro, práctica empresarial en Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S.<sup>1</sup>

**Autor:** Kevin Julián Jaimes Tarazona<sup>2</sup>

**Palabras Clave:** Bucaramanga, geomorfología, geotecnia, cartografía.

**Descripción:** El presente trabajo de grado, bajo la modalidad de práctica empresarial en convenio con la empresa ALICON & Ing S.A.S, compila los insumos elaborados para el desarrollo del proyecto de diseño de obras de ingeniería para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) proyectada en el Río de Oro, Girón. Se presenta la cartografía geomorfológica a nivel de elementos, caracterización de las unidades geológicas para ingeniería, inventario de movimientos en masa y zonificación geotécnica de las zonas próximas a las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita, del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga, a escala 1:5.000.

Durante el desarrollo de la práctica empresarial se realizó el trabajo de oficina previo con ayuda de la información proporcionada por el equipo de topografía y recopilación de informes previos realizados por Ingeominas (actual Servicio Geológico Colombiano), la Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB), y la alcaldía de Bucaramanga; las respectivas expediciones de campo en cada quebrada para constatar las geoformas, movimientos en masa y unidades geológicas para ingeniería identificadas; la zonificación geotécnica realizada con los resultados de sondeos y apiques realizados por el equipo de laboratorio; y la compilación de esta información en mapas temáticos e informes de cada quebrada para su discusión con el equipo de ingeniería para el diseño de las obras.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado.

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Geología. Programa académico. Director: Leonardo Palmera Sánchez. Geólogo M.Sc. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. Geólogo M.Sc.

### Abstract

**Title:** Characterization of engineering geological units at scale 1:5.000 of La Picha, Chapinero, Dos Aguas and Cuyamita streams of the western scarp of Bucaramanga plateau for the development of geotechnical studies for the Río de Oro wastewater treatment plant, business practice at Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S.<sup>1</sup>

**Author(s):** Kevin Julián Jaimes Tarazona<sup>2</sup>

**Key Words:** Bucaramanga, geomorphology, geotechnics, cartography

**Description:** This degree work, under the modality of business practice in agreement with the company ALICON & Ing S.A.S., compiles the inputs prepared for the development of the engineering design project for the wastewater treatment plant (WWTP) projected in Rio de Oro, Girón. It presents the geomorphological cartography at elements level, characterization of the geological units for engineering, inventory of mass movements and geotechnical zoning of the areas near the La Picha, Chapinero, Dos Aguas and Cuyamita streams, of the western escarpment of the Bucaramanga plateau, at a scale of 1:5,000. During the development of the business practice, the office work was carried out with the help of the information provided by the topography team and the research in previous reports done by Ingeominas (currently the Colombian Geological Service), the Regional Autonomous Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau (CDMB), and the Bucaramanga Mayor's Office; the respective field expeditions in each stream were also carried out to verify the geofoms, mass movements and geological units for engineering identified; the geotechnical zoning carried out with the results of the probing and drilling carried out by the laboratory team; and the compilation of this information in thematic maps and reports of each stream for discussion with the engineering team for the design of the construction works.

---

<sup>1</sup> Degree Work.

<sup>2</sup> Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Academic program. Director: Leonardo Palmera Sánchez. Geologist M.Sc. Mentor: José Neyith Contreras Sandoval. Geologist M.Sc.

## **Introducción**

ALICON & ING. S.A.S es una empresa santandereana conformada desde hace más de doce años que ofrece servicios profesionales en diversos campos de las geociencias, incluyendo planeamiento minero, ingeniería geológica y geotecnia, gestión ambiental, gestión del riesgo, ordenamiento territorial y planificación urbana. La empresa consultora hizo parte del consorcio para los estudios y planificación de la PTAR Río de Oro, siendo encargada de los estudios geotécnicos de suelos. Dicho proyecto había sido estructurado desde hace más de 10 años y cuenta con la participación de la Gobernación de Santander, la Alcaldía de Bucaramanga, la Alcaldía de Girón, el Ministerio de Vivienda, la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y la Empresa Pública de Alcantarillado de Santander (EMPAS S.A.).

Los estudios para el diseño de obras de la PTAR Río de Oro requieren de insumos cartográficos a una escala de detalle mínima 1:5.000 según el decreto 1807 de 2014 y, dado que la planificación de las obras se localiza en el suelo rural de Bucaramanga, no se contaba con tal información a la escala requerida. Por tal motivo, durante el desarrollo de la práctica empresarial se aportará con información cartográfica, geomorfológica y geológica de la zona rural del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga a escala 1:5.000, en los sectores de las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita, donde se ubicarán los colectores “Meseta norte” y “Cuyamita”, para el diseño de las obras de construcción de la proyectada planta de tratamiento de aguas residuales del Río de Oro.

## 1. Justificación

El suelo urbano de Bucaramanga se encuentra sobre un abanico aluvial limitado por el macizo de Santander al norte y oriente, la Mesa de Ruitoque al sur, y el cerro de Palonegro y el río de Oro al occidente. Con un espesor estimado de 290 metros y una extensión de 60 a 80 kilómetros cuadrados, la ciudad está ubicada en un bloque tectónicamente hundido, afectado por la falla de Bucaramanga al este y la falla Suárez al oeste (Ingeominas, 2001; Vargas y Niño, 1992).

A pesar de sus limitaciones geográficas y geológicas, Bucaramanga ha experimentado un crecimiento poblacional constante. Este crecimiento ha incrementado los vertimientos de aguas negras en los principales afluentes del río de Oro, lo que ha intensificado la erosión y la contaminación (EMPAS S.A., 2019). Según el IDEAM (2018), "aproximadamente el 89% de las aguas residuales son vertidas sin un tratamiento adecuado, lo que convierte al río de Oro en uno de los corredores hídricos más contaminados del país". Por tal problemática fue propuesta la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para reducir la contaminación de la cuenca del río de Oro.

ALICON & ING S.A.S. pertenece al consorcio para los estudios geotécnicos y diseño de obras para la PTAR Río de Oro. Como practicante de geología, se trabajará en la cartografía de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI), cartografía de elementos geomorfológicos, identificación de movimientos en masa y elaboración de la zonificación geotécnica en las áreas circundantes a las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Caracterizar unidades geológicas para ingeniería (UGI) a escala 1:5.000 de las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga para el desarrollo de estudios geotécnicos de la PTAR Río de Oro.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Determinar los elementos geomorfológicos a escala 1:5.000 en las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita.

Caracterizar las unidades geológicas para ingeniería a escala 1:5.000 en las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita.

Inventariar y mapear los movimientos en masa que sean identificados a lo largo de las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita.

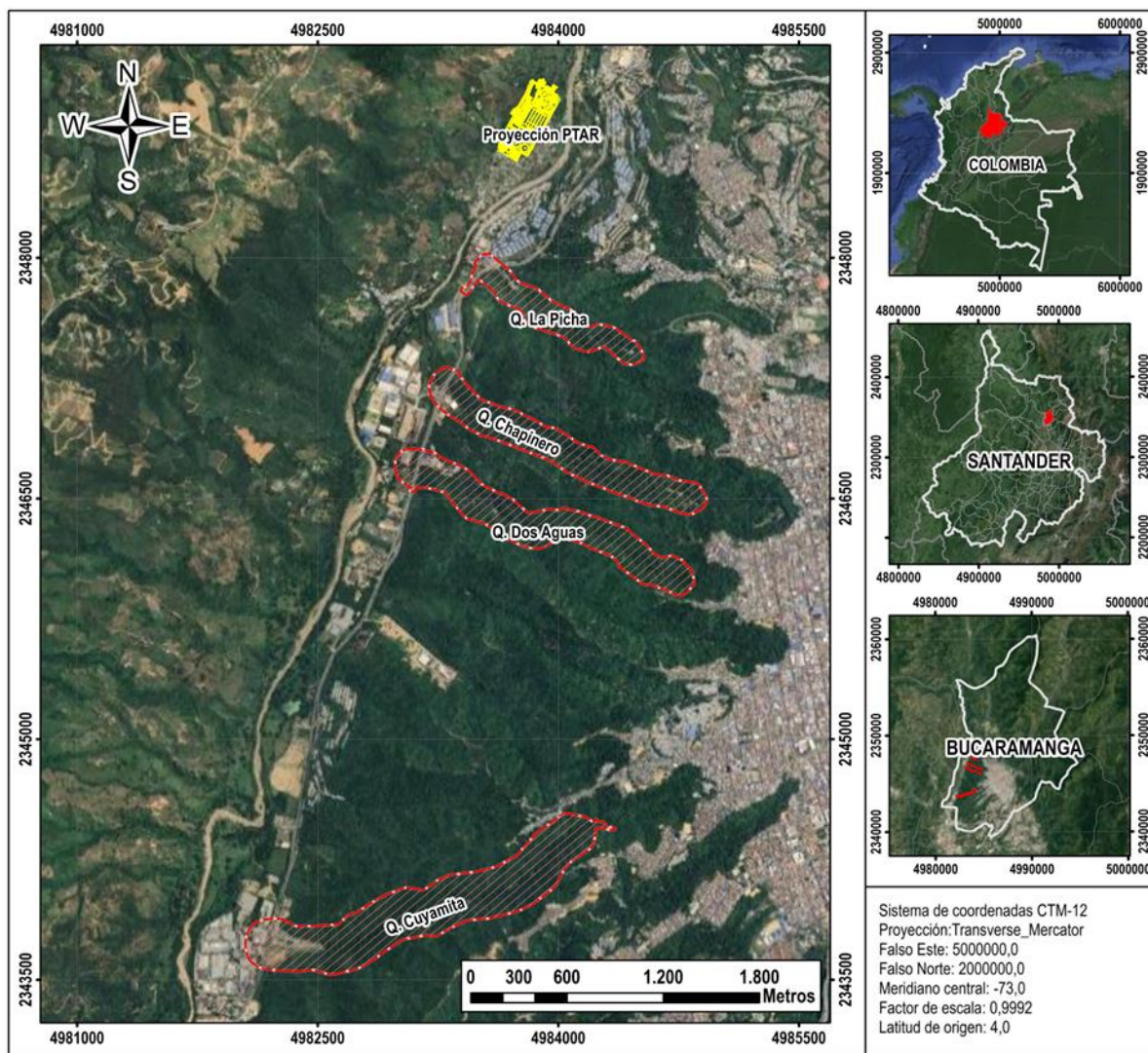
Realizar la zonificación geotécnica en las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita.

### 3. Localización de las áreas de estudio

Bucaramanga se sitúa en el flanco occidental de la cordillera oriental, con coordenadas geográficas  $07^{\circ}07'17''$  de latitud norte y  $73^{\circ}07'20''$  de longitud oeste, a 960 metros de altura sobre el nivel del mar y posee un área municipal de 153.235 kilómetros cuadrados (Igac,s.f). Las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita se localizan por las zonas noroccidental y occidental del abanico aluvial de Bucaramanga. La quebrada La picha se ubica en la zona norte, al oeste del barrio Norte Bajo, vierte aguas desde la curva de la Virgen por la avenida libertadores hasta el río de Oro pasando por el barrio Bavaria 2 y representa un área de 20.19 hectáreas. La quebrada Chapinero se ubica al occidente de los barrios Modelo y Chapinero, vierte sus aguas desde el barrio El Cinar hasta el río de Oro pasando por el parque industrial II, y comprende un área de estudio de 37.27 hectáreas. La quebrada Dos Aguas está ubicada al occidente del barrio Gaitán, mismo barrio donde vierte sus aguas hasta el río de Oro, y comprende un área de estudio de 42.3 hectáreas. La quebrada Cuyamita se localiza al occidente del barrio Pio XII, vierte sus aguas desde el barrio 23 de Junio hasta el río de Oro y abarca un área de estudio de aproximadamente 69.88 hectáreas. Las cuatro quebradas representan un área de estudio total de 169.64 hectáreas.

**Figura 1**

*Mapa de localización de las áreas de estudio*



*Nota.* Localización de las áreas de estudio, quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas, Cuyamita, y proyección de la PTAR río de Oro, sistema de coordenadas CTM-12.

## 4. Marco Geológico

Bucaramanga fue construida sobre depósitos cuaternarios de bloques, cantos, gravas, limos y arcillas provenientes del macizo de Santander que morfológicamente corresponden a un abanico aluvial erosionado (ver Figura 2), De Porta en 1958 denomina a estos depósitos como “La Formación Bucaramanga”, subdividiéndola en 4 miembros: miembro Órganos, miembro Finos, miembro Gravoso y miembro Limos Rojos (Ingeominas, 2001).

### 4.1. Miembro órganos

El miembro Órganos fue definido por Hubach en 1952, cuenta con un espesor de 180 metros, Bueno y Solarte (1994) lo describen como una serie monótona de niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomerático y en alternancia con capas y lentes limo arenosos. En Ingeominas (2001) se describe un espesor de 164.8 metros en la quebrada Dos Aguas y de 8.8 metros de la parte superior de este nivel en la zona norte de la quebrada Cuyamita. Los niveles conglomeráticos de este miembro son débilmente consolidados, principalmente clastosoportados, subredondeados, mal seleccionados, con cantos entre los 10 y 30 cm, bloques de hasta 1 metro de longitud y de matriz arcillosa de color parda amarillenta con variaciones a gris.

### 4.2. Miembro Finos

Definido igualmente por Hubach en 1952, se divide en un conjunto arcillo-limoso en su base y un conjunto arenolimoso hacia el techo. El conjunto arcilloso es masivo, de color gris a verde y presenta una variación de espesor entre los 9 y 2 metros. El Conjunto arenoso se caracteriza por una alternancia de niveles arenolimosos y limoarenosos, de color amarillo a pardo (Ingeominas, 2007).

**4.3. Miembro Gravoso**

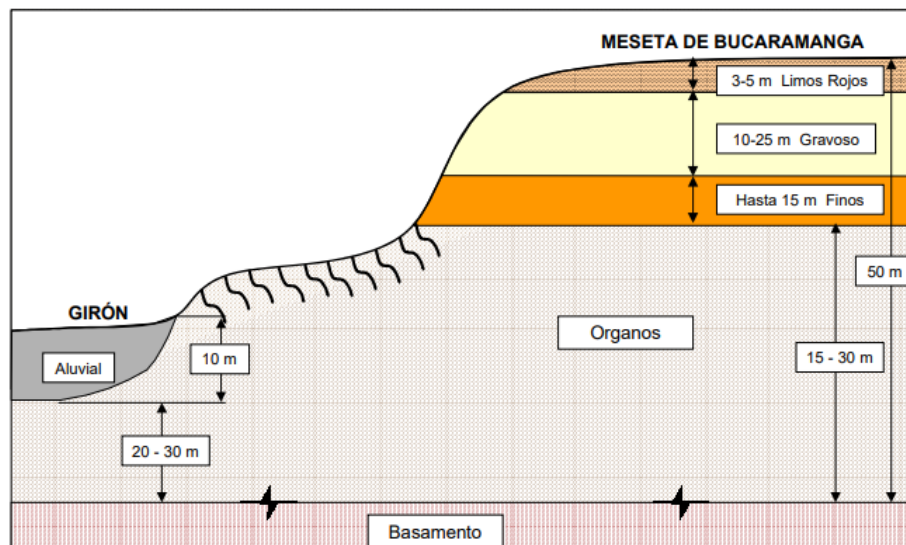
El miembro Gravoso definido por Niño y Vargas (1992) presenta niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos matriz soportados, con cantos de 15 centímetros de diámetro y bloques de 80 centímetros de longitud, compuestos principalmente por rocas ígneas y metamórficas del macizo de Santander y rocas sedimentarios de las formaciones Jordán y Girón (Ingeominas, 2007).

**4.4. Miembro Limos Rojos**

El miembro Limos Rojos, el cual fue definido por Julivert (1963) está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos con ocasionales bloques de arenisca meteorizados. Presenta un alto grado de meteorización al ser el miembro más superficial y es sobre este donde se edifica gran parte de Bucaramanga (Ingeominas, 2001).

**Figura 2**

*Corte esquemático con espesores promedio de la formación Bucaramanga*



*Nota.* Sección con los espesores de los miembros de la formación Bucaramanga: Limos rojos, Gravoso, Finos y Órganos, junto con el espesor aproximado del depósito aluvial de Girón y profundidad del basamento. Tomado de Ingeominas, 2001.

## 5. Antecedentes

Hubach en su trabajo “Interpretación geológica de la erosión y de los deslizamientos en Bucaramanga y medidas de defensa” presentado en 1952 define la estratigrafía de la “formación Bucaramanga” y la “formación órganos”.

De Porta en 1959 presenta el artículo “La terraza de Bucaramanga” en el divide la estratigrafía de dicha terraza en un nivel inferior de conglomerados, un nivel medio de materiales más finos y un nivel superior complejo compuesto por cantos rodados y aportes de ladera.

Julivert en 1961 presenta su trabajo de la Geología de la vertiente occidental de la cordillera oriental en el sector de Bucaramanga.

En 1992 Niño y Vargas presentan su trabajo sobre la geología y geotecnia de la escarpa noroccidental de la meseta de Bucaramanga.

Bueno y Solarte en 1994 presentan el trabajo “Geología, Geotecnia y Comportamiento Erosivo del Área de Reserva Forestal de Bucaramanga”, en el cual distinguen tres unidades estratigráficas diferentes.

Ingeominas en el 2001 presenta su informe técnico sobre la zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. Del mismo modo en el 2009 presentan el estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón.

Suárez en el 2021 realiza una presentación sobre la formación Bucaramanga, donde recopila información disponible sobre esta y la complementa con los resultados obtenidos de diferentes estudios y sondeos realizados por su empresa Geotecnología S.A.S.

## 6. Marco teórico

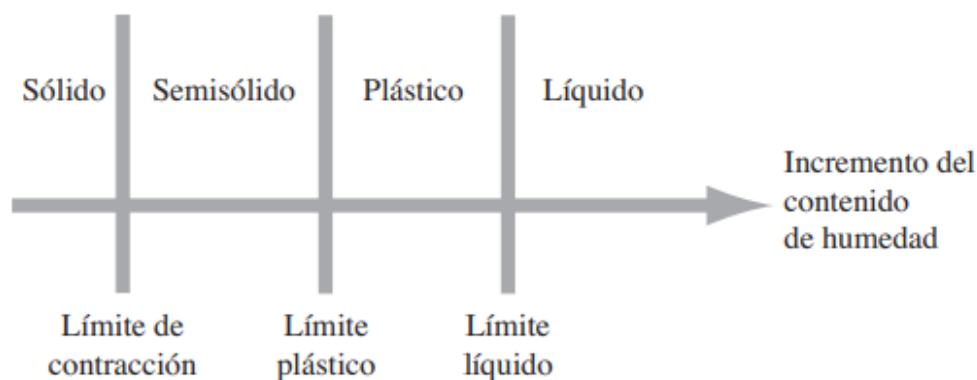
### 6.1. Análisis mecánico del suelo

El análisis mecánico del suelo determina los tamaños de las partículas presentes mediante dos métodos principales. El análisis de tamiz se aplica a partículas con diámetros superiores a 0.075 mm. Este proceso incluye el secado de la muestra en horno y su paso a través de tamices con diferentes aberturas para medir la masa de material atrapado en cada tamiz. El análisis de hidrómetro se usa para partículas menores de 0.075 mm y se basa en la sedimentación. La muestra de suelo se dispersa en agua en un cilindro de sedimentación y se usa un hidrómetro para medir la cantidad de suelo en suspensión después de un tiempo determinado (Das, 2015).

La distribución porcentual de los diferentes tamaños de partícula de suelo suele representarse en un gráfico que permite obtener una curva de distribución. Esta puede ser utilizada para determinar los parámetros de tamaño efectivo (10% más fino), coeficiente de uniformidad (relación entre el 60% más fino y el tamaño efectivo) y coeficiente de gradación (relación entre el cuadrado del 30% más fino y el producto del 60% y 10% más finos).

### 6.2. Consistencia del suelo

En 1900 el científico Albert Atterberg observó que el comportamiento mecánico de los suelos de grano fino varía según el contenido de humedad, distinguiendo cuatro principales categorías: sólido, semisólido, plástico y líquido. La transición entre cada comportamiento según el aumento de la humedad es lo que se conoce como límites de Atterberg. El paso de un comportamiento semisólido y plástico se denomina límite plástico y el paso del comportamiento plástico al líquido se denomina límite líquido (Das, 2015). En la Figura 3 presenta un esquema explicativo entre los comportamientos mecánicos del suelo y los límites de Atterberg.

**Figura 3***Límites de Atterberg*

*Nota.* Límites de Atterberg según el incremento de humedad en suelo de grano fino. Tomado de Das, 2015.

### **6.2.1. Límite plástico (PL)**

Das (2015) define el límite plástico, como el porcentaje mínimo de humedad que requiere el suelo para mantenerse con un comportamiento plástico. Se determina mediante un análisis práctico, estimando la humedad necesaria para formar rollos de suelo de aproximadamente 3 mm de diámetro sin que estos se rompan. Casagrande (1932) menciona que el índice de plasticidad como la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

### **6.2.2. Límite líquido (LL)**

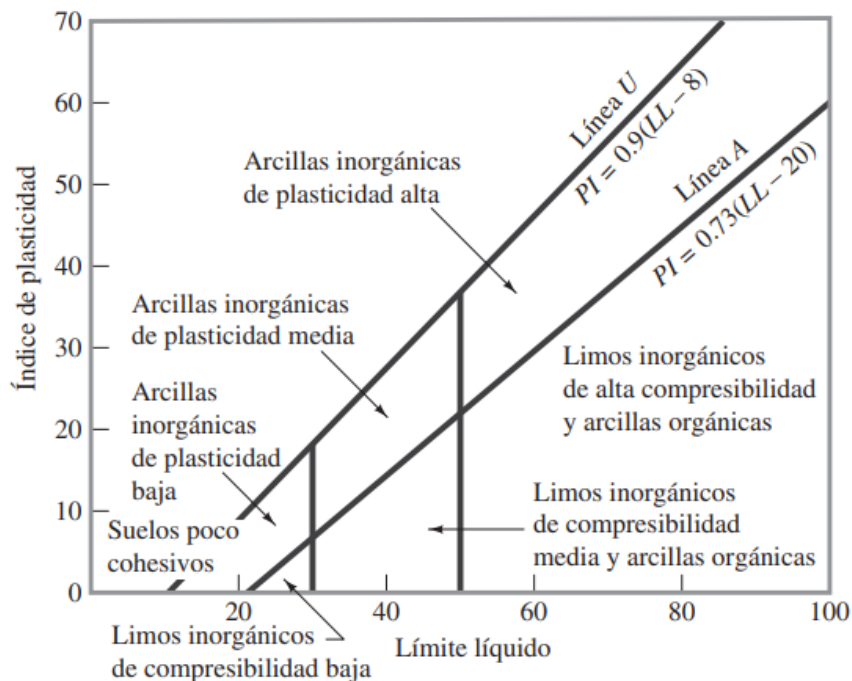
Este límite hace referencia al porcentaje de humedad relativa del suelo cuando este pasa de un comportamiento líquido a un comportamiento plástico. El límite líquido será el porcentaje de humedad requerido para juntar dos porciones de muestra de suelo tras aproximadamente 25 golpes (Invías, 2013). El índice de liquidez consiste en una relación entre los límites líquido, plástico y el contenido de humedad en el suelo, este índice brinda información de la consistencia relativa de un suelo cohesivo (Casagrande, 1932).

**6.3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

Es un sistema para la clasificación de suelos usado comúnmente por ingenieros geotécnicos. Fue propuesto en 1948 por el austriaco Arthur Casagrande. Este sistema subdivide los suelos en dos grupos: Suelos de grano grueso compuestos por grava y arena en donde menos del 50% del material pasa por el tamiz número 200; y suelos de grano fino en los cuales más del 50% del material pasa por el tamiz número 200 (Das, 2015). Casagrande (1932), tras estudiar una gran variedad de suelos, propuso una gráfica denominada carta de plasticidad, esta gráfica presenta una línea A que simboliza una ecuación empírica a partir del límite líquido, por la cual se separan las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos.

**Figura 4**

*Carta de plasticidad de Casagrande*



*Nota.* El gráfico presenta los límites teóricos, según el índice de plasticidad y el límite líquido, para la clasificación de los limos y arcillas inorgánicas. Tomado de Casagrande, 1932, como se citó en Das, 2015.

El sistema de clasificación unificado utiliza unos símbolos en función del tipo de suelo y sus propiedades, siendo G para gravas, S para arena, M para limo inorgánico, C para arcilla inorgánica, O para limos y arcillas orgánicas, y Pt (del inglés Peat, turba) para suelos altamente orgánicos. En la siguiente tabla se resumen los diferentes criterios para la asignación de símbolos.

**Tabla 1**

*Criterios para la asignación de símbolos*

Criterios para la asignación de símbolos de grupo			Símbolos	
<b>Suelos de grano grueso:</b> <50% pasa tamiz #200 (0.075 mm)	<b>Gravas:</b> <50% pasa tamiz #4 (4.75 mm)	Gravas limpias: <5% de finos	Coef. Uniformidad $\geq 1$ y coef. Gradación entre 1 y 3 Coef. Uniformidad $>4$ y/o coef. Gradación $<1$ o $>3$	GW GP
		Gravas con finos: $>12\%$ de finos	Índice de plasticidad $<4$ Índice de plasticidad $>7$	GM GC
	<b>Arenas:</b> $>50\%$ pasa tamiz #4	Arenas limpias: <5% de finos	Coef. Uniformidad $\leq 6$ y coef. Gradación entre 1 y 3	SW
			Coef. Uniformidad $<6$ y/o coef. Gradación $<1$ o $>3$	SP
		Arenas con finos: $>12\%$ de finos	Índice de plasticidad $<4$	SM
			Índice de plasticidad $>7$	SC
<b>Suelos de grano fino:</b> $\geq 50\%$ pasa tamiz #200 (0.075 mm)	<b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido $<50$	Inorgánico	Índice de plasticidad $>7$ Índice de plasticidad $<4$	CL ML
		Orgánico	Relación entre límite líquido seco y húmedo $<0.75$	OL
	<b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido $\geq 50$	Inorgánico	Índice de plasticidad arriba de la línea A en la carta de plasticidad	CH
			Índice de plasticidad debajo de la línea A en la carta de plasticidad	MH
		Orgánico	Relación entre límite líquido seco y húmedo $<0.75$	OH
			Materia orgánica, colores oscuros	Pt

*Nota.* La tabla presenta los diferentes símbolos a utilizar según el SUCS, se requiere el uso de símbolos dobles (GW-GM, SP-SM, CL-ML) para valores de finos entre el 5% y 12% en gravas y arenas y para índices de plasticidad entre 4 y 7 para limos y arcillas. Tomado y adaptado de Das, 2015.

#### **6.4. Unidades de geología para ingeniería (UGI)**

Son unidades que las cuales presentan información sobre las propiedades físicas, geotécnicas, geodinámicas y topográficas de los suelos y rocas. Son fundamentales para la elaboración de modelos de estabilidad pues permiten diferenciar los materiales aflorantes, definir características estructurales para los suelos y/o rocas presentes, y caracterizarlas según su comportamiento mecánico. La guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa propone clasificar los materiales según su origen, litología, calidad, textura o tamaño de grano y características geotécnicas (Ávila Álvarez et al., 2016).

##### ***6.4.1. Unidades de roca***

Para las unidades de roca se debe caracterizar el macizo rocoso según su fábrica, humedad natural, permeabilidad cualitativa, tamaño de grano, grado de meteorización, dureza y composición. Las discontinuidades del macizo rocoso como lo son las familias de diaclasas, planos de estratificación, foliación, fallas y superficies de contacto; permiten definir características importantes para la determinación de los movimientos en masa, como su orientación respecto a la dirección del talud, comportamiento del macizo ante cargas, espaciamiento de las discontinuidades y resistencia de las paredes (Ávila Álvarez et al., 2016).

##### ***6.4.2. Unidades de suelo***

Corresponde a los materiales no consolidados que puedan presentar materia orgánica, fragmentos de macizo rocoso, arcillas y minerales, por los procesos de meteorización de las rocas y la erosión de estas. Estos se clasifican en suelos transportados y suelos residuales (Ávila Álvarez et al., 2016).

**6.5. Elementos geomorfológicos**

Para escalas de trabajo detalladas, la geomorfología de las zonas de estudio se caracteriza a nivel de elementos geomorfológicos. Estos se definen por la morfometría, morfogénesis, morfología y morfodinámica (Carvajal, 2012). Para su definición se parte del ambiente morfogenético, seguido de las características o rasgos particulares de dicho elemento (Ávila Álvarez et al., 2016). Ejemplos de nomenclatura para elementos geomorfológicos se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Nomenclatura de elementos geomorfológicos*

Origen	Características	Nombre del elemento	Nomenclatura
Estructural	Geoformas desarrolladas por la influencia de actividad tectónica sobre rocas y suelos.	Gancho de falla	Sgf
		Lomo de presión	Slp
		Cerro estructural	Sce
		Charco de falla	Scf
Denudacional	Geoformas relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en zona de clima tropical.	Lomo residual	Dlr
		Superficies planas o subhorizontales	Dlp
		Ladera inclinada a escarpada	Del
		Depósito de ladera o coluvial	Dco
		Depósito de lavado	Ddl
		Cauce actual del río	Fca
Fluvial	Geoformas derivadas de la actividad agradacional y degradacional de las corrientes fluviales.	Nivel de terraza bajo	Ftb
		Escarpe de terraza	Fet
		Cantera	Ac
Antropogénico	Geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno.	Llenos mixtos	Allm
		Terrazas explanadas con llenos	Atcer
		Ladera terraceda	Alt

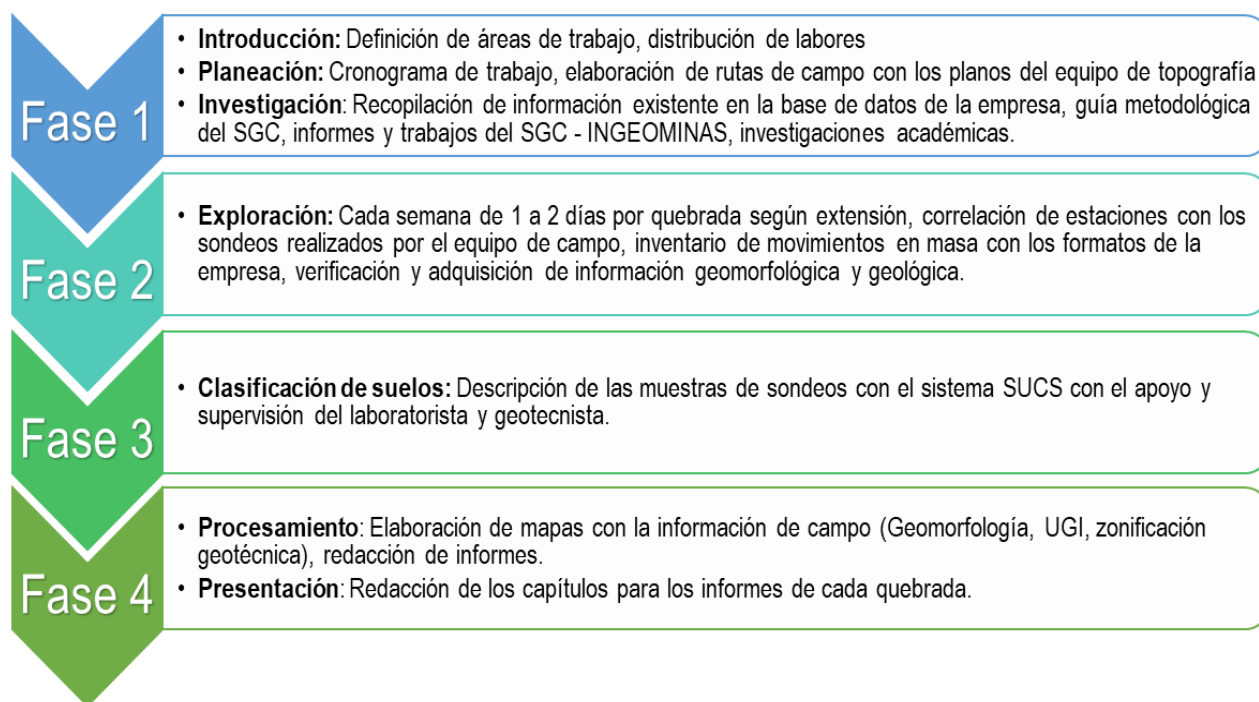
*Nota.* La primera letra, en mayúscula, indica el origen de la geoforma. A partir de la segunda letra, en minúscula, se indican características particulares del elemento. Modificado de Ávila Álvarez et al., 2016.

## 7. Metodología

El proyecto abordado durante la práctica empresarial se desarrolló en cuatro fases. La primera fase consta de la introducción al proyecto y trabajo pre-campo; en la segunda fase se realizaron las exploraciones de campo; en la tercera fase se describieron las muestras de suelo; la cuarta fase se realizó el procesamiento de los datos y elaboración de informes.

### Figura 5

*Metodología para el desarrollo de la práctica empresarial*



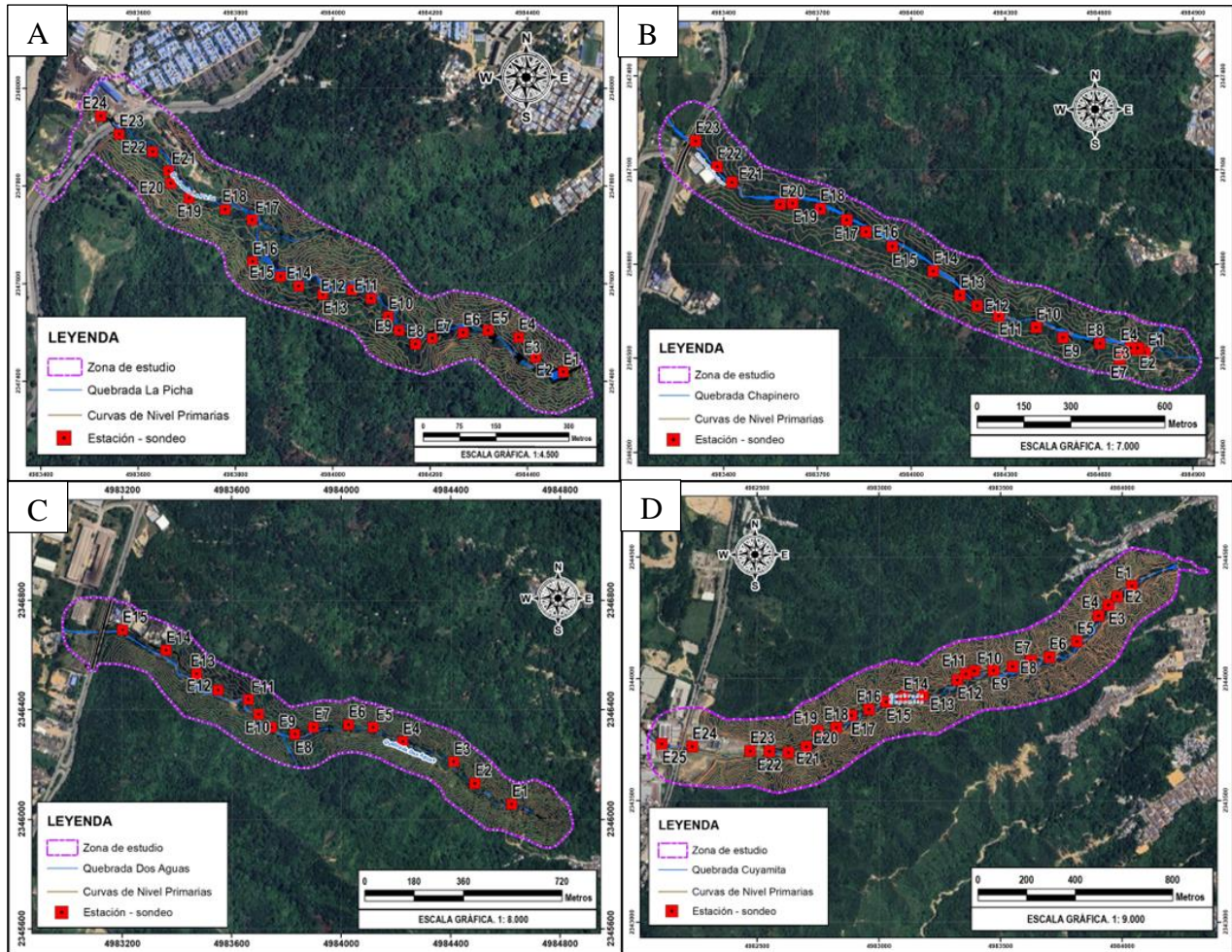
Las fases 2, 3 y 4 se han repetido para cada quebrada, destinándose entre una semana a una semana y media para la organización de información, el procesamiento de datos adquiridos en sistemas SIG y la clasificación de suelos en laboratorio.

Para el desarrollo de la fase 2 se realizó el trabajo de campo en cada quebrada usando como estaciones los puntos de sondeo y ensayo SPT realizados por el equipo de campo, de esta forma la

exploración en la quebrada La Picha fue realizada en 24 estaciones, en la quebrada Chapinero en 23 estaciones, en la quebrada Dos Aguas en 15 estaciones, y en la quebrada Cuyamita en 25 estaciones.

**Figura 6**

*Estaciones en las áreas de estudio*



*Nota:* A) Estaciones en la quebrada La Picha. B) Estaciones en la quebrada Chapinero. C) Estaciones en la quebrada Dos Aguas. D) Estaciones en la quebrada Cuyamita.

## 8. Resultados

### 8.1. Movimientos en masa

Se reconocieron movimientos en masa de tipo caída (roca, tierra y detritos), deslizamiento traslacional, y flujo de detritos (incluyendo aquellos originados por minería). Todos los movimientos en masa pertenecen a los ambientes morfogenéticos denudacional y antrópico; poseen como principales factores intrínsecos la litología, los procesos erosivos y las pendientes; y tienen como principales factores detonantes se la lluvia, la infiltración de aguas, sismos y actividad humana. A continuación, se presentan las tablas resumen de los inventarios de movimientos en masa para cada zona de estudio.

**Tabla 3**

*Movimientos en masa identificados en la quebrada La Picha*

#MM	Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	Estación	Coord. X	Coord. Y
1	Caída de roca, tierra y detritos	59,21	E3	4984414,25	2347435,83
2	Caída de roca, tierra y detritos	116,18	E3	4984391,13	2347449,58
3	Caída de roca, tierra y detritos	417,80	E5	4984341,35	2347468,61
4	Caída de roca, tierra y detritos	23,65	E7	4984319,88	2347488,41
5	Deslizamiento traslacional	4443,66	E9	4984244,96	2347475,74
6	Flujo de detritos	2967,69	E11	4984161,44	2347453,69
7	Flujo de detritos	3054,29	E18	4983957,29	2347565,25
8	Flujo de detritos	2623,99	E22	4983851,19	2347599,94
9	Deslizamiento traslacional	1556,84	E23	4983859,80	2347746,20

*Nota.* De los movimientos en masa identificados 4 corresponden a caídas de rocas, tierras y detritos, 3 a flujos de detritos y 2 a deslizamientos traslacionales. Ver Apéndice M *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada La Picha*. Fuente: Autor.

**Tabla 4***Movimientos en masa identificados en la quebrada Chapinero*

#MM	Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	Estación	Coord. X	Coord. Y
1	Flujo de detritos antrópico	995,70	E1	4984843,88	2346539,05
2	Flujo de detritos antrópico	842,09	E1	4984797,94	2346502,67
3	Flujo de detritos	420,28	E1	4984766,97	2346486,79
4	Flujo de detritos	154,87	E1	4984766,71	2346515,23
5	Caída de roca, tierra y detritos	85,53	E2	4984754,79	2346541,55
6	Flujo de detritos	624,08	E2	4984737,42	2346481,13
7	Flujo de detritos antrópico	751,09	E5	4984697,73	2346500,66
8	Flujo de detritos antrópico	825,02	E8	4984665,01	2346597,65
9	Flujo de detritos antrópico	1472,89	E8	4984584,02	2346506,54
10	Flujo de detritos	361,22	E8	4984616,20	2346601,40
11	Flujo de detritos	1058,64	E8	4984548,99	2346574,29
12	Flujo de detritos	107,53	E9	4984528,19	2346600,14
13	Caída de roca, tierra y detritos	473,19	E9	4984470,61	2346552,13
14	Deslizamiento traslacional	144,59	E10	4984411,42	2346585,05
15	Caída de roca, tierra y detritos	1137,79	E10	4984416,78	2346643,86
16	Deslizamiento traslacional	2937,83	E11	4984348,27	2346603,40
17	Flujo de detritos	939,54	E11	4984362,68	2346673,19
18	Deslizamiento traslacional	2176,53	E13	4984149,94	2346671,14
19	Deslizamiento traslacional	1743,44	E13	4984236,60	2346731,84
20	Flujo de detritos	367,28	E14	4984164,38	2346769,32
21	Deslizamiento traslacional	3651,42	E14	4984051,86	2346734,06
22	Caída de roca, tierra y detritos	561,31	E14	4984076,46	2346813,01
23	Flujo de detritos	483,40	E15	4983937,68	2346779,65
24	Deslizamiento traslacional	990,62	E15	4984006,33	2346872,71
25	Caída de roca, tierra y detritos	453,80	E15	4983922,36	2346900,22
26	Caída de roca, tierra y detritos	496,80	E16	4983833,03	2346874,84
27	Deslizamiento traslacional	1134,97	E17	4983825,88	2346960,63
28	Deslizamiento traslacional	2026,44	E18	4983700,97	2346931,72
29	Deslizamiento traslacional	1457,09	E19	4983599,28	2346959,40
30	Flujo de detritos	870,30	E20	4983589,81	2347052,96
31	Deslizamiento traslacional	1652,99	E22	4983385,33	2347141,82

Nota. De los movimientos en masa identificados, 6 corresponden a caídas de rocas, tierras y detritos, 10 a flujos de detritos, 10 a deslizamientos traslacionales y 5 a flujos de detritos y escombros antrópicos. Ver Apéndice N *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada Chapinero*. Fuente:Autor.

**Tabla 5**

*Movimientos en masa identificados en la quebrada Dos Aguas*

#MM	Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	Estación	Coord. X	Coord. Y
1	Caída de roca, tierra y detritos	660,80	E1	4984697,67	2346050,63
2	Flujo de detritos antrópico	683,77	E1	4984663,96	2346022,98
3	Flujo de detritos	648,92	E1	4984672,67	2346069,07
4	Flujo de detritos antrópico	2582,39	E1	4984599,63	2346023,19
5	Flujo de detritos	748,98	E1	4984590,28	2346070,64
6	Flujo de detritos antrópico	379,87	E1	4984567,20	2346077,39
7	Deslizamiento traslacional	659,60	E2	4984542,27	2346082,18
8	Deslizamiento traslacional	1014,20	E2	4984493,16	2346090,11
9	Flujo de detritos	109,04	E2	4984489,06	2346083,82
10	Flujo de detritos	157,31	E2	4984470,53	2346102,45
11	Deslizamiento traslacional	2203,43	E3	4984430,10	2346154,63
12	Deslizamiento traslacional	614,12	E3	4984484,69	2346130,81
13	Caída de roca, tierra y detritos	156,76	E3	4984462,73	2346123,68
14	Deslizamiento traslacional	5684,20	E3	4984367,64	2346237,99
15	Flujo de detritos	429,78	E3	4984375,00	2346195,06
16	Flujo de detritos antrópico	194,47	E3	4984360,22	2346218,10
17	Deslizamiento traslacional	2255,22	E3	4984335,58	2346215,93
18	Deslizamiento traslacional	3281,00	E4	4984204,25	2346273,93
19	Deslizamiento traslacional	473,16	E4	4984259,54	2346283,71
20	Flujo de detritos	840,13	E4	4984242,00	2346304,13
21	Deslizamiento traslacional	825,14	E4	4984221,43	2346301,12
22	Flujo de detritos	322,38	E4	4984200,23	2346307,29
23	Deslizamiento traslacional	1263,05	E4	4984151,85	2346320,75
24	Flujo de detritos	211,38	E4	4984176,68	2346256,69
25	Caída de roca, tierra y detritos	347,43	E4	4984143,99	2346297,95
26	Flujo de detritos	610,24	E5	4984103,89	2346339,65
27	Deslizamiento traslacional	797,74	E5	4984057,05	2346322,08
28	Deslizamiento traslacional	732,29	E5	4984064,62	2346340,42
29	Flujo de detritos	453,47	E6	4984013,35	2346361,49
30	Flujo de detritos	284,67	E7	4983920,55	2346388,59
31	Flujo de detritos	823,70	E9	4983743,99	2346289,64
32	Deslizamiento traslacional	217,78	E11	4983703,07	2346372,72
33	Caída de roca, tierra y detritos	370,88	E12	4983665,97	2346408,18
34	Deslizamiento traslacional	1011,83	E12	4983626,88	2346410,55
35	Caída de roca, tierra y detritos	900,71	E13	4983494,66	2346493,88
36	Caída de roca, tierra y detritos	383,51	E13	4983481,18	2346449,69
37	Deslizamiento traslacional	1131,90	E14	4983451,51	2346489,72

#MM	Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	Estación	Coord. X	Coord. Y
38	Deslizamiento traslacional	1365,24	E14	4983353,84	2346572,47

*Nota.* De los movimientos en masa identificados, 6 corresponden a caídas de rocas, tierras y detritos, 12 a flujos de detritos, 16 a deslizamientos traslacionales y 4 a flujos de detritos y escombros antrópicos. Ver Apéndice Ñ *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada Dos Aguas.* Fuente: Autor.

**Tabla 6**

*Movimientos en masa identificados en la quebrada Cuyamita*

#MM	Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	Estación	Coord. X	Coord. Y
1	Deslizamiento traslacional	1030,09	E1	4984234,12	2344447,87
2	Deslizamiento traslacional	98,34	E1	4984065,22	2344405,53
3	Deslizamiento traslacional	234,19	E1	4984079,97	2344389,37
4	Flujo de detritos antrópico	62,01	E1	4984044,88	2344374,29
5	Deslizamiento traslacional	118,55	E2	4984009,30	2344371,63
6	Deslizamiento traslacional	1581,06	E2	4983999,24	2344332,13
7	Flujo de detritos	2973,10	E3	4983970,53	2344263,80
8	Deslizamiento traslacional	1358,05	E4	4983917,63	2344224,97
9	Caída de roca, tierra y detritos	949,00	E5	4983819,84	2344153,87
10	Flujo de detritos	1460,36	E5	4983875,99	2344126,31
11	Flujo de detritos antrópico	2038,22	E6	4983762,13	2344033,64
12	Caída de roca, tierra y detritos	1583,05	E7	4983635,65	2344071,65
13	Deslizamiento traslacional	1124,26	E8	4983583,67	2344015,26
14	Caída de roca, tierra y detritos	910,38	E9	4983511,34	2344030,75
15	Flujo de detritos	464,69	E9	4983431,20	2344043,66
16	Flujo de detritos antrópico	3014,31	E9	4983450,44	2343985,78
17	Deslizamiento traslacional	537,53	E10	4983405,97	2344024,34
18	Caída de roca, tierra y detritos	1496,30	E11	4983326,44	2344003,50
19	Deslizamiento traslacional	6238,97	E13	4983164,56	2343941,71
20	Caída de roca, tierra y detritos	931,60	E14	4983090,35	2343904,80
21	Caída de roca, tierra y detritos	937,79	E16	4982950,37	2343841,91
22	Deslizamiento traslacional	656,47	E18	4982837,59	2343810,19
23	Flujo de detritos	556,95	E18	4982799,29	2343796,77
24	Deslizamiento traslacional	424,47	E19	4982781,63	2343789,11
25	Deslizamiento traslacional	2426,41	E19	4982760,21	2343742,48
26	Flujo de detritos	892,06	E19	4982731,65	2343763,30
27	Flujo de detritos antrópico	1661,87	E20	4982743,48	2343657,93
28	Flujo de detritos	250,13	E20	4982669,98	2343708,02

#MM	Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	Estación	Coord. X	Coord. Y
29	Deslizamiento traslacional	206,50	E21	4982641,02	2343688,43
30	Flujo de detritos	109,88	E22	4982591,85	2343699,37
31	Deslizamiento traslacional	407,94	E22	4982567,04	2343699,79
32	Flujo de detritos	2110,40	E22	4982542,82	2343618,89

*Nota.* De los movimientos en masa identificados en Cuyamita, 6 corresponden a caídas de rocas, tierras y detritos, 8 a flujos de detritos, 14 a deslizamientos traslacionales y 4 a flujos de detritos y escombros antrópicos. Ver Apéndice O *Formatos de campo para la descripción de movimientos en masa de la quebrada Dos Aguas*. Fuente: Autor.

## 8.2 Elementos geomorfológicos

Los elementos geomorfológicos identificados en las áreas de estudio son de origen denudacional, fluvial y antrópogénico. Los mapas de elementos geomorfológicos para las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita se pueden ver en los Apéndices A, B, C y D, respectivamente.

A continuación, se presenta la descripción de cada elemento geomorfológico según su origen y su extensión en cada zona de estudio.

### 8.2.3. Elementos geomorfológicos de origen denudacional (D)

Agrupar todas aquellas geoformas típicas de zonas con clima tropical en las cuales son comunes los procesos naturales de denudación. Se caracterizan por la erosión, la depositación de sedimentos y la ocurrencia de movimientos en masa.

**8.2.3.1. Lomo denudado (Dlde).** Elemento geomorfológico de superficie convexa, de pendiente planas a suavemente inclinadas, que marca divisorias de aguas entre laderas. Se encuentran limitadas por laderas y escarpes de mayor pendiente y se originan a partir de los procesos de erosión y meteorización de las unidades de roca y suelo presentes. Esta geoforma

ocupa 1.48 hectáreas de la quebrada La Picha, 4.3 hectáreas de la quebrada Chapinero, 3.95 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 10.17 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

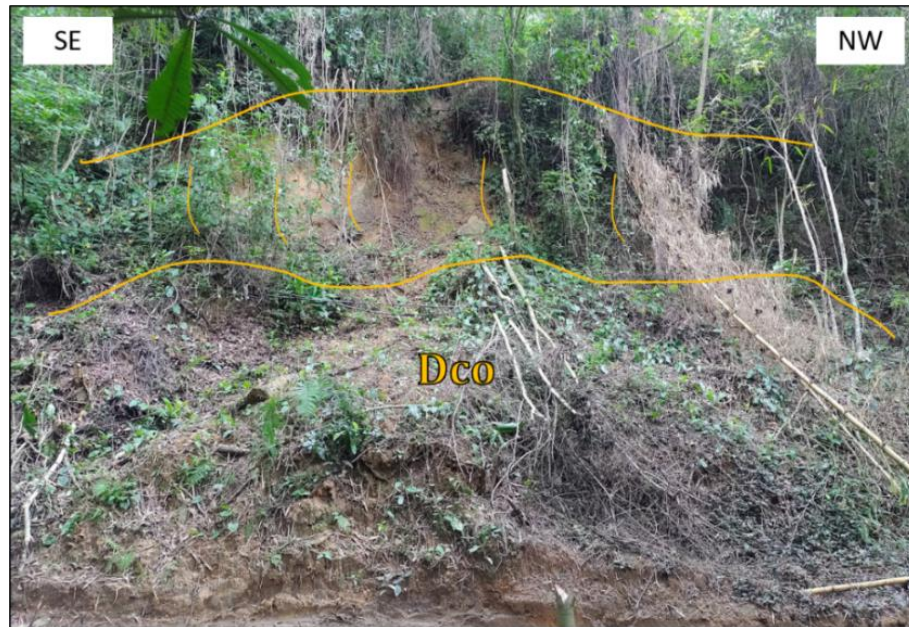
### Figura 7

*Lomo desnudado*



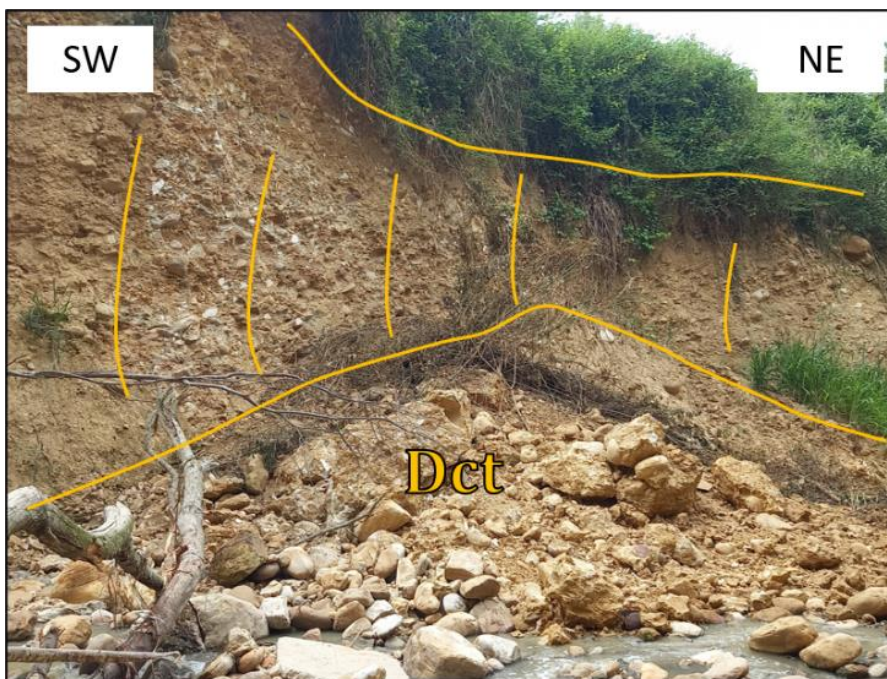
*Nota.* Fotografía panorámica tomada en las proximidades de la quebrada La Picha por la avenida Libertador margen izquierdo, coordenadas este 4984674 norte 2347573. Fuente Autor.

**8.2.3.2. Coluvión (Dco).** Elementos con forma convexa y en lóbulo, generados a partir del desplazamiento y acumulación de materiales sobre las laderas debido a procesos hidro-gravitacionales. Se presentan en laderas de pendientes moderadas a abruptas y están correlacionados a movimientos en masa de tipo deslizamiento. La composición del depósito consiste en bloques y fragmentos heterogéneos de areniscas cuarzosas soportados por una matriz areno-arcillosa. Este elemento se presenta en 0.6 hectáreas de la quebrada La Picha, 1.79 hectáreas de la quebrada Chapinero, 2.35 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 1.64 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 8***Coluvión*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E13. Corresponde igualmente al movimiento en masa MM18. Coordenadas este 4983700 norte 2346931. Fuente: Autor.

**8.2.3.3. Cono de talus (Dct).** Elemento dispuesto a manera de conos o lóbulos de longitudes muy cortas, de formas convexas, en pendientes y laderas inclinadas a muy empinadas. Se forman esencialmente por acumulación mecánica de bloques, tierras y suelos caídos del escarpe. Los bloques caídos son angulares a subangulares, clastosoportados y con matriz arenosarcillosa, es común que se presenten dentro de estos depósitos materiales orgánicos y escombros de construcciones. Esta geofoma se presenta en 0.06 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.32 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.28 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 0.68 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 9***Cono de talus*

Nota. Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, estación E7. Corresponde igualmente al movimiento en masa MM12. Coordenadas este 4983635 norte 2344071. Fuente: Autor.

**8.2.3.4. Escarpe denudacional (Dede).** Corresponde a los escarpes de las laderas de pendientes muy inclinadas a abruptas. Se originan por la acción de la tectónica o por fuerzas hidro gravitacionales. Son de formas rectas o convexas. Esta geoforma tiene una alta probabilidad de sufrir desprendimientos y caídas de rocas y detritos lo que la hace muy susceptible a movimientos en masa. Comprende 0.37 hectáreas de la quebrada La Picha, 3.3 hectáreas de la quebrada Chapinero, 4.77 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 4.17 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 10***Escarpe denudacional*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, entre las estaciones E4 y E5. Coordenadas este 4983883 norte 2344186. Fuente: Autor.

**8.2.3.5. Cono de flujo de detritos (Dfd).** Geoforma con planos o zonas de depósito muy largos que están delimitados por escarpes o laderas muy inclinadas. Está compuesta por la mezcla de material fino de tamaño arena, limo y arcilla; y material grueso de tamaño gravas y bloques. Se relacionan con eventos fluviotorrenciales y, en algunos casos, los materiales pueden coincidir con zonas afectadas por procesos de erosión en cárcavas. Los conos de flujos de detritos se presentan en 0.86 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.54 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.56 hectáreas de la quebrada Dos Aguas, 0.88 de la quebrada Cuyamita.

**Figura 11***Cono de flujo de detritos*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Dos Aguas, estación E1. Corresponde igualmente al movimiento en masa MM5. Coordenadas este 4984590 norte 2346070. Fuente: Autor.

**8.2.3.6. Hondonada (Dh).** Superficies alargadas deprimidas en laderas debido a procesos de erosión por la acción del agua de escorrentía superficial y de drenajes intermitentes, conformando así surcos y cárcavas sobre las laderas. Esta geoforma se presenta en 0.47 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.7 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.99 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 4.35 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 12***Hondonada*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, estación E16. Coordenadas este 4982983 norte 2343852. Fuente: Autor.

**8.2.3.7. Laderas inclinadas a muy empinadas (Dliame).** Superficie con una pendiente que oscila entre inclinada (12%) y muy empinada (50%), y una longitud que varía desde corta hasta muy larga. Se desarrollan principalmente en los suelos transportados del miembro órganos adyacentes al cauce de la quebrada o en los alrededores de lomos desnudados. El patrón de drenaje es subparalelo o subdendrítico. Estos rasgos se originan por procesos de meteorización y erosión diferencial. En estas superficies se observan procesos erosivos, como la erosión en cárcavas y en surcos. Esta geoforma se presenta en 3.87 hectáreas de la quebrada La Picha, 4.53 en la quebrada Chapinero, 6.04 hectáreas en la quebrada Dos Aguas y 2.34 hectáreas en la quebrada Cuyamita.

**Figura 13**

*Laderas inclinadas a muy empinadas*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E18. Coordenadas este 4983731 norte 2346997. Fuente: Autor.

**8.2.3.8. Laderas muy empinadas a fuertemente escarpadas (Dlmeafe).** Corresponde a las superficies y laderas de forma cóncava o convexa, irregulares, con pendientes que varían entre 50% - >75% y longitudes que pueden llegar a 40 m. Estas superficies se encuentran en zonas donde se dan cambios en la resistencia de los materiales e intensos procesos de meteorización y erosión. Esta geoforma se presenta en 7.43 hectáreas de la quebrada La Picha, 10.74 hectáreas de la quebrada Chapinero, 12.92 hectáreas en la quebrada Dos Aguas y 30.76 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 14**

*Laderas muy empinadas a fuertemente escarpadas*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, proximidades de la estación E1. Coordenadas este 4984125 norte 2344419. Fuente: Autor.

**8.2.3.9. Laderas ligeramente planas a inclinadas (Dlpai).** Corresponde a superficies naturales del terreno, con pendientes menores a 12%. Presentan superficies suavizadas, rectas a onduladas y a veces escalonadas. Es común la presencia de bloques de roca en la superficie. Se presenta en 0.27 hectáreas de la quebrada La Picha, 4.38 hectáreas de la quebrada Chapinero, 2.86 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 3.07 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 15***Laderas planas a inclinadas*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Dos Aguas, estación E10. Coordenadas este 4983751 norte 2346345. Fuente: Autor.

**8.2.4. Elementos geomorfológicos de origen fluvial (F)**

Corresponden a todas las geoformas modeladas por la erosión y deposición de las corrientes fluviales, que incluyen los lechos actuales de los ríos y las terrazas formadas por depósitos sedimentarios y procesos de excavación, resultado de episodios fluviales intensos.

**8.2.4.1. Cauce activo (Fca).** Elemento presente en zonas planas a ligeramente inclinadas que constituyen la región del lecho actual de los ríos, y quebradas, abarcando las áreas más recientes de las llanuras aluviales y las acumulaciones de sedimentos en las quebradas, es común la presencia de bloques y cantos transportados al igual que fragmentos y escombros de construcciones. Conforman 0.52 hectáreas de la quebrada La Picha, 1.4 hectáreas de la quebrada Chapinero, 1.05 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 1.25 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 16***Cauce activo*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada La Picha, estación E7. Coordenadas este 4984311 norte 2347496. Fuente: Autor.

**8.2.4.2. Planicie de inundación (Fpi).** Franja de terreno de baja elevación con una topografía ondulada, potencialmente propensa a inundaciones, que se encuentra a lo largo de los cauces fluviales y está delimitada ocasionalmente por escarpes de terraza o gaviones. Se presenta en 0.53 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.39 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.18 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 0.3 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 17***Planicie de inundación*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E14. Coordenadas este 4984070 norte 2346777. Fuente: Autor.

**8.2.4.3. Terraza baja (Ftb).** Se trata de elevaciones del terreno próximo al cauce con superficies planas y pendientes suaves, delimitadas por laderas de mayor pendiente y por escarpes de hasta 3 m de altura. Esta geoforma se origina por la acción de las corrientes fluviales al excavar o tallar el sustrato rocoso. Se presenta en 0.73 hectáreas de la quebrada La Picha, 1.17 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.47 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 1.1 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 18***Terraza baja*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, estación E20. Coordenadas este 4982702 norte 2343719. Fuente: Autor.

**8.2.5. Elementos geomorfológicos de origen antropogénico (A)**

Son geformas surgidas debido a la manipulación humana del terreno, generalmente con el propósito de construir viviendas, realizar obras de ingeniería, gestionar desechos, escombros o adaptar nuevas vías.

**8.2.5.1. Laderas explanadas con llenos (Alella).** Son aquellas áreas donde se han efectuado excavaciones en laderas, utilizando el material excavado u otros materiales transportados, como relleno para modificar la pendiente natural del terreno, con el fin de utilizar el suelo como vías y caminos de acceso. Ocupa 1.96 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.55 hectáreas de la quebrada Chapinero y 0.1 hectáreas de la quebrada Dos Aguas. No se identificó este elemento en la quebrada Cuyamita.

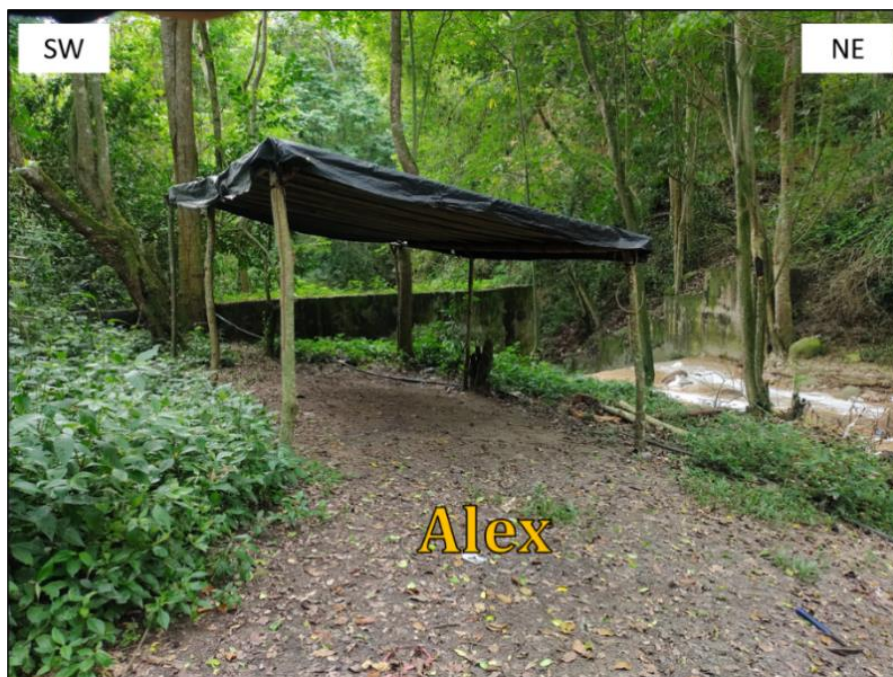
**Figura 19**

*Laderas explanadas con llenos*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Dos Aguas, estación E14. Coordenadas este 4983399 norte 2346602. Fuente: Autor.

**8.2.5.2. Laderas explanadas (Alex).** Son laderas que se han intervenido con el fin de reducir su pendiente y adecuar el terreno para el desarrollo de caminos, zonas de cultivo, zonas industriales y viviendas. Se presenta en 0.85 hectáreas de la quebrada Chapinero, 1.81 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 1.97 hectáreas de la quebrada Cuyamita. No se identificó este elemento en la quebrada La Picha.

**Figura 20***Ladera explanada*

*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E17. Coordenadas este 4983793 norte 2346940. Fuente: Autor.

**8.2.5.3. Depósitos de cantera (Adc).** Comprenden aquellos depósitos productos de terracedos y lavados relacionados a la minería artesanal. Son de morfología lobular o en forma de cono. Se componen de bloques y cantos clastosoportados son matriz apreciable. Se presentan en 0.49 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.39 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 0.68 hectáreas de la quebrada Cuyamita, no se identificó este elemento en la quebrada La Picha.

**Figura 21***Depósitos de cantera*

*Nota.* Fotografías tomadas en la quebrada Dos Aguas, estación E1. Corresponden igualmente a los movimientos en masa MM1 (izquierda) y MM2 (derecha). Coordenadas fotografía izquierda: este 4984653 norte 2346039. Coordenadas fotografía derecha: este 4984618 norte 2346041. Fuente: Autor.

**8.2.5.4. Obras de ingeniería (Aoi).** Corresponden a obras de ingeniería civil que son usadas para comunicar poblados, caseríos y ciudades, mediante la construcción de vías de acceso, así como también, para la canalización de las quebradas y la mitigación de movimientos en masa. Se presenta en 1.04 hectáreas de la quebrada La Picha, 1.82 hectáreas de la quebrada Chapinero, 3.58 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 6.52 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 22**

*Obras de ingeniería*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada La Picha, estación E1. Coordenadas este 4984473 norte 2347418. Fuente: Autor.

Figura 23

Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada La Picha

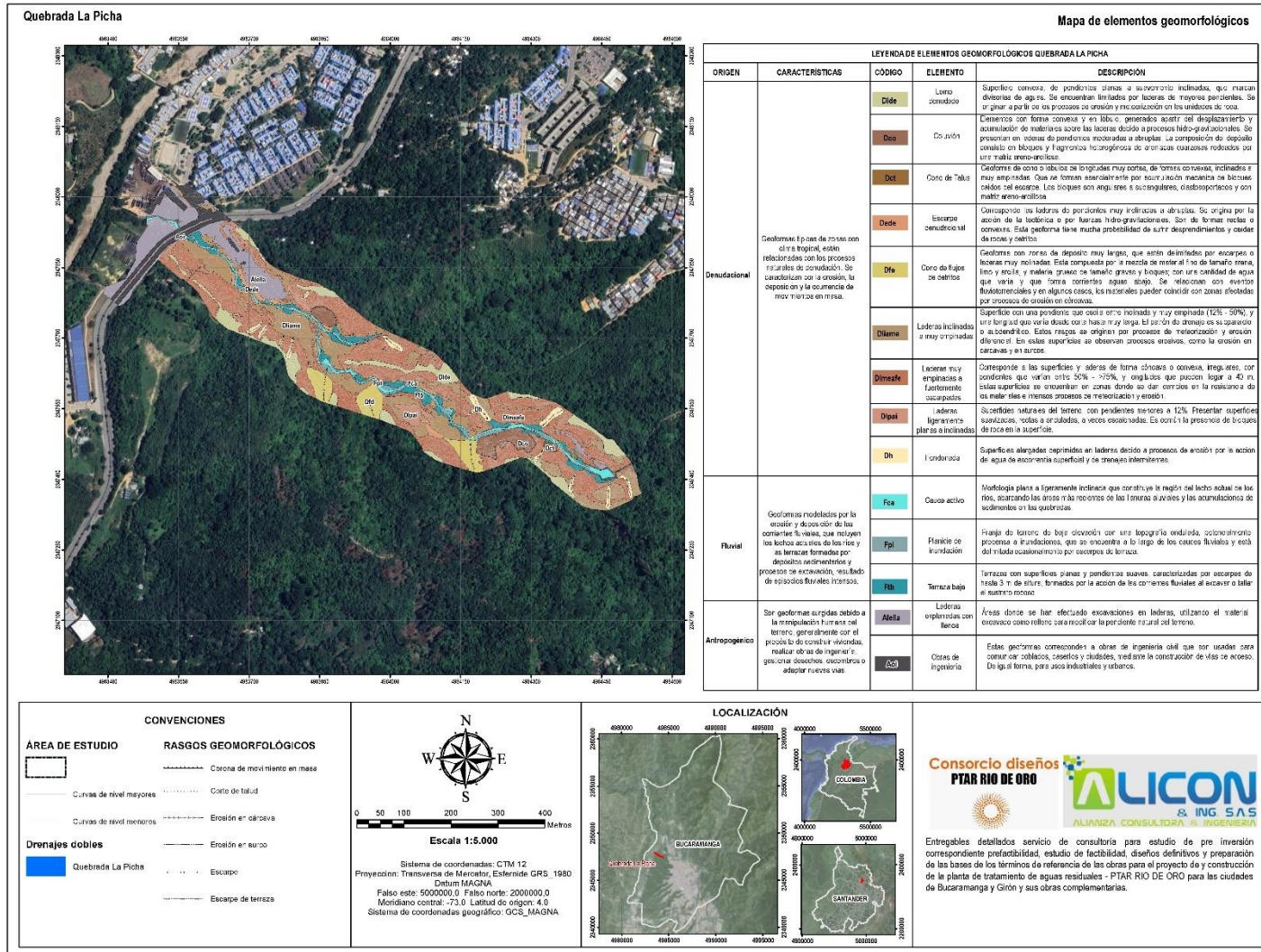


Figura 24

Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Chapinero

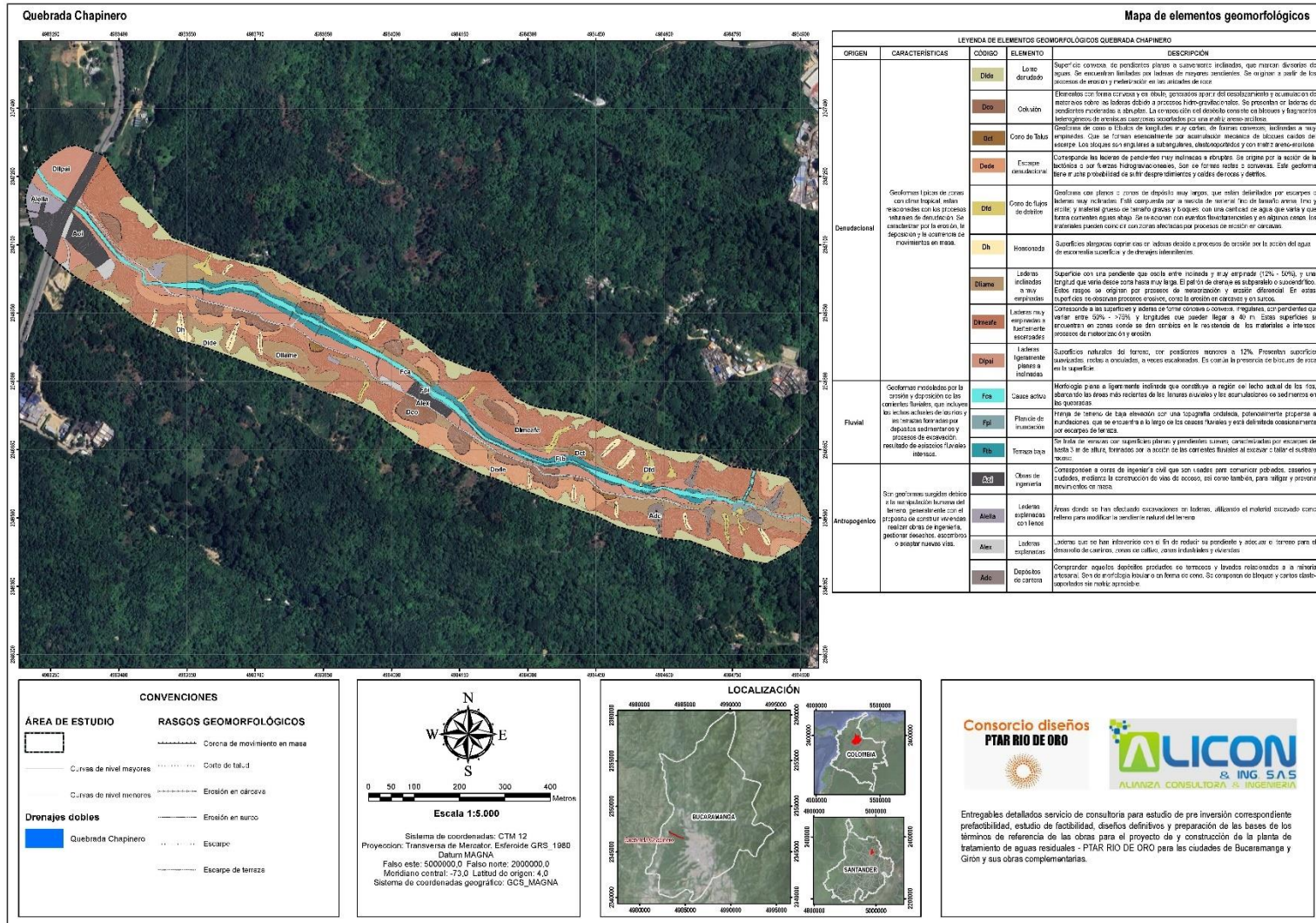


Figura 25

Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Dos Aguas

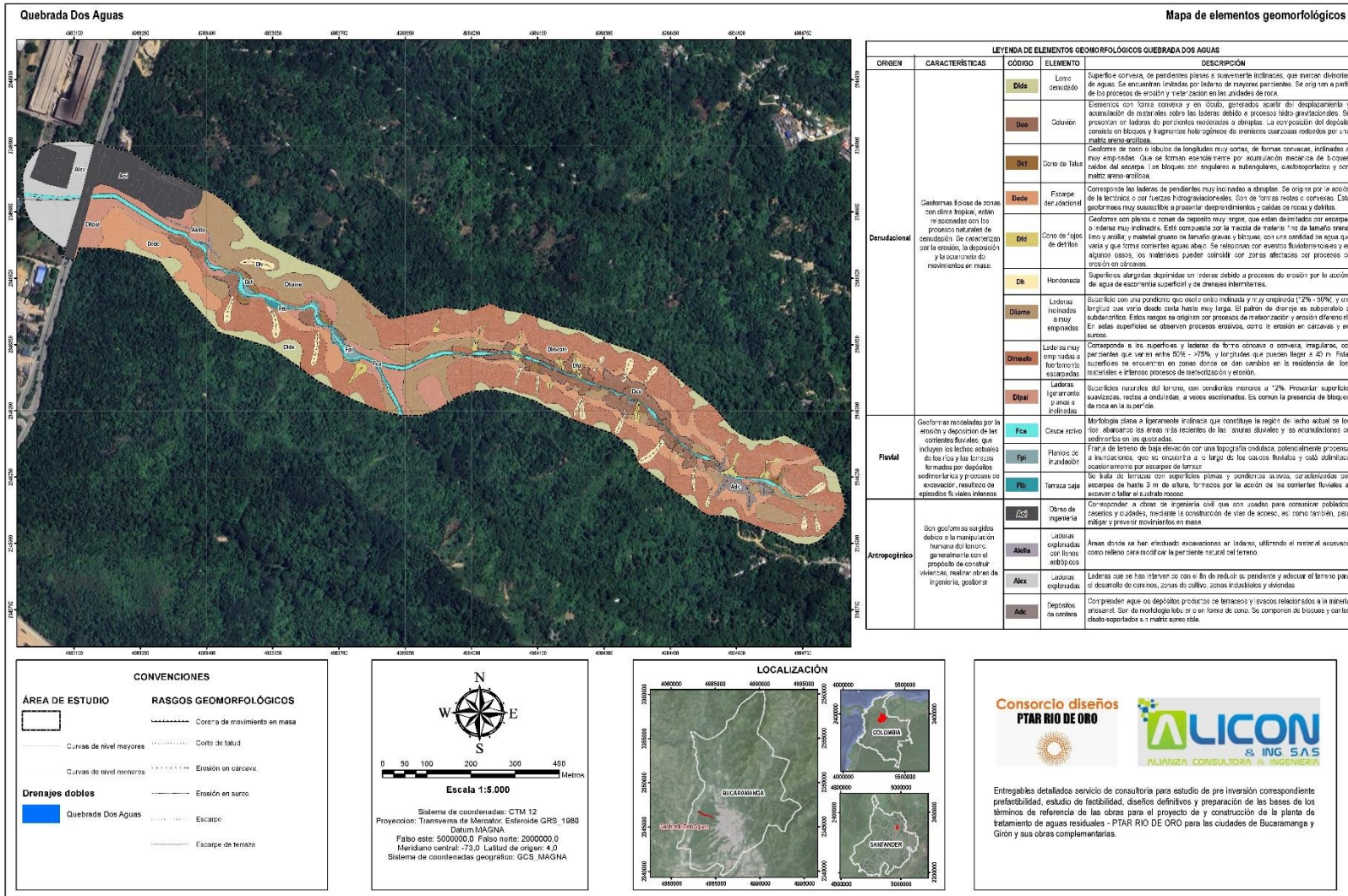
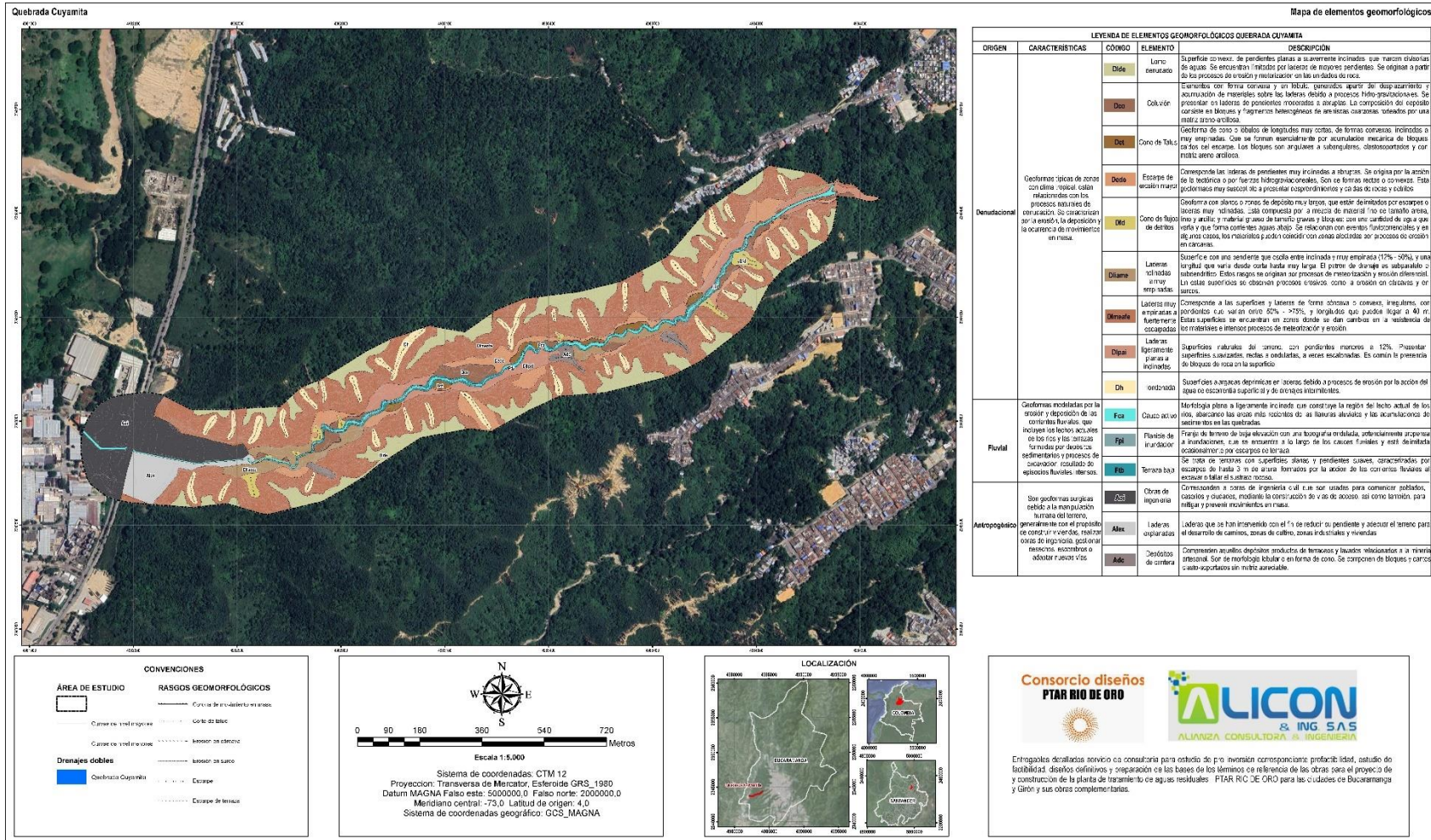


Figura 26

Mapa de elementos geomorfológicos de la quebrada Cuyamita



### **8.3. Unidades geológicas para ingeniería**

En las áreas de estudio se identificó una predominancia de suelos transportados fluvio-torrrenciales del miembro órganos y de suelos transportados de origen gravitacional. La cartografía con la distribución de cada unidad geológica para las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita se puede ver en los Apéndices E, F, G, y H, respectivamente.

A continuación, se presenta la descripción de cada unidad geológica para ingeniería según su origen y su extensión en cada zona de estudio.

#### ***8.3.1. Unidades de roca sedimentaria***

Areniscas de grano medio y grueso, rojizas a pardas, de dureza intermedia, de la formación Girón.

**8.3.1.1. Roca intermedia de la formación Girón (Rifg).** Rocas de dureza intermedia, moderadas a fuertemente meteorizadas de la formación Girón. Se localizan al oeste, en el lecho de la quebrada, y en algunos escarpes. Se constituye por areniscas pardo-rojizas grano grueso y medio. Localmente fracturadas con familias de diaclasas en direcciones 034/63, 347/86 y 112/16. Esta unidad solo se identificó en la quebrada Chapinero, donde ocupa 2.29 hectáreas.

**Figura 27**

*Roca intermedia de la formación Girón*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E21. Coordenadas este 4983426 norte 2347060. Fuente: Autor.

**8.3.2. Suelos transportados de origen gravitacional**

Suelos poco compactos transportados por la acción de la gravedad y escorrentía superficial. Estos suelos agrupan los depósitos producto de movimientos en masa.

**8.3.2.1. Suelo transportado de depósito coluvial (Stco).** Son suelos asociados a movimientos en masa depositados en áreas de menores pendientes por la acción de la gravedad o escorrentía superficial. Se conforma por materiales erosionados y transportados del miembro órganos como gravas subredondeadas en tamaños que varían de cantos a guijarros, arenas finas a medias y arcillas. Son de colores marrones y pardos grisáceos, matriz soportados, polimícticos y de consistencia media. Se presenta en la quebrada La Picha en 0.6 hectáreas, en la quebrada Chapinero en 1.79 hectáreas, en la quebrada Dos Aguas en 2.35 hectáreas y en la quebrada Cuyamita en 1.64 hectáreas.

**Figura 28**

*Suelo transportado de depósito coluvial*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, estación E2. Coordenadas este 4983980 norte 2344337. Fuente: Autor.

**8.3.2.2. Suelo transportado de depósito de cono de talus (Stct).** Son suelos asociados a caídas de rocas, tierras y detritos acumulados en la base de laderas y escarpes. Se caracterizan por ser materiales del miembro órganos, subangulares, clastosoportados, conformados por gravas en tamaños de cantos y gujarros arenas gruesas, y arcillas. Igualmente, pueden presentarse dentro de este tipo de depósitos escombros de construcciones y restos vegetales que han sido transportados. Esta unidad se presenta en 0.06 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.32 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.28 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 0.68 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 29**

*Suelo transportado de depósito de cono de talus*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Dos Aguas, entre las estaciones E4 y E5. Coordenadas este 4984143 norte 2346310. Fuente: Autor.

**8.3.2.3. Suelo transportado de flujo de detritos (Stfd).** Suelos producto del transporte de sedimentos por medio de la acción de la gravedad en depresiones alargadas. Están conformados por fragmentos rocas y detritos del Miembro Órganos, caracterizándose por contener sedimentos cuyo tamaño va de cantos a bloques esféricos, redondeados a subredondeados, embebidos en una matriz areno limosa mal calibrada, y de tonalidades amarillentas y marrones grisáceas. Se presenta en 0.86 hectáreas de la quebrada La Picha, 0.54 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.56 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 0.88 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 30**

*Suelo transportado de flujo de detritos*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, entre las estaciones E8 y E9. Coordenadas este 4984578 norte 2346556. Fuente: Autor.

### **8.3.3. Suelos transportados de origen aluvial**

Comprende aquellos suelos producto de la acción conjunta de los cursos de agua y gravedad. Se depositan por cambios súbitos en la pendiente los cuales disminuyen la capacidad de transporte de los sedimentos.

**8.3.3.1. Suelo transportado del miembro órganos gravoso (Sagmo).** Suelos conformados por los depósitos del miembro órganos con abundante presencia de gravas subredondeadas, mal seleccionadas, clastosportadas, débilmente consolidadas, de tonalidades marrones y pardas grisáceas, de tamaño de cantos entre los 10 y 30 centímetros y bloques de hasta 1 metro, y de matriz de arenas finas y arcillas. Estos suelos presentan intercalaciones con niveles delgados de arcillas de color pardo amarillento. Esta unidad ocupa 10.06 hectáreas de la quebrada La Picha, 19.41 hectáreas de la quebrada Chapinero, 25.67 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 41.06 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 31**

*Suelo transportado del miembro órganos gravoso*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada La Picha, en las proximidades de la estación E1. Coordenadas este 4984479 norte 2347427. Fuente: Autor.

**8.3.3.2. Suelo transportado del miembro órganos arenoso (Saamo).** Depósitos del miembro órganos los cuales presentan cantos y bloques subredondeados, mal seleccionados, soportados en una matriz arcillosa y niveles arcillo arenosos de consistencia firme. Son de tonalidades amarillentas y verdosas grisáceas. Los tamaños de los cantos varían entre 1 y 20 centímetros mientras que los bloques se presentan esporádicamente con tamaños de hasta 40 cm. Se presenta en 10.06 hectáreas de la quebrada La Picha, 19.41 hectáreas de la quebrada Chapinero, 25.67 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 41.06 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 32**

*Suelo transportado del miembro órganos arenoso*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, estación E20. Coordenadas este 4982702 norte 2343707. Fuente: Autor.

**8.3.4. Suelos transportados de origen fluvial**

Son suelos producto de los sedimentos depositados por el curso de ríos y cauces. Sus sedimentos son redondeados, imbricados y bien seleccionados.

**8.3.4.1. Suelo transportado de cauce actual (Sfca).** Suelos conformados por sedimentos transportados por ríos y cauces activos, cauces abandonados y planicies de inundación. Están conformados por guijas, cantos y arenas subredondeadas, imbricadas y clastosoportadas. Se presenta en 1.04 hectáreas de la quebrada La Picha, 1.8 hectáreas de la quebrada Chapinero, 1.24 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 1.26 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 33**

*Suelo transportado de cauce actual*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E9. Coordenadas este 4984482 norte 2346581. Fuente: Autor.

**8.3.4.2. Suelo transportado de terraza baja (Sftb).** Depósitos de hasta 3 m de espesor, originados por la erosión, transporte y acumulación de sedimentos subredondeados en tamaños que varían de cantos a arenas y soportados por una matriz areno arcillosa. Se presenta en 0.73 hectáreas de la quebrada La Picha, 1.17 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.47 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 1.4 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 34**

*Suelo transportado de terraza baja*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Cuyamita, estación E3. Coordenadas este 4983960 norte 234430. Fuente: Autor.

**8.3.5. Suelos de origen antropogénico**

Suelos conformados por materiales heterogéneos dispuestos artificialmente por intervención humana.

**8.3.5.1. Suelo de llenos antrópicos (Salle).** Suelos en los cuales se ha depositado materiales de excavaciones y terraceo del miembro órganos, como también de materiales alóctonos heterogéneos, sobre los cuales se ha adecuado el terreno para caminos, obras y construcciones. Se presenta en 3 hectáreas de la quebrada La Picha, 2.36 hectáreas de la quebrada Chapinero, 3.68 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 6.52 hectáreas de la quebrada Cuyamita.

**Figura 35**

*Suelo de llenos antrópicos*

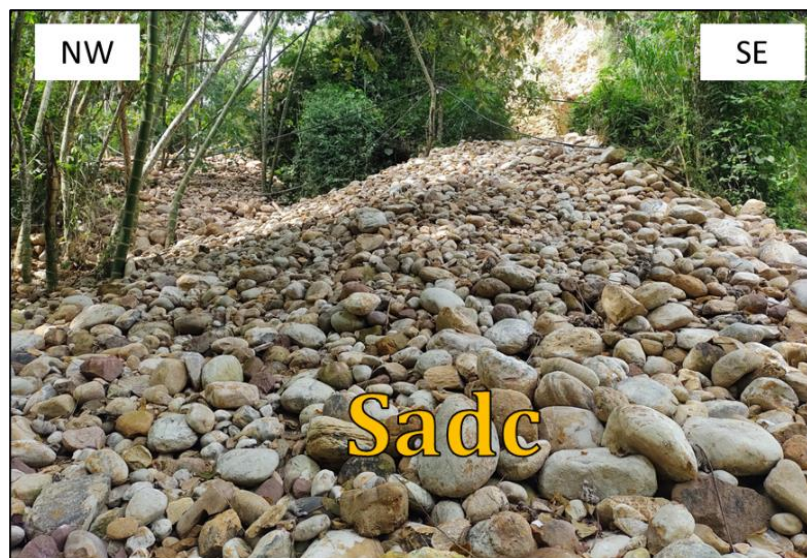


*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada La Picha, estación E30. Coordenadas este 4983509 norte 2347912. Fuente: Autor.

**8.3.5.2. Suelo de depósitos de cantera (Sadc).** Suelos constituidos por materiales producto actividades mineras y de excavación de canteras. Lo conforman gravas en tamaños de cantos y bloques mal seleccionados, subredondeados, clastosoportados, de compacidad suelta y suelen presentar muy poca o nula matriz de arenas finas. Se presenta 0.49 hectáreas de la quebrada Chapinero, 0.39 hectáreas de la quebrada Dos Aguas y 6.52 hectáreas de la quebrada Cuyamita, no se identificó este elemento en la quebrada La Picha.

**Figura 36**

*Suelo de depósitos de cantera*



*Nota.* Fotografía tomada en la quebrada Chapinero, estación E8. Coordenadas este 4984584 norte 2346506. Fuente: Autor.

Figura 37

Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada La Picha

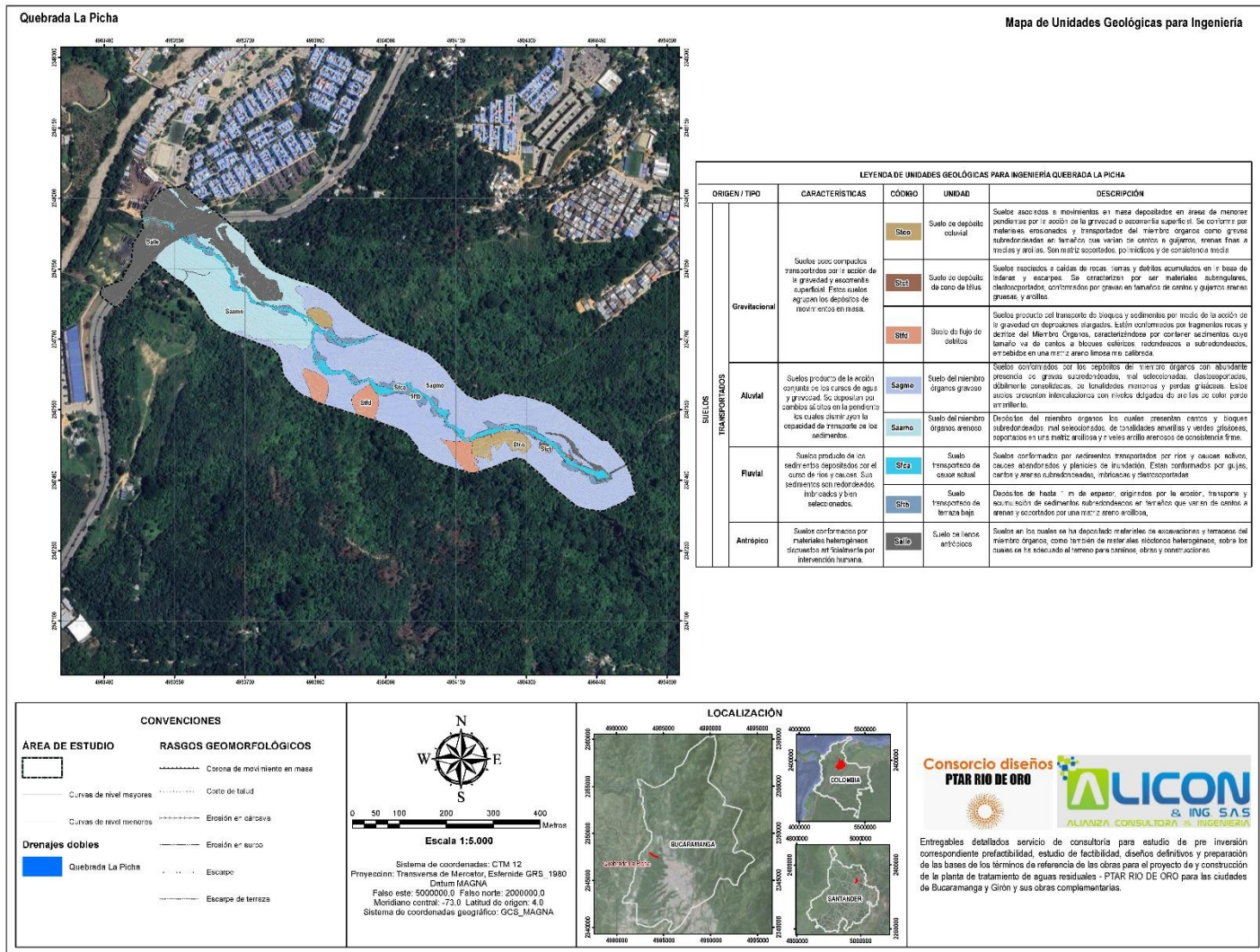


Figura 38

Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Chapinero

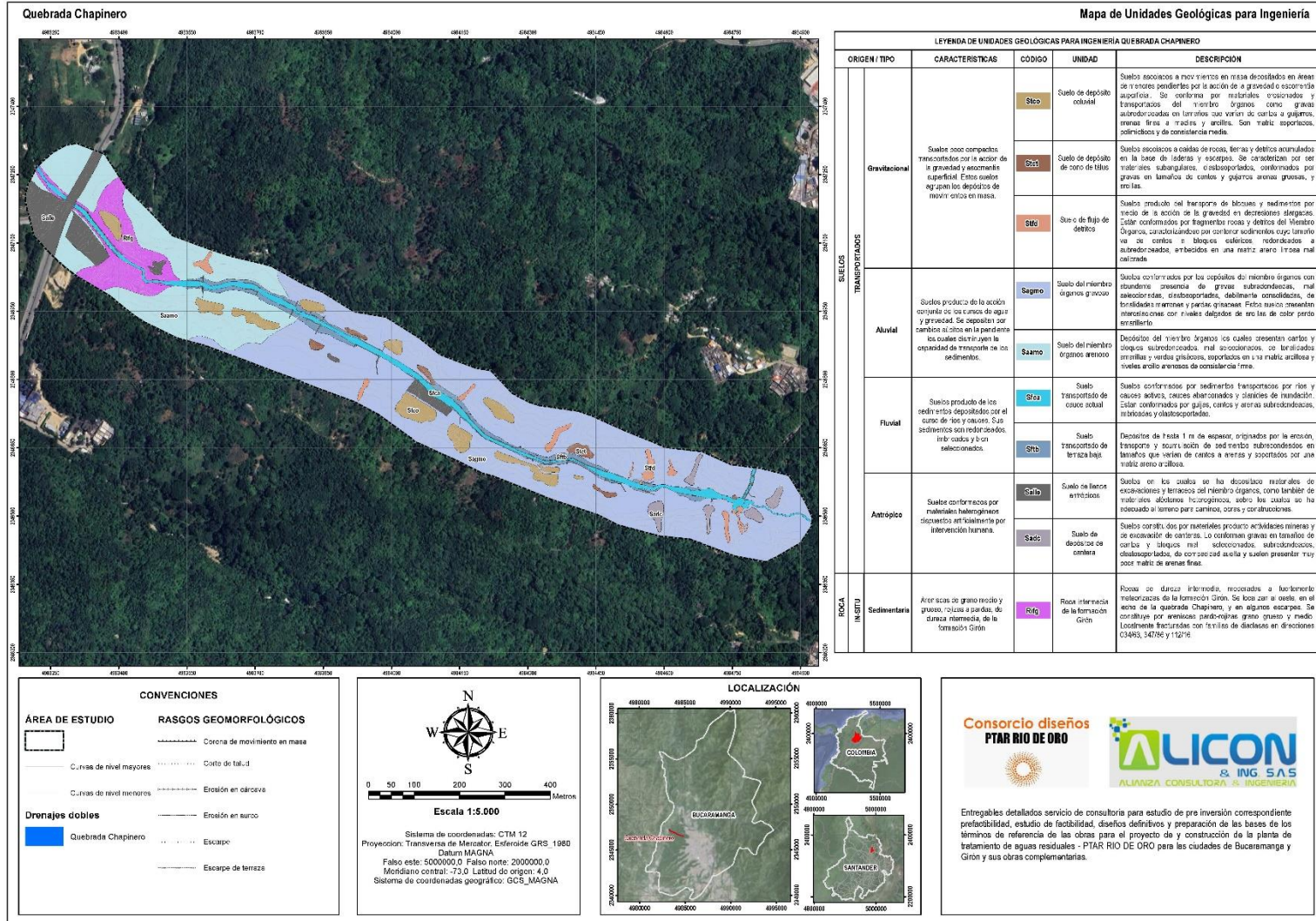


Figura 39

Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Dos Aguas

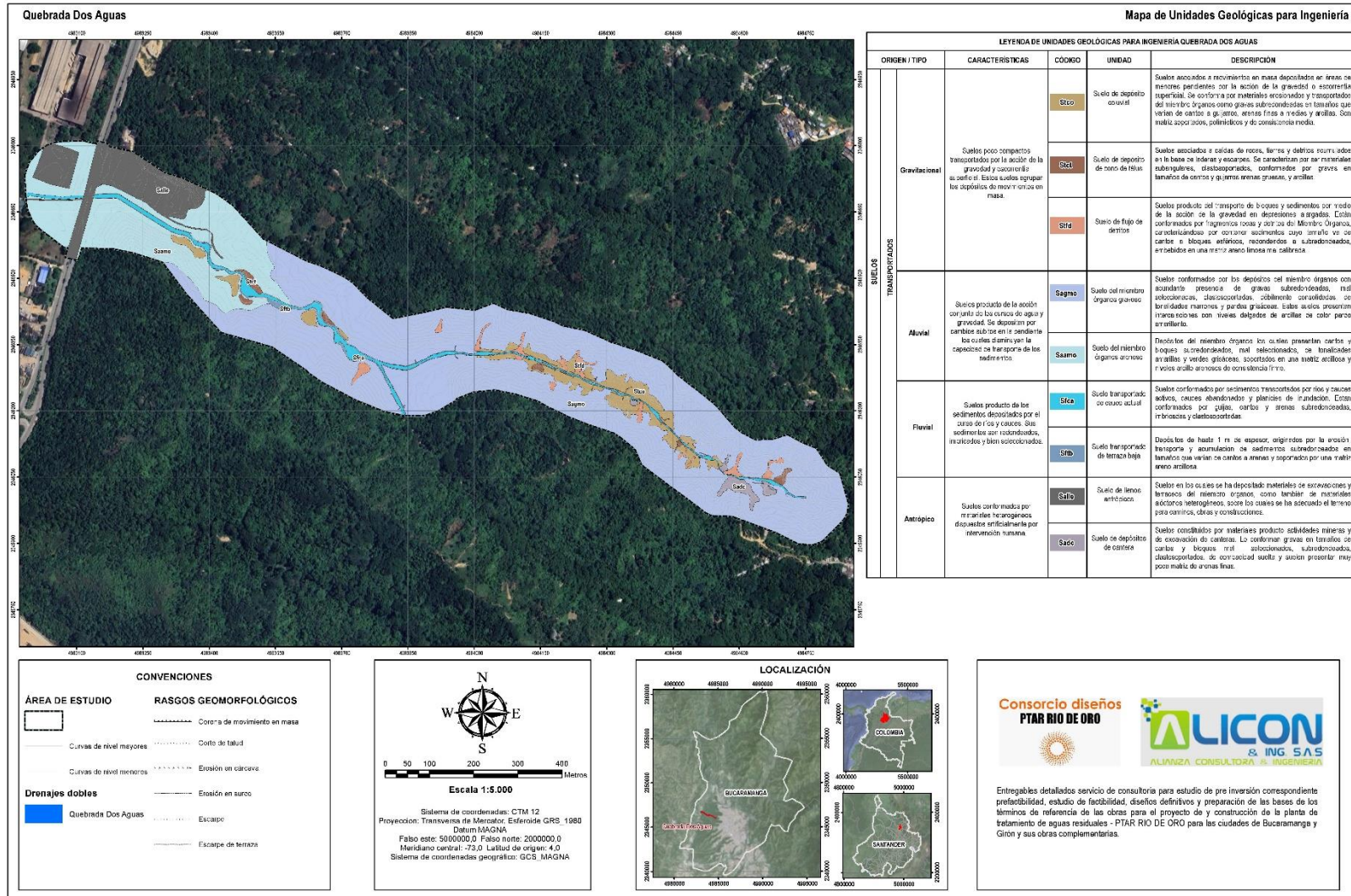
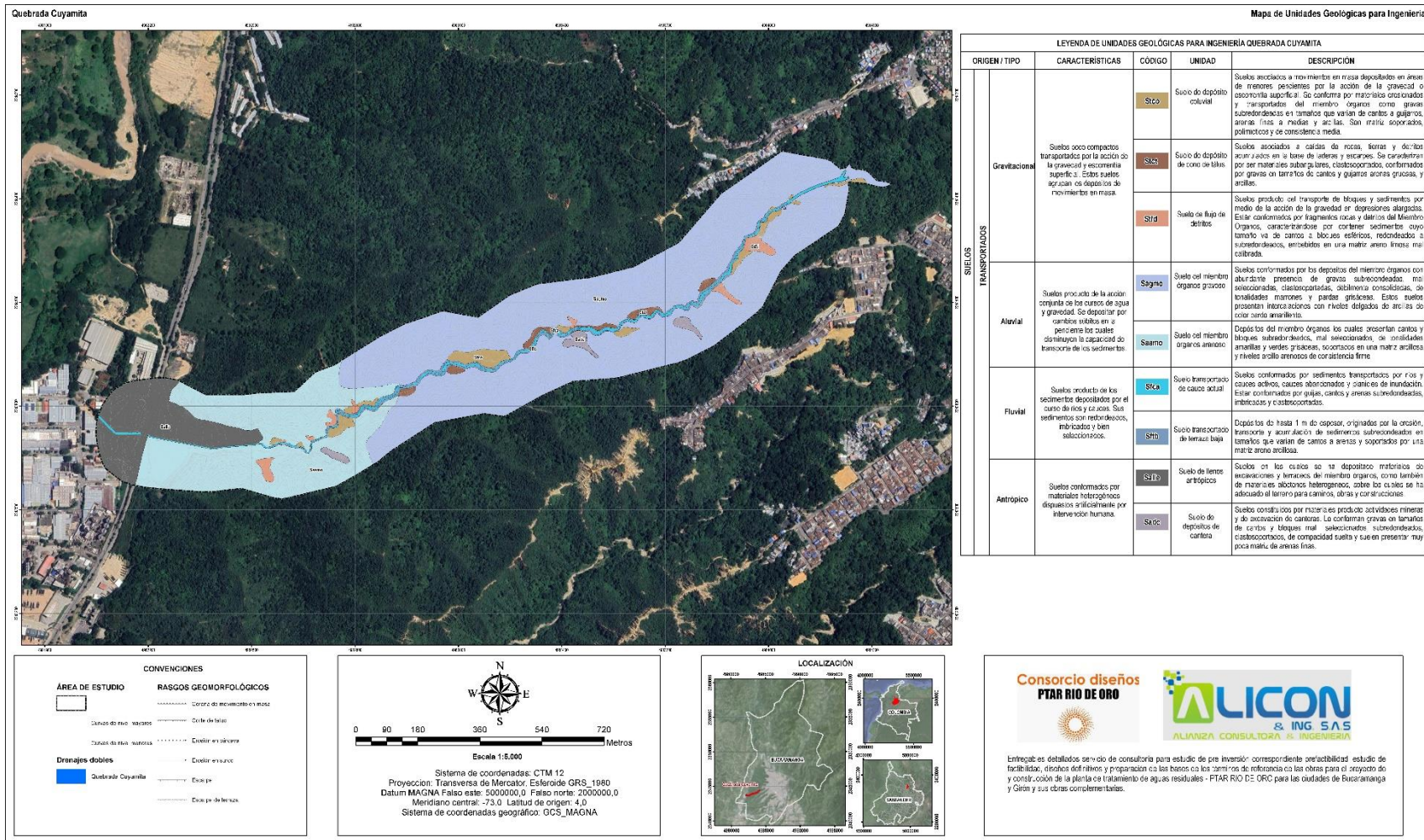


Figura 40

Mapa de unidades geológicas para ingeniería de la quebrada Cuyamita



#### **8.4. Zonificación geotécnica**

Tomando en cuenta las propiedades geológicas y geomorfológicas de las zonas de estudio, así como también los resultados de los ensayos de laboratorio y clasificación de suelos (ver Apéndices P, Q, R y S), se realizó la zonificación geotécnica para las quebradas La Picha, Chapinero Dos Aguas y Cuyamita, presentadas en los Apéndices I, J, K y L, respectivamente:

A continuación, se presentan las descripciones de las zonas definidas:

##### **8.4.1. Zonas de origen antrópico (A)**

**8.4.1.1. Suelos antrópicos de obras de ingeniería (A-I).** Suelos arenolimosos conformados mayormente por partículas granulares de tipo arenas y gravas que aportan fricción a la matriz del suelo. La parte fina limosa es de baja a mediana plasticidad. Estos suelos son de baja humedad y tienen una compacidad densa. Así mismo, estos suelos fueron empleados para adecuación de áreas donde se implantaron construcciones de tipo vial, residencial e industrial.

**8.4.1.2. Suelos antrópicos de laderas explanadas con llenos de excavación (A-II).** Suelos arenolimosos conformados mayormente por partículas granulares de tipo arenas y gravas que aportan fricción a la matriz del suelo. La parte fina limosa es de baja a mediana plasticidad. Estos suelos son de baja humedad, tienen una compacidad compacta y están clasificados como (SP-SM) definiéndose como arena mal graduada con limo y grava, por lo que su comportamiento será friccionante y poco cohesivo.

**8.4.1.3. Suelos antrópicos de depósitos de cantera (A-III).** Suelos compuestos por fracciones granulares de tipo arena fina a media con gravas, cantos y bloques líticos de compacidad suelta. Las partículas finas son de tipo limo con baja plasticidad y cohesión, la humedad del material es baja. Este suelo fue dispuesto a manera de depósito sobre las laderas que descenden del escarpe de Bucaramanga.

#### **8.4.2. Zonas de origen denudacional (D)**

**8.4.2.1. Suelo transportado de depósitos de coluvión (D-I).** Suelo compuesto de gravas angulares a subredondeadas y arenas de grano fino a medio con una fracción fina limosa de baja plasticidad y poca cohesión. Este suelo se comportará más friccionante que cohesivo. La humedad del suelo es baja, su compactación es compacta y se clasifica como arena limosa con grava (SM). Este suelo está dispuesto a manera de depósito al pie de ladera, esto se debe a la afectación de procesos erosivos y de transporte que han venido arrastrando material desde partes más altas y que llegan a depositarse a la zona más llana donde fueron acumulando hasta formar estos depósitos. Este suelo por lo general está cubierto por vegetación de baja densidad como rastrojos y pastos.

**8.4.2.2. Suelo transportado de conos de talus (D-II).** Suelo areno limoso de baja plasticidad y poca cohesión, aunque tienen buena compactación debido a la acumulación del material en periodos de desprendimiento, además por las condiciones climáticas y humedad de la zona hacen que se compacten. Estos materiales en algunas zonas se hallan cubiertos por vegetación tipo rastrojo bajo y arboles de bajo tamaño.

**8.4.2.3. Suelo transportado de flujo de detritos (D-III).** Suelo de matriz arenosa de grano fino a medio con limos de poca cohesión y muy baja plasticidad, contiene gravas, cantos y bloques, su humedad es baja y se clasifica como un suelo areno limoso con grava (SM). Este suelo se formó por el transporte y acumulación de materiales por medio de canales, surcos y cárcavas que se han formado en el terreno quedando depositados por direcciones que toman escorrentías superficiales al presentarse altas pluviosidad y que han transportado este suelo depositándose en dirección a la quebrada. Estos suelos no son consistentes ni compactos, son sueltos y de fácil transporte. No tienen vegetación alta, solo desarrollan pastos.

**8.4.2.4. Suelos gravosos del miembro órganos fuertemente erosionados (D-IV).** Suelos de matriz arenosa de grano fino a medio con gravas, cantos y bloques de origen lítico en formas angulares a subredondeadas, de baja plasticidad y cohesión. Estos suelos están relacionados a hondonadas producto de procesos erosivos en surcos y cárcavas, poseen poca cobertura vegetal y no presentan materiales sueltos en su superficie.

**8.4.2.5. Suelos arenosos del miembro órganos fuertemente erosionados (D-V).** En las quebradas La Picha, Chapinero y Dos Aguas se presentan como suelos de matriz limosa de baja plasticidad con arenas de grano fino y de gravas de origen lítico en formas angulares a subredondeadas. Este suelo se halla dispuesto en hondonadas, las cuales se han generado por la erosión constante desde su depositación. Estos suelos carecen de cobertura vegetal y no presentan materiales sueltos en su superficie. En la quebrada Cuyamita se observa como un suelo de matriz arenosa de grano fino a medio con mediana proporción de partículas finas limosas no cohesivas y arcillosas cohesivas de mediana plasticidad, con material grueso lítico que va desde guijos a bloques en formas angulares a subredondeados algunos alterados, la humedad del material es baja y su compacidad es suelta a compacta; se clasifica este material como arena limosa (SM) y arena arcillosa (SC). Esta zona está conformando una hondonada que se formó a consecuencia de drenajes intermitentes que han ido arrastrando material en dirección a la quebrada Cuyamita, erosionando los materiales dejando cambios diversos de pendientes hasta llegar una zona llana que se limita por la quebrada.

**8.4.2.6. Suelos gravosos del miembro órganos de laderas inclinadas a muy empinadas (D-VI).** Suelo de matriz arenosa de grano fino a medio con gravas, cantos y bloques de origen lítico en formas angulares a subredondeadas, también se hallan limos de baja plasticidad y cohesión. El suelo tendrá un comportamiento mayor en fricción que cohesivo. Este material tiene

poca humedad y su compacidad es compacta, se clasifica como una arena limosa con grava (SM). Este material está dispuesto sobre laderas de mediana inclinación que van desde inclinadas >12% a muy empinadas <50% que han sido modeladas gracias a la alta erosión hacia las zonas distantes y fluviales de la quebrada. Esta zona se halla cubierta en gran parte por rastrojos, árboles y pastos, en otras no tiene cobertura vegetal siendo más afectada por procesos erosivos.

**8.4.2.7. Suelos arenosos del miembro órganos de laderas inclinadas a muy empinadas (D-VII).** Suelo de matriz limosa de baja plasticidad con arenas de grano fino y fracciones gruesas como gravas y cantos de origen lítico en formas angulares a subredondeadas. El suelo tendrá un comportamiento mayor en fricción que cohesivo, es de humedad baja, compacidad compacta, se clasifica como una arena limosa (SM) y limo arenoso (ML). Este material está dispuesto sobre laderas de mediana inclinación que van desde inclinadas >12% a muy empinadas <50% que han sido modeladas gracias a la alta erosión hacia las zonas distantes y fluviales de la quebrada. Esta zona se halla cubierta en gran parte por rastrojos, árboles y pastos, en otras no tiene cobertura vegetal siendo más afectada por procesos erosivos.

**8.4.2.8. Suelos gravosos del miembro órganos de laderas ligeramente planas a inclinadas (D-VIII).** Suelo de matriz arenosa de grano fino a medio con gravas, cantos y bloques de origen lítico en formas angulares a subredondeadas, también se hallan limos de baja plasticidad y cohesión, el suelo tendrá un comportamiento mayor en fricción que cohesivo. Este material tiene poca humedad y su compacidad es compacta, se clasifica como una arena limosa con grava (SM). Este suelo está conformando laderas de bajo relieve que va de ligeramente planas >3% a inclinadas <12%, esto se formó a consecuencia de procesos erosivos intensos que dejaron estos relieves bajos. La zona está cubierta en partes por vegetación como árboles, pastos y rastrojos en algunas áreas se hallan desprovistas de vegetación.

**8.4.2.9. Suelos arenosos del miembro órganos de laderas ligeramente planas a inclinadas (D-IX).** En las quebradas La Picha, Chapinero y Dos Aguas se presenta como un suelo de matriz limosa de baja plasticidad con arenas de grano fino y fracciones muy gruesas como gravas y cantos de origen lítico en formas angulares a subredondeadas, el suelo tendrá un comportamiento mayor en fricción que cohesivo. Este material tiene poca humedad, su compactación es compacta al igual que su consistencia, se clasifica como una arena limosa (SM) y limo arenoso (ML). Este suelo está conformando laderas de bajo relieve que va de ligeramente planas >3% a inclinadas <12%, esto se formó a consecuencia de procesos erosivos intensos que dejaron estos relieves bajos. La zona está cubierta en partes por vegetación como árboles, pastos y rastrojos en algunas áreas se hallan desprovistas de vegetación. En la quebrada Cuyamita se observa como un suelo conformado por arenas finas a media con arcillas cohesivas de baja plasticidad y contenido de gravas que van desde tamaño guijarros a bloques líticos en formas angulares a subredondeadas, con una baja humedad y clasificado como arena arcillosa (SC).

**8.4.2.10. Suelos gravosos del miembro órganos en escarpes y laderas muy empinadas (D-X).** Suelo de matriz arenosa de grano fino a medio con gravas, cantos y bloques de origen lítico en formas angulares a subredondeadas, también se hallan limos de baja plasticidad y cohesión. Tiene un comportamiento de fricción. Este material tiene poca humedad, de compactación compacta, se clasifica como una arena limosa con grava (SM). Este suelo se halla dispuesto escarpes con pendientes mayores al 50%, las cuales se han afectado por la erosión fluvial cuando la quebrada no tenía un cauce definido. Estos escarpes carecen de cobertura vegetal debido a su alta pendiente por lo cual se halla desprotegido.

**8.4.2.11. Suelos arenosos del miembro órganos en escarpes y laderas muy empinadas (D-XI).** Suelo de matriz limosa de baja plasticidad con arenas de grano fino y fracciones muy

gruesas como gravas y cantos de origen lítico en formas angulares a subredondeadas, el suelo tendrá un comportamiento mayor en fricción que cohesivo. Suelo de humedad baja y compacidad compacta, se clasifica como una arena limosa (SM) y limo arenoso (ML). Este suelo se halla dispuesto en laderas muy empinadas a fuertemente escarpadas con pendientes mayores al 50%, las cuales se han afectado por la erosión fluvial cuando la quebrada no tenía un cauce definido y aluvial que ha sido constante desde su depositación. Estas laderas carecen de cobertura vegetal debido a su alta pendiente, se tiende a desarrollar, pero en baja densidad, en algunas áreas se halla desprotegido.

#### **8.4.2.12. Roca intermedia arenisca de laderas inclinadas a muy empinadas (D-XII).**

Rocas areniscas de la Formación Girón afectadas por la erosión y tectónica de la zona. Estos materiales rocosos están dispuestos a manera de laderas de mediana inclinación que van desde inclinadas >12% a muy empinadas <50% que han sido modeladas gracias a la alta erosión de la zona. Esta zona se halla cubierta en gran parte por rastrojos, árboles y pastos, en otras no tiene cobertura vegetal siendo más afectada por procesos erosivos.

#### **8.4.2.13. Roca intermedia arenisca de laderas ligeramente planas a inclinadas (D-XIII).**

Rocas areniscas de la Formación Girón afectadas por la erosión y tectónica de la zona. Estos materiales rocosos están dispuestos a manera de laderas poco inclinadas, las cuales no superan el 12% de inclinación, esto hace parte de áreas aledañas la zona carretable y que su forma fue modificada en menor grado para disminuir la pendiente del terreno con el fin de favorecer al carretable y también donde se hallan de manera natural sin intervención antrópica. Esta zona se halla cubierta por vegetación como árboles, pastos y rastrojos.

#### **8.4.2.14. Roca intermedia arenisca en escarpes y laderas muy empinadas (D-XIV).**

Rocas areniscas de la Formación Girón afectadas por la erosión y tectónica de la zona. Estas rocas

areniscas están dispuestas a manera de laderas muy inclinadas a fuertemente escarpadas con una pendiente de inclinación mayor a 50%, modeladas por la erosión de la zona ya sea de tipo aluvial actual o fluvial, al presentar altas pendientes y fracturas en sus afloramientos es muy susceptible a la infiltración de aguas que pueden saturar la unidad hasta generar el colapso de los bloques. Al ser zona rocosa presenta poca a baja densidad de vegetación.

#### **8.4.3. Zonas de origen fluvial (F)**

**8.4.3.1. Suelos fluviales de cauce activo (F-I).** Suelo granular muy gravoso conteniendo bloques, cantos, gravas y arenas con limos que mantienen confinado el material bajo la lámina de agua, su compacidad varia de suelta a densa a medida que se profundiza bajo el cauce.

**8.4.3.2. Suelos fluviales recientes de planicies de inundación (F-II).** Suelo areno limoso con gravas, de humedad baja a media contiene materiales como arenas, gravas, cantos y bloques con limos que mantienen unidas las partículas, la compacidad de estos materiales es de suelta. Este suelo fue dispuesto a manera de zona depósito de la quebrada y también del transporte por escorrentía superficial. En algunas partes está cubierta por vegetación de baja densidad como pastos, arbustos, arbustales, rastrojos bajos y árboles.

**8.4.3.3. Suelos fluviales de terrazas bajas (F-III).** Suelo areno limos con gravas, de muy baja consistencia y cohesión, la plasticidad es baja, la humedad es baja a media aumentando en la superficie y disminuyendo a profundidad, la compacidad del suelo es suelta en la superficie y se hace compacta hacia las capas más profundas. Estos suelos fueron depositados por aumento de caudal y también por aportes de las laderas inclinadas, principalmente fue formada a partir de sedimentos de la quebrada y que por efecto de peso de las distintas partículas se ha compactado, algunas partes superficialmente se visualizan bloques de gran tamaño y gravas, la vegetación cubre parte de estas terrazas, pero su densidad es baja.

Figura 41

Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada La Picha

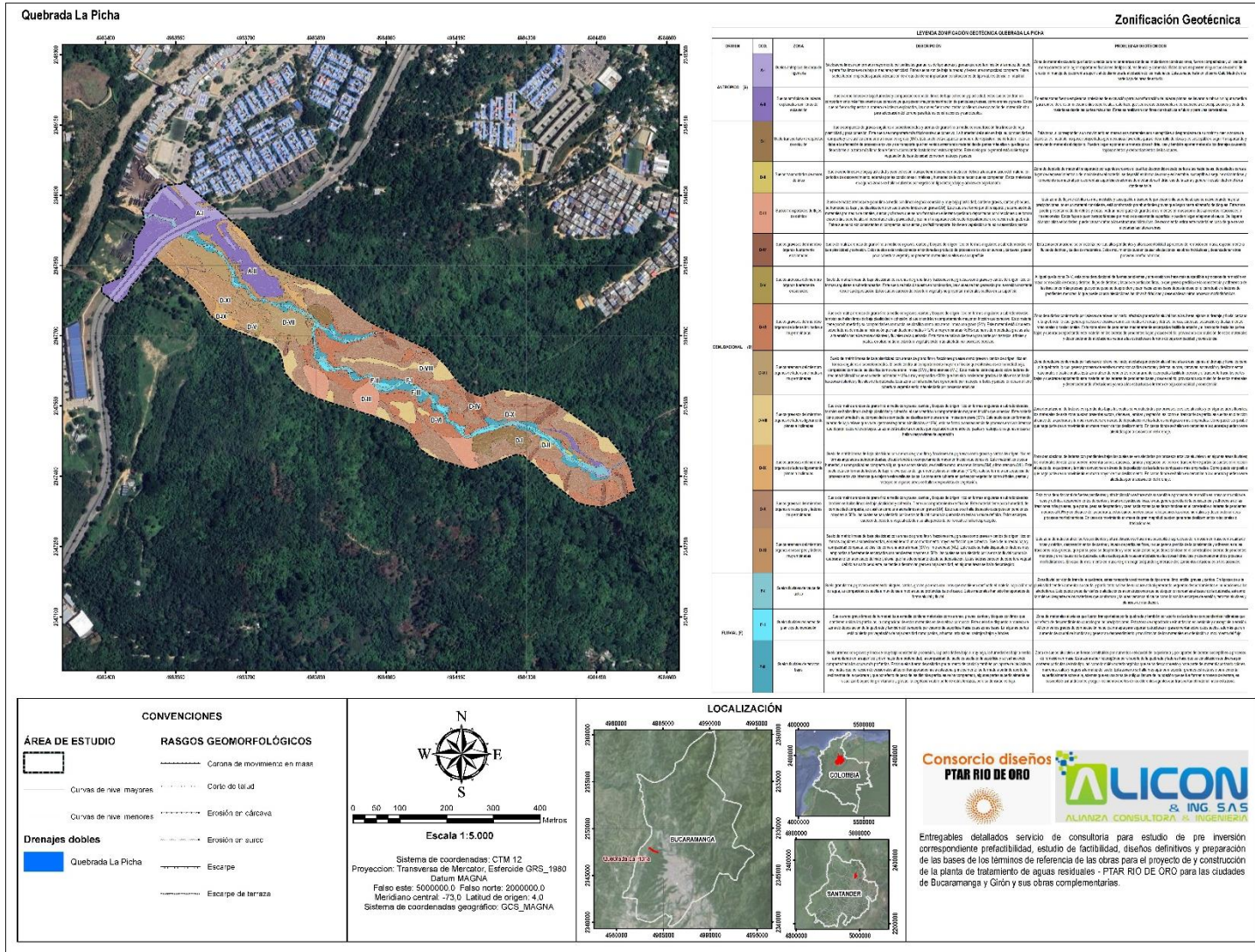


Figura 42

Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Chapinero

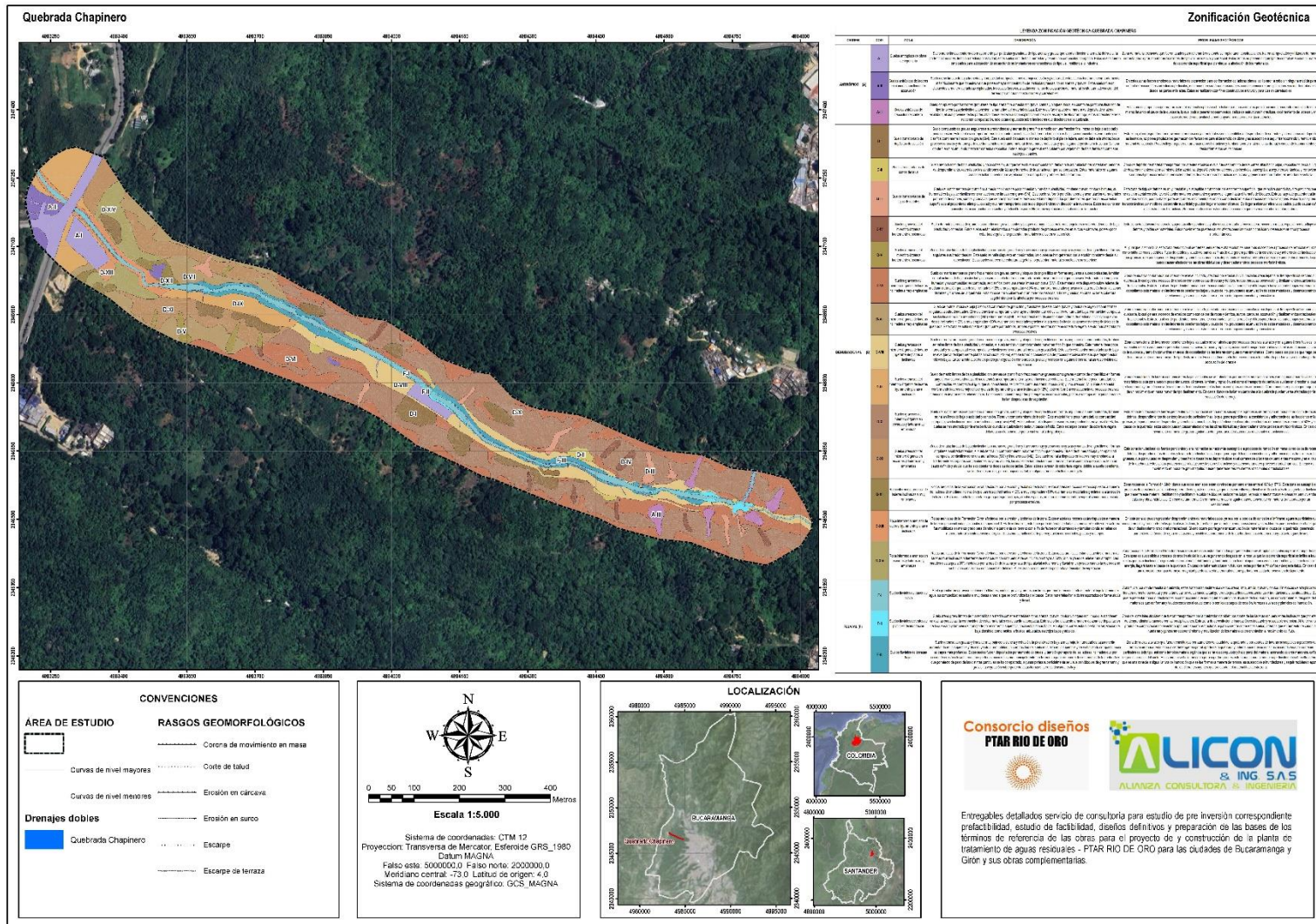


Figura 43

Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Dos Aguas

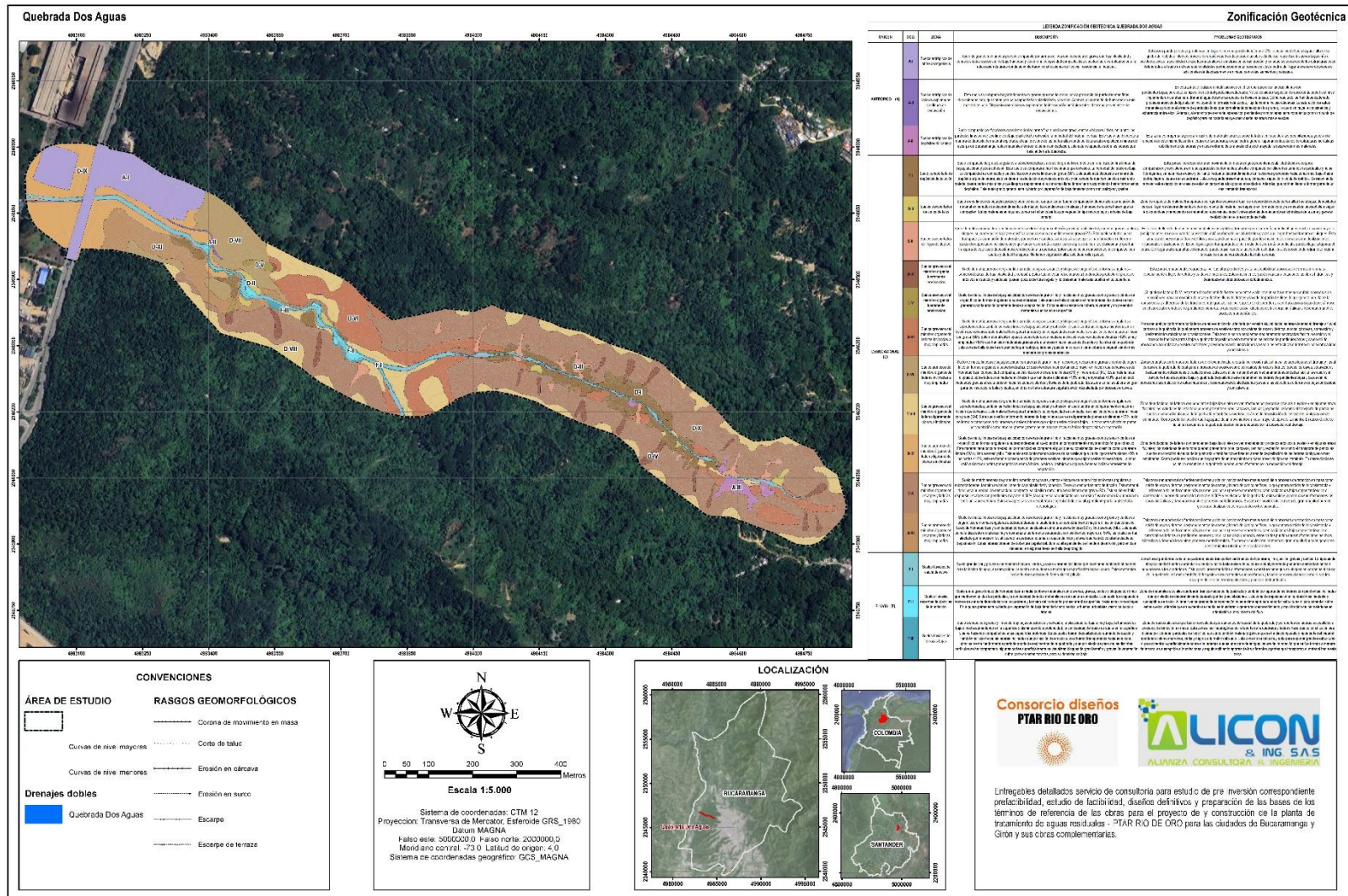
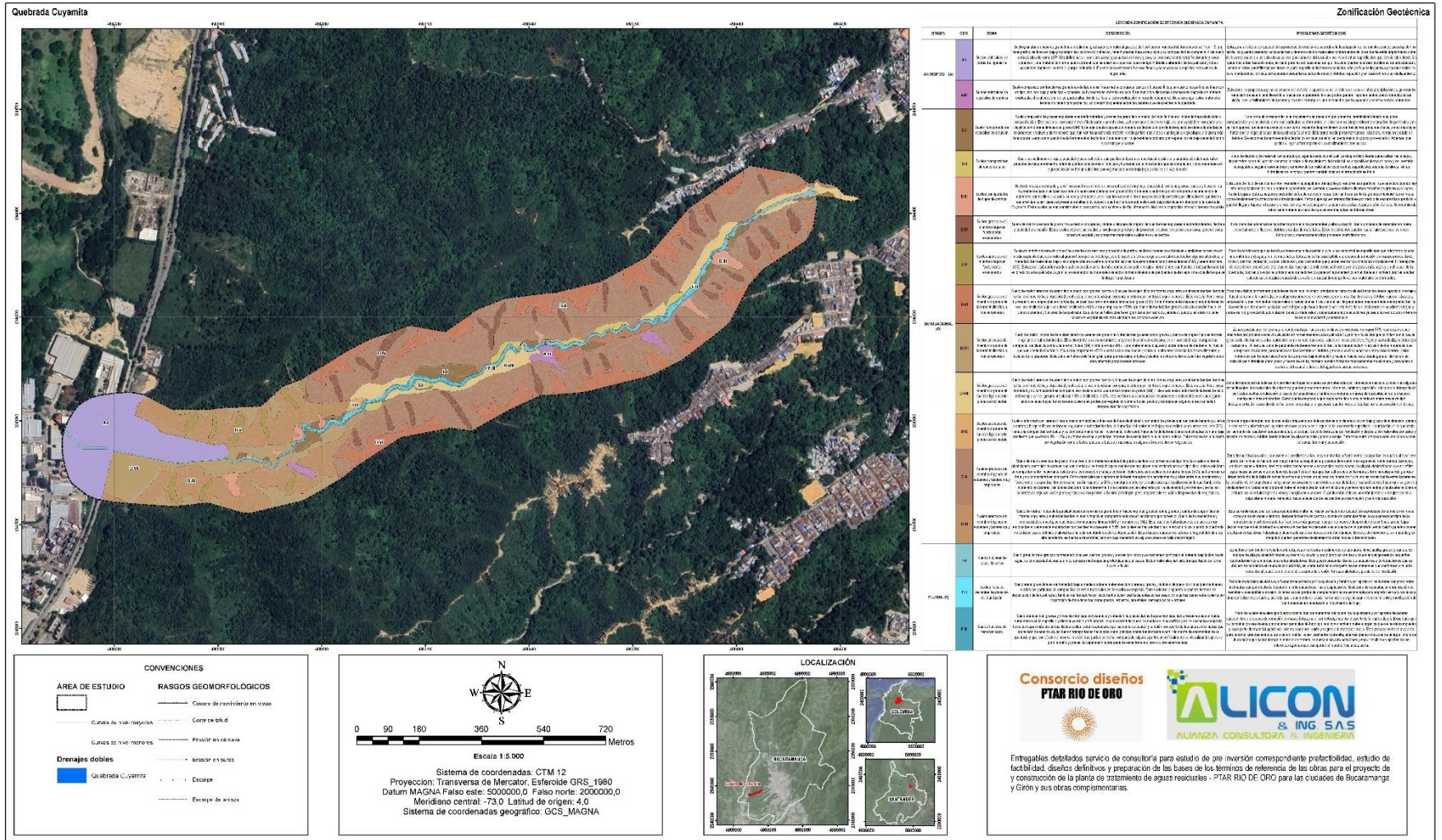


Figura 44

Mapa de zonificación geotécnica de la quebrada Cuyamita



## 10. Conclusiones

Como resultado del proceso de caracterización de la geomorfología a nivel de elementos, se identificaron un total de catorce elementos en la quebrada La Picha, dieciséis elementos en las quebradas Chapinero y Dos aguas, y quince elementos en la quebrada Cuyamita.

Con respecto a los movimientos en masa, se identificaron nueve en la quebrada La Picha, en la quebrada Chapinero se identificaron treinta y uno movimientos en masa, en la quebrada Dos Aguas fueron identificados treinta y ocho movimientos en masa y en la quebrada Cuyamita fueron identificados treinta y dos movimientos en masa.

Se identificaron nueve unidades de suelos transportados en las quebradas La Picha, Chapinero, Dos Aguas y Cuyamita, y una unidad de roca sedimentaria de la formación Girón en la quebrada Chapinero.

Los tipos de suelo clasificados por medio de SUCS para los materiales explorados en el área de estudio son: arena limosa (SM), arena arcillosa (SC), arena limo arcillosa (SC-SM), arena mal graduada con limo y grava (SP-SM), arena bien graduada con grava (SW), limo arenoso (ML), arcilla mal gradada arenosa con grava (CL) y arcilla limo arenosa (CL-ML).

Para la zonificación geotécnica se distinguieron en la quebrada La Picha dieciséis zonas, en la quebrada Chapinero se veinte zonas, en la quebrada Dos Aguas diecisiete zonas y en la quebrada Cuyamita dieciséis zonas. Cada una de estas zonas fueron clasificadas de acuerdo a ambiente genético predominante y descritas a partir de sus propiedades litológicas y geotécnicas.

### Referencias Bibliográficas

Ávila Álvarez, G. E., Cubillos Peña, C. E., Granados Becerra, A. E., Medina Bello, E., Rodríguez Castiblanco, É. A., Rodríguez Pineda, C. E., & Ruiz Peña, G. L. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Libros del Servicio Geológico Colombiano.

<https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/32>

Bueno, E., Solarte, A. (1994). *Geología, Geotecnia y Comportamiento Erosivo del Área de Reserva Forestal de Bucaramanga* [Tesis de Pregrado para optar al título de Geólogo, Universidad industrial de Santander]. Escuela de Geología. Universidad industrial de Santander.

Carvajal, H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano.

Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg Limits of Soil. *Public Roads*, 13, pp 121-136.

Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Cuarta edición). Cengage Learning Editores.

Decreto 1807 de 2014 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. 19 de septiembre de 2014.

De Porta, J. (1959). *La terraza de Bucaramanga*. Universidad Industrial de Santander. *Boletín de Geología*, (3), 5-13. Recuperado de

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4000>

Diederix, H., Hernández Moreno, C., Torres Jaimés, E. M., Botero Santa, P. A., & Mora Páez, H. (2008). Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. INGEOMINAS.

EMPAS S.A. (2019). Actualización y ajuste al plan de saneamiento y manejo de vertimientos—PSMV de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón 2019—2028. EMPAS S.A. Recuperado de <https://www.empas.gov.co/planeacion/plan-de-saneamiento-y-manejo-de-vertimientos-psmv-2019-2028/>

Hubach, E. (1952). *Interpretación geológica de la erosión y de los deslizamientos en Bucaramanga y medidas de defensa*. Servicio Geológico Nacional, Informe 867. Recuperado de [https://recordcenter.sgc.gov.co/B20/31013001000867/documento/pdf/Inf\\_867.PDF](https://recordcenter.sgc.gov.co/B20/31013001000867/documento/pdf/Inf_867.PDF)

Igac. (s.f.). Bucaramanga [Gubernamental]. Diccionario geográfico de Colombia. Recuperado de [https://diccionario.igac.gov.co/?\\_termino=481244](https://diccionario.igac.gov.co/?_termino=481244)

Ingeominas. (2001). *Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga*. Recuperado de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B1/11003002502483/documento/pdf/0101024831101000.pdf>

Ingeominas. (2009). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón*. Recuperado de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B6/21003000520568/documento/pdf/2105205681101000.pdf>

Ingeominas. (2010). *Integración geológica e hidrogeológica del centro de Santander*. Recuperado de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B10/22005010024690/Documento/pdf/2105246901101000.pdf>

Invías. (2013). Determinación del límite líquido de los suelos. E-125 Normas y especificaciones 2012 Invías. Recuperado de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-125-13.pdf>

Julivert, M. (1961). Geología de la Vertiente W de la Cordillera Oriental en el Sector de Bucaramanga. Boletín De Geología, (8), 39–42. Recuperado de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4266>

Julivert, M. (1963). *Nuevas observaciones sobre la estratigrafía y tectónica del Cuaternario de los alrededores de Bucaramanga*. Boletín de Geología, (15), 41-59. Recuperado de <https://revistas-tmp.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/5771>

Mancera, M., Salamanca, P (1994). Actualización del Mapa Geológico del Área Metropolitana de Bucaramanga. Ingeniería de Suelos Ltda, Bucaramanga.

Martínez, N., Samacá, W., Rojas, M., Ordoñez, N., López, J., & del Pilar, P. (2021). Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamiento de suelos. IGAC. <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/DOCUMENTOS%20SGI%202021/GAG/PC-GAG-04/IN-GAG-PC04-01%20Elaboracion%20de%20cartografia%20geomorfologica.pdf>

Niño, A., Vargas, G. (1992). Geología y Geotecnia de la escarpa noroccidental de la meseta de Bucaramanga [Tesis de Pregrado para optar al título de Geólogo, Universidad industrial de Santander]. Escuela de Geología, Universidad industrial de Santander.

Suárez, J. (2021). *La formación Bucaramanga* [Diapositiva de PowerPoint]. Geotecnología S.A.S. Recuperado de <https://www.erosion.com.co/download/7-la-formacion-bucaramanga/>