

**Apoyo Técnico en la Caracterización y Cartografía Geológica del Suelo Urbano y de  
Expansión como Insumo para los Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa,  
Inundaciones y/o Avenidas Torrenciales en el Municipio de Jordán, Santander**

Autor

Germán Leonardo Beltrán Jaimes

Trabajo de Grado en Modalidad de Practica Empresarial para Optar al Título de Geólogo

Director

PhD. Mario García González

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela De Geología

Bucaramanga

2025

### **Agradecimientos**

Con estima y reconocimiento, extiendo mi gratitud al personal profesional de la empresa en donde desarrollé la práctica y al personal docente y administrativo de la Universidad Industrial de Santander. Su profesionalismo y guía han sido fundamentales en mi proceso de formación profesional y en la realización de esta investigación.

Agradezco a mis padres, mi hermano y demás familiares por los sacrificios realizados durante mi formación como profesional.

Reconozco y extiendo mi gratitud por el apoyo de mis amigos y compañeros durante mi estancia en la universidad.

**Tabla de contenido**

Introducción .....	10
1. Objetivos .....	12
1.1 Objetivo General .....	12
1.2 Objetivos Específicos .....	12
2. Marco teórico .....	12
2.1 Municipio de Jordán .....	12
2.2 Marco Geomorfológico Local .....	13
2.3 Marco Geológico Local .....	14
2.4.1 Unidad del Devónico (D) .....	15
2.4.2 Unidades del Jurásico (J) .....	16
2.4.3 Unidades del Cretácico (K) .....	16
2.4.4 Unidades del Cuaternario (Q) .....	17
2.5 Componente Estructural .....	18
3. Metodología de Caracterización Geológica .....	18
3.1 Exploración Geotécnica Urbana .....	18
3.1.1 Fase de oficina .....	19
3.1.2 Fase de Campo .....	20
3.1.3 Fase de laboratorio .....	21
3.2 Caracterización de las Unidades Geológicas Para Ingeniería .....	22
3.2.1 Criterios Para la Caracterización y Cartografía de las UGI .....	23
3.2.1.1 Unidades Derivadas de la Roca In Situ .....	25
3.3 Caracterización de los Elementos Geomorfológicos .....	26
3.3.1 Morfología .....	28
3.3.2 Morfometría .....	31

## CARACTERIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL SUELO URBANO

4

3.3.3 Morfogénesis .....	31
3.3.4 Morfodinámica .....	35
4. Resultados .....	35
4.1 Exploración Geotécnica Urbana del Municipio de Jordán.....	35
4.1.1 Resultados Obtenidos a Partir del Ensayo de Perforación por el Método SPT.....	35
4.1.2 Fase de Ensayos de Laboratorio.....	37
4.2 Caracterización del Plano de Unidades de Geología Para Ingeniería del Suelo Urbano .....	41
4.2.1 Análisis de las Unidades de Suelo (S) definidas para el Suelo Urbano .....	43
4.3 Caracterización del Plano de Elementos Geomorfológicos del Suelo Urbano de jordán .....	47
4.3.1 Elementos de Origen Denudacional.....	53
4.3.2 Elementos de Origen Antrópico .....	54
4.4 Perfil Geológico Geotécnico .....	57
5. Conclusiones .....	59
Referencias Bibliográficas .....	62

**Lista de Figuras**

Figura 1. Mapa de unidades litoestratigráficas INGEOMINAS (1979)..... 14

Figura 2. Metodología de la exploración geotécnica. .... 19

Figura 3. Esquema metodológico para la caracterización y descripción de UGI..... 24

Figura 4. Esquema metodológico para la caracterización y descripción geomorfológica. .... 27

Figura 5. Gráfica resumen N (golpes/pie) – ensayo SPT percusión. .... 36

Figura 6. Gráfica resumen resultados de corte directo..... 39

Figura 7. Plano de Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) del suelo urbano de Jordán. .... 42

Figura 8. Suelo transportado coluvial (Stco)..... 44

Figura 9. Suelo transportado aluvial de terraza media (Statm) ..... 45

Figura 10. Suelo antrópico de llenos de excavación (Salle). .... 45

Figura 11. Suelo antrópico de llenos y depósitos de excavación (Sallde) ..... 46

Figura 12. Plano de pendientes en grados del suelo urbano de Jordán. .... 47

Figura 13. Plano de elementos geomorfológicos del suelo urbano de Jordán. .... 51

Figura 14. Laderas ligeramente planas a inclinadas (Dllpai). .... 53

Figura 15. Laderas inclinadas a empinadas (Dliae). .... 54

Figura 16. Laderas explanadas (Alex)..... 55

Figura 17. Laderas explanadas con llenos antrópicos (Alella)..... 55

Figura 18. Obras de ingeniería (Aoi). .... 56

Figura 19. Perfil Geológico-Geotécnico ..... 58

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Ensayos de campo .....	20
Tabla 2. Determinación y obtención de la compacidad. ....	22
Tabla 3. Tipos de relieve .....	29
Tabla 4. Índice de contraste de relieve. ....	29
Tabla 5. Formas de la ladera. ....	29
Tabla 6. Longitud de la ladera.....	30
Tabla 7. Nomenclatura de las unidades geomorfológicas.....	32
Tabla 8. Resumen ensayos de corte directo. ....	40
Tabla 9. Elementos geomorfológicos suelo urbano del municipio de Jordán.....	50
Tabla 10. Parámetros geotécnicos de las UGI del perfil .....	57

### **Lista de Apéndices**

Los apéndices pueden ser consultados en el Repositorio de la Biblioteca UIS

Apéndice A. Vista en planta de exploración geotécnica ejecutada en el área de estudio

Apéndice B. Coordenadas de exploración Geotécnica

Apéndice C. Resumen clasificación de suelos.

Apéndice D. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales

Apéndice E. Análisis de los resultados en sondeos SPT.

Apéndice F. Mapa de Subunidades Geomorfológicas del suelo rural

**Resumen**

**Título.** Apoyo técnico en la caracterización y cartografía geológica del suelo urbano y de expansión como insumo para los Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en masa, Inundaciones y/o Avenidas torrenciales en el municipio de Jordán, Santander.\*

**Autor.** Germán Leonardo Beltrán Jaimes.\*\*

**Palabras clave.** Unidades Geológicas para Ingeniería, Cartografía, Elementos Geomorfológicos, Perfil Geológico geotécnico.

**Descripción:**

El presente documento expone el análisis y desarrollo del trabajo de apoyo a la empresa Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S., en el marco de la caracterización geológica y geotécnica del municipio de Jordán, Santander. El estudio se enfocó en la elaboración y análisis de cartografía geológica para ingeniería, identificación de elementos geomorfológicos y la ejecución e interpretación de ensayos de exploración geotécnica, como el Standard Penetration Test (SPT) y ensayos de corte directo, siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos por el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Como parte de este proceso, se generaron insumos clave para la caracterización del territorio, incluyendo; el plano de unidades geológicas para ingeniería en donde se identifican los suelos de mayor predominancia en el territorio según los ensayos de laboratorio y el mapa de las unidades geológicas superficiales; el plano de elementos geomorfológicos donde se catalogan las geoformas que componen el suelo urbano; la interpretación de los sondeos y apiques de exploración geotécnica; y la elaboración de un perfil geológico-geotécnico representativo del área de estudio.

La información obtenida y procesada en este estudio constituye un insumo fundamental para la gestión del riesgo en los Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales, proporcionando datos técnicos que pueden ser utilizados en evaluaciones posteriores de estabilidad del terreno. Sin embargo, dado el alcance delimitado del trabajo, el presente documento no establece evaluaciones ni conclusiones directas sobre el grado de amenaza por dichos fenómenos.

---

\*Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director Mario García González

### Abstract

**Title.** Technical support in the characterization and geological mapping of urban and expansion soil as input for the Basic Studies of Threat by Mass Movements, Floods and/or Torrential Flows in the municipality of Jordán, Santander\*

**Author.** Germán Leonardo Beltrán Jaimes\*\*

**Keywords.** Geological Units for Engineering, Cartography, Geomorphological Elements, Geotechnical Geological Profile.

### Description

This document presents the analysis and development of the support work for the company Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S., within the framework of the geological and geotechnical characterization of the municipality of Jordán, Santander. The study focused on the preparation and analysis of geological cartography for engineering, identification of geomorphological elements and the execution and interpretation of geotechnical exploration tests, such as the Standard Penetration Test (SPT) and direct shear tests, following the methodological guidelines established by the Servicio Geológico Colombiano (SGC).

As part of this process, key inputs were generated for the characterization of the territory, including: the plan of geological units for engineering where the most predominant soils in the territory are identified according to laboratory tests and the map of the superficial geological units; the plan of geomorphological elements where the geofoms that make up the urban soil are cataloged; the interpretation of the surveys and geotechnical exploration abutments; and the preparation of a representative geological-geotechnical profile of the study area.

The information obtained and processed in this study constitutes a fundamental input for risk management in Basic Hazard Studies for Mass Movements, Floods and Torrential Floods, providing technical data that can be used in subsequent assessments of ground stability. However, given the limited scope of the work, this document does not establish direct assessments or conclusions on the degree of threat from these phenomena.

---

\*Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director Mario García González

## Introducción

La gestión del riesgo de desastres naturales se ha convertido en un elemento fundamental en la planificación territorial, especialmente en aquellas regiones con condiciones geológicas y geomorfológicas complejas. El municipio de Jordán, ubicado en Santander, históricamente ha sido vulnerable a diversos fenómenos naturales debido a su variada topografía y suelos. Esta realidad ha generado una necesidad urgente de desarrollar estrategias efectivas de mitigación. Por ello, resulta crucial implementar proyectos de planificación territorial que se sustentan en un análisis riguroso de los riesgos geológicos, lo que contribuirá a garantizar la seguridad y sostenibilidad del desarrollo urbano. Por lo anterior se asignó el apoyo en la exploración de campo, se observa la necesidad de contribuir a la caracterización y cartografía geológica a escala 1:2.000. Esta labor es fundamental para proporcionar insumos técnicos para los Estudios Básicos de Amenaza, que se aplicarán al suelo urbano y de expansión de Jordán.

Es fundamental, destacar la aplicación de la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombia (2015), constituye la base metodológica para el análisis a escala 1:5.000 en este trabajo, se integra en los procesos de ordenamiento territorial, facilitando el desarrollo de estrategias efectivas para mitigar los riesgos geológicos y promover un crecimiento urbano que sea sostenible y resiliente frente a desastres naturales.

Como resultado del estudio desarrollado en campo se obtuvo; las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), así como en la identificación de los elementos geomorfológicos, el análisis geológico geotécnico de los ensayos de laboratorio de corte directo y penetración estándar (SPT) y la construcción del perfil geológico.

El presente documento no tiene como objetivo la evaluación ni la determinación directa del grado de amenaza por movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales. Su alcance se limita a la recopilación, análisis y representación de información geológica y geotécnica, constituyendo un insumo técnico fundamental para el desarrollo de estudios posteriores que permitan evaluar dichos fenómenos con mayor precisión.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Brindar apoyo técnico en la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica del suelo urbano y de expansión del municipio de Jordán, Santander, a escala 1:2.000, como insumo para la gestión del riesgo en los Estudios Básicos de Amenaza.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Contribuir en el análisis geológico geotécnico de los ensayos de laboratorio de corte directo y penetración estándar (SPT).

Apoyar en la elaboración de la Caracterización y cartografía geológica a nivel de Unidades de Geología Para Ingeniería (UGI), siguiendo la Guía Metodológica Para Estudios De Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (SGC, 2016).

Contribuir a la caracterización y cartografía geomorfológica a nivel de Elementos Geomorfológicos, siguiendo la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000. (SGC, 2012)

Apoyar en el desarrollo de un perfil geológico-geotécnico basado en los parámetros obtenidos de exploraciones geotécnicas, ensayos de laboratorio y análisis correspondientes.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Municipio de Jordán**

El municipio de Jordán está ubicado en la zona centro-oriental del departamento de Santander, perteneciente a la Provincia de Guanentá. Limita al norte con el municipio de Los Santos, al este con Aratoca, al oeste con Villanueva y al sur con Curití. Aparece en las planchas

135 (San Gil) y 151 (Charalá) del Cuadrángulo I-12, NGEOMINAS (1979) y, en la Memoria explicativa del mapa geológico generalizado de Santander, a escala 1:400.000, NGEOMINAS (2001). El área rural del municipio de Jordán abarca una superficie de 40.23 km<sup>2</sup> (4022.87 hectáreas), distribuidas en cinco veredas: El Pozo, Monte Grande, El Morro, Besito y El Cuasimo.

## **2.2 Marco Geomorfológico Local**

El departamento de Santander cuenta con una geomorfología diversa y compleja, resultado de su ubicación en la cordillera Oriental de los Andes colombianos. Su paisaje se distingue por un relieve montañoso abrupto, donde se entrelazan profundos valles y elevadas zonas, fruto de la interacción entre la tectónica activa y los procesos de erosión (Pulido, 1979). Las principales unidades geomorfológicas abarcan llanuras aluviales, terrazas fluviales, abanicos aluviales, colinas estructurales y serranías, todas ellas están moldeadas por la geología de la región y por la actividad tectónica de las fallas (Pulido, 1979).

La geomorfología del Cañón del Chicamocha en Santander se ve profundamente impactada por las fallas geológicas, entre las que destacan la Falla de Bucaramanga-Santa Marta y otras estructuras tectónicas locales. Estas fallas han jugado un papel crucial en la formación de notables accidentes topográficos y han favorecido la evolución de sistemas fluviales que, en la actualidad, modelan el relieve de la región. Además, se caracteriza por un alto grado de erosión, resultado de sus pronunciadas pendientes y el régimen de lluvias intensas, lo que propicia la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes (Pulido, 1979).

Por otro lado, los sistemas fluviales, como el Chicamocha, juegan un papel fundamental en la evolución geomorfológica del Cañón del Chicamocha. Este río ha moldeado la región mediante procesos de erosión y sedimentación, dando lugar a la formación de profundos valles y terrazas aluviales (Pulido, 1979).

Estas características geomorfológicas son esenciales para la planificación territorial y la gestión del riesgo, ya que la variabilidad del relieve y la actividad tectónica incrementan la vulnerabilidad a fenómenos naturales, especialmente en áreas urbanas y de expansión (SGC, 2017).

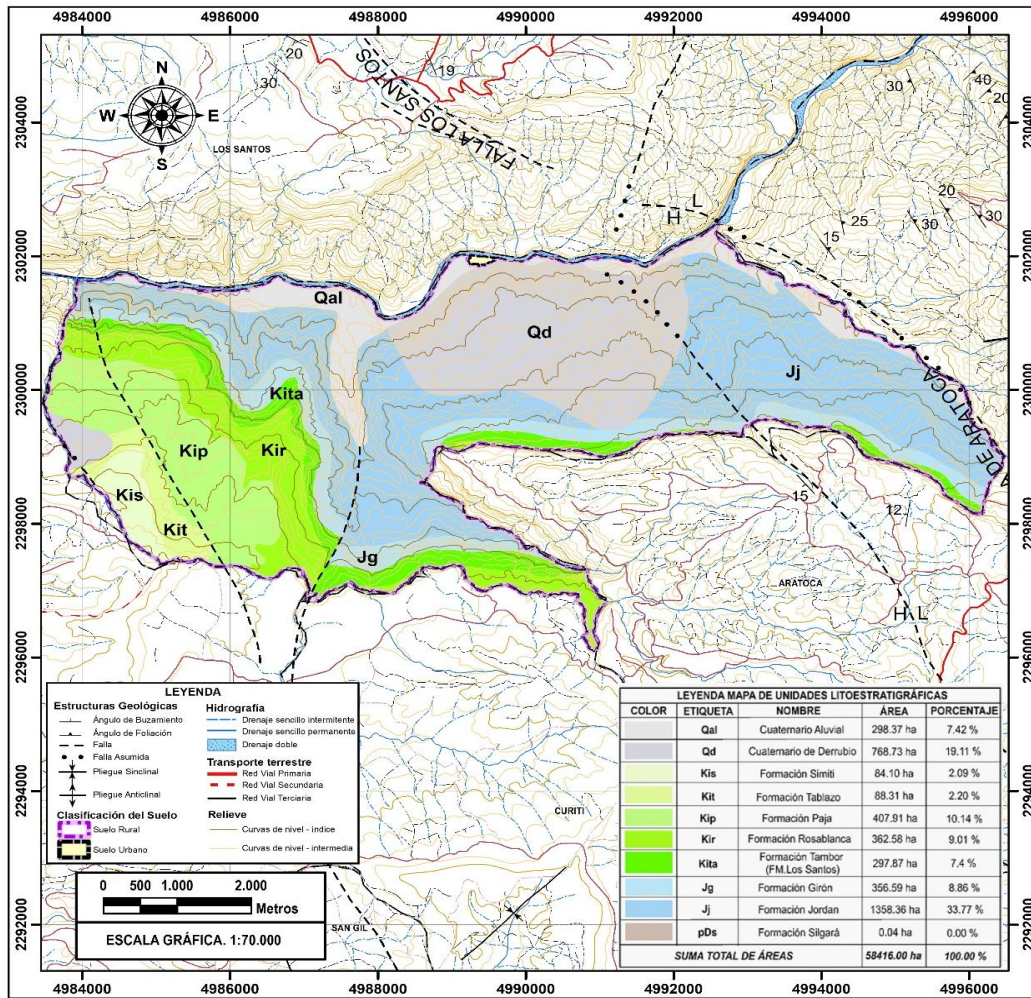
**2.3 Marco Geológico Local**

La cartografía geológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC), en la Plancha 135 San Gil, ofrece una visión detallada de la geología del municipio de Jordán, tal como se ilustra en la **Figura 1**. En esta región, las rocas sedimentarias abarcan formaciones que se remontan al periodo del Cretácico inferior, además de los estratos del periodo Jurásico y los depósitos cuaternarios recientes. Entre las formaciones presentes se destacan la Formación Rosa blanca (Kir), Formación Paja (Kip), Formación Tablazo (Kit), Formación Simití (Kis), Formación Tambor (Kita, también conocida como Formación Los Santos), Formación Girón (Jg), Formación Jordán (Jj), así como depósitos cuaternarios de derrubios (Qd) y aluviales (Qal), INGEOMINAS (1979).

**Figura 1.**

*Mapa de unidades litoestratigráficas INGEOMINAS (1979)*

LEYENDA MAPA DE UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS				
COLOR	ETIQUETA	NOMBRE	ÁREA	PORCENTAJE
	Qal	Cuaternario Aluvial	298.37 ha	7.42 %
	Qd	Cuaternario de Derrubio	768.73 ha	19.11 %
	Kis	Formación Simití	84.10 ha	2.09 %
	Kit	Formación Tablazo	88.31 ha	2.20 %
	Kip	Formación Paja	407.91 ha	10.14 %
	Kir	Formación Rosablanca	362.58 ha	9.01 %
	Kita	Formación Tambor (FM.Los Santos)	297.87 ha	7.4 %
	Jg	Formación Girón	356.59 ha	8.86 %
	Jj	Formación Jordan	1358.36 ha	33.77 %
	pDs	Formación Silgará	0.04 ha	0.00 %
<b>SUMA TOTAL DE ÁREAS</b>			<b>58416.00 ha</b>	<b>100.00 %</b>



A continuación, se detalla la información sobre las unidades litoestratigráficas extraídas de la Memoria explicativa de la geología de las Planchas 135 San Gil y 151 Charalá, Cuadrángulo I-12, a escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1973)

**2.4.1 Unidad del Devónico (D)**

- Formación Silgará (pDs)

Esta unidad geológica es típicamente de grado bajo a medio en términos de metamorfismo. Sus asociaciones mineralógicas corresponden a las facies de esquistos verdes y a la parte inferior de las anfibolitas, aunque en algunos casos puede incluir la facie superior de las anfibolitas. INGEOMINAS (1973).

### 2.4.2 *Unidades del Jurásico (J)*

- Formación Jordán (Jj)

Al oeste del casco urbano de Jordán, sobre la pendiente del río Chicamocha, esta unidad geológica se caracteriza por una secuencia de 100 metros de arenisca gris verdosa de grano grueso, con lentes ocasionales de lutitas verdosas y conglomerados cuarzosos (Cediel, Geología Colombiana, 1969). Esta secuencia está superpuesta por 200 metros de limolitas y areniscas de grano fino, bien estratificadas y de color marrón rojizo, asociadas a tobas volcánicas.

- Formación Girón (Jg)

Es un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas rojas que afloran al oeste de Bucaramanga. (Cediel, Geología Colombiana, 1969)

### 2.4.3 *Unidades del Cretácico (K)*

- Formación Tambor (Kita)

Esta formación está compuesta por un grueso banco de areniscas cuarcíticas blancas, conglomerados (principalmente cuarzosos) y algunas intercalaciones arcillosas. (Cediel, Geología Colombiana, 1969)

- Formación Rosablanca (Kir)

La formación está compuesta por aproximadamente 425 metros de caliza masiva, dura, de color gris azulado, fosilífera y de textura gruesa, con numerosas capas margosas, que pasa a una caliza de textura muy fina, negra y arcillosa en su parte superior. En las laderas del Río Yama, al suroeste de Mogotes, aparece una sucesión de alrededor de 160 metros de calizas, arcillas negras laminadas y bancos arenáceos. Es importante destacar la presencia de bancos de areniscas en la base de la formación, por encima del primer nivel calcáreo, que la separan de la Formación Tambor. (Gutiérrez & Clavijo Torres, 2001)

- Formación Paja (Kip)

Esta unidad está compuesta por lutitas y sales de color gris oscuro a azulado, fosilíferos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas de grano fino, además de algunas intercalaciones de shales grises, que localmente son arenosos, calcáreos y fosilíferos. También incluye pequeñas intercalaciones de calizas grises, que en algunos sectores son arenosas y fosilíferas. (Gutiérrez & Clavijo Torres, 2001)

- Formación Tablazo (Kit)

Se caracteriza por una sucesión de calizas duras, azulosas y fosilíferas en la parte superior, y margas o calizas arcillosas en la parte inferior, con un espesor que varía entre 150 y 325 metros, INGEOMINAS (1973). Adicionalmente, incluye calizas grises a negras, fosilíferas, algunas glauconíticas y arcillosas negras, junto con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas y fosilíferas, en capas medianas a gruesas, y areniscas grises de grano fino a medio, arcillosas y levemente calcáreas en capas delgadas. (Gutiérrez & Clavijo Torres, 2001)

- Formación Simití (Kis)

Está constituida por una serie de lutitas que variaban en tonalidades desde el gris hasta el gris oscuro; en algunas zonas, estos esquistos son calcáreos y presentan concreciones. (Gutiérrez & Clavijo Torres, 2001)

#### **2.4.4 Unidades del Cuaternario (Q)**

- Depósitos aluviales (Qal)

Estos depósitos pueden estar compuestos por arena, grava, arcilla o limo, y presentan diversas formas y tamaños. En el área de estudio, los depósitos aluviales han sido transportados por el río Chicamocha, sobre los cuales se ha desarrollado el suelo urbano del municipio de Jordán. (Gutiérrez & Clavijo Torres, 2001)

- Depósitos de derrubios (Qd)

Los depósitos de derrubios en el departamento se encuentran en diversas áreas, y su composición varía según el material de la unidad geológica de origen. Estos depósitos suelen estar constituidos por fragmentos sueltos de roca, que pueden incluir desde fragmentos grandes y angulosos hasta partículas más finas. (Gutiérrez & Clavijo Torres, 2001)

## **2.5 Componente Estructural**

En el municipio, se observan fallas normales e inversas y varios tipos de plegamientos. Se han definido cuatro regiones estructurales importantes que forman el entorno geológico de la zona: Aratoca-Jordán-Encino, Charalá-Oiba-Olival, la región de mesas y cuevas, y la cordillera de los Cobardes y Lloriquies, INGEOMINAS (1979).

La región presenta un predominio estructural, con la mayoría de las estructuras alineadas en dirección NE. La geología regional del municipio de Jordán ha sido ampliamente documentada en la memoria explicativa de las Planchas 135 (San Gil) y 151 (Charalá), Cuadrángulo I-12, también a escala 1:100.000. Los principales sistemas de fallas en la zona corresponden a las fallas Aratoca y Los Santos.

## **3. Metodología de Caracterización Geológica**

### **3.1 Exploración Geotécnica Urbana**

Para determinar las características específicas del subsuelo en la zona de estudio, resulta esencial recopilar la mayor cantidad de información sobre la estructura del suelo. Los objetivos del programa de exploración geotécnica realizada in situ incluyen los siguientes aspectos:

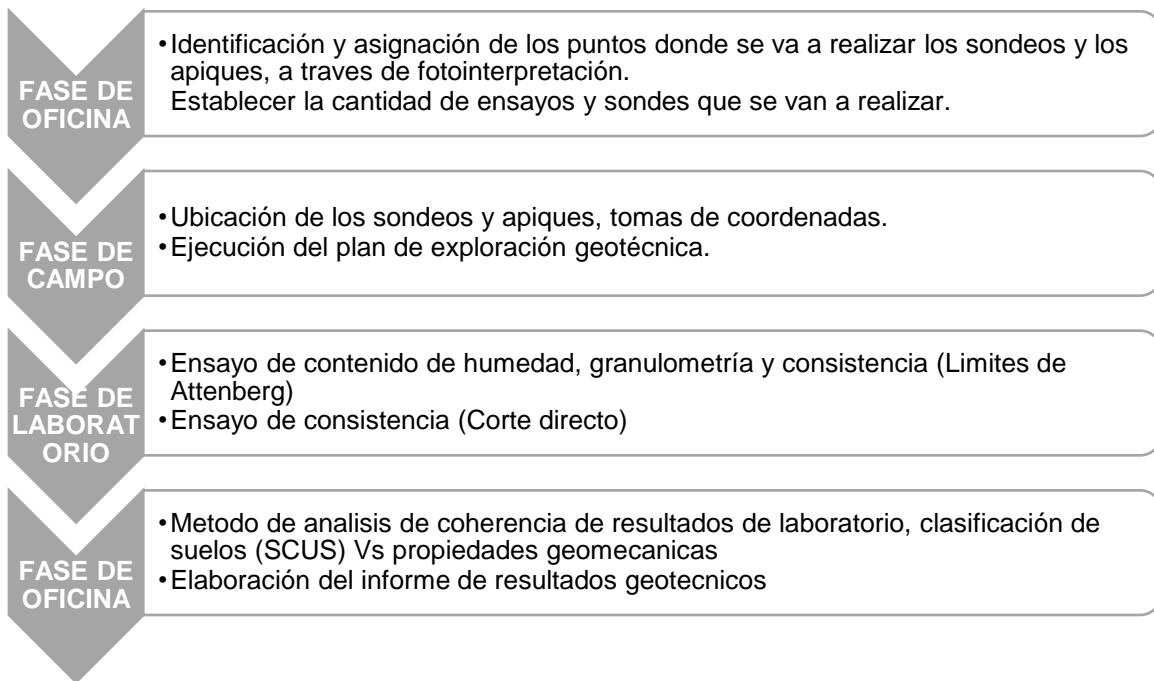
- Definir las condiciones geotécnicas y geológicas subterráneas del área de estudio.
- Obtener muestras y datos geotécnicos directamente en campo.

- Establecer la distribución de los materiales en profundidad.
- Identificar las propiedades geomecánicas de los materiales encontrados.
- Detectar afloramientos de depósitos o macizos rocosos, así como posibles sistemas de drenaje.
- Obtener propiedades físicas y parámetros geomecánicas para el modelado geotécnico, enfocado en la estabilidad del terreno, capacidad de carga y asentamientos inmediatos.

La metodología utilizada para la realización del estudio técnico se describe a continuación en la Figura 2.

**Figura 2.**

*Metodología de la exploración geotécnica.*



### 3.1.1 Fase de oficina

**Ubicación en planos de la exploración geotécnica:** La exploración geotécnica, se efectuó en puntos estratégicos, ubicando los sondeos en las zonas dentro del área en estudio, con el fin de

caracterizar los suelos encontrados sobre el terreno de influencia directa del proyecto. En esta actividad se registraron las coordenadas planas de la ubicación de los sondeos y apiques propuestos. La ubicación de los puntos estratégicos para la realización de ensayos de campo, se realizó con un GPS de precisión Sub métrica (Mobile Mapper). A continuación, se muestran los diferentes ensayos de campo que se realizaron en la zona de estudio y su coordenada respectiva, se establece la cantidad de ensayos que se van a realizar en la exploración geotécnica para el municipio con su respectiva profundidad, según las normas de Invias para la toma de ensayos y la obtención de muestras (Tabla 1).

**Tabla 1.**

*Ensayos de campo*

<b>No.</b>	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>CANT.</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>NORMA</b>
<b>1</b>	Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido / Sondeos	25	2.50 m – 5.50 m	INV E-111-13
<b>2</b>	Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada / Apiques	25	1.50 m	INV E-105-13

**3.1.2 Fase de Campo**

**Ejecución de ensayos de campo**

Una vez definidos los puntos de la exploración geotécnica, se efectuaron los ensayos de campo, compuestos por ensayos SPT a percusión, así como la extracción de apiques manuales a una profundidad de 1.50 metro para la recuperación de material inalterado.

### **Investigación de campo**

La primera etapa de los estudios de suelos corresponde al reconocimiento del terreno, que se realiza por el grupo técnico de ALICON & ING. S.A.S. con la presencia de un Ingeniero Civil, un Geólogo Ms. en Geotecnia, el grupo técnico que opera el equipo para los sondeos SPT y extracción de muestras de apiques (1 oficial 3 auxiliares). En esta visita se determinó la ubicación en campo de la exploración geotécnica propuesta, teniendo en cuenta que se requiere caracterizar los suelos y posteriormente ejecutar los ensayos de campo en los puntos estratégicos.

### **Ensayos de campo**

Se establece la cantidad de los puntos y la localización donde se realizarán los sondeos y apiques, junto con la profundidad de estos, la información se observa en la Tabla 1.

#### **3.1.3 Fase de laboratorio**

##### **Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido (INV E-111-13)**

El objetivo de la realización de los ensayos de perforación SPT, es determinar la resistencia a la penetración del suelo, correlacionar parámetros geotécnicos y examinar la localización espacial de los tipos de suelos identificados sobre el área de estudio, obteniendo muestras semi-inalteradas por medio de la conducción de un muestreador de tubo partido, dentro del suelo en cada una de las perforaciones ejecutadas para realizar ensayos de clasificación granulométrica por cada material homogéneo.

##### **➤ Parámetros de compacidad y consistencia**

La compacidad es un término característico de los suelos granulares y se puede definir como el grado de compactación de los suelos no cohesivos (gravas – arenas). Según lo expresa Luis Bañón Blázquez, la compacidad es una propiedad importante en carreteras, terraplenes y todo tipo

de relleno en general, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad en un firme, ya que debe estar lo suficiente consolidado para evitar los asentamientos. Los parámetros establecidos para la determinación y obtención de la compacidad se observan en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Determinación y obtención de la compacidad.*

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (S.P.T)	Resistencia a la Penetración Estática	$\phi$
<b>Muy suelta</b>	< 0.2	< 4	< 20	< 30
<b>Suelta</b>	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
<b>Compacta</b>	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
<b>Densa</b>	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
<b>Muy Densa</b>	> 0.8	> 50	> 200	> 45

### 3.2 Caracterización de las Unidades Geológicas Para Ingeniería

Este capítulo explica cómo se caracteriza la geología del suelo urbano en Jordán a una escala de 1:2000. El Servicio Geológico Colombiano establece que se deben definir Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) al realizar esta caracterización en zonas urbanas. Estas unidades analizan la geología y la geomorfología del área, enfocándose en aspectos claves como la morfología y morfometría (relieve y pendientes), morfogénesis (origen de las formas de relieve), morfodinámica (procesos erosivos y de transformación del terreno) y los ensayos de laboratorio de las muestras extraídas en la exploración geotécnica, Servicio Geológico Colombiano (2015)

Las UGI se basan en las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que agrupan materiales de la superficie hasta profundidades de decenas de metros. Ambas clasifican los materiales por su origen, incluyendo rocas, suelos y depósitos consolidados. Las UGI se enfocan más en el espesor

y propiedades geotécnicas y geomecánicas, como la clasificación S. U. C. S., la humedad, la plasticidad, el índice de consistencia, la cohesión y el ángulo de fricción. (Hermelin, 1985)

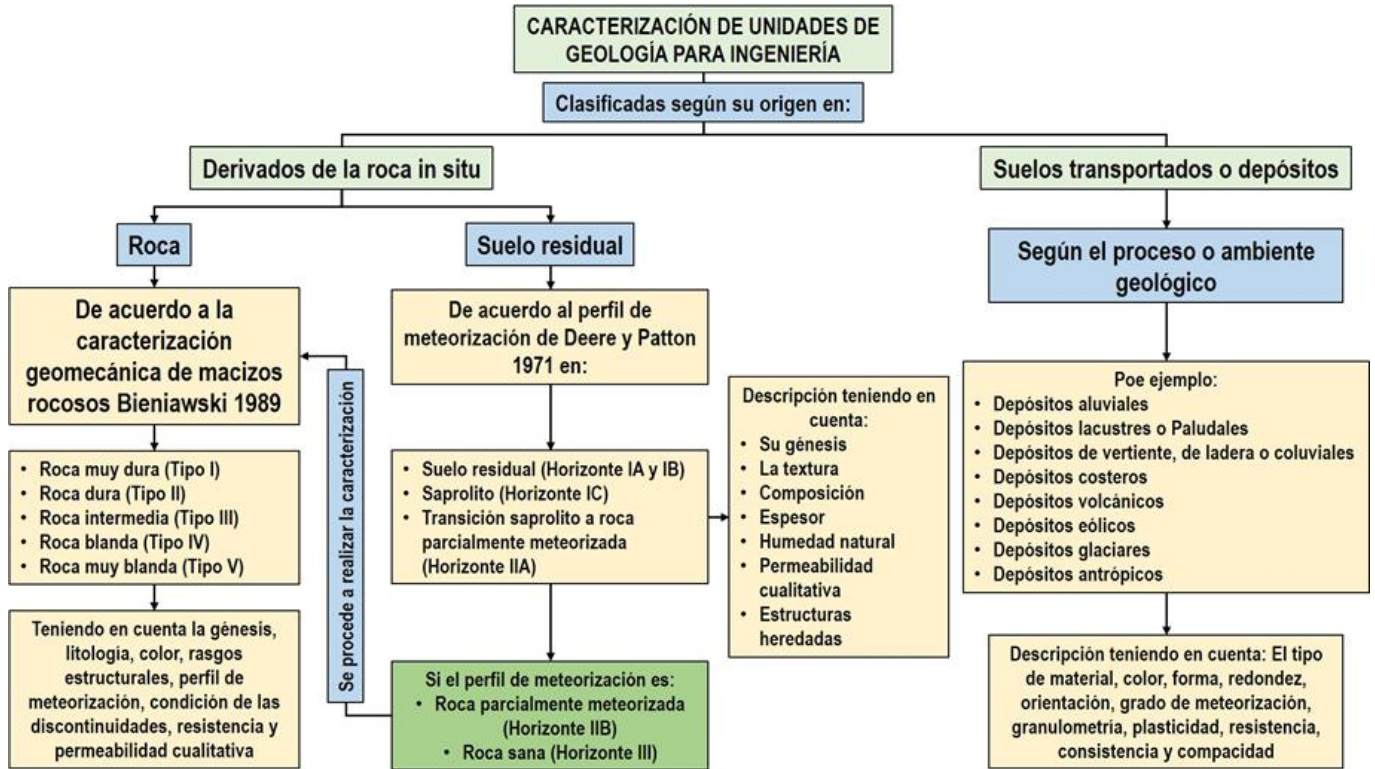
La caracterización de UGI incluye datos de exploraciones geotécnicas, ensayos de campo y pruebas de laboratorio de suelos para definir zonas con propiedades de materiales similares, SGC (2015). La caracterización físico-biótica del suelo urbano se realizó según el Decreto 1077 de 2015, que exige una actualización a escala 1:2000 y una caracterización geológica para ingeniería, siguiendo la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2015).

### ***3.2.1 Criterios Para la Caracterización y Cartografía de las UGI***

Para mostrar cómo se distribuyen las propiedades físicas de los materiales como suelos o rocas, se usa una caracterización geológica con Unidades de Geología para Ingeniería (UGI). Estas unidades se basan en las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que proponen Hermelín, representando los materiales de la superficie hasta varias decenas de metros de profundidad (Hermelin, 1985). Esta clasificación ayuda a diferenciar entre rocas y suelos, y clasificar los suelos según su origen, ya sea transportados, residuales o antrópicos, permitiendo un análisis detallado de las condiciones geológicas en la superficie terrestre como se observa en la Figura 3.

Figura 3.

Esquema metodológico para la caracterización y descripción de UGI.



Nota. Basado en la guía metodológica del SGC, (2015).

La caracterización y cartografía de estas unidades, ilustrada en la Figura 3, se centra principalmente en clasificar los materiales presentes en el terreno según su origen y tipo. Estos materiales pueden incluir unidades derivadas de la roca in situ, como rocas o suelos residuales formados por procesos naturales de meteorización; suelos transportados o depósitos, generados por la acción de agentes atmosféricos; y suelos o depósitos antrópicos, formados o modificados por la actividad humana.

Para determinar el origen, tipo y clasificación de cada unidad de geología para ingeniería (UGI) en la zona de estudio, se llevan a cabo observaciones, análisis y descripciones directas en

el campo. Este proceso incluye el examen de perfiles del suelo en laderas naturales, cortes antrópicos y afloramientos rocosos. Además, se realizan exploraciones del subsuelo, muestreo de suelos y rocas, así como ensayos in situ y análisis de laboratorio que complementan la caracterización.

Según el origen y tipo de material identificado, se aplican métodos específicos de caracterización, adaptados a las propiedades y particularidades de cada unidad.

**3.2.1.1 Unidades Derivadas de la Roca In Situ.** Los materiales se forman a partir de la meteorización de la roca en su lugar. En la zona urbana del municipio, no se encontraron rocas ni suelos residuales durante la exploración en campo (macizos). Por lo tanto, es importante mencionar que no se consideró la clasificación de estos materiales.

**3.2.1.2 Suelos Transportados o Depósitos de Origen Natural.** Los suelos transportados, que también se conocen como depósitos de origen natural, son suelos no consolidados que se han formado gracias al transporte y la deposición de materiales por diversos agentes atmosféricos o externos, tales como el agua, el hielo, la gravedad y el viento, entre otros (Bieniawski, 1989). Este proceso de formación implica que los materiales no están cohesionados, lo que significa que no han experimentado un proceso de compactación o litificación que los convierta en roca sólida.

Estos suelos se clasifican según el proceso y el entorno geológico en el que se formaron, lo que abarca factores como la dinámica del agua en ríos y lagos, la influencia del viento en regiones áridas, o el movimiento de masas en las laderas. Para llevar a cabo esta clasificación, se tienen en cuenta diversos aspectos fundamentales, tales como:

- Matriz del suelo: la composición general del suelo, incluyendo los minerales presentes y su distribución.
- Color: el color del suelo puede indicar su composición química y su grado de oxidación.
- Granulometría: la distribución del tamaño de las partículas del suelo, que puede variar desde arenas gruesas hasta limos finos, lo que influye en las propiedades de drenaje y retención de humedad.
- Plasticidad: la capacidad del suelo para deformarse sin romperse, lo cual es crucial para entender su comportamiento bajo carga.
- Resistencia: la capacidad del suelo para soportar esfuerzos, que es esencial para aplicaciones de ingeniería y construcción.

**3.2.1.3 Depósitos Antrópicos.** Los depósitos antrópicos son el resultado de la actividad humana, como excavación y construcción. Para caracterizarlos, es importante definir parámetros de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), según estudios sobre gestión del riesgo rural. La identificación y descripción adecuadas de estos materiales ayudan a comprender su distribución en el terreno y las variaciones de sus propiedades en diferentes profundidades y direcciones, SGC (2017)

### **3.3 Caracterización de los Elementos Geomorfológicos**

El elemento geomorfológico representa el nivel más detallado dentro de una unidad geomorfológica, definido por las características del relieve, la morfometría específica del terreno y los micro relieves que reflejan propiedades litológicas particulares, basadas en un análisis detallado Carvajal (2012).

Su objetivo principal es la identificación y caracterización de las geoformas, abordando aspectos fundamentales como la morfogénesis (origen y desarrollo de las formas del terreno), la

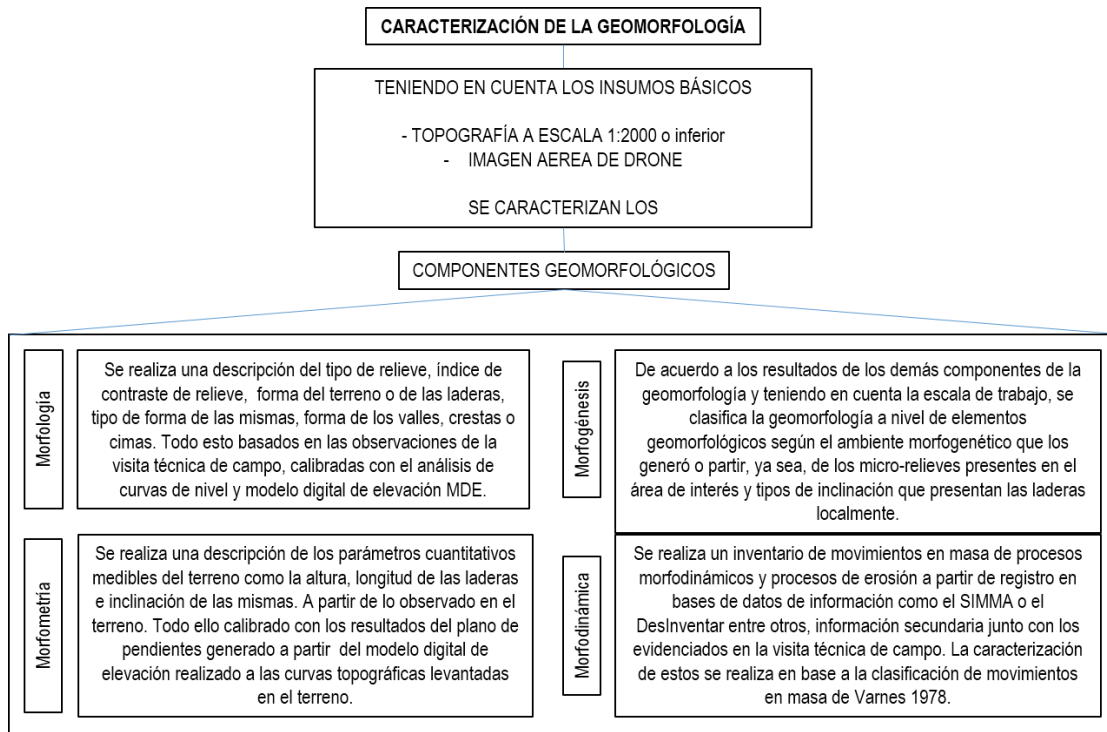
morfología (forma del relieve), la morfometría (medición de las características geométricas del relieve) y la morfodinámica (procesos de cambio en el relieve).

En esta cartografía temática, se llevó a cabo una revisión y actualización del convenio interadministrativo No. 039 de 2010, emitido por el Servicio Geológico Colombiano, que originalmente se presentó a una escala de 1:10.000. A través de este análisis, y complementándolo con un control de campo detallado a escala 1:2.000, se actualizaron las delimitaciones y los ambientes geomorfológicos, ajustándolos a la información recopilada en el campo, basándose en el mapa de subunidades geomorfológicas del suelo rural (Apéndice A. Mapa de Subunidades Geomorfológicas del suelo rural).

La caracterización y cartografía geomorfológica, en el ámbito de la ingeniería, consideraron componentes esenciales para el análisis, que incluyen: (1) morfología y morfometría; (2) morfogénesis; y (3) morfodinámica y procesos erosivos, siguiendo las directrices establecidas para estudios geomorfológicos aplicables a proyectos de ingeniería, SGC (2016). Esta información se ilustra en el esquema de la Figura 4.

**Figura 4.**

*Esquema metodológico para la caracterización y descripción geomorfológica.*



*Nota.* Basados en la guía del SGC, (2015)

### 3.3.1 Morfología

La morfología describe la forma y apariencia del relieve en un área específica. Se realizó una caracterización morfológica para documentar la configuración del terreno, incluyendo observaciones textuales y gráficas. El análisis se centró en las características y propiedades de la ubicación, forma y disposición geométrica de las estructuras del terreno en el municipio de Jordán.

Para organizar la información, se emplearon tablas comparativas que relacionaban el tipo de relieve (Tabla 3), índice de contraste (Tabla 4), y las formas de laderas, valles y cimas observadas en el área de estudio (Tabla 5). La longitud de la ladera (Tabla 6) y las descripciones se realizaron mediante observaciones de campo, complementadas con un análisis de la información en oficina, lo que permitió un análisis integral de la morfología en el área de interés, partiendo de las clasificaciones definidas por Carvajal en el 2012.

**Tabla 3.**

*Tipos de relieve*

Tipo	Altura (m)
Montañoso	>500
Colina	200 – 500
Loma	50 - 200
Montículos	0 - 50

*Nota.* Adaptado de Carvajal, (2012)

**Tabla 4.**

*Índice de contraste de relieve.*

Índice de contraste	Valor (m)
Muy bajo	<29
Bajo	30 - 74
Moderado	75 - 149
Alto	150 - 249
Muy alto	250 - 499
Extremadamente alto	>500

*Nota.* Adaptado de Carvajal, (2012)

**Tabla 5.**

*Formas de la ladera.*

Forma		Tipo
Recta		Ladera
Cóncava		
Convexa		
Irregular		
Compleja		
Artesa		Valles
Forma de V		
Forma de U		
Aguda		Crestas o cimas
Redondeada		
Convexa amplia		
Convexa plana		
Plana		
Plana disectada		

Nota. Adaptado de Carvajal, (2012)

**Tabla 6.**

*Longitud de la ladera.*

Longitud	Ladera
<15 m	Muy corta
15 - 50 m	Corta

50 - 250 m	Moderada
500 - 1000 m	Larga
250 - 500 m	Muy larga

*Nota.* Adaptado de Carvajal, (2012)

### 3.3.2 Morfometría

La morfometría se enfoca en el análisis cuantitativo de las características geométricas del terreno, evaluadas a través de mediciones de la longitud de las laderas y sus pendientes, así como de la relación geométrica y espacial entre estas Carvajal, (2012). Para describir las pendientes, se emplearon curvas de nivel levantadas en el terreno por el equipo técnico de topografía a una escala de 1:2000, las cuales permitieron construir modelos digitales de elevación (MDE). Con estos modelos se generó el plano de pendientes, clasificando las inclinaciones en ocho rangos distintos.

La representación gráfica del plano de pendientes facilita el análisis de la distribución de las inclinaciones en las laderas del área urbana. Estas mediciones fueron validadas a través de observaciones en el campo y corroboradas con el apoyo del Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que permitió realizar una caracterización precisa de las propiedades morfométricas del área analizada.

Ambos parámetros, la morfología y la morfometría, están interrelacionados con los aspectos geométricos del relieve. Se centran principalmente en los gradientes topográficos y en las formas relativas del terreno, los cuales se describen utilizando adjetivos que son a la vez descriptivos y representativos, SGC (2012).

### 3.3.3 Morfogénesis

La caracterización geomorfológica se desarrolló siguiendo la jerarquización de unidades geomorfológicas propuesta por Carvajal (2012), que establece, para estudios de cartografía

geológica básica y detallada en escalas menores a 1:5000, que el "elemento geomorfológico" representa el nivel máximo de detalle dentro de una unidad geomorfológica. Este elemento se define principalmente por las características del relieve, la morfometría detallada del terreno y los micro relieves asociados.

Se observó que en el área de estudio hay características específicas en las geoformas. Por esto, algunos elementos geomorfológicos se definieron siguiendo la metodología de la "Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa" del Servicio Geológico Colombiano (2015).

Se observa en la Tabla 7 la metodología que clasifica los elementos geomorfológicos, según su ambiente morfogenético, permitiendo que, una vez establecido el ambiente del área de estudio, se identifica y nomenclatura los elementos específicos. El sistema de nomenclatura inicia con una letra mayúscula que indica el origen de la geoforma, como morfoestructural o estructural (S), volcánico (V), denudacional (D), fluvial (F), marino-costero (M), glacial (G), eólico (E), kárstico (K), o antropogénico (A). A partir de la segunda letra, en minúscula, se especifican rasgos o procesos geomorfológicos particulares que generaron el elemento. La Tabla 7 muestra ejemplos de elementos geomorfológicos clasificados bajo este sistema.

**Tabla 7.**

*Nomenclatura de las unidades geomorfológicas*

ORIGEN	CARACTERÍSTICAS	NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA
EST		Gancho de falla	Sgf

	Estas geoformas se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre rocas y suelos, generando fracturas en el terreno	Lomo de presión	Slp (Sle)	
		Cerro estructural	Sce	
		Charco de falla (Sag Pond)	Scf	
<b>VOLCÁNICA-DENUDACIONAL</b>	Son geoformas desarrolladas por estructuras volcánicas y su actividad asociada	<b>FLUVIO-VOLCANICA</b>	Superficie de abanico	Va
			Escarpe de abanico	Vea
	a materiales arrojados por los mismos, los cuales se encuentran sometidos a procesos denudacionales de clima tropical	<b>SUBHORIZONTALES A INCLINADOS</b>	Lomo residual	Vlr (Dlr)
			Cimas anchas	Vca (Dca)
			Colina residual	Vcr (Dcr)
			Superficie plana o sub-horizontal	Vlpf (Dlp)
			Ladera suave	Vls (Dls)
			Ladera moderada	Vlm (Dlm)
			Ladera inclinada a escarpada	Vle (Dle)
<b>DENUDACIONAL</b>	Estas geoformas están relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en zonas de clima tropical; caracterizadas por	Microcuencas denudacionales	Dmc	
		Depósitos de ladera	Ddl	

	erosión, depositación y movimientos en masa	Depósitos de ladera o coluviales	Dco
<b>FLUVIAL</b>	Son geoformas derivadas de la actividad del agrietamiento y depositación de materiales finos.	Cauce o lecho actual del río	Fca
		Nivel de terraza bajo	Ftb
		Nivel de terraza medio	Ftm
		Nivel de terraza alto	Fta
		Escarpe de terraza	Fet
		Cono de deyección	Fcd
<b>ANTROPOGÉNICO</b>	Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías.	Cantera	Ac
		Llenos mixtos	Allm
		Llenos de escorrentías	Alle
		Botadero de escombros	Abe
		Terrazas y conos explanados con llenos	Atcer

	Ladera terraceda	Alt
--	------------------	-----

*Nota.* Adaptado de SGC, (2015).

### **3.3.4 Morfodinámica**

Este componente geomorfológico se centra en los procesos activos que ocurren en la actualidad o que podrían reactivarse en el futuro. Estos procesos están relacionados con la dinámica exógena, que es impulsada por agentes como el viento, el agua, el hielo y la gravedad, los cuales son responsables de la transformación de las geoformas preexistentes. (Carvajal, 2012).

La clasificación de los procesos morfodinámicos se realizó con base en la metodología propuesta por Varnes (1978), la cual se enfoca en la categorización de los movimientos en masa. Es importante destacar que, tanto durante la exploración de campo como en la revisión de fuentes bibliográficas, incluyendo el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), no se identificaron ni registraron evidencias de procesos morfodinámicos dentro del área urbana del municipio.

## **4. Resultados**

### **4.1 Exploración Geotécnica Urbana del Municipio de Jordán**

#### **4.1.1 Resultados Obtenidos a Partir del Ensayo de Perforación por el Método SPT**

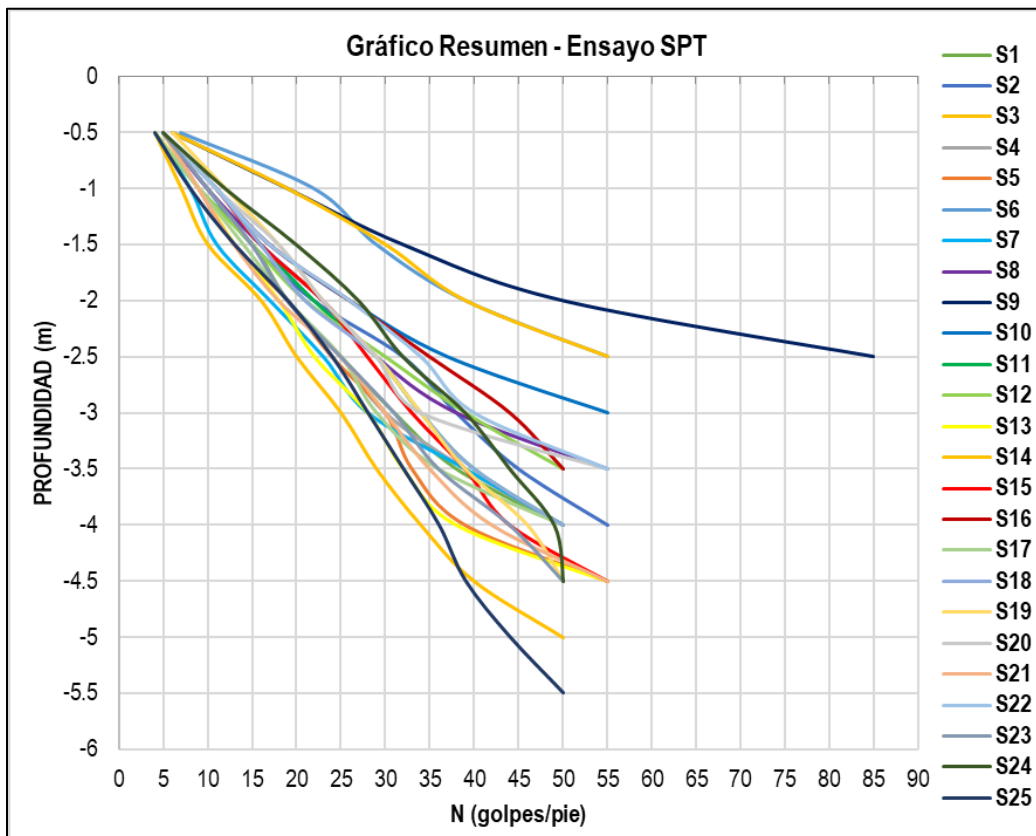
La exploración de campo realizada consistió en la dispersión de veinticinco (25) sondeos por método SPT en un rango de profundidades entre 2.50 m – 5.50 metros. El plano de ubicación de los sondes se encuentra en el Apéndice A. Vista en planta de exploración geotécnica ejecutada en el área de estudio. y la tabla de datos de los sondeos en el Apéndice B. Coordenadas exploración geotécnica.

En la Figura 5 y el Apéndice E. Análisis de los resultados en sondeos SPT, se muestran los sondeos realizados y el cálculo de N (golpes/pie), cabe resaltar que en los sondeos realizados la máxima profundidad explorada fue de 5.50 metros indicando un grado alto de resistencia al punzonamiento del suelo con buena consistencia y compacidad.

- **Síntesis de los sondeos con registros N (golpes/pie)**

**Figura 5.**

*Gráfica resumen N (golpes/pie) – ensayo SPT percusión.*



De acuerdo a los resultados de los sondeos SPT podemos destacar que en el área de estudio se presentan estratos de suelos competentes en cuanto a sus propiedades de compactación, empaquetamiento y resistencia al punzonamiento, para conocer el grado de influencia de estos factores es necesario tener en cuenta los resultados de los N los cuales deben ser superiores a los

50 golpes por pie para que sean tomados en cuenta a la hora de asentar obras sobre estos niveles. El análisis de la información de los resultados en forma de tabla se encuentra en el Apéndice E. Análisis de los resultados en sondeos SPT.

- **Niveles freáticos**

En la exploración geotécnica realizada por medio de sondeos SPT, no se evidenciaron niveles freáticos en los estratos de suelo explorados.

- **Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada (INV E-105-13)**

Este proceso se lleva a cabo con el propósito de realizar los ensayos de corte directo y clasificación de suelos, obteniendo de esta forma parámetros geotécnicos del suelo ( $C_u$ ,  $\alpha$ ,  $\Theta$ ), utilizando los resultados obtenidos para los análisis de estabilidad, capacidad de carga y asentamientos inmediatos esperados con el fin de realizar las obras de mitigación de riesgo por movimientos en masa.

Para la toma de muestras de suelo inalterada se extrajeron veinticinco (25) apiques superficiales a una profundidad de 1.50 m, esto en conjunto con los sondeos para obtener parámetros geológicos y geotécnicos sobre el área de estudio.

#### **4.1.2 Fase de Ensayos de Laboratorio**

Durante la fase de campo se extrajeron muestras alteradas e inalteradas, las cuales se empacaron en bolsas de polietileno debidamente referenciadas para su correcta identificación, con el fin de que no pierdan su humedad natural para posteriormente realizar su análisis en el laboratorio y determinar sus propiedades fundamentales.

En la fase de laboratorio se realizaron los siguientes ensayos, a partir de muestras representativas del terreno en estudio: Clasificación de suelo (tamaño de los granos), Humedad natural (contenido de agua), Límites de Atterberg (límites de consistencia) y Corte directo (ángulo

de fricción y cohesión), los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados se presentan en un resumen.

**4.1.2.1 Clasificación de Suelo (SUCS).** En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían de manera considerable. Para clasificar de manera apropiada un suelo determinado se debe conocer su distribución granulométrica. Con las muestras de los sondeos ejecutados dentro del área de análisis mediante ensayos de penetración estándar (SPT) a percusión, se realizaron los estudios de laboratorio de suelos para cada material homogéneo encontrado, este proceso es realizado con el fin de obtener el tipo de suelo empleando la clasificación unificada de suelos (SUCS) donde se corroboran las muestras encontradas en campo. En el Apéndice C. Resumen Clasificación de suelos, se muestran los resultados obtenidos.

- **Análisis geotécnicos de los resultados de clasificación de suelos**

De acuerdo a los resultados de clasificación granulométrica obtenidas sobre las áreas del estudio, utilizando la carta de plasticidad de Casagrande y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), se resalta los siguientes resultados:

El área urbana de Jordán está conformada por materiales granulares, los cuales poseen en su matriz gran proporción de arenas fina a media y gravas de fragmentos líticos angulares a subredondeados los cuales varían de tamaño, además también se hallan partículas finas de tipo limo no cohesivas y arcillas cohesivas. Estos suelos conforman la terraza aluvial donde se localiza el casco urbano.

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

De acuerdo a los valores promediados a manera general de las muestras totales de los veinticinco (25) sondeos analizados de la exploración geotécnica, correspondientes a veinticinco (25) granulometrías y se observan valores del tipo de grano así: gravas prom. 19.91%, arenas prom. 55.07% y finos prom. 25.52%; de acuerdo a los porcentajes se evidencia que la mayor acumulación de partículas está en arenas y concuerda con la clasificación asignada.

**4.1.2.2 Ensayo de Corte Directo en Condición Consolidación Drenada (CD) (INV E-154-13).** La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo (ángulo de fricción y cohesión), sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga, para identificar geotécnicamente los diferentes materiales que afloran en la zona.

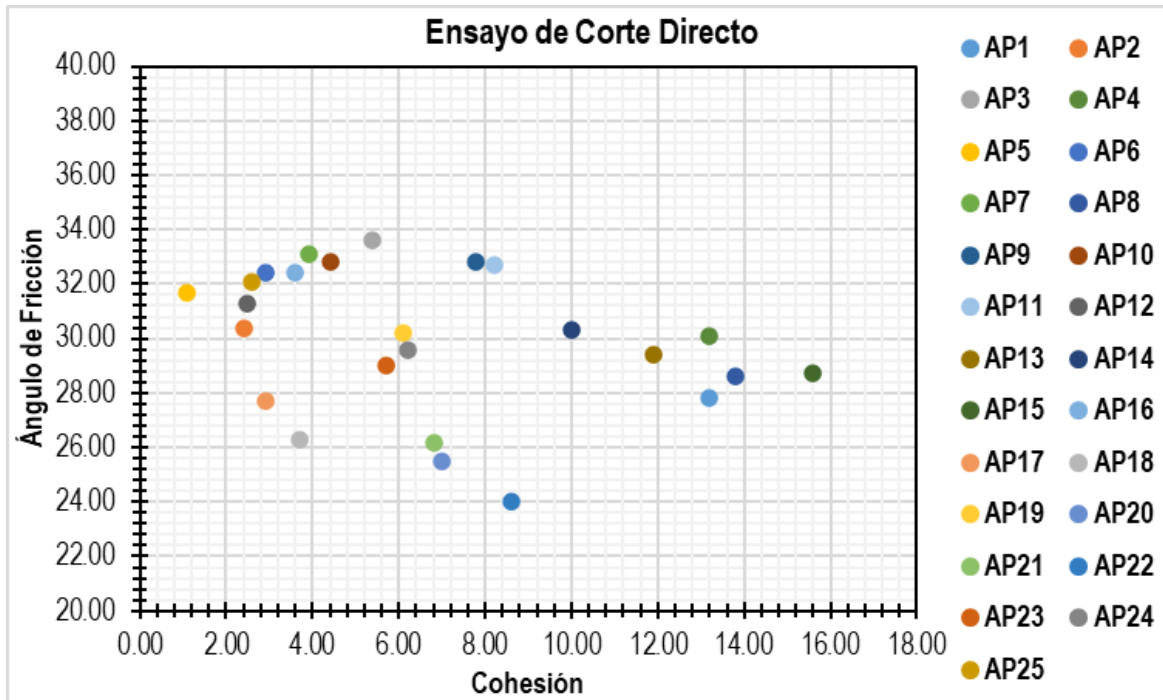
El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra colocada a velocidad controlada, donde generalmente se ensayan 3 o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento de la muestra en estudio, junto a las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

A continuación, en la Figura 6

Tabla 8, se muestran los resultados del ángulo de fricción y cohesión presentes en la zona de estudio, para una condición no consolidada no drenada de los apiques extraídos en campo.

**Figura 6.**

*Gráfica resumen resultados de corte directo.*



**Tabla 8.**

*Resumen ensayos de corte directo.*

No. APIQUE	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	PROFUNDIDA D (m)	USCS
AP1	13.20	27.80	1.50	SC
AP2	2.40	30.40	1.50	SM
AP3	5.40	33.60	1.50	SM
AP4	13.20	30.10	1.50	SC
AP5	1.10	31.70	1.50	SM
AP6	2.90	32.40	1.50	SM
AP7	3.90	33.10	1.50	SM
AP8	13.80	28.60	1.50	SC
AP9	7.80	32.80	1.50	SM
AP10	4.40	32.80	1.50	SP-SM
AP11	8.20	32.70	1.50	SM
AP12	2.50	31.30	1.50	SP-SM

AP13	11.90	29.40	1.50	SC
AP14	10.00	30.30	1.50	SC
AP15	15.60	28.70	1.50	SC
AP16	3.60	32.40	1.50	SW-SM
AP17	2.90	27.70	1.50	SM
AP18	3.70	26.30	1.50	SM
AP19	6.10	30.20	1.50	SM
AP20	7.00	25.50	1.50	SM
AP21	6.80	26.20	1.50	SM
AP22	8.60	24.00	1.50	SM
AP23	5.70	29.00	1.50	SM
AP24	6.20	29.60	1.50	SM
AP25	2.60	32.10	1.50	SM

Los resultados de corte reflejan una mayor fricción en los suelos y esto se debe a que están clasificados como arenas gravosas con bajo a mediano contenido de finos, el valor máximo registrado fue de 33.60° y mínimo de 24.00° en tanto a la fracción de granos finos correspondiendo a limos y arcillas que se halló en la matriz del suelo, la cohesión al registrar valores inferiores a la fricción con un valor máximo de 15.60 kPa y mínimo de 1.10 kPa; en conclusión, los suelos van a tener un comportamiento friccionante con baja cohesión.

#### 4.2 Caracterización del Plano de Unidades de Geología Para Ingeniería del Suelo Urbano

El área urbana del municipio de Jordán y sus alrededores se sitúa principalmente sobre depósitos aluviales de tipo terraza, resultado de procesos fluviales que han transformado las unidades litoestratigráficas presentes en la región. Partiendo del mapa de Unidades Geológicas Superficiales (Apéndice D. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales) en el cual se encuentra el área urbana del municipio como un Suelo transportado Aluvial de terrazas (Stat) y de los resultados

anteriores de la exploración geotécnica, en la zona urbana se han identificado suelos transportados de origen coluvial, así como suelos de origen antrópico, como se ilustra en la **Figura 7**.





A partir de esta caracterización, se establecieron cuatro unidades geológicas para ingeniería, las cuales se clasifican en suelos transportados y depósitos antrópicos. Dentro de los suelos transportados, se incluyen los depósitos coluviales, que son el resultado de procesos gravitacionales, y los depósitos aluviales, los cuales están asociados a procesos fluviales. En esta categoría, se destaca la unidad de Suelo transportado aluvial de terraza media (Statm), que resulta ser la más representativa en el área urbana de Jordán.

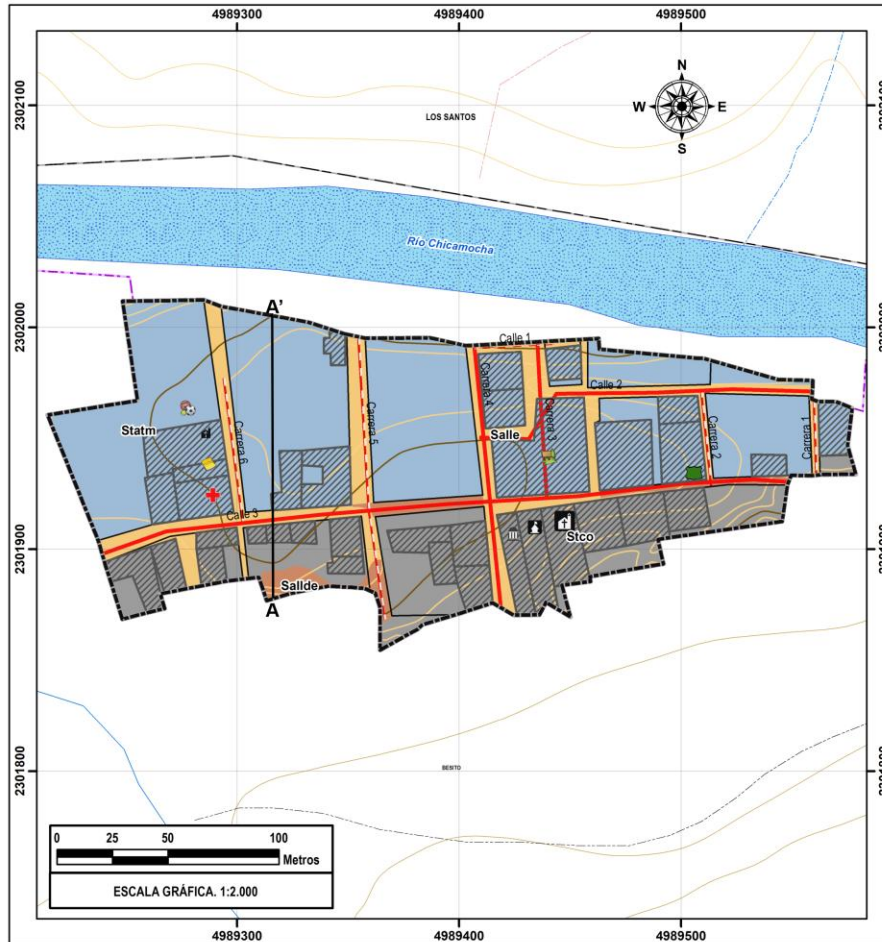
Por otra parte, se identificó la unidad de Suelo transportado coluvial (Stco), que se encuentra principalmente en la parte sur del área urbana. Esta unidad consta de materiales que han sido transportados desde las laderas inclinadas de las zonas rurales del municipio, debido a procesos gravitacionales.

En relación a los suelos de origen antrópico, se han reconocido depósitos de relleno no tecnificado que se observan localmente en la zona urbana. Estos han sido clasificados como Suelo antrópico de llenos de excavación (Salle) y Suelo antrópico de llenos y depósitos de excavación (Sallde), en función de las características específicas de cada uno de los depósitos.

**Figura 7.**

*Plano de Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) del suelo urbano de Jordán.*

LEYENDA DE UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA DEL SUELO URBANO						
ORIGEN	TIPO	DESCRIPCIÓN	COLOR	NOMENCLATURA	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
Depósito Antrópicos	Llenos	Suelo antrópico de llenos y depósitos de excavación		Salde	0.11 ha	3.13 %
		Suelo antrópico de llenos de excavación		Salle	0.53 ha	14.80 %
Suelos transportados de depósitos aluviales	Terrazas aluviales	Suelo transportado aluvial de terraza media		Statm	2.06 ha	57.33 %
Suelos transportados de depósitos de gravedad o ladera	Coluviones	Suelo transportado coluvial		Stco	0.89 ha	24.74 %
<b>SUMA TOTAL ÁREAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA</b>					<b>3.60 ha</b>	<b>100.00 %</b>



La clasificación de las unidades de geología para ingeniería se realiza a través de un sistema de acrónimos, siguiendo la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2015).

#### 4.2.1 Análisis de las Unidades de Suelo (S) definidas para el Suelo Urbano

**4.2.1.1 Unidades de Suelo Transportado (St).** En el área urbana del municipio de Jordán, se han identificado dos tipos principales de suelos transportados:

- **Suelo transportado coluvial (Stco)**

El suelo transportado coluvial se origina a partir del transporte de material debido a la acción gravitacional, este suelo se identifica en la Figura 8. Se observa en estos suelos gran variación granulométrica de los sedimentos y rocas de diversa composición.

**Figura 8.**

*Suelo transportado coluvial (Stco)*



*Nota.* Se observa material transportado de diversos tamaños, de composición ígnea y metamórfica en su mayoría, con alto contenido de materia orgánica en los sedimentos que soportan los clastos. Coordenadas: 4989373 E, 2301848 N

- **Suelo Transportado Aluvial de Terraza Media (Statm)**

Se observa en la Figura 9, el suelo transportado aluvial de terraza media es un tipo de suelo que se desarrolla en terrazas fluviales ubicadas a una altura intermedia dentro del sistema de drenaje de un río, su formación está directamente asociada a procesos aluviales, los cuales implican el transporte y depósito de sedimentos mediante la acción del agua, principalmente de un río. Este tipo de suelo está compuesto por materiales sedimentarios que incluyen arena, limo, arcilla y otros fragmentos transportados y depositados por el flujo del agua. La ubicación intermedia de estas

terrazas permite que los sedimentos presenten una distribución granulométrica particular, influenciada por la energía del sistema fluvial y los eventos de deposición a lo largo del tiempo.

**Figura 9.**

*Suelo transportado aluvial de terraza media (Statm)*



*Nota.* Se observa material transportado de diversos tamaños, de composición ígnea y metamórfica en su mayoría, con contenido de materia orgánica en los sedimentos que soportan los clastos. Coordenadas: 4989356 E, 2302027 N.

**4.2.1.2 Unidades de Suelo Antrópico (Sa).** En el área urbana del municipio de Jordán, se han identificado dos tipos de suelos antrópicos. Estos están compuestos principalmente por una mezcla de materiales derivados de residuos de construcción (escombros) y restos de excavaciones. La diferencia entre estos tipos de suelos radica en el tamaño de los granos de los materiales y la forma en que fueron dispuestos durante el proceso de depósito.

- **Suelo antrópico de llenos de excavación (Salle)**

Son suelos que se han formado por material removido y dispuesto en algunos sectores, como resultado de excavaciones realizadas durante la ejecución de labores de construcción de obras públicas y/o privadas, se observa en la Figura 10.

**Figura 10.**

*Suelo antrópico de llenos de excavación (Salle).*



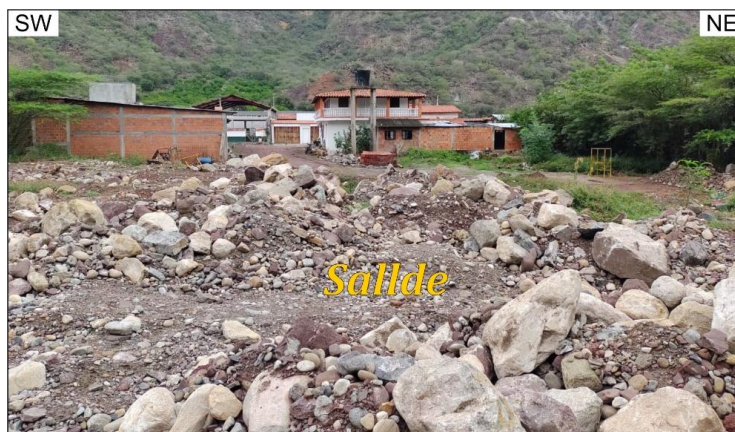
*Nota.* Se observa material transportado de manera antrópica de diversos tamaños, para uso en construcción. Coordenadas: 4989368 E, 2301874 N.

- **Suelo Antrópico de Llenos y Depósitos de Excavación (Sallde)**

Son suelos que se han formado por material removido y que, a su vez, se han acumulado en algunos sectores, formando unos depósitos conformados por una mezcla de material sedimentario y de escombros de gran tamaño, como resultado de excavaciones realizadas durante la ejecución de labores de construcción de obras públicas y/o privadas, se evidencia en la Figura 11.

**Figura 11.**

*Suelo antrópico de llenos y depósitos de excavación (Sallde)*



*Nota.* Se observa un depósito de material transportado de manera antrópica de diversos tamaños. Coordenadas: 4989289 E, 2301862 N.









#### **4.3 Caracterización del Plano de Elementos Geomorfológicos del Suelo Urbano de Jordán**

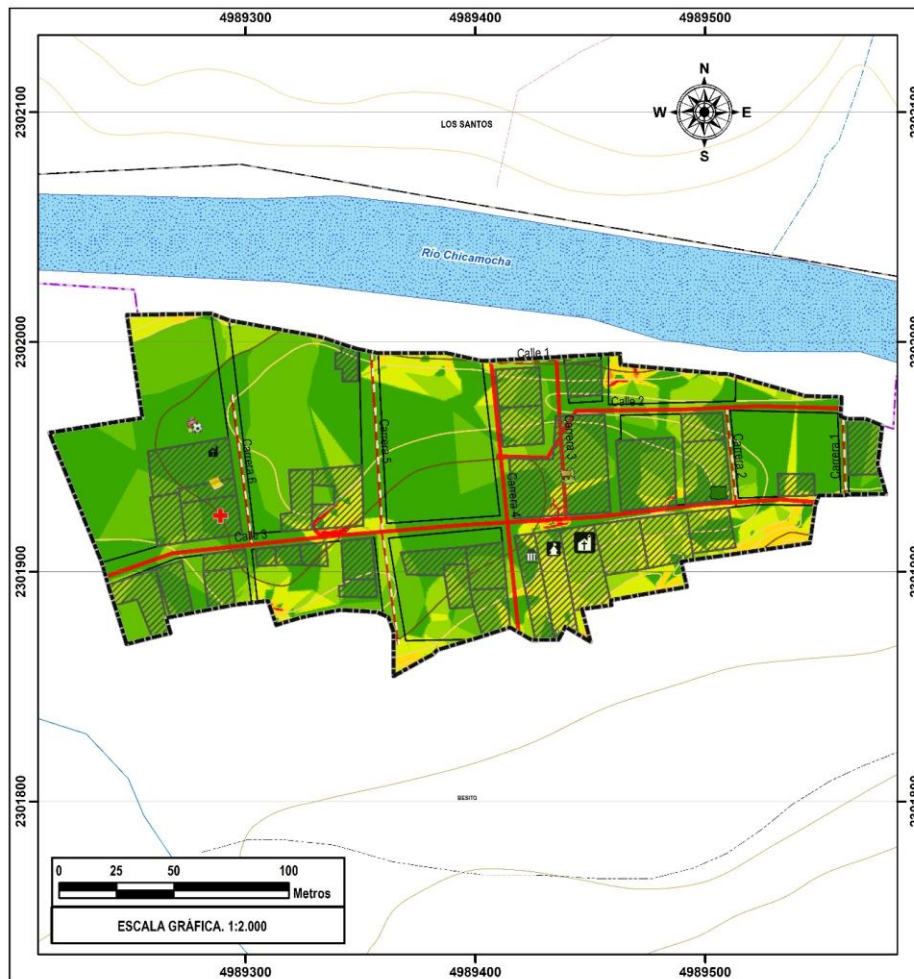
Para la definición de los elementos geomorfológicos, se elaboraron los planos correspondientes según la metodología anterior, que incluyen la nomenclatura y la leyenda asociada a cada unidad, basados en la fotointerpretación, la información recopilada en campo y el mapa de subunidades geomorfológicas del suelo rural (Apéndice B. Mapa de Subunidades Geomorfológicas del suelo rural).

En relación con la morfometría, se procesaron las curvas de nivel levantadas en la cartografía base para generar un modelo digital de elevación, para generar el plano de pendientes. Este procedimiento fue desarrollado mediante la ayuda de un Sistema de Información Geográfica, donde se identificó internamente la pendiente, a través del cálculo del gradiente o razón de cambio máximo en los valores de altura de cada una de las celdas de una superficie ráster. A continuación, en la Figura 12 se presenta el plano de pendientes en porcentaje con los respectivos rangos de inclinación asignados.

#### **Figura 12.**

*Plano de pendientes en grados del suelo urbano de Jordán.*

LEYENDA DE PENDIENTES EN GRADOS DEL SUELO URBANO					
COLOR	INCLINACIÓN (GRADOS)	DESCRIPCIÓN	ID	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
	0° - 1.72°	Ligeramente plana	1	1.68 ha	46.79 %
	1.72° - 4.00°	Ligeramente inclinada	2	0.95 ha	26.38 %
	4.00° - 6.84°	Moderadamente inclinada	3	0.54 ha	14.91 %
	6.84° - 14.04°	Inclinada	4	0.33 ha	9.20 %
	14.04° - 26.57°	Empinada	5	0.08 ha	2.24 %
	26.57° - 29.68°	Muy empinada	6	0.004 ha	0.11 %
	29.68° - 36.78°	Escarpada	7	0.005 ha	0.14%
	> 36.78°	Fuertemente escarpada	8	0.01 ha	0.23 %
<b>SUMA TOTAL DE PENDIENTES</b>				<b>3.60 ha</b>	<b>100.00 %</b>



La inclinación de las laderas está relacionada con el tipo de material que constituye la unidad morfológica, en cuanto a sus propiedades intrínsecas, así como con su respuesta a la acción

combinada de agentes erosivos. Adicionalmente, la pendiente se considera un factor clave en la ocurrencia de movimientos en masa, ya que, al aumentar la pendiente, se incrementa la probabilidad de ocurrencia de estos procesos. La clasificación de las pendientes en distintos rangos desempeña un papel fundamental para realizar una descripción cualitativa precisa de las laderas.

### **Análisis de las Pendientes en Porcentajes y Grados del Suelo Urbano**

- **Pendiente Ligeramente Plana**

Este tipo de pendiente corresponde a terrenos con inclinación entre 0% y 3%, lo que equivale a una inclinación de 0° a 1.72°. Presenta una morfología plana y se distribuye de manera regular a lo largo de todo el casco urbano del municipio de Jordán. En el plano abarca un área de 1.68 ha, lo que representa el 46.79% del suelo urbano.

- **Pendiente Ligeramente Inclinada**

Las pendientes ligeramente inclinadas tienen una inclinación entre 3% y 7%, lo que corresponde a un rango de 1.72° a 4°. Se distribuyen a lo largo del sector urbano de Jordán, cubriendo una extensión de 0.95 ha, equivalente al 26.38% del suelo urbano.

- **Pendiente Moderadamente Inclinada**

Este tipo de pendiente se encuentra en el rango de inclinación entre 7% y 12%, lo que equivale a entre 4° y 6.84°. En el plano está pendiente abarca un área de 0.54 ha, lo que equivale al 14.91% del suelo urbano.

- **Pendiente Inclinada**

Las pendientes inclinadas tienen una inclinación entre 12% y 25%, lo que corresponde a un rango de 6.84° a 14.04°. Se distribuyen a lo largo del sector urbano de Jordán, cubriendo una extensión de 0.33 ha, lo que representa el 9.20% del suelo.

- **Pendiente Empinada**

Las pendientes empinadas se encuentran en un rango de inclinación entre 25% y 50%, lo que corresponde a entre 14.04° y 26.57°. En el plano tienen un área de 0.08 ha, equivalente al 2.24%.

- **Pendiente muy Empinada**

Este tipo de pendiente corresponde a inclinaciones mayores a 50%, lo que se traduce a un rango de 26.57° a 29.68°. En el plano de pendientes estas pendientes abarcan una extensión de 0.004 ha, lo que representa el 0.11% del área urbana.

- **Pendiente Escarpada**

Las pendientes escarpadas tienen una inclinación entre 57% y 75%, lo que corresponde a un rango de 29.68° a 36.78°. Se distribuyen a lo largo del sector urbano de Jordán, cubriendo una extensión pendiente de 0.005 ha equivalente al 0.14%.

- **Pendiente Fuertemente Empinada**

Este tipo de pendiente se refiere a inclinaciones superiores al 75%, lo que equivale a pendientes mayores a 36.78°. Abarca una extensión de 0.01 ha, lo que representa el 0.23%.

Se analiza el origen de las diferentes unidades de paisaje, teniendo en cuenta las formas e inclinación de las laderas (análisis morfométrico), los procesos de tipo estructural, fluvial, denudacional y antrópico definidas en la guía del Servicio Geológico Colombiano (2017); con el fin de identificar y cartografiar las diferentes geoformas que se encuentran en el suelo urbano del municipio, se identifica en la Tabla 9 los siguientes elementos geomorfológicos.

**Tabla 9.**

*Elementos geomorfológicos suelo urbano del municipio de Jordán.*






Ambiente	Símbolo	Unidad Geomorfológica
Antropogénico	Aoi	Obras de ingeniería
	Alex	Laderas explanadas
	Alella	Laderas explanadas con llenos antrópicos
Denudacional	Dllpai	Laderas ligeramente planas a inclinadas
	Dliae	Laderas inclinadas a empinadas

Como resultado del proceso de caracterización geomorfológica a nivel de elementos geomorfológicos, se identificaron un total de cinco (5) elementos, de los cuales tres (3) tienen origen antropogénico y dos (2) tienen origen denudacional, como se evidencia en la Figura 13. Los elementos antropogénicos incluyen: obras de ingeniería (Aoi), laderas explanadas (Alex) y laderas explanadas con llenos antrópicos (Alella). Los elementos de origen denudacional comprenden: laderas ligeramente planas a inclinadas (Dllpai) y laderas inclinadas a empinadas (Dliae).

**Figura 13.**

*Plano de elementos geomorfológicos del suelo urbano de Jordán.*



LEYENDA DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DEL SUELO URBANO						
AMBIENTE	TIPO	COLOR	NOMENCLATURA	ELEMENTO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
Antropogénico	Intervención antrópica sobre el terreno		Aoi	Obras de ingeniería	1.54 ha	42.87 %
			Alella	Laderas explanadas con llenos antrópicos	0.30 ha	8.22 %
			Alex	Laderas explanadas	1.13 ha	31.27 %
Denudacional	A partir de la inclinación de ladera		Dllpai	Laderas ligeramente planas a inclinadas	0.50 ha	13.83 %
			Dliae	Laderas inclinadas a empinadas	0.14 ha	3.81 %
<b>SUMA TOTAL DE LAS AREAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS</b>					<b>3.60 ha</b>	<b>100.00 %</b>

#### 4.3.1 Elementos de Origen Denudacional

Son geoformas producto de la acción climática que degrada el terreno montañoso (in-situ), lo meteoriza y desgasta hasta producir depósitos de ladera y morfologías denudadas de expresión redondeada a relativamente suave. En esta categoría se distinguen los siguientes elementos:

- **Laderas Ligeramente Planas a Inclínadas (Dllpai)**

Las laderas naturales que presentan un rango de pendientes entre 0% y 25% son consideradas elementos geomorfológicos de moderada crítica frente a movimientos en masa. Aunque no se descarta la posibilidad de que estas áreas puedan verse afectadas por laderas más críticas en sus alrededores, generalmente presentan un relieve bajo a muy bajo, con ligera ondulación. Predominan las laderas de forma suavemente cóncava y convexa, dispuestas principalmente sobre los depósitos coluviales y aluviales que forman parte del suelo urbano, esta se ejemplifica en la Figura 14.

#### Figura 14.

*Laderas ligeramente planas a inclinadas (Dllpai).*



*Nota.* Se observa una ladera ligeramente plana de procedencia aluvial. Coordenadas: 4989563 E, 2301954 N.

- **Laderas inclinadas a empinadas (Dliae)**

Las laderas de inclinación entre el rango de pendientes inclinadas a empinadas, es decir, con inclinaciones que van del 12% al 50%, son superficies naturales del terreno que se

desarrollaron sobre suelos transportados coluviales, así como sobre suelos transportados aluviales de terraza media que presentan este tipo de pendientes. Estas laderas presentan formas irregulares (Figura 15), que pueden ser tanto cóncavas como convexas, e incluso rectas, dependiendo de las características del relieve y los procesos geomorfológicos que las han modelado.

**Figura 15.**

*Laderas inclinadas a empinadas (Dliae).*



*Nota.* Se observa una ladera inclinada a empinada, con posible intervención antrópica. Coordenadas:4989397 E, 2302003 N.

#### **4.3.2 Elementos de Origen Antrópico**

Una parte del área que conforma el casco urbano de Jordán ha sido modificada mediante explanaciones y rellenos con fines constructivos o de apertura de vías. Esta intervención altera la forma original del terreno, por lo que en el plano geomorfológico se cartografió la geoforma primaria, exceptuando los casos de rellenos y algunas laderas que han sido explanadas, ya que geotécnicamente presentan propiedades que pueden contribuir a la generación de problemas de inestabilidad. Dentro de esta categoría se distinguen los siguientes elementos de terreno.

- **Laderas Explanadas (Alex)**

Son laderas que han sido intervenidas con el fin de adecuarlas para construir viviendas, colegios, polideportivos o con fines de estabilización de laderas, mediante explanación o terraceo que disminuye la pendiente del terreno (Figura 16).

**Figura 16.**

*Laderas explanadas (Alex).*



*Nota.* Se observa una ladera explanada con bastante vegetación, con intervención antrópica. Coordenadas: 4989250 E, 2301914 N.

- **Laderas Explanadas con Llenos Antrópicos (Alella)**

Las laderas explanadas con llenos antropogénicos, como su nombre lo indica, corresponden a áreas que han sido explanadas para el desarrollo urbano, sobre las cuales se ha dispuesto material de relleno o llenos de excavación (Figura 17). Estas geoformas suelen presentar un relieve muy bajo o bajo, con pendientes que van de planas a moderadamente inclinadas.

**Figura 17.**

*Laderas explanadas con llenos antrópicos (Alella).*



*Nota.* Se observa una ladera explanada con llenos antrópicos, zona de construcción.  
 Coordenadas:4989368 E, 2301874 N.

- **Obras de ingeniería (Aoi)**

Estas geoformas corresponden a obras de ingeniería civil diseñadas para conectar poblados, caseríos y ciudades a través de la construcción de vías de acceso. Además, se utilizan para mitigar y prevenir movimientos en masa. Las obras de ingeniería también abarcan la construcción de centros educativos, deportivos y recreacionales, contribuyendo al beneficio y desarrollo de las comunidades como se observa en la Figura 18.

**Figura 18.**

*Obras de ingeniería (Aoi).*



*Nota.* Se observan las vías construidas y la Alcaldía de Jordán. Coordenadas:4989423 E, 2301919 N.

**4.4 Perfil Geológico Geotécnico**

Para la elaboración del perfil geológico-geotécnico, se llevó a cabo una correlación detallada entre los datos obtenidos de los sondeos y apiques ejecutados en campo y las unidades de geología para ingeniería previamente establecidas. Esta información se representó gráficamente en un perfil geológico-geotécnico que permite visualizar la disposición estratigráfica y las propiedades geotécnicas de las unidades en estudio. El trazo del perfil se puede observar en la Figura 7.

El análisis de los ensayos de corte directo permitió determinar los parámetros fundamentales de cohesión y ángulo de fricción (Tabla 8) asociados a cada unidad geológica. Además, se definieron los espesores aparentes de estas unidades, proporcionando una representación clara de su distribución tanto en profundidad como de manera horizontal dentro del casco urbano del municipio de Jordán. Este análisis resulta esencial para comprender las características mecánicas del terreno y su implicación en los estudios de estabilidad y diseño de infraestructura en la zona.

**Tabla 10.**

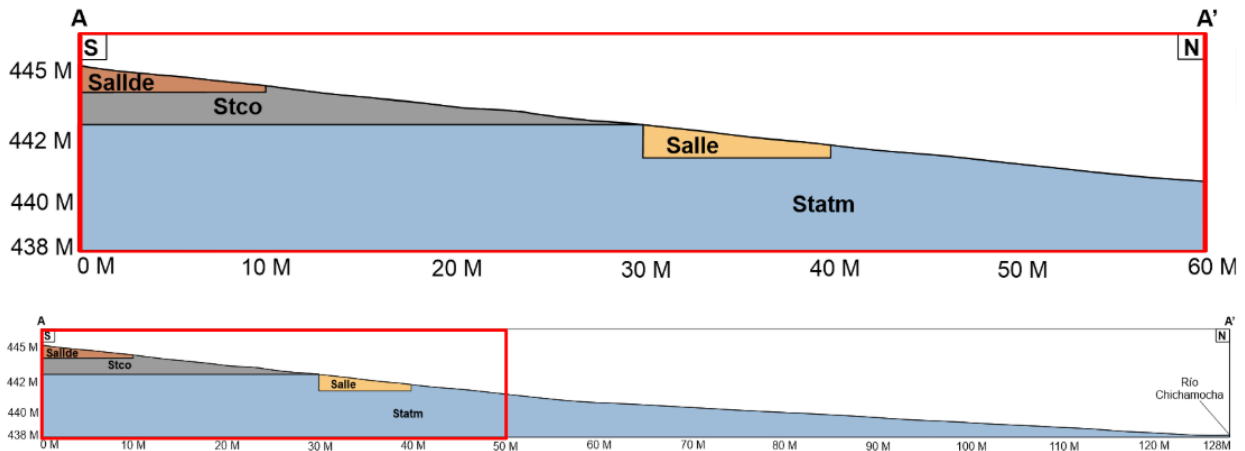
*Parámetros geotécnicos de las UGI del perfil*

PARAMETROS GEOTECNICOS DE LAS UGI DEL PERFIL				
UGI	PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	PARÁMETRO EXTRAÍDO DE LA MUESTRA
Salle	Cohesión	(kPa)	13.20	<b>EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA</b>
	Angulo de fricción	GRADOS (°)	30.10	
Sallde	Cohesión	(kPa)	2.90	

	Angulo de fricción	GRADOS (°)	32.40
<b>Stco</b>	Cohesión	(kPa)	5.40
	Angulo de fricción	GRADOS (°)	33.60
<b>Statm</b>	Cohesión	(kPa)	7.80
	Angulo de fricción	GRADOS (°)	32.80

**Figura 19.**

*Perfil Geológico-Geotécnico*



En la unidad Sallde se determina un espesor aproximado de 2 metros en cual se ubican sobre este terreno vivienda. La unidad Salle tiene un espesor aproximado de 2-3 metros sobre la cual están localizadas las vías del municipio. En cuanto a Stco, posee un espesor inferior a 4 metros sobre la cual se encuentran algunas viviendas o zonas a urbanizar. Por último, las unidades Statm tiene la mayor extensión en el área urbana, sobre esta están la mayoría de construcciones y lotes baldíos, con un espesor mayor a 6 metros.

## 5. Conclusiones

Se planteó la exploración geotécnica para realizar los ensayos de sondeos de penetración estándar (SPT) para conocer la resistencia del suelo y los espesores aparentes y apiques realizando el análisis de corte directo para encontrar valores de cohesión y ángulo de fricción para cada unidad geológica para ingeniería descrita en campo. Encontrándose que el suelo posee un comportamiento mayormente friccional debido a su procedencia coluvial y aluvial, estos suelos poseen buena resistencia debido a su buena compactación y compacidad. La clasificación del suelo se determina en su mayoría para el área urbana del municipio como arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC), arenas bien graduadas (SW) y arenas mal graduadas (SP).

En el municipio de Jordán, partiendo de las Unidades Geológicas superficiales establecidas en el Apéndice D. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales, catalogando el área urbana como Suelo transportado aluvial de terrazas (Stat), y de los resultados de los ensayos de campo en la exploración geotécnica, se establecieron las unidades geológicas para ingeniería donde predomina el suelo transportado aluvial de terraza media, que representa un 57.33% del área total, a dividir 2.06 hectáreas. Este tipo de suelo se forma a partir de procesos aluviales, influenciados por las lluvias y los períodos de crecida del río Chicamocha. Su composición incluye una variedad de granos, desde arenas finas hasta gravas y cantos, y presenta un contenido significativo de material fino como limo y arcillas. En segundo lugar, se encuentra el suelo transportado coluvial, que representa el 24.74% del municipio, con un área de 0.89 hectáreas. Este suelo se origina en depósitos coluviales que se desplazan desde las laderas montañosas hacia las zonas más bajas, donde se sitúa el área urbana. Por último, en menor proporción, están los suelos antrópicos de relleno de excavación (Salle y Salde), creados por la intervención humana para facilitar la

construcción. Estos suelos están compuestos por materiales extraídos de la unidad aluvial presente en la región.

Partiendo del mapa de subunidades geomorfológicas rural (Apéndice C. Mapa de Subunidades Geomorfológicas del suelo rural) donde se cataloga el suelo urbano como Terraza media (Ftm), se determina la geomorfología del territorio urbano a nivel de elementos geomorfológicos, donde revelan un notable predominio de características de origen antrópico, particularmente las obras de ingeniería, que incluyen construcciones y vías pavimentadas. Estos ocupan un área de 1.54 hectáreas, lo que equivale al 42.87% del territorio, convirtiéndose en la mayor ocupación dentro del área urbana del municipio. En segundo lugar, se encuentran las laderas explanadas, que son zonas preparadas para futuras edificaciones y que aún no han sido pavimentadas; estos abarcan un área de 1.13 hectáreas, representando el 31.27% del territorio. En menor medida, se observa la presencia de laderas explanadas con rellenos de excavación, creadas con el propósito de formar zonas de baja pendiente que facilitan la implantación de futuras construcciones. Por otro lado, en menor proporción, hay áreas naturales de origen denudacional, tales como laderas ligeramente planas a inclinadas y laderas inclinadas a empinadas. Estas zonas, aunque actualmente ocupan menos terreno, podrían ser objeto de intervención por parte del ser humano en el futuro.

La representación gráfica de las unidades geológicas para ingenierías en el perfil geológico geotécnico denota de acuerdo a la exploración y análisis geotécnico que la distribución de las unidades está conformada en su mayoría por un Suelo transportado aluvial de terraza media con un espesor superior a 6 metros con una cohesión de 7.80 kPa y Angulo de fricción  $32.80^\circ$ , seguida por un Suelo transportado coluvial con un espesor inferior a 4 metros con una cohesión de 4.40 kPa y ángulo de fricción  $33.60^\circ$ , un Suelo antrópico de llenos de excavación con un espesor de 2-3 metros

con una cohesión de 13.20 kPa y ángulo de fricción  $30.10^\circ$  y un Suelo antrópico de llenos y depósitos de excavación con un espesor aproximado de 2 metros con una cohesión de 2.90 kPa y un ángulo de fricción  $32.40^\circ$ .

**Referencias Bibliográficas**

- Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley.
- Carvajal, J. (2012). Propuesta de estandarización de criterios geotécnicos en estudios de riesgo. Servicio Geológico Colombiano.
- Cediel, F. (1969). Geología Colombiana. Universidad Nacional de Colombia.
- Gutiérrez, J. M., & Clavijo Torres, J. (2001). Evaluación geotécnica y estabilidad de taludes en el municipio de Jordán. INGEOMINAS.
- Hermelin, M. (1985). Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.
- INGEOMINAS. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. Servicio Geológico Colombiano.
- INGEOMINAS. (1979). Geología de las planchas 135 San Gil y 151 Charalá, departamento de Santander. Servicio Geológico Colombiano.
- INGEOMINAS. (2001). Caracterización geotécnica y evaluación de amenazas geológicas en el municipio de Jordán. Servicio Geológico Colombiano.
- Julivert, M. (1964). Estudios geológicos en la región andina de Colombia. Revista UIS, 3(2), 45-67.
- Orlando, P. G. (1979). Geología de las planchas 135 San Gil y 151 Charalá, departamento de Santander. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS).
- Pulido, C. (1979). Evaluación geotécnica de laderas en áreas urbanas. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS).

Sepúlveda, J., & Cabrera, R. (2018). Análisis geotécnico de suelos en zonas de riesgo. *Boletín de Geología*, 40(2), 150-168.

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. Servicio Geológico Colombiano.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Servicio Geológico Colombiano.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000. Servicio Geológico Colombiano.

Varnes, D. J. (1978). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*. National Academies.