ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO, MORFOMÉTRICO Y ANÁLISIS DE COBERTURA DE LA TIERRA DEL ASENTAMIENTO “LAS CASITAS” EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER.



ASENTAMIENTO “LAS CASITAS”

BUCARAMANGA, SANTANDER
ENERO DE 2022

ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO, MORFOMÉTRICO Y ANÁLISIS DE COBERTURA DE LA TIERRA DEL ASENTAMIENTO “LAS CASITAS” EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER.



MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER

ENERO DE 2022

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3

2. OBJETIVOS 5

2.1. OBJETIVO GENERAL 5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

ALCANCE 7

3. GENERALIDADES 8

3.1. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO 8

3.2. METODOLOGÍA 10

4. CARACTERIZACION GEOAMBIENTAL 11

4.1. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS Y TECTÓNICOS REGIONALES 11
4.1.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONALES 11
4.1.2. MARCO TECTONICO REGIONAL 21
4.1.3. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI) 29
4.1.4. GEOMORFOLOGÍA 38
4.1.5. UNIDADES DE COBERTURA DE LA TIERRA 56

5. CONCLUSIONES 63

BIBLIOGRAFÍA 64

1. INTRODUCCIÓN

La meseta donde se localiza gran parte del Municipio de Bucaramanga y su área metropolitana se encuentra altamente poblada por lo cual ha obligado a la población a migrar y construir en las zonas que presentan amenazas por fenómenos de remoción en masa, erosión e inundación; por tal motivo la

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) en miras de proteger a la comunidad presente en dichos sectores requiere conocer su estado actual por medio de la evaluación de los factores de amenaza con el fin de controlar los problemas que se puedan presentar.

Los deslizamientos o movimientos de remoción en masa se presentan por factores climáticos, topográficos, geológicos, geomorfológicos y que en conjunto generan susceptibilidad al suelo natural. Por otra parte, los factores conocidos como antrópicos, están directamente relacionados con el uso del suelo y las actividades socioeconómicas que en el tiempo reflejan el efecto causado sobre el territorio y permiten a su vez identificar las amenazas y riesgos.

Es procedente la realización del estudio geológico y geotécnico debido a la posible afectación de múltiples viviendas que en caso de emergencia podrían provocar grandes pérdidas materiales y sobre todo pérdida del gran número de vidas que se encuentran en el sector. Por lo cual la CDMB a través de funcionarios adscritos a la Subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial – SURYT realizaron el *"ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO, MORFOMÉTRICO Y ANÁLISIS DE COBERTURA DE LA TIERRA DEL ASENTAMIENTO "LAS CASITAS" EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER".*

La realización del estudio y la planificación del proyecto en ejecución tiene en cuenta la reglamentación existente, dentro de las cuales cabe mencionar las normas Geotécnicas de la CDMB (2009), la reglamentación pertinente establecida por el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, los requisitos exigidos por la ley 400 de 1997, descritos en la Norma Sismo resistente NSR-10 título H; se inicia con algunas generalidades y se enumeran los trabajos realizados en campo y oficina.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar geológica, geomorfológicamente, morfométricamente y de acuerdo con la cobertura de la tierra a la zona de interés asociada al sector del

Asentamiento “Las Casitas” en el Municipio de Bucaramanga en el Departamento de Santander.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar cartografía temática (geología, geomorfología, morfometría, morfodinámica, cobertura del suelo) necesaria para el estudio en el área del proyecto a escala detallada.

- Describir las características de las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), unidades de Geomorfología, unidades de Cobertura de la tierra, así mismo como la clasificación en cuanto a la Morfometría que se presentan en el área de estudio.

- Generar conclusiones con referencia a la Geología, Geomorfología, Morfometría, Morfodinámica, Cobertura de la tierra de la presente zona de estudio.

ALCANCE

A continuación, se define el alcance del estudio para el sector del Asentamiento “Las Casitas”:

- La cartografía a escala 1:200 o más detallada del área de estudió, así como la entrega de planos, registro fotográfico.

- El estudio Geológico y geomorfológico con sus respectivas unidades (Geológicas Superficiales y Geomorfológicas), análisis morfométrico, usos de suelo/cobertura de suelo, cada uno con sus respectivos mapas a escala 1:200 o más detallada.

- Entrega final correspondiente a planos (Geológico, geomorfológico, morfométrico, morfodinámico, cobertura de suelos), informe principal, anexos.

3. GENERALIDADES

3.1. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

El Municipio de Bucaramanga se encuentra al Nororiente del departamento de Santander, sobre la cordillera oriental limitando al Norte con el Municipio de Rionegro, al Oriente con Charta, Tona, Matanza, al Sur con Floridablanca y al Occidente con Girón. Bucaramanga cuenta con 599.106 habitantes y, junto con Floridablanca, Girón y Piedecuesta, conforma el Área metropolitana de Bucaramanga con un total de 1 160 694 habitantes, siendo la quinta aglomeración urbana más poblada del país. Se encuentra a 384 km de Bogotá, capital del país.

El área del presente estudio trata del Asentamiento “Las Casitas”, el cual se encuentra dentro de la zona de influencia de la Quebrada El Macho, dentro del Municipio de Bucaramanga en el Departamento de Santander. (Ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación general del área de estudio. Tomado de Google Earth 2020.



Figura 2. Ubicación detallada del área de estudio. Tomado de Google Earth 2020.

3.2. METODOLOGÍA

El esquema metodológico en el cual basamos el desarrollo del siguiente trabajo se realizó en cuatro (4) fases primordiales, las cuales se describirán a continuación:

3.2.1. Fase de Recopilación Bibliográfica.

Consiste en consulta del material bibliográfico como informes técnicos, artículos científicos, mapas geológicos y memorias explicativas, con lo cual se permite definir las nomenclaturas a usar para cada uno de los respectivos mapas a visualizar y cartografiar en campo (geología, geomorfología, Morfometría, cobertura de la tierra), tomando como base los lineamientos usados por el Servicio Geológico Colombiano y entes a nivel local (CDMB, POT de la Alcaldía del Municipio de Bucaramanga, entre otros).

3.2.2. Fase de Trabajo de Campo.

En esta fase se realiza la visita técnica al área de estudio, cartografiando las unidades de geología para ingeniería (UGI), las subunidades de geomorfología (Morfogenética), unidades de cobertura de los suelos, entre otros. Esta información se plasma en mapas realizados en campo de acuerdo con la distribución observada de cada uno de los diferentes entes y procesos.

3.2.3. Fase de Digitalización.

Consiste en el tratamiento y procesamiento de los datos obtenidos en campo mediante la digitalización de estos, con el objetivo de obtener resultados como mapas, memorias, diagramas, entre otros. Así mismo, también se hace uso de información secundaria como las bases de datos que se desarrollan en etapas previas.

3.2.4. Fase de Elaboración de Informe Final.

Finalmente se procede con la realización y redacción de un informe técnico detallado donde se explican los principales rasgos geológicos, así como los rasgos geomorfológicos y procesos morfodinámicos de interés para el área de estudio

4. CARACTERIZACION GEOAMBIENTAL

La caracterización geoambiental permite conocer el área de estudio, de tal manera que es posible formular una hipótesis de falla con la que se pueda establecer una relación entre los factores geoambientales.

Para tal fin se generó el inventario de procesos morfodinámicos; lo que permitió conocer el tipo de mecanismo de falla más recurrente en el área de estudio y correlacionarlos con los factores condicionantes que se definieron como las Unidades Geológicas para Ingeniería, las Subunidades Geomorfológicas y las Unidades de Cobertura de la Tierra.

Teniendo en cuenta el ambiente tectónico en el que se encuentra el municipio de Bucaramanga, se realiza un análisis de aspectos geológicos regionales, marco tectónico y la evolución geológica como base para la definición de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) y las Subunidades Geomorfológicas a escala 1:200 o con mayor detalle.

4.1. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS Y TECTÓNICOS REGIONALES

4.1.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONALES

En un contexto regional se consultó información de diferentes fuentes, las cuales fueron la información general de la plancha Geológica de Colombia (ALCÁRCEL GUTIÉRREZ & GÓMEZ TAPIAS, 2017), que muestra para la zona de influencia del área de estudio del Municipio de Piedecuesta la presencia de un gran depósito cuaternario, que corresponde a Abanicos Aluviales y Depósitos Coluviales (Q-ca) de las líneas de drenaje presentes en la zona.

Este capítulo describe las características geológicas regionales y las Unidades Geológicas de ingeniería (UGI) a nivel del área de estudio.

GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio está relacionada a los bloques tectónicos delimitados por la Falla de Suárez al occidente y la Falla Bucaramanga al Oriente (INGEOMINAS, 2007). A continuación, se describen algunas unidades presentes en esta región, tomando como base el estudio de zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (2001):

- **Neis de Bucaramanga (p€b):** Definido por Goldsmith (1971), esta unidad está constituida por una secuencia de roca metasedimentaria de alto grado de metamorfismo conformado principalmente por paraneis pelítico, semipelítico y arenáceo, esquistos y neis calcáreo, mármol, neis horbléndico y anfibolita. El neis incluye dos tipos de zonas de migmatita, una donde el paraneis está mezclado con roca granítica gnéisica y otra donde ambos están cortados por masas pequeñas de granito no foliado (Ward *et al.,* 1973). Aflora al oriente del área metropolitana de Bucaramanga y se localiza al este de la Falla Bucaramanga (Figura 3). Entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta esta unidad presenta variación en la orientación de la foliación, lo cual indica perturbaciones tectónicas severas. Se encuentra en contacto con intrusivos jurásicos graníticos y se considera de edad precámbrica (Ward *et al*., 1973).

- **Formación Silgará (pDs):** Nombre propuesto por Ward *et al*., (1973) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará. Las relaciones estratigráficas sugieren que esta unidad suprayace al Neis de Bucaramanga e infrayace rocas del Devónico (Figura 4).

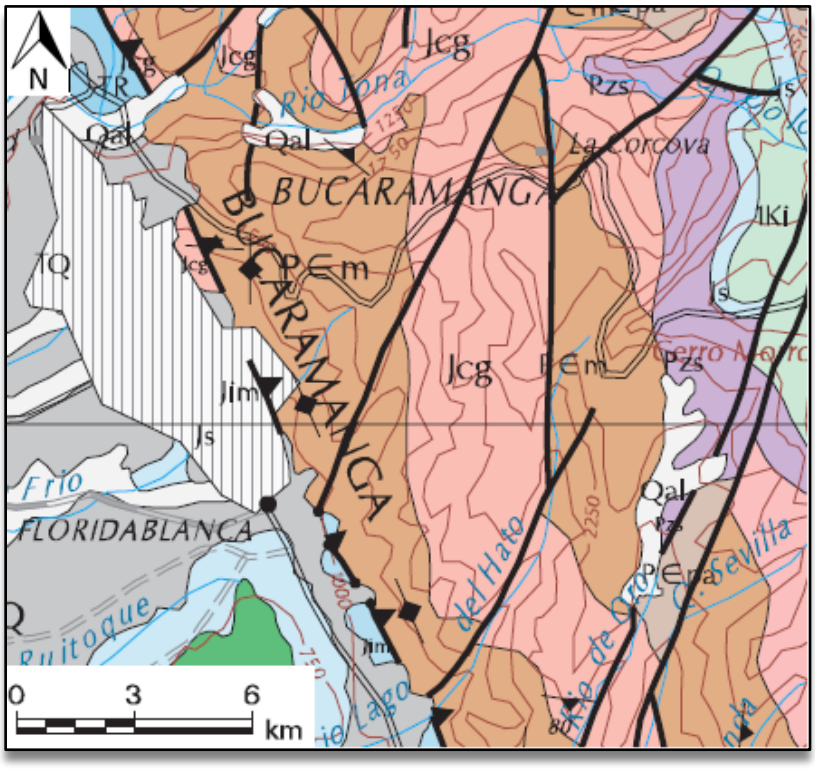


Figura 3. *Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).*

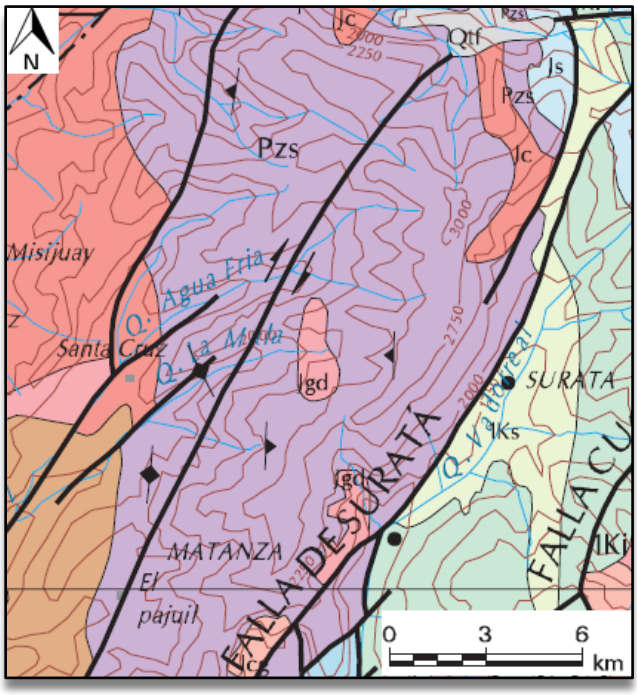


Figura 4. *Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).*

- **Formación Bucaramanga:** La Formación Bucaramanga hace parte de los depósitos cuaternarios descritos por Ward *et al*., (1973). Esta unidad inicialmente fue propuesta por Hubach (1951), quien la subdivide en: Miembro Órganos (Qbo) y Miembro Finos (Qbf). Posteriormente De Porta (1959) divide la formación Bucaramanga en tres paquetes: uno inferior conformado por niveles discontinuos de gravas clasto soportados y con lentes arenosos intercalados con un espesor de 150m; un segundo paquete con un espesor de 18m ubicado en la parte superior, compuesto de sedimentos arcillosos y un tercer paquete de 8 a 15 metros de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Sin embargo, después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS subdivide esta unidad en cuatro miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr); de acuerdo con las dataciones publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la edad de la Formación Bucaramanga es menor que 730.000 años (Pleistoceno) (INGEOMINAS, 1997).

  Morfológicamente esta unidad corresponde a un abanico aluvial erosionado posiblemente asociado en gran parte al Río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre la cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el Cerro de Palonegro y el Río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2º y 7º, y una extensión aproximada de 60 a 80 km². El valor real del espesor de la Formación Bucaramanga es aún desconocido, sin embargo, a partir de cortes geológicos se ha estimado un valor promedio de 250 m en las zonas con mayor espesor.

El ambiente de deposición de esta unidad ha sido considerado como un ambiente fluvial, con alternancia de materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombro, canal y lagunar, en base a la granulometría que presentan dichos materiales, los rasgos geomorfológicos que presenta esta formación, así como los posibles agentes de transporte y la fuente de los materiales (Julivert, 1958).

A continuación, se describen las características geológicas de cada uno de estos miembros, de acuerdo con la información geológica que se presenta en los estudios del INGEOMINAS (2001).

- **Miembro Órganos (Qbo):** Esta unidad fue definida por Hubach (1951) y presenta un espesor mayor a 180m, siendo este el más potente de la Formación Bucaramanga. Presenta una serie de niveles polimícticos de fragmentos gruesos de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura, según Bueno y Solarte (1994). Los niveles lenticulares descritos por Hubach (1951), algunos son niveles limo-arenosos de hasta 5 m; otros son niveles de aspecto conglomerático que forman los depósitos de gravas y bloques poco consolidados dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 m de diámetro con una composición predominante de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neises micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa pardo amarillenta y los niveles finos presentan material arcillo arenosos y areno arcilloso de consistencia compacta, con trazas de materia orgánica (Figura 5).

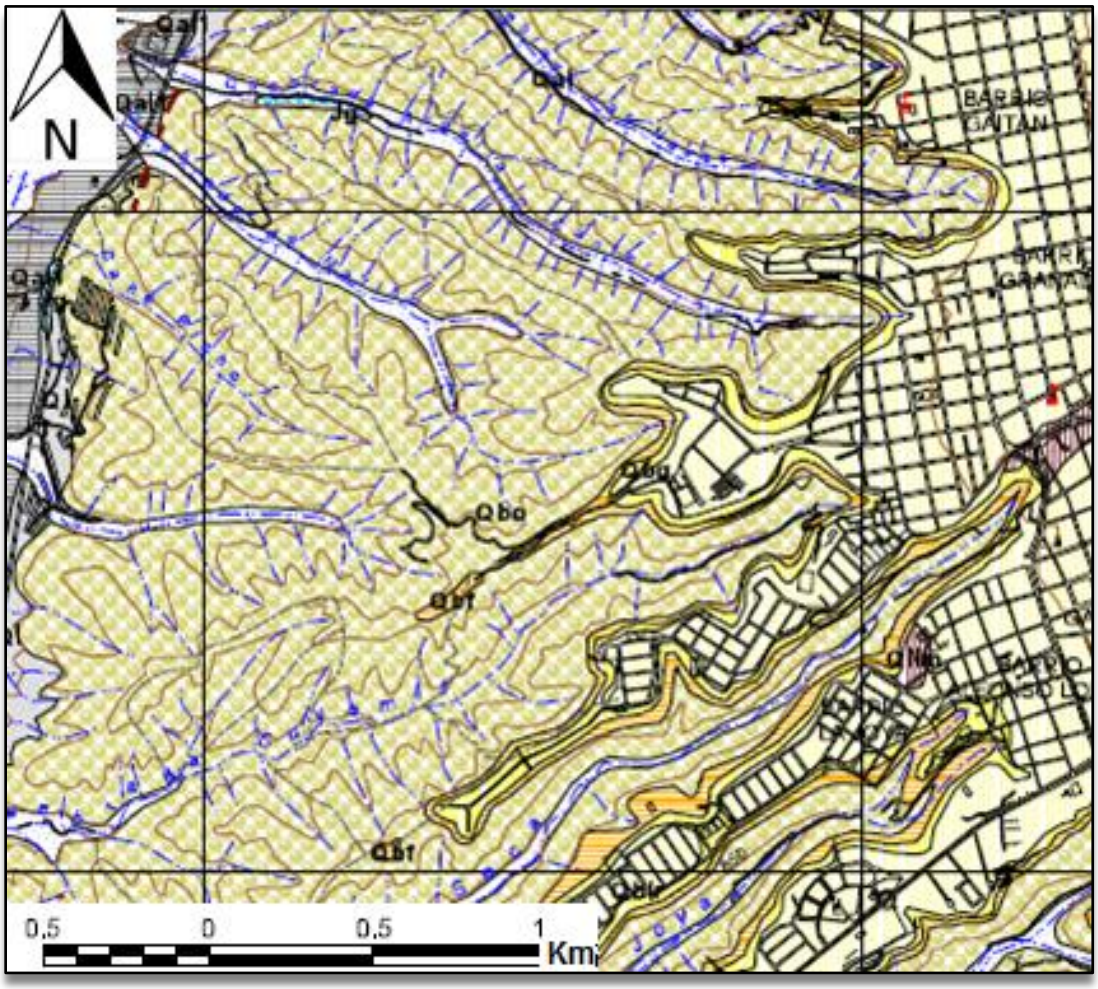


***Figura 5**. Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).*

- **Miembro Finos (Qbf):** Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1951). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano- paralelos. Es una capa lenticular horizontal con alternancia de niveles arcillosos, limo-arenosos y areno-limosos, de colores gris verdosos con un espesor promedio de 15m. Estos niveles presentan una geometría tabular de estratificación paralela, cruzada y ondulosa, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm. Hacia la base el Miembro Finos presenta material arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con

estratificación plana paralela, con gran variación de espesor. Hacia el techo presenta alternancia entre niveles arenolimosos con niveles limo arenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento.

Geomorfológicamente se caracteriza por presentar escarpes con un grado de alteración moderada de consistencia plástica para el material arcilloso (Figura 6). El ambiente de deposición para este miembro de la Formación Bucaramanga es un ambiente aluvial de intercanales, poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas (INGEOMINAS, 2001).

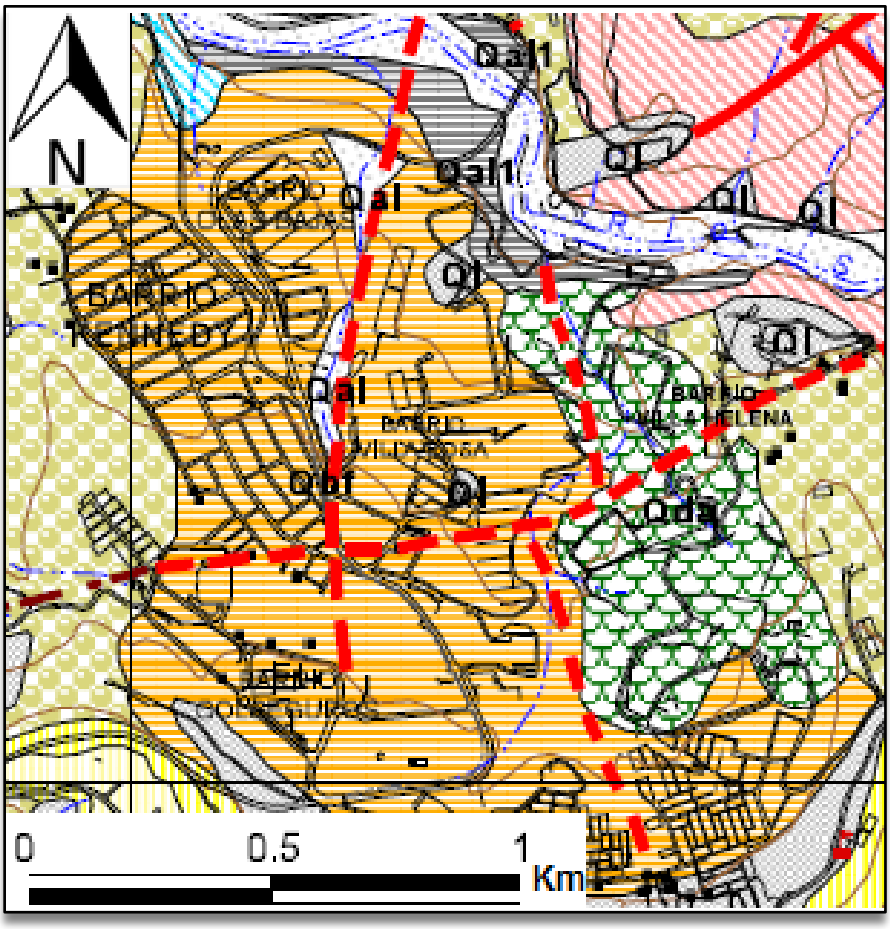


Figura 6. *Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).*

- **Miembro Gravoso (Qbg):** Definido por Niño y Vargas (1992), se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga (Figura 7). Conforma los escarpes superiores de la parte alta del barrio La Gran Ladera y el nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Presenta un espesor que varía entre 8 y 30 m. presentando niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. Los cantos están compuestos por rocas metamórficas e ígneas y sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas. El tamaño grava presenta un diámetro promedio de 15 cm, y predomina sobre bloques de rocas de hasta 80 cm de diámetro. A modo general el Miembro Gravoso es matriz soportado, presentando en sitios puntuales, material clasto soportado. Se encuentra suprayaciendo el Miembro Finos presentando contacto neto, continuo y suavemente onduloso. Infrayace el Miembro Limos Rojos en contacto gradacional (Niño y Vargas, 1992).

  Geomorfológicamente es similar al Miembro Órganos en los sectores de los valles de las quebradas. En la parte sur de la Quebrada la Iglesia, su morfología se caracteriza por presentar colinas suaves onduladas y laderas alargadas con un drenaje dendrítico. Estos depósitos presentan un grado de meteorización medio a alto, siendo la parte superficial de este miembro poco compacta y altamente permeable. Su ambiente de deposición es de flujo de escombros (INGEOMINAS, 2001).

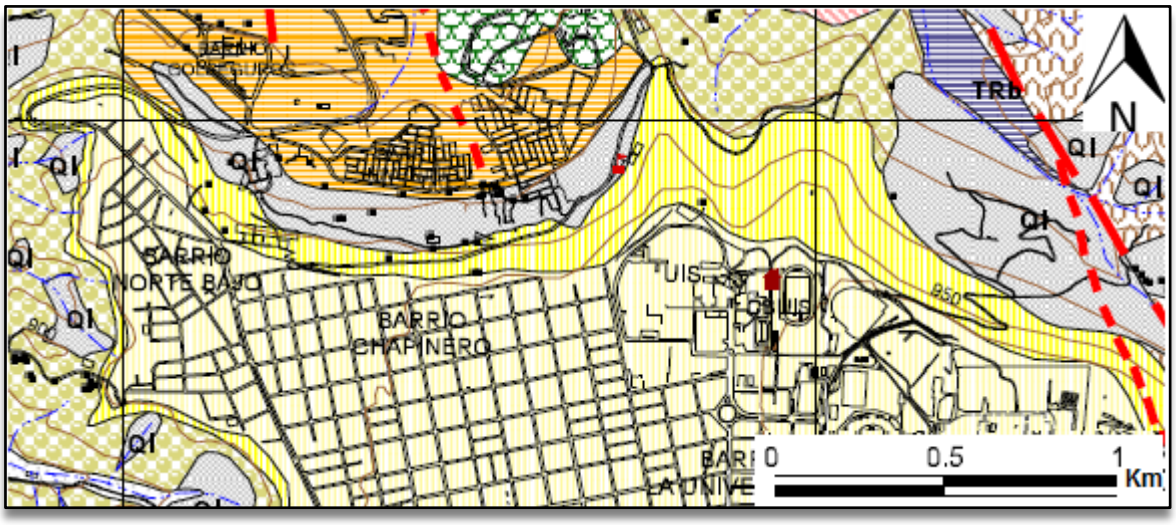


Figura 7. *Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).*

- **Miembro Limos Rojos (Qblr):** Nivel definido por Julivert (1963). Se encuentra localizado de forma no uniforme en el sector urbano de Bucaramanga y continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

Presenta arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. En algunos sectores se aprecian bloques angulares de arenisca meteorizados, embebidos dentro de limos rojos y se asocian superficialmente a este miembro. Este depósito se encuentra suprayaciendo el Miembro Gravoso en contacto gradacional. La parte más superficial de este miembro presenta un alto grado de meteorización formando niveles de oxidación (INGEOMINAS, 2001). Geomorfológicamente se caracteriza por constituir la parte superficial de la llamada inicialmente “Meseta de Bucaramanga”, presentando una topografía plana con pendientes menores al 7%, de drenaje escaso, paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992) (Figura 8).

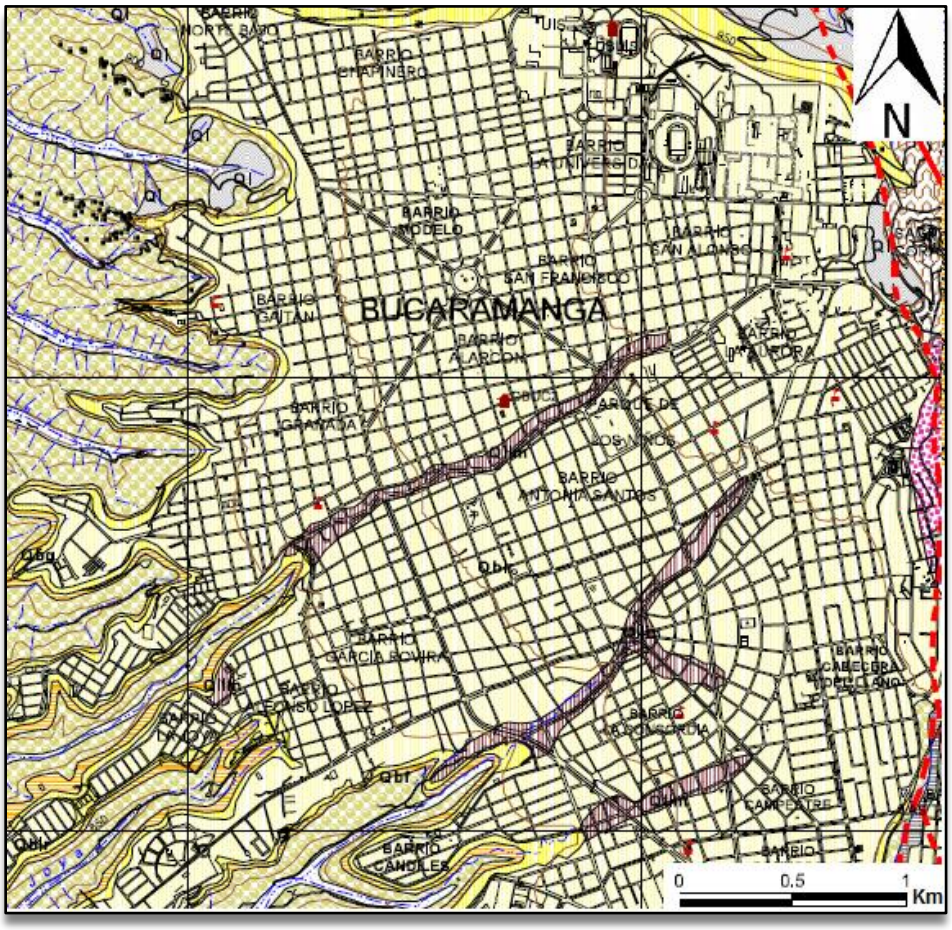


Figura 8. *Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001).*

En la Figura 9 se muestra de manera esquemática el perfil del subsuelo correspondiente a la Formación Bucaramanga.

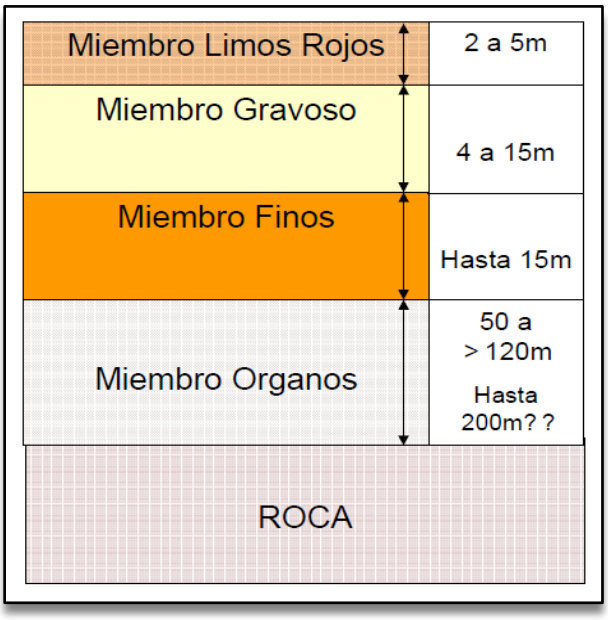


***Figura 9**. Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).*

4.1.2. MARCO TECTONICO REGIONAL

El área de estudio se encuentra ubicada en el Sistema Andino de Colombia (SAC) que al igual que los Andes de Mérida y Ecuador conforman el denominado Bloque Andino (Pennington, 1981) o Andes del Norte (Gansser, et al., 1973 y; alemán y Ramos, 2000), dentro de la Cordillera Oriental (CO), específicamente en el Macizo de Santander (MS), que se sitúa en el Terreno Chibcha (Toussaint y Restrepo, 1976), o también llamada Provincia Grenvilliana (Ingeominas, 2007) (Ver figura 10)

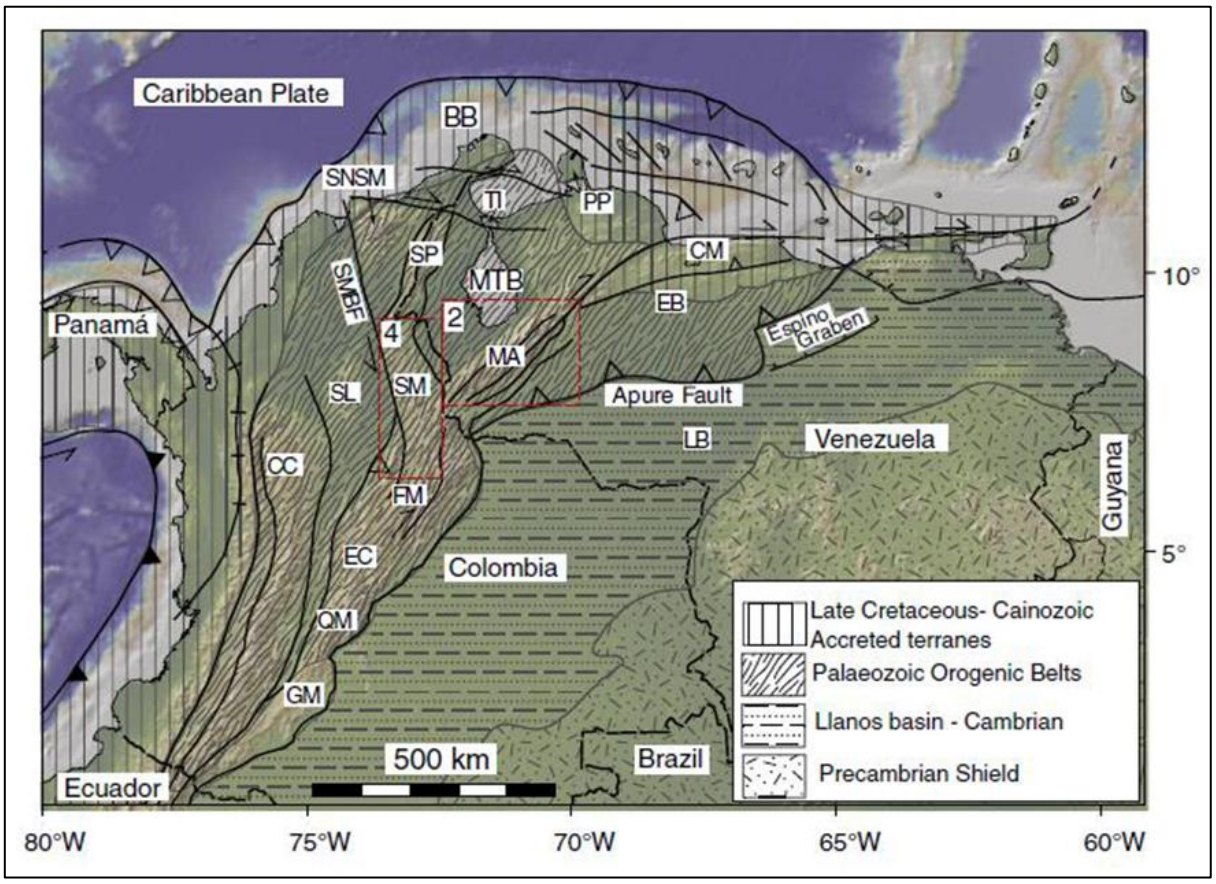


Figura 10. *Representación de los Andes del Norte de Colombia y Venezuela*

Se muestra el margen de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana y se observan claramente las tres cordilleras de Colombia. El macizo de Santander se proyecta en un recuadro de color rojo con las letras SM, objeto estudio del presente trabajo. Imagen tomada y modificada de Van der Lelij, et al. (2016).

El territorio de Santander se encuentra caracterizado tectónicamente en tres provincias: Provincia de Macizo de Santander, Provincia de la Cordillera Oriental y Provincia de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena; de acuerdo con el esquema tectónico presentado por Clavijo, et al. (1993). El territorio de Norte de Santander se encuentra caracterizado tectónicamente en cinco provincias: Macizo de Santander, Bloque de Mérida, Cuenca del Magdalena Medio, Cuenca del Catatumbo – Zulia y Bloque Chinácota – Margua.

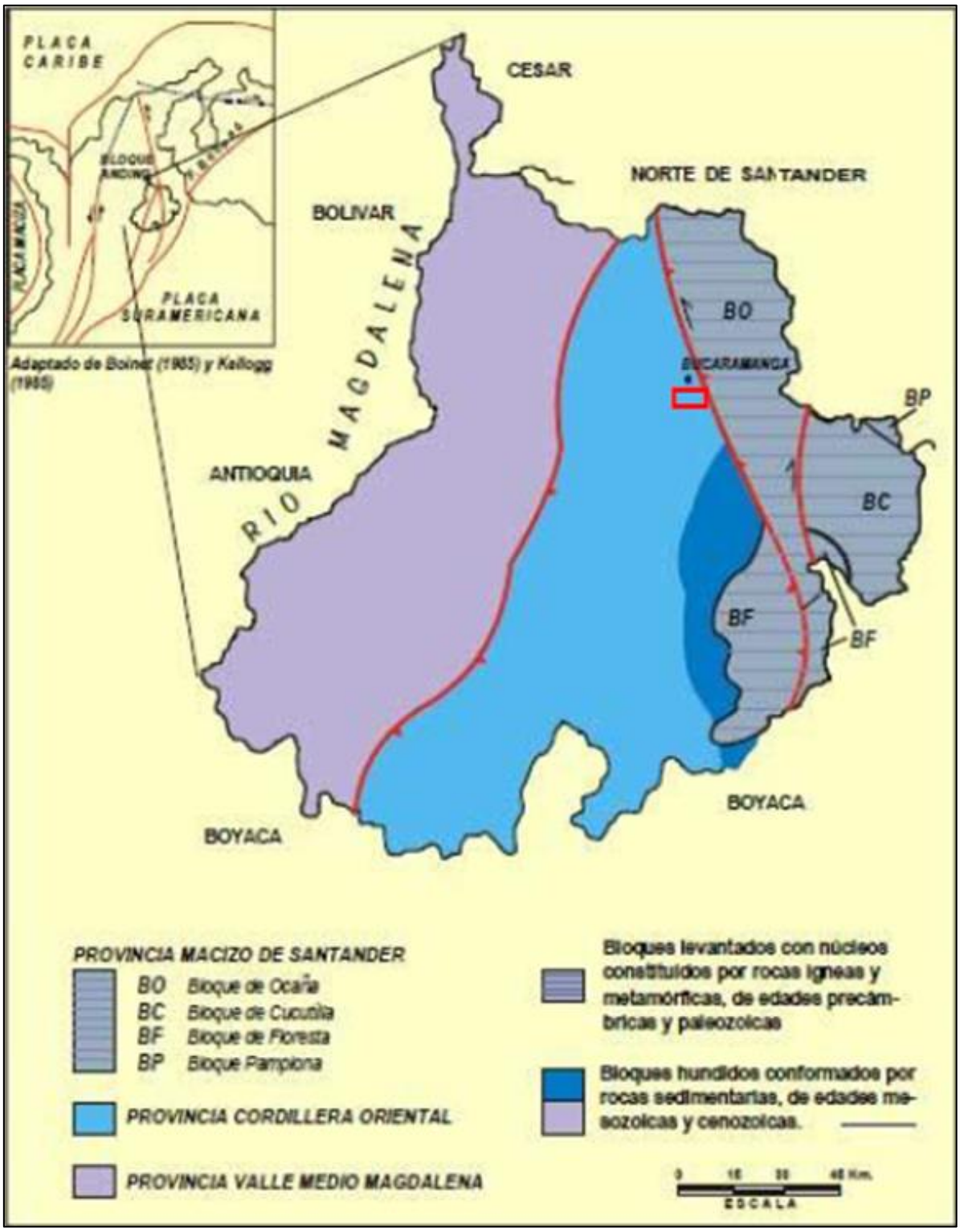


Figura 11. *Esquema tectónico del Departamento de Santander.*

(La zona de interés se encuentra dentro del recuadro rojo).
Fuente: Modificado de Royero y Clavijo, 2001.

La Provincia del Macizo de Santander, corresponde en buena parte a los macizos de Santander y de Floresta, y ocupan la región oriental estructural del territorio. La Provincia del Macizo de Santander está subdividida en los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña.

La Provincia del Valle Medio del Magdalena presenta un estilo estructural de plegamiento donde sus estructuras de anticlinales y sinclinales son amplias y suaves, limitadas por fallas inversas escalonadas, con inclinación preferencial hacia el oriente. Se encuentra representada por rocas cretácicas, terciarias y está cubierta en un 65 % por sedimentos recientes.

La Provincia de la Cordillera Oriental, se caracteriza por pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de direcciones NE y NW, con inclinación predominante hacia el oriente, constituyendo una cobertura sedimentaria con cubrimiento de una gran extensión de la Cordillera Oriental.

En el Departamento de Santander, está restringido a dos bloques, el principal localizado en la región central estructural y el menor ubicado en la región oriental; se encuentra conformada por rocas sedimentarias generalmente plegadas, de edades jurásicas y cretácicas; el bloque principal o central está limitado al oriente por las fallas Riachuelo y Bucaramanga-Santa Marta, y al occidente por la Falla La Salina, mientras el bloque oriental está limitado al oriente por la Falla de Servitá y al occidente por las fallas Bucaramanga-Santa Marta y de Baraya.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

El territorio santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciables, los cuales identifican tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento (**Ver Figura 12**) uno de fallamiento en bloques en la región oriental; otro de plegamientos en la región central, y el graben del Magdalena, en la región occidental.

Para la zona de interés de este estudio la cual corresponde a la región oriental y central, las estructuras fundamentales se describen a continuación:

Falla Bucaramanga-Santa Marta.

Sistema de fallas con dirección aproximada N20°W una extensión longitudinal de aproximadamente 600 Km (Cuéllar Cárdenas et al., 2012). Es considerada un sistema de fallas de rumbo (CAMPBELL, 1965; LEON, 1991; VARGAS y NIÑO 1992; CLAVIJO, et al., 1993; CLAVIJO, 1994a), con movimiento sinestral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, et al. (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según Julivert (1958, 1961), Ward, et al. (1973), París y Sarria (1988), Royero (1994), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento (BOINET, 1985, ULLOA, 1990, Comunicación verbal). En cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga.

En el territorio del Departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamiento, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente en la Meseta de Bucaramanga. En el municipio de Piedecuesta esta estructura se evidencia al este de la cabecera municipal, desde el borde norte del municipio hasta el borde sur separando rocas paleozoicas de la Formación Neis de Bucaramanga y rocas plutónicas jurásicas de

la Formación Granito de Pescadero; además, se pueden observar varias estructuras paralelas a esta.

Falla del Río Manco

Es una falla con dirección N42°E que muestran en gran cantidad superposición de eventos deformativos y un comportamiento de rumbo bastante marcado con una cinemática inversa dextral (Villamizar et al., 2017). Se extiende desde la Falla de Bucaramanga en la vereda Los Curos, cortando rocas del Neis de Bucaramanga y rocas cuarzomonzoniticas de La Corcova, culminando su trayectoria en la vereda La Vega.

Falla del Picacho

Falla inversa con dirección S-SW cuyo bloque levantado es el occidental, se extiende desde el sinclinal del Picacho en el municipio de Tona y termina contra la Falla de Tona al norte del municipio de Piedecuesta. (Ward et al., 1973) mencionan un desplazamiento vertical de esta falla entre 400 a 500 metros.

Falla de Umpalá.

Esta falla presenta un rumbo N30°E predominante y su trazo sigue el curso del Río Umpalá; se extiende por unos 24 km en Santander a través de rocas ígneas y metamórficas. Según Ward, et al. (1973) es una falla de rumbo con desplazamiento lateral derecho que afecta la Falla Bucaramanga-Santa Marta.

Falla de Perchiquez.

Su lineamiento sigue el curso actual del Río Perchiquez; se trata de una falla de rumbo con desplazamiento lateral derecho. Según Carrillo y Bernal (1992) afecta la Falla Bucaramanga- Santa Marta en el sector de Pescadito, Municipio de Cepitá.

Nido sísmico de Bucaramanga

Corresponde a una zona sísmica de intermedia profundidad, aproximadamente 160 kilómetros de profundidad, ubicada en el Departamento de Santander a 6.8° N y 73.1°W. Este sector tiene una alta tasa de actividad sísmica con relación a su volumen y a la relativa tranquilidad sísmica del área circundante. Esta generación de sismos en el Departamento de Santander se ha tratado de explicar con diversas teorías sin embargo ninguna ha sido capaz de explicar totalmente la naturaleza de dicho nido, por lo que en términos generales se ha explicado por la compleja interacción de las placas de Nazca, Caribe y Suramérica (Cortes et al., 2005; Taboada et al., 2000; Zafiri et al., 2007).

Para el área de estudio los fallamientos y lineamientos regionales han sido participes de la formación y estructuración del sitio a través del tiempo geológico, como también en la actualidad (Ubicación cercana al llamado Nido Sísmico de Bucaramanga y de la Falla Bucaramanga – Santa Marta).

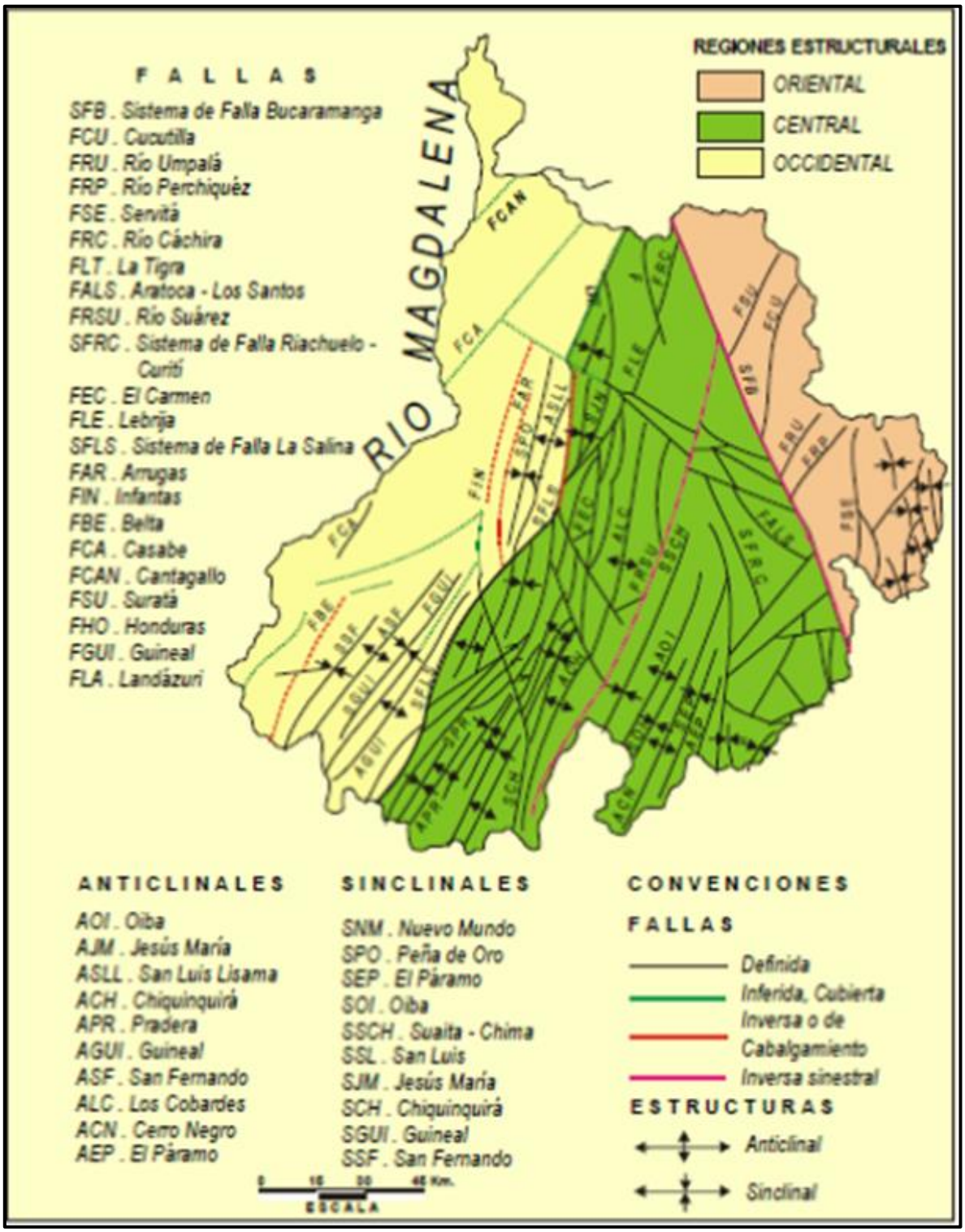


Figura 12. *Esquema estructural del Departamento de Santander. Tomado de Royero y Clavijo, 2001.*

4.1.3. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI)

GENERALIDADES

Las unidades geológicas para Ingeniería son todos aquellos materiales que conforman la superficie de la tierra hasta una profundidad del orden de decenas de metros (INGEOMINAS, 2001, en SGC, 2017). Por lo cual para la caracterización y cartografía para las unidades superficiales se debe considerar las rocas y sus estructuras, los suelos residuales y saprolitos, depósitos transportados en cualquier ambiente o depósitos de gravedad, depósitos antropogénicos y depósitos de origen volcánico.

Adicionalmente en la caracterización de unidades superficiales se consideraron parámetros tales como (SGC, 2017):

Génesis: esta característica corresponde al origen del suelo y para su clasificación se puede tomar como referencia la Tabla 1.

Litología: trata de la composición mineralógica que conforma las rocas y suelos y de la forma como dichos componentes se interrelacionan. La litología se refiere a la descripción de la textura y composición mineralógica de rocas y suelos.

Propiedades ingenieriles: desde el punto de vista ingenieril cada tipo de roca o suelo tiene unas propiedades, que se relacionan de manera directa con su origen y composición y por consiguiente al comportamiento geomecánico de los materiales cuando se encuentran expuestos en superficie, entre estas se incluyen: dureza o resistencia, consistencia, condición de humedad, densidad relativa, compacidad (**Ver** Tabla 1).

Grado de meteorización: La meteorización es la descomposición física y química de los materiales por procesos naturales como oxidación, reducción, hidrólisis, carbonatación, tectónica, cambios de temperatura (heladas y deshielos). La meteorización tiene un efecto sobre la resistencia y comportamiento de deformación del material rocoso y es muy importante para la clasificación de la condición de un material. Para definir el grado de meteorización de las rocas se utilizan los perfiles generalizados de Dearman (Deere & Patton 1971, en SGC, 2017) y Dearman (1974 y 1991, en SGC, 2017). (Ver Tabla 1).

Rasgos Estructurales: Representa la serie de procesos geodinámicos endógenos propios de la evolución de la corteza terrestre. En consideración a que la deformación de la corteza es proporcional a la cantidad de pliegues y fracturas (fallas, lineamientos y diaclasas) en un área determinada se debe evaluar la densidad de estos rasgos estructurales.

Tabla 1. *Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) según su origen*

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN DE LAS UGI		TIPO DE UGI
Roca	***Roca inalterada***		Roca dura (Calidad de macizo buena y muy buena)
			Roca intermedia (Calidad de macizo regular)
			Roca blanda (Calidad de macizo mala y muy mala)
Suelo	***Derivadas de roca In situ***		Suelo residual: Horizontes IV (saprolito grueso), V (saprolito fino) y VI
	Suelo transportado	Depósitos volcanoclásticos primarios	Flujos piroclásticos (Ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza)
		Depósitos volcanoclásticos Secundarios	Lahar, avalancha de escombros
		Depósitos aluviales	Aluviones recientes y de cauce activo
			Llanura aluvial
			Abanicos o conos aluviales
			Terrazas aluviales
			Depósitos fluviotorrenciales
		Depósitos lacustres y paludales	Suelos fluvio lacustre
			Suelos paludales
		Depósitos costeros	Deltas, Barras, Playas, etc.
		Depósitos eólicos	Dunas y Médanos
			Loess
		Depósitos glaciares	Morrenas y Tillitas
			Suelos Fluvioglaciares
		Depósitos de gravedad y Ladera	Coluvial
			Talus, derrubios de pendiente
			Flujos (de lodo, tierra y de escombros)
		Depósitos antrópicos	Llenos de basuras
			Llenos de escombros
			Llenos mixtos

Fuente*: Hermelin, 1985 y Salazar, 1995 en SGC, 2015*

La caracterización de estas unidades permite evaluar el comportamiento mecánico de un terreno, siendo esta evaluación el insumo principal para el desarrollo de obras civiles.

A partir de esta información se elabora el mapa de Unidades de Geología para Ingeniería, el cual proporciona de manera visual las condiciones físicas de estas unidades en superficie.

Para las Unidades Geológicas para Ingeniería, se determinaron 2 unidades de acuerdo con las características descritas en la tabla 1, las cuales se derivan de la nomenclatura utilizada por INGEOMINAS (2007) y se describen a continuación:

Unidades de Suelo.

Los suelos desde el punto de vista ingenieril se definen como materiales sueltos o inconsolidados, compuestos de una mezcla de fragmentos de roca, arcilla, minerales y materia orgánica, producto de la descomposición In situ del material rocoso o de sedimentos transportados por diferentes medios. Se consideran como materiales fácilmente excavables por métodos manuales. Teniendo en cuenta su origen los suelos se pueden clasificar como suelos residuales (horizonte VI del perfil de meteorización) y transportados (Ver Tabla 1).

Los principales aspectos que se analizan para caracterizar y evaluar los suelos son: Composición litológica y mineralógica, génesis, color, tamaño y forma de los granos (textura), meteorización de los granos y de la matriz, consistencia y densidad relativa. Los suelos transportados encontrados corresponden a suelos aluviales de diferentes edades, asociados a la dinámica hídrica del sector.

A continuación, se hace una descripción de los suelos cartografiados.

Suelo Residual del Miembro Gravoso (Fm Bucaramanga) (Sft2)

Se identificó un suelo el cual consta de material de consolidación intermedia, tonalidades amarillo-naranja o naranjas-rojizas, con variaciones desde matriz soportados hasta clasto soportados relación (70-30%) de matriz areno limosa a (30-80%) de clastos que se redistribuyen en gravas (60% a 20%) y bloques (10% a 20%) respectivamente, los clastos son rocas principalmente sedimentarias de gran tamaño de hasta 80 cm, los cuales no presentan una orientación fija. El grado de meteorización es variable, fluctuando entre materiales inalterados a completamente meteorizados.



Figuras 13. *Suelo del Miembro Gravoso de la Fm Bucaramanga (Sft2)*

Suelo Transportado de Cauce Aluvial (Sal)

Son depósitos de origen aluvial por los ríos y quebradas presentes en el sector, localizados morfológicamente en terrazas bajas y en llanuras formando planicies de inundación adyacentes al cauce activo. Estos depósitos constan de una textura Clasto soportada, de forma esférica y redondez desde subredondeados a redondeados y mal seleccionados. Matriz limo – arenosa, con arena fina a muy fina y con gránulos imbuidos en esta.



***Figuras 14**. Suelo Transportado de Cauce Aluvial (Sal)*

A continuación, se ilustra de manera esquemática el resultado de la correcta identificación, caracterización y levantamiento de las de las unidades de geología para ingeniería en el área de estudio (UGI), a través del mapa de UGI. Igualmente se muestra el porcentaje de ocupación dentro del área de estudio de cada unidad.

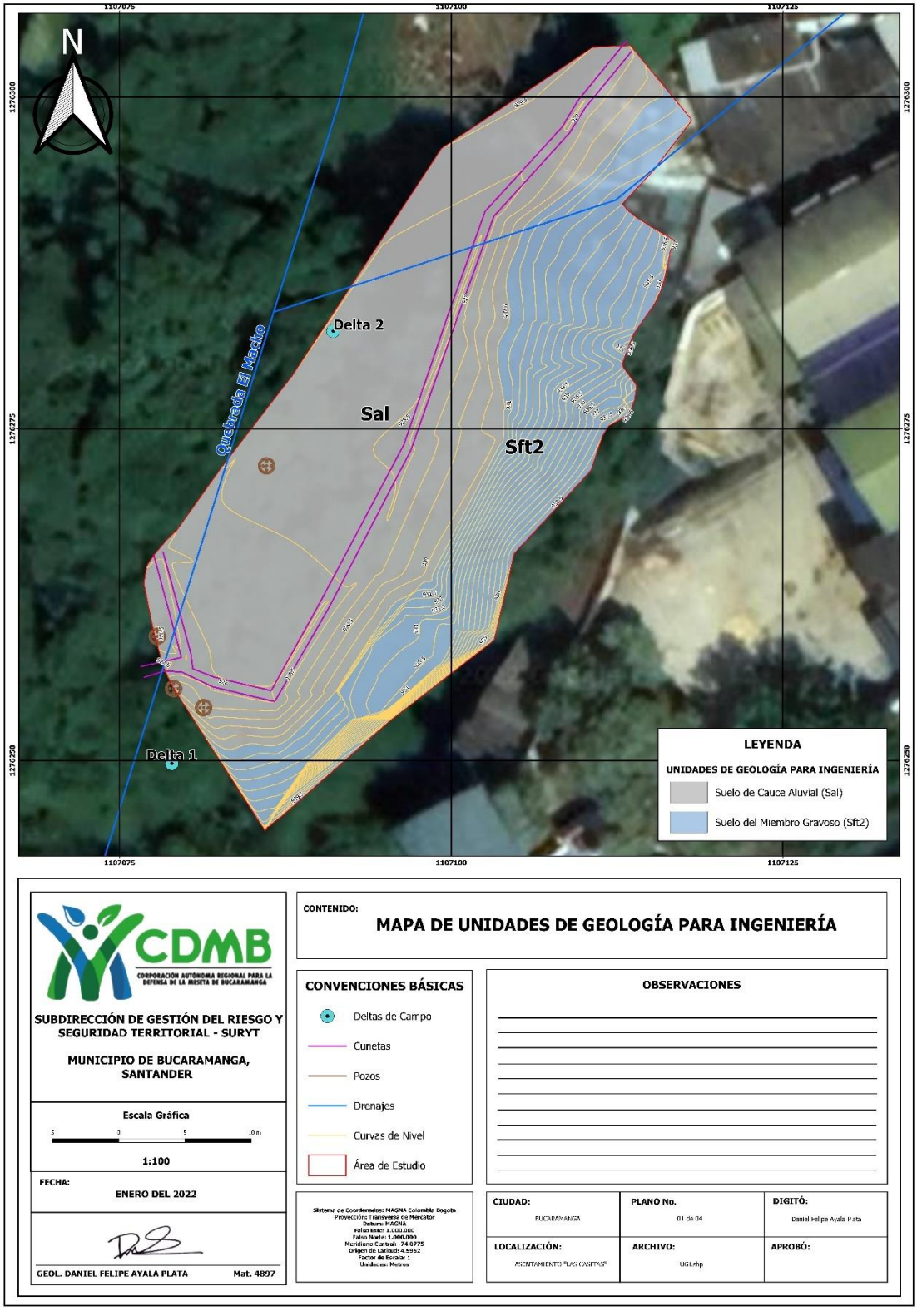


Figura 15. *Mapa de Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) geológico para el primer sector del área de estudio.*

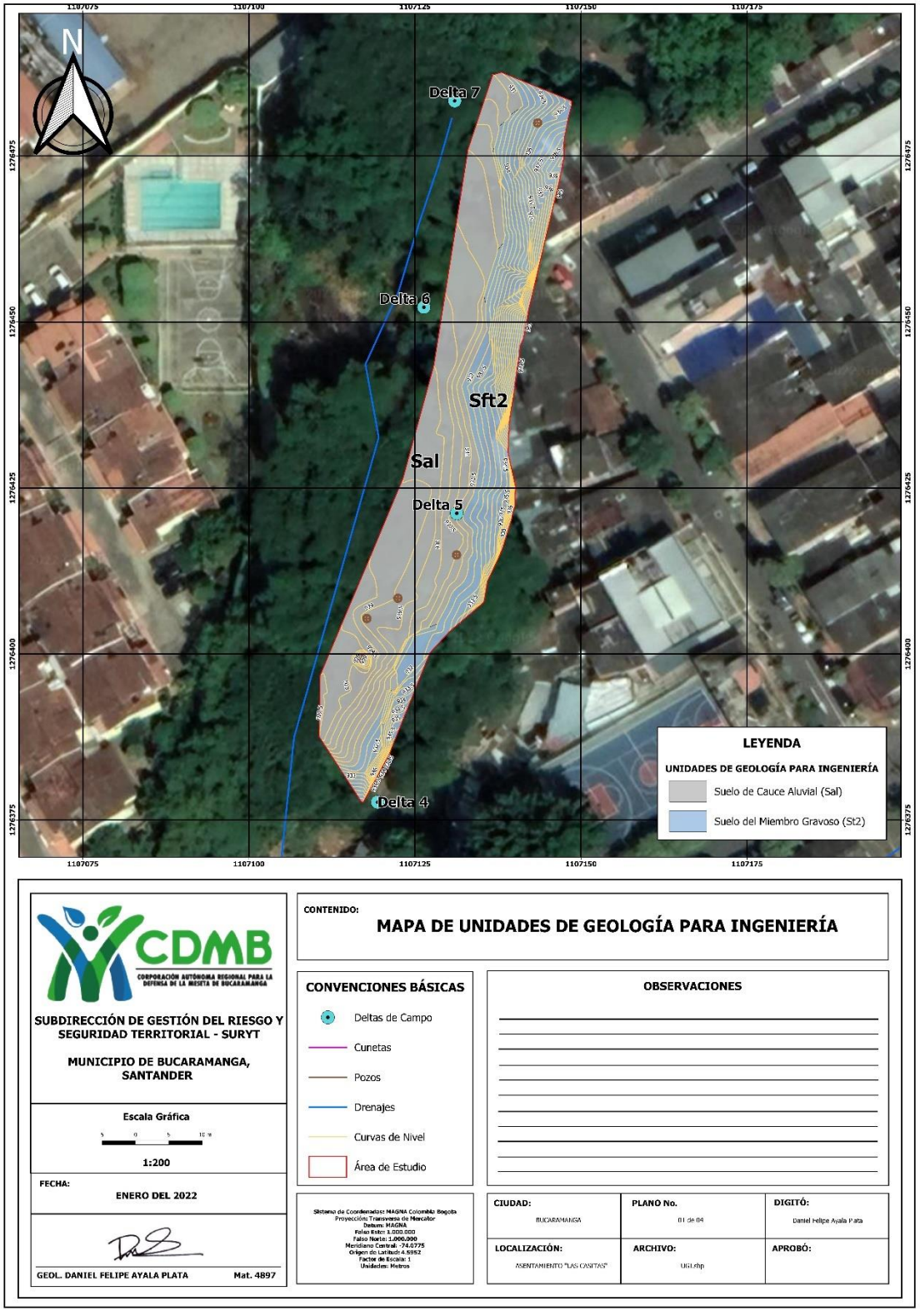


Figura 16. *Mapa de Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) geológico para el segundo sector del área de estudio.*

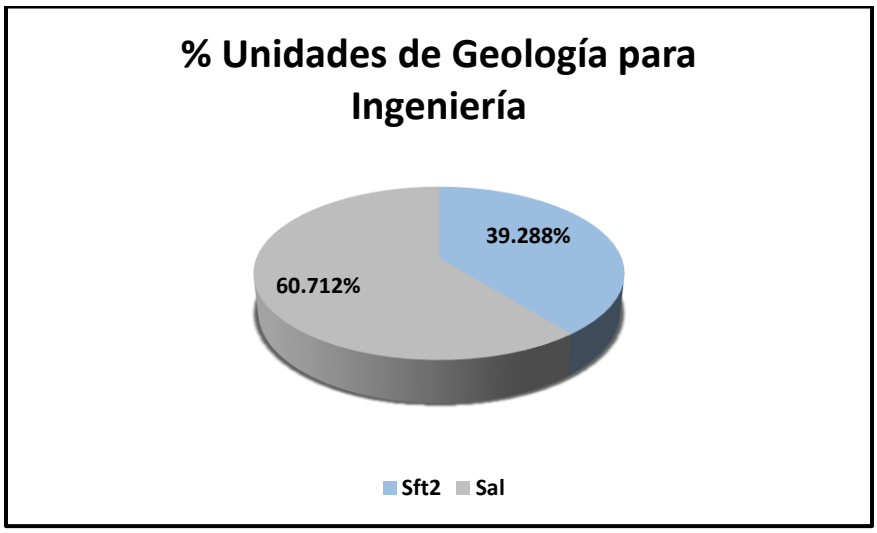


Figura 17. *Porcentaje de las UGI en el área en estudio.*

4.1.4. GEOMORFOLOGÍA

Para el propósito del análisis geomorfológico en el presente estudio, se utilizó la metodología del ITC de Holanda (Verstappen y Van Zuidam (1975), Verstappen, 1983 y Van Zuaidam; con modificaciones y jerarquización geomorfológica adoptada por Ingeominas (2002) con base en la propuesta hecha por Velásquez, (1999), ajustada por Carvajal (2002), Carvajal (2003), Carvajal y otros (2003) y Carvajal (2005), la cual relaciona las escalas de trabajo con la génesis de las geoformas (origen estructural, denudacional, fluvial y lagunar, Kárstico, volcánico, eólico, glacial, marino costero o antropogénico) asociadas a los diferentes ambientes morfogenéticos y cuya aplicación es variada de acuerdo a los objetivos de trabajo.

La cartografía geomorfológica elaborada se fundamenta en la metodología presentada en el documento “Propuesta metodológica para la cartografía geomorfológica aplicada a geomecánica”. Dada la escala de trabajo del presente trabajo 1: 200, se trabaja al nivel de Elementos/Componentes geomorfológicos, definidos éstos por la expresión morfológica y morfométrica del terreno y su relación con los cambios litológicos o sedimentológicos de los materiales. Por lo tanto, para lograr una descripción y caracterización adecuada se representa y es transmitida en forma gráfica o de mapas, en la cual se incluyen aspectos como Morfología y morfometría, morfogénesis y morfodinámica.

Las categorías definidas de escala menor a mayor son: Geomorfoestructuras, provincias, regiones, unidades, componentes y componente geomorfológico, ver esquema (Ver Figura 18).

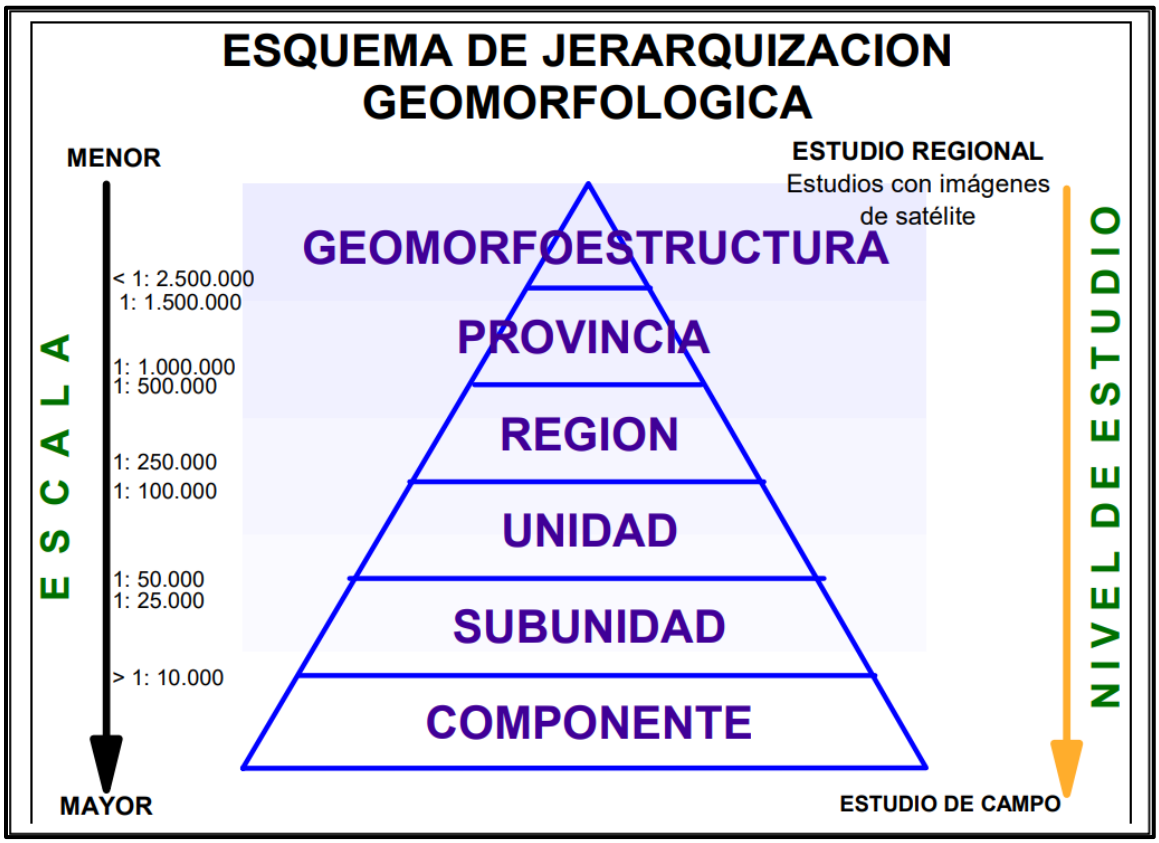


Figura 18. *Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000). Tomado de Carvajal (2008).*

En tal sentido, el área de estudio se caracterizó de acuerdo con geoformas de origen fluvial relacionadas a los cursos de los drenajes y denudacional asociadas a los procesos denudacionales normales.

MORFOGÉNESIS

La morfogénesis estudia el origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje, cuya cartografía es la base de los mapas geomorfológicos. El modelado del paisaje está fuertemente influenciado por la combinación de procesos Endógenos y Exógenos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en proporciones e intensidades diferentes y durante intervalos de tiempos geológicos, generando una serie de geoformas que pueden ser diferenciadas y clasificadas (SGC, 2013) (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Clasificación de unidades geomorfológicas según su origen. (Modificado del ITC)*

AMBIENTE	ORIGEN	EJEMPLOS
Fluvial	Erosión fluvial y sedimentación.	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, transicionales y erosionales.
Lacustre	Erosión lagunar y sedimentación.	Geoformas producto de niveles de agua alta (terrazas) y/o fondos de lagos (Evaporitas, playa)
Marino	Erosión marina y sedimentación.	Geoformas de ambientes de alta energía (grano grueso), baja energía (grano fino).
Volcánico	Actividad volcánica.	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclásticos
Denudacional	Meteorización, desgaste de masa, erosión linear.	Geoformas asociadas a desgastes, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear y asociadas a procesos denudativos específicos (desgaste de masas).
Estructural	Fallamiento	Geoformas asociadas con las capas de rocas estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamientos.
Estructural-denudacional		Geoformas que involucran tanto procesos denudacionales como estructurales
Kárstico	Solución y re-depositación	Geoformas positivas (colinas), negativas (depresiones) y estructurales.
Eólico	Erosión por el viento y sedimentación	Geoformas de acumulación (activas y no activas) y de deflación
Glacial	Erosión y sedimentación	Geoformas erosionales dominantes de glaciación continentales, de montañas y de acumulación (morrenas, hielo, y lomos)
Antrópico		Formas del relieve producidas por modificaciones causadas por la intervención del hombre.

Dichas geoformas se describen a continuación y se muestran en el mapa de elementos geomorfológicos (**Ver Figura 23 y 24**).

ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

A partir de la relación de la morfometría, la morfogenética y la morfodinámica, se realiza la cartografía geomorfológica dada en unidades de elementos geomorfológicos debido a la escala de trabajo (Carvajal, 2012; SGC, 2015).

Para la realización de este trabajo se utilizó la metodología, nomenclatura y definiciones del SGC que ha utilizado en trabajos anteriores (memoria explicativa mapa geomorfológico plancha 109 SGC-UIS, 2014), la cual es basada en orígenes geomorfológicos el ITC de Holanda (Verstappen & Van Zuidam, 1975; Verstappen, 1983; Van Zuidam, 1986), y que es correlacionada actualmente con Carvajal, 2012.

GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

Estas geoformas son creadas por acción directa de los cauces de ríos o corrientes de agua que han o están actuando sobre un suelo.

Planicie o llanura de inundación (F2)

Geoforma que se ubica en la zona aledaña al cauce actual de las corrientes fluviales, donde se presentan inundaciones y avenidas torrenciales dejando grandes bloques y materiales sueltos en sus márgenes. También se conoce como zonas de divagación de corrientes fluviales



Figura 19. *Elemento geomorfológico de planicie o llanura aluvial (F2). Fuente Propia.*

GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

Son Geoformas las cuales se encuentran asociadas a factores exógenos como el agua y el viento que se manifiesta en procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de los dos.

Escarpes denudacionales (D7)

Son laderas cortas y muy empinadas, mayores a 70º de inclinación, erosionadas, asociadas a depósitos fluviotorrenciales y macizos rocosos.



Figuras 20. *Elemento geomorfológico de Escarpes Denudacionales (D7). Fuente Propia.*

Laderas muy inclinadas (D10)

Son superficies naturales del terreno con laderas muy empinadas, producto de procesos denudacionales principalmente, donde dichas laderas presentan inclinaciones entre 40-70°. La vegetación sobre esta geoforma es en algunos casos escasa.



Figura 21. *Elemento geomorfológico de Laderas muy inclinadas (D10). Fuente Propia.*

Laderas moderadas (D11)

Esta geoforma corresponde a una superficie natural del terreno producida por procesos denudacionales se caracteriza por presentarse en forma de laderas onduladas con inclinaciones entre 10-40°, donde estas zonas por lo general presentan buena cobertura vegetal.



Figura 22. *Elemento geomorfológico de Laderas Moderadas (D11). Fuente Propia.*

El resultado de la correcta identificación, caracterización y levantamiento de las unidades geomorfológicas en el área de estudio se plasma en el mapa geomorfológico del área de estudio como también el porcentaje de ocupación dentro del área de estudio de cada unidad.

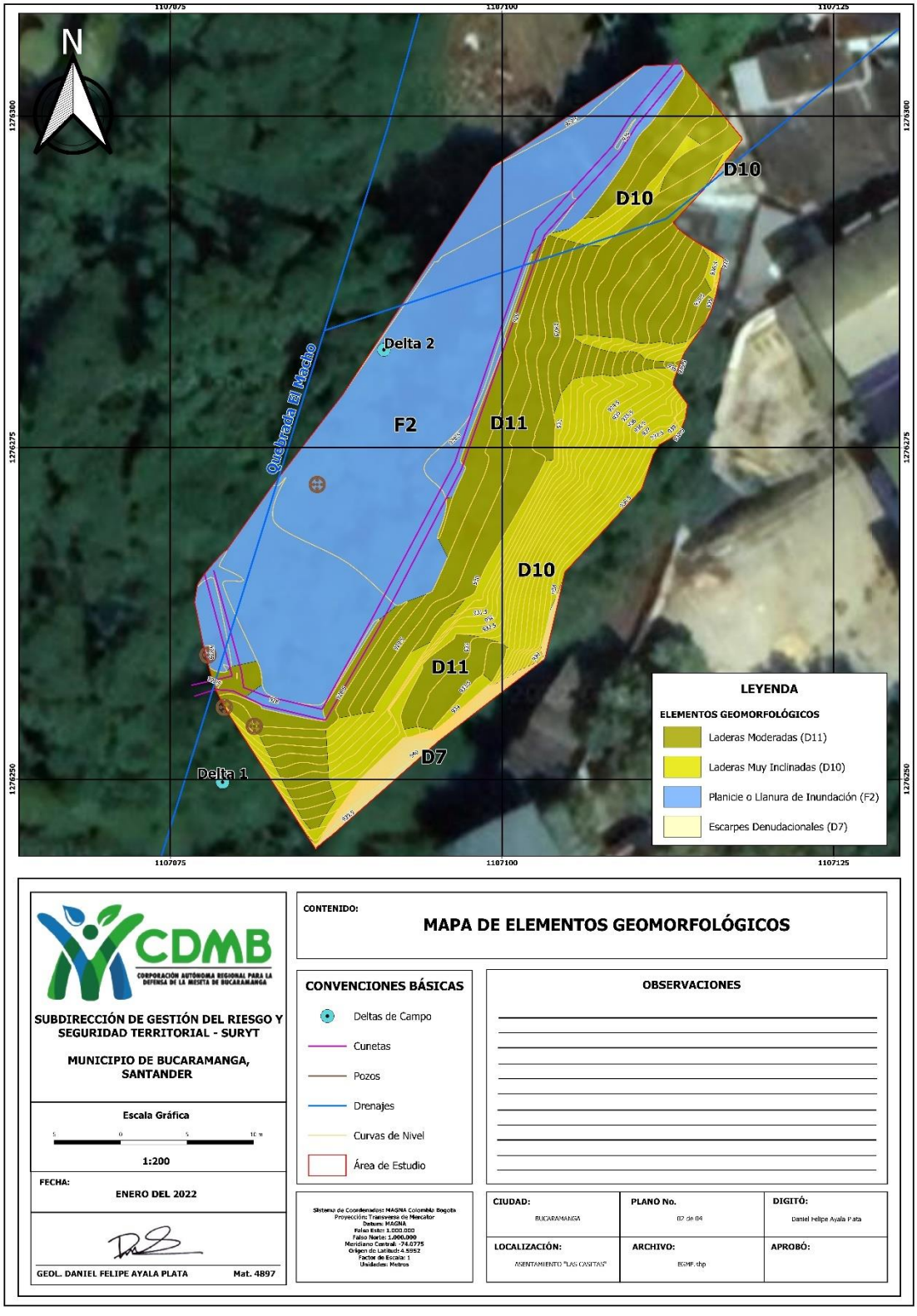


Figura 23. *Mapa de elementos geomorfológicos para el primer sector del área de estudio.*

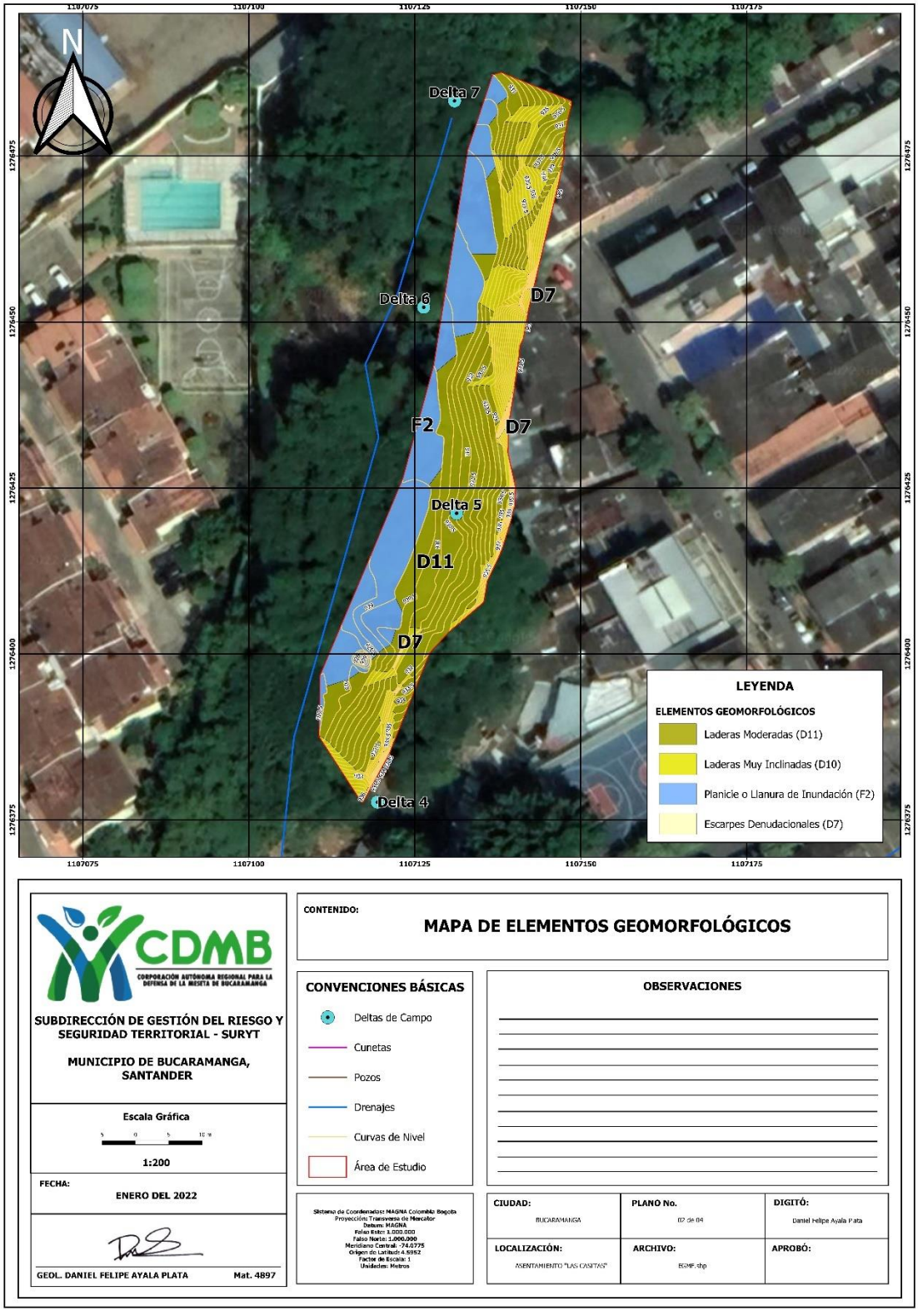


***Figura 24**. Mapa de elementos geomorfológicos para el segundo sector del área de estudio.*

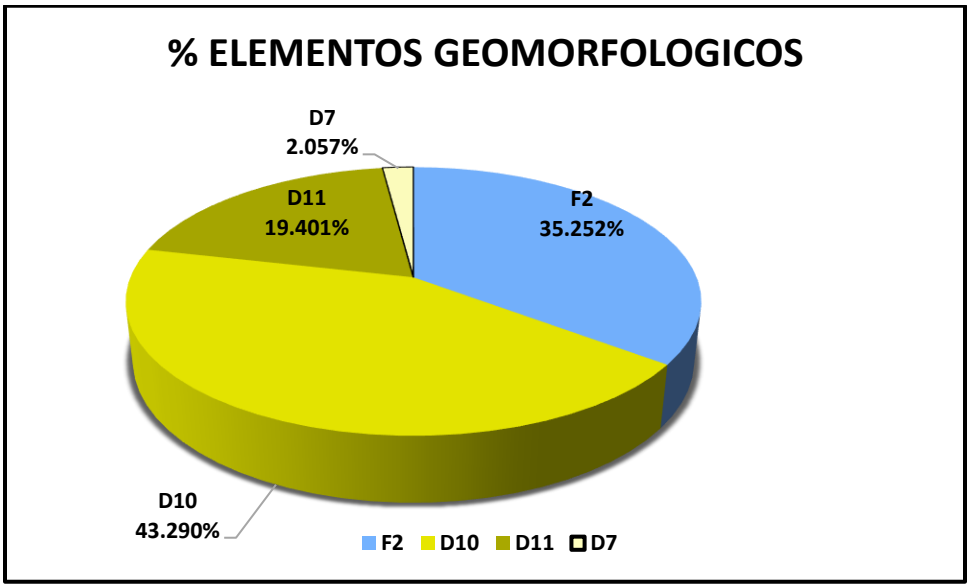


Figura 25. *Porcentaje de unidades de elementos geomorfológicos para el área de estudio.*

MORFODINÁMICA

La morfodinámica trata de los procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena, relacionada con la actividad de los agentes como el viento, agua, hielo y acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas preexistentes (Carvajal, 2011). Estos agentes, específicos para cada ambiente morfogenético, afectan y modelan la superficie terrestre con diferentes grados de intensidad, imprimiéndole al terreno características propias de cada ambiente (SGC, 2012).

La morfodinámica permite explicar y clasificar los diferentes movimientos en masa que ocurren, han ocurrido o pueden ocurrir en el territorio, bajo unas condiciones naturales específicas. Los procesos hacen referencia a los cambios físicos y químicos (Meteorización, erosión y depositación), que generan modificación de los materiales y las formas superficiales de la tierra, definiendo un equilibrio dinámico de las geoformas (Gradación = degradación y agradación de materiales) – (Thornbury, 1960; en Carvajal, 2011).

EROSIÓN

Estos corresponden al fenómeno definido como el resultado de los procesos de separación, transporte y acumulación de partículas, productos de la meteorización y de la sedimentación, por acción de los llamados agentes erosivos siendo los principales el agua, el viento, el hielo y los organismos vivos, los cuales se constituyen en medios de transporte (CORPES e INGEOMINAS; 1998). Para su clasificación se usa la metodología planteada por Carvajal, 2012; la cual es la guía para el desarrollo de este tipo de nomenclatura, según SGC, 2015. (Tabla 3)

Tabla 3. *Clasificación de procesos erosivos utilizados con propósitos de análisis de ingeniería.*

Tipo de erosión	**Espaciamiento entre canales (m)**					
	< 5	5 a 15	15 a 50	50 a 150	150 a 500	> 500
Erosión laminar	Severa	Moderada	Suave			
Surcos (< 50 cm de profundidad)	Severa	Severa	Moderada	Suave		
Barrancos (51-150 cm de profundidad)	Severa	Severa	Severa	Moderada	Suave	
Cárcavas (> 150 cm de profundidad)	Severa	Severa	Severa	Severa	Moderada	Suave

Grado de erosión		
Área erosionada (% unidad)	**Grado erosión R**	**Descripción**
< 25	Sin erosión	Geoforma original
25-50	Erosión baja	Geoforma denudada
51-74	Erosión media	Geoforma remanente

75-89	Erosión alta	Geoforma residual
> 90	Erosión muy alta	Ban lands

Grado de erosión	
Cobertura vegetal (%)	**Descripción**
> 90	Sin erosión
> 75	Erosión baja
51-74	Erosión media
25-50	Erosión alta
< 25	Erosión muy alta

Fuente: *Carvajal, 2012*

Para el área de estudio principalmente se lograron evidenciar diferentes sectores con focos de erosión que trataban de un proceso de erosión, de tipo laminar, con espaciamiento entre 5 a 15 metros; con un área erosionada entre alrededor de un 50 %, con cobertura vegetal del 25-50%, para lo cual tendríamos una clasificación de erosión laminar baja a intermedia.

Esta se presenta en la zona en donde se encuentran las viviendas del asentamiento “Las Casitas”. (Figura 26).



Figura 26. *Ubicación de los focos erosivos en el área de estudio. Fuente Propia.*

Para un complemento extra de información se realizó la búsqueda de información asociada a registros de deslizamientos históricos a partir del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano. En este se encuentran información del catálogo histórico, el cual es útil para la calibración y validación del modelo; como también información asociada a inventario de movimientos en masa desarrollados por usuarios, el cual se revisa también en el SIMMA, y se complementa con información levantada en campo (Figura 28 y Figura 29).

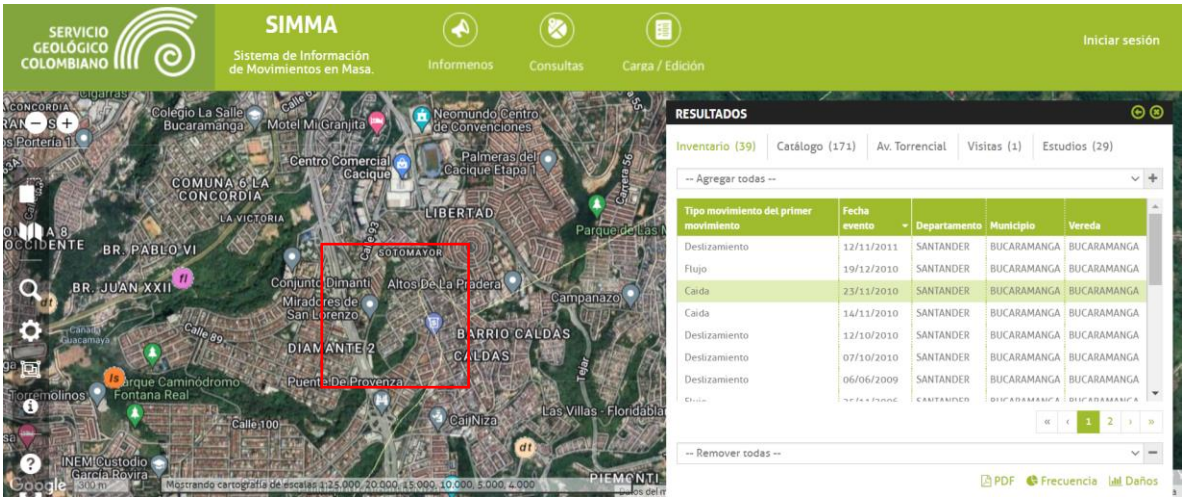


Figura 27. *Consulta de Inventario de fenómenos de remoción en masa en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano, el área de interés se encuentra en el rectángulo rojo. Fuente: SGC, 2016.*

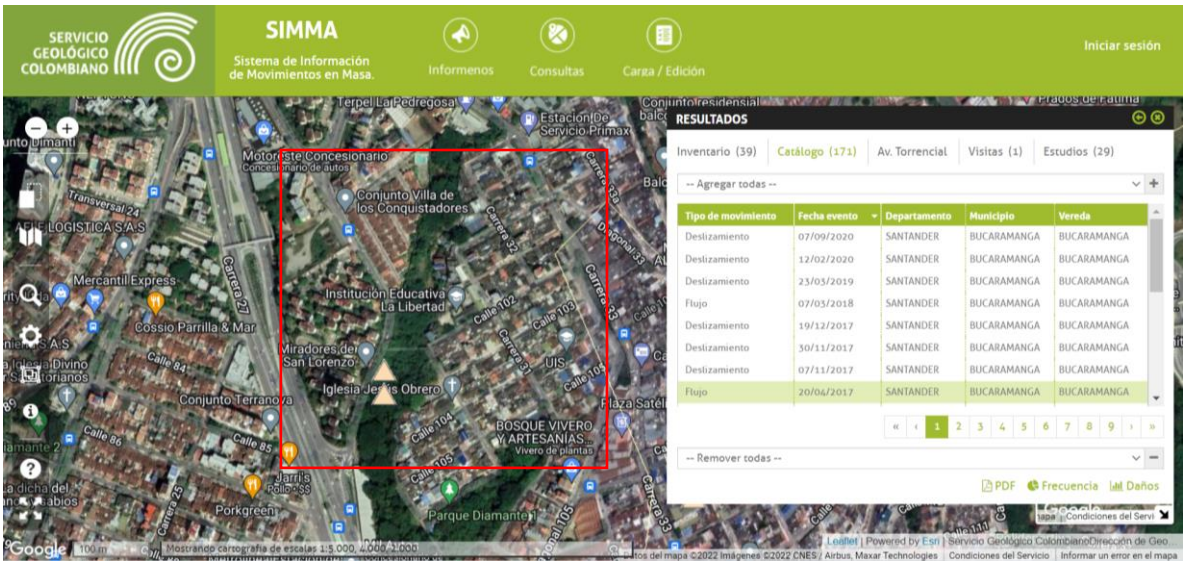


Figura 28. *Consulta del Catálogo de fenómenos de remoción en masa en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano, el área de interés se encuentra en el rectángulo rojo. Fuente: SGC, 2016.*

A partir de lo anterior se destaca que en el área de estudio no se encuentran identificados históricamente estos eventos respecto al inventario, pero respecto al catálogo se presentan dos registros, sin embargo, al intentar ingresar para consultar la información no fue posible, por lo cual no se cuenta con dichos registros.

Como resumen se resalta que no se observó ningún fenómeno de remoción en masa en el sector, solo se observo los focos erosivos presentes en las zonas de escarpes en donde aflora la litología del miembro Gravoso.

MORFOMETRÍA

La morfometría se dedica al análisis cuantitativo de la superficie del terreno en términos de medidas de longitud, área, forma y pendiente, con dos orientaciones o enfoques: una morfometría específica que analiza los rasgos discretos de la

superficie del terreno (p.ej. las formas de terreno) y una morfometría general que trata de los rasgos continuos.

En su estado actual, la morfometría consiste esencialmente en la caracterización y el análisis digital de superficies topográficas continuas (Pike et al., 2009, citado por Zinck, 2012). Para tal fin, los DEM han surgido como una herramienta que permite la medición y extracción de atributos que describen los rasgos topográficos del paisaje (Gallant & Wilson, 2000; Hutchinson & Gallant, 2000; Olaya, 2009, citados por Zinck, 2012). Los parámetros más frecuentemente medidos incluyen: altitud (altura sobre el nivel del mar), pendiente, dirección, curvatura y rugosidad del relieve, entre otros. La distribución espacial de estos parámetros permite inferir la variabilidad de procesos hidrológicos, geomorfológicos y biológicos en el paisaje.

PENDIENTES

De acuerdo con Verstappen & Van Zuidam (1992), la pendiente del terreno (medida en ángulos) es el mejor indicador para realizar subdivisiones del relieve y es conveniente para representar estos datos como un mapa de pendientes por separado. Para ello es de gran interés tener en cuenta la variable de pendiente, esta se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal cuyo valor se expresa en grados de 0º a 90º o en porcentaje, se relaciona con la ocurrencia de movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa (SGC; 2013). La pendiente es el principal factor geométrico a tener en cuenta en análisis de estabilidad y puede obtenerse como una variable cuantitativa continua que se deriva del DEM.

Este mapa se desarrolla a partir de una interpolación dada por una red irregular de triángulos (TIN) con los valores dados por el mapa topográfico facilitado a lo largo del proyecto. Posteriormente, a partir del TIN, se genera el mapa de pendientes, en el cual las divisiones se dieron según SGC; 2013 (**Ver Tabla 4**).

Tabla 4. *Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa.*

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0 - 2	Plano a casi plano. No hay denudación apreciable.
2 - 4	Suavemente inclinado. Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (solifluxión) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos.
4 - 8	Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.
8 - 16	Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglaciar, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos.
16 - 35	Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.
35 - 55	Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.
> 55	Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente "denudación de escarpe", susceptible a rodamiento de rocas.

Fuente: Tomado de Van Zuidam (1986).

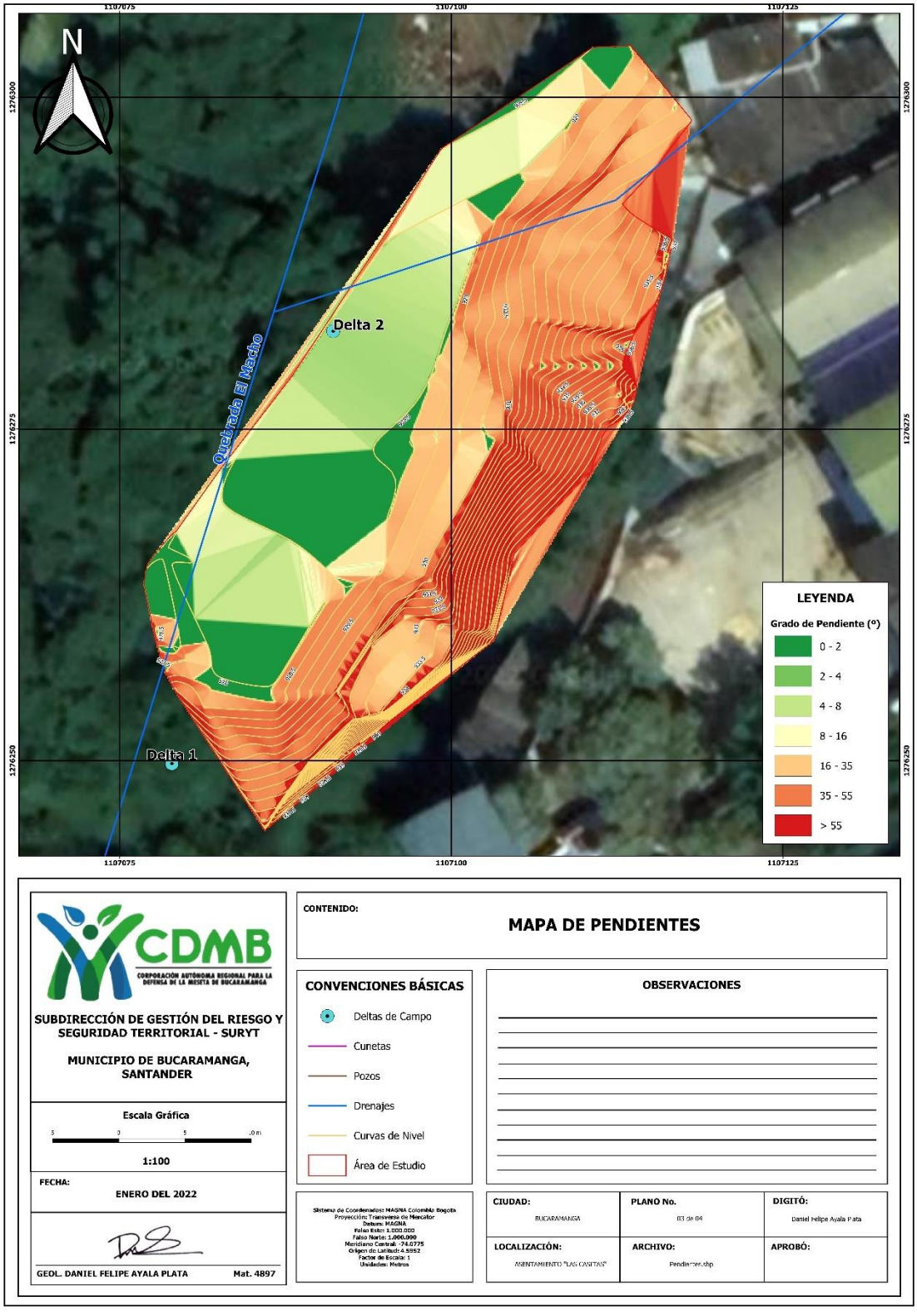


Figura 29. *Mapa de pendientes para el primer sector del área de estudio.*

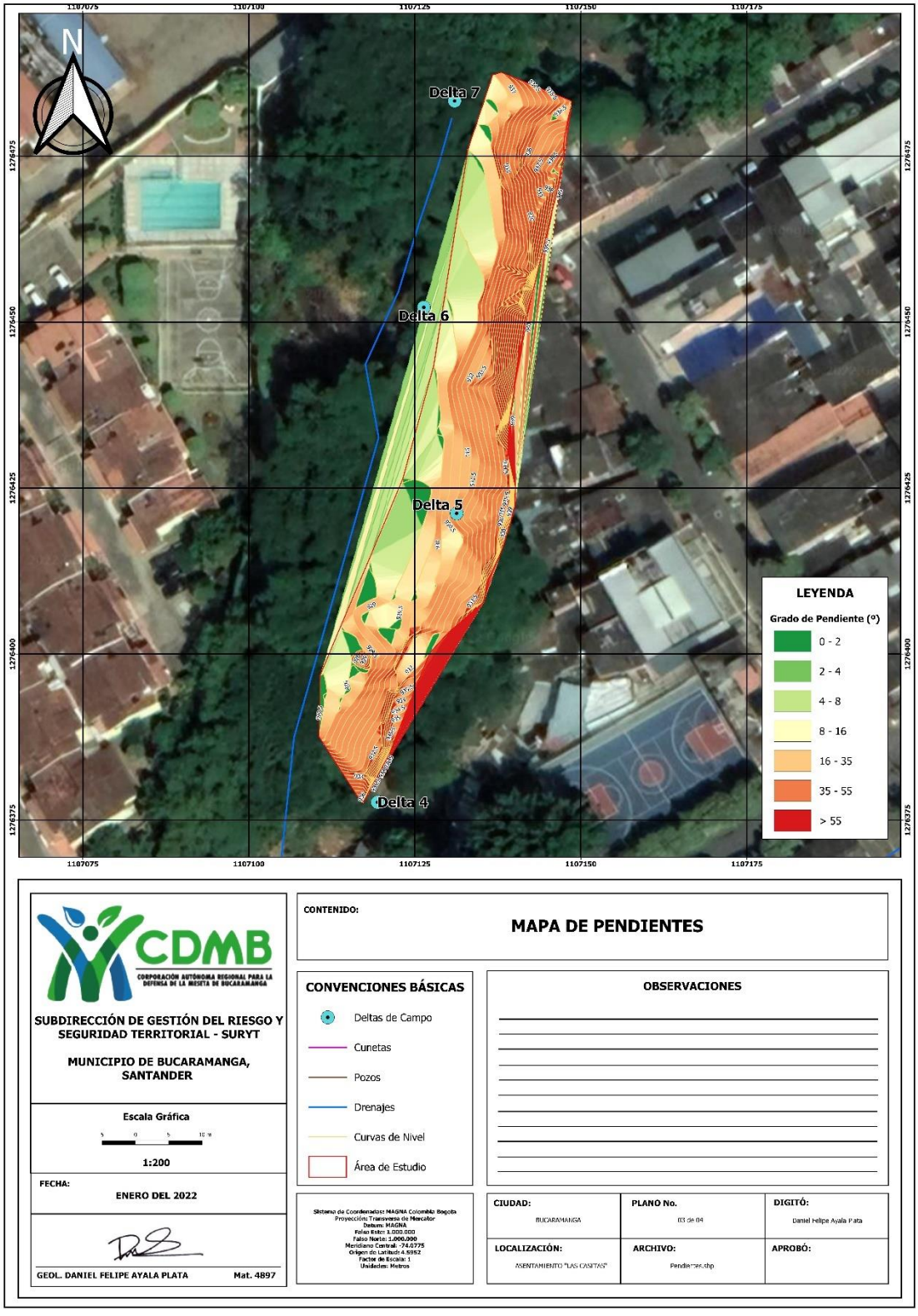


Figura 30. *Mapa de pendientes para el segundo sector del área de estudio.*

4.1.5. UNIDADES DE COBERTURA DE LA TIERRA

El estudio de coberturas de la tierra hace referencia a las diferentes clases de vegetación existente en un área determinada cuya dinámica ha sido consecuencia de las condiciones climáticas, topográficas y edáficas, así como de las características socioeconómicas y culturales propias de los pobladores de la localidad (IDEAM, 1997).

Para la elaboración de esta cartografía, se aplicó la metodología Corine Land Cover (Coordination of Information on the Environmental) adaptada por el IDEAM para Colombia en el documento “Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000” para la identificación de las unidades de Cobertura de la Tierra y para la elaboración del respectivo mapa.

Para el área de estudio se obtuvieron una totalidad de cuatro (4) unidades en el área, asociadas a cuatro (4) clases, dentro de las cuales se encuentran:

TEJIDO URBANO DISCONTINUO (1.1.2.): Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación.



Figura 31. *Evidencias de la unidad de cobertura de la tierra compuesta por Tejido Urbano Discontinuo. Fuente propia.*

PASTOS ENMALEZADOS (2.3.3.): Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 m.



Figura 32. *Evidencias de la unidad de cobertura de la tierra compuesta por pastos enmalezados. Fuente propia.*

MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES (2.4.4.): Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente y las parcelas de pastos presentan un área menor a 25 hectáreas. Las coberturas de pastos representan entre 30% y 70% de la superficie total del mosaico. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o ripario, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas y que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural.



Figura 33. *Evidencias de la unidad de cobertura de la tierra compuesta por Mosaico de pastos con espacios naturales. Fuente propia.*

BOSQUES DE RIPARIO (3.1.4.): Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales.

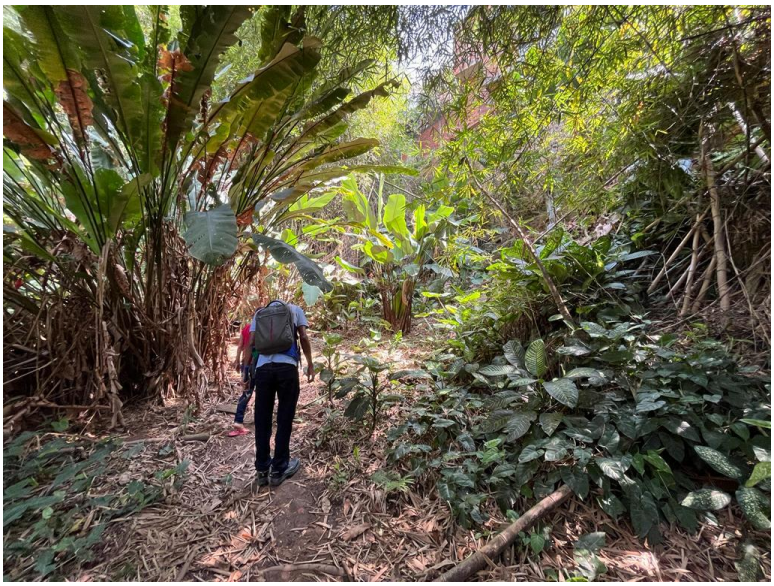


Figura 34. *Evidencias de la unidad de cobertura de la tierra compuesta por Bosque de Ripario. Fuente propia.*

Estas unidades se cartografiaron en campo, obteniendo así el mapa de cobertura de la tierra (Figura 36 y 37). Adicionalmente, en la Figura 38 se muestran los porcentajes de ocupación de cada una de las respectivas unidades.

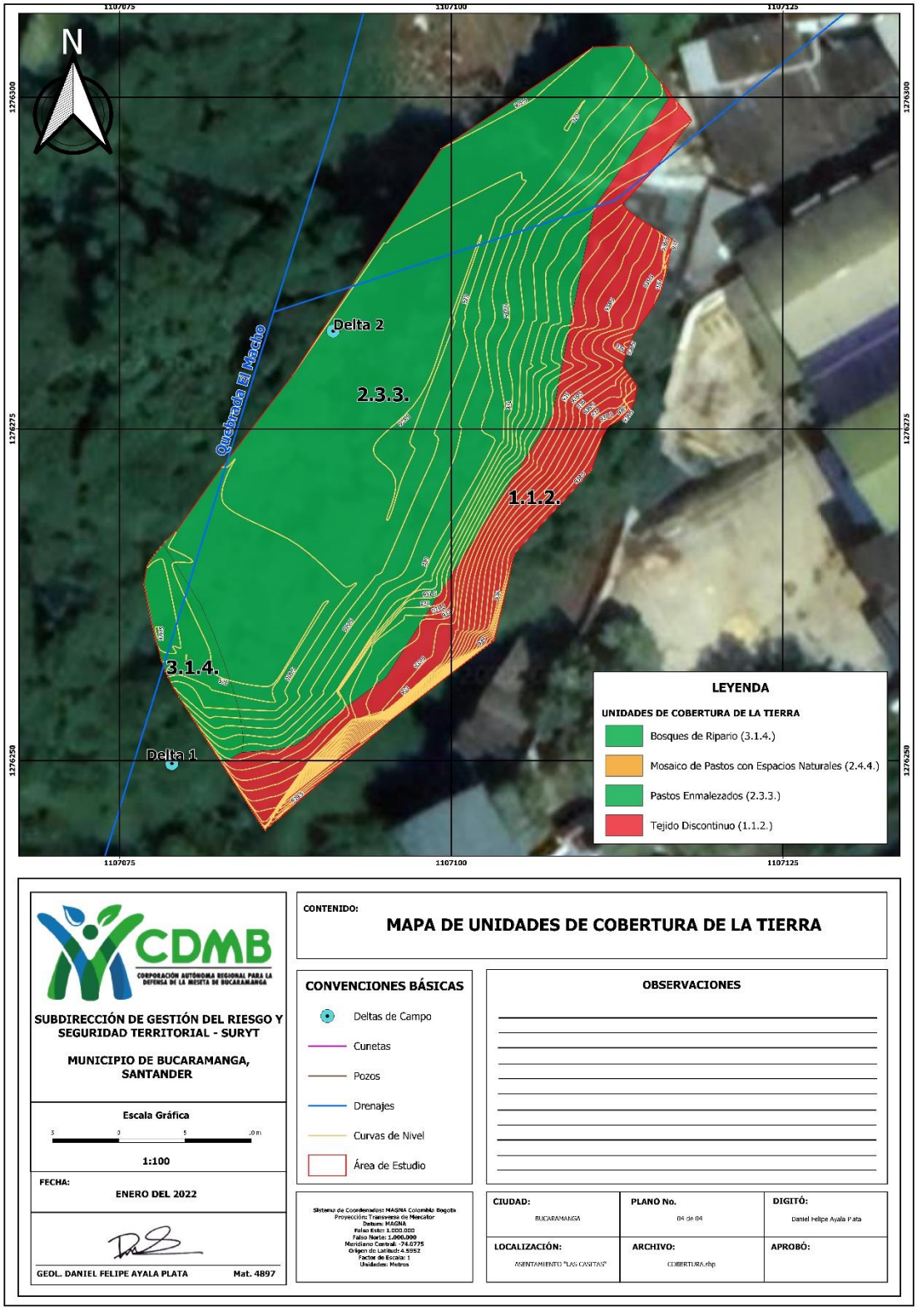


Figura 35. *Mapa de cobertura del suelo para el primer sector del área de estudio.*

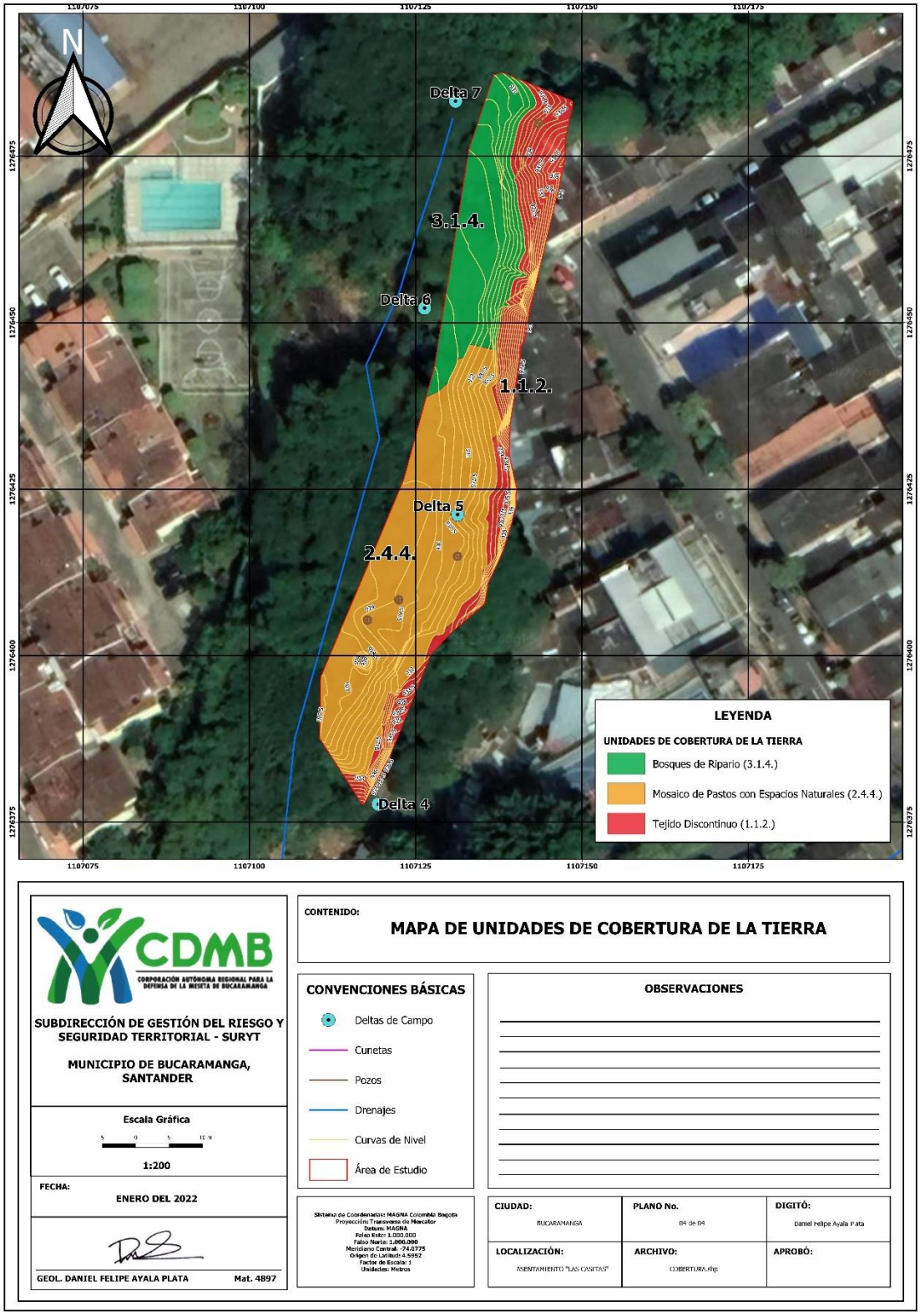


Figura 36. *Mapa de cobertura del suelo para el segundo sector del área de estudio.*

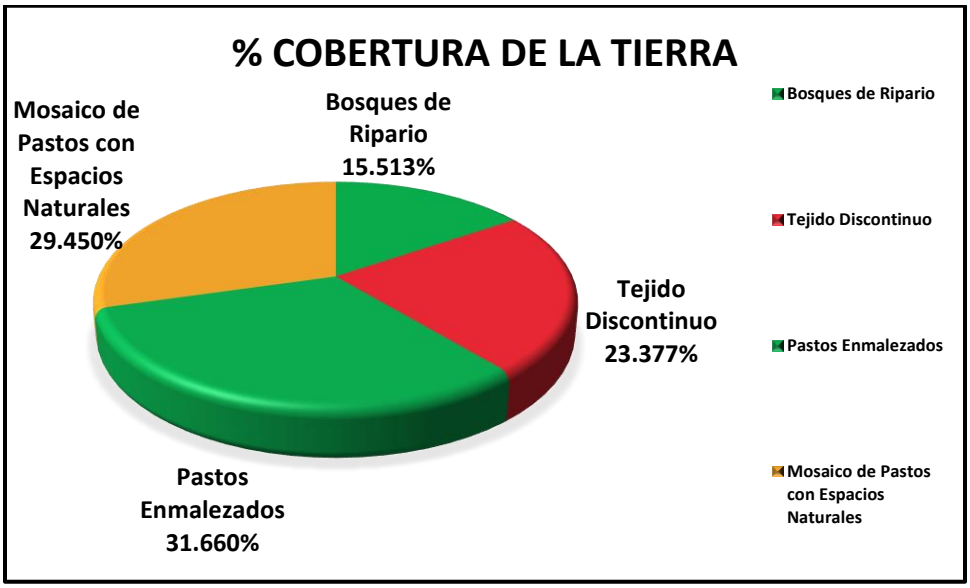


***Figura 37**. Porcentaje de ocupación de las clases de la cobertura del suelo para el área en estudio.*

5. CONCLUSIONES

Las unidades geológicas de ingeniería (UGI) que se presentan en el área se encuentran distribuidas así: 60.813% a los Suelos de Cauce Aluvial, 39,288% a los Suelos del Miembro Gravoso.

En el catálogo e inventario de movimientos en masa del SIMMA, perteneciente al Servicio Geológico Colombiano (SGC), no se tuvo registros en el catálogo, pero si en el inventario, sin embargo al intentar acceder no se logró, por lo que esos registros no se pudieron consultar directamente.

Los procesos morfodinámicos presente es de erosión laminar, la cual se ve evidenciada a lo largo de la zona de escarpe en diferentes focos. Dicha erosión tiene las características de ser una erosión baja a intermedia, con espaciamiento entre 5 a 15 metros y con cobertura de vegetal del 25-50%.

Las geoformas presentes en el área se encuentran distribuidas así: Laderas Muy Inclinada (43,290%), Planicie o Llanura de Inundación (35,252%), Laderas Moderadas (19,401%) y Escarpes Denudacionales (2,057%).

Las unidades de cobertura de la tierra están distribuidas así: Pasos Enmalezados (31,660%), Mosaico de pastos con espacios naturales (29,450), Tejido urbano discontinuo (23,277%) y Bosques de Ripario (15,513%).

BIBLIOGRAFÍA

HERMELÍN, M. 1987. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

INGEOMINAS. 1999. Geología del departamento de Santander.

INGEOMINAS. (2001), Montero, J., Cortés, R. "*Mapa de categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia, escala 1:1.500.000"*. Bogotá

INGEOMINAS. 2007. Mapa geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Bogotá.
INGEOMINAS & Universidad Nacional de Colombia. (2009). "*Mapa General de Amenaza Sísmica de Colombia"*. Bogotá

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. (2001). *Atlas Climatológico de Colombia.* Bogotá D.C.

NORMAS GEOTECNICA para el control y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB, Litografía Editar Impresores 2009.

TERZAGHI, Karl; PECK Ralph B. Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A. España, 1980.

ROYERO J. & CLAVIJO J. (2001): Mapa geológico generalizado. Departamento de Santander. Escala 1:400.000 Memoria explicativa. Instituto de Investigación e información geo científica, Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. p. 92.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). (2012) Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2014. Glosario Geomorfológico, Bogotá D.C, Colombia.

WARD, D.E. et al. Memoria Explicativa: Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. INGEOMINAS, 1973. 144 p.

WARD, D.E. et al. Mapa Geológico de la Plancha 109 Rionegro. INGEOMINAS, 1977. Versión Digital 2010.

VERSTAPPEN, H. & VAN ZUIDAN, R. 1975. ITC System of Geomorphological Survey. ITC, Amsterdan, 52 p.

VERSTAPPEN, H. 1983. Applied geomorphology. Elservier, Amsterdam, 437 p.