

Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Perímetro Central de la Comuna
17 de Bucaramanga: perspectiva centrada en estudios básicos sobre amenaza.

Presentado por:

Juan Sebastián Torres García, Solange Trujillo Guerrero y Didier Ferney Caballero

Arturo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director:

Juan Diego Colegial Gutiérrez

Doctor en Ingeniería Geológica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2025

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Planteamiento del problema.....	11
1.1 Antecedentes	12
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.1. Objetivos específicos	16
1.3. Justificación	17
2. Marco teórico	18
2.1. Glosario de términos	18
2.2. Marco legal	24
3. Metodología	25
3.1. Definición del área de aplicación.....	28
3.2. Recolección de Información (insumos)	29
3.2.1 Trabajo de Campo.....	32
3.2.2 Trabajo en el laboratorio.....	33
3.3. Modelo Geológico Geotécnico	41
3.3.1 Modelo Conceptual del Área de Estudio	42
3.4. Alcance	43

3.4.1. Cálculo Factor de Seguridad.....	44
3.5. Zonificación de la Amenaza	47
3.6. Producto Final.....	47
4. Resultados Obtenidos.....	47
4.1. Inventario de movimientos en masa	47
4.2. Factor de seguridad (FS).....	51
4.2.1 Unidad Geológica Superficial Sf11	52
4.2.2. Unidad Geológica Superficial Sft3	53
4.3. Ensayo Humedad	55
4.4. Ensayo de Granulometría.....	55
4.5. Zonificación de la amenaza	57
5. Análisis de resultados	58
5.1. Ensayo de Granulometría.....	62
5.2. Factor de Seguridad	63
6. Discusión.....	68
7. Conclusiones	70
8. Recomendaciones	71
Referencias.....	73
Apéndices.....	77

Lista De Tablas

Tabla 1. Clasificación De La Amenaza De Un Talud Ante Un Deslizamiento. Tomado de: SGC (2015).	20
Tabla 2. Clasificación De Varnes (1978) Para Movimientos En Masa	23
Tabla 3. Normas para la organización, el ordenamiento territorial y los sistemas de gestión de riesgo.	24

Lista De Figuras

Figura 1. Proceso De Reptación. Tomado de: INGEOMINAS (2005)	23
Figura 2. Cuadro Conceptual Con La Metodología Del Proyecto.	27
Figura 3. Mapa de localización detallado de la zona de estudio.	29
Figura 4. A) Cuarteo Realizado De La Muestra De La Unidad Sfl1. B) Cuarteo Realizado Para La Muestra De La Unidad Sft3.	39
Figura 5. Máquina Tamizadora Utilizada Para El Ensayo De Granulometría.	40
Figura 6. Plano Geológico Local. Fuente: GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019).	43
Figura 7. Modelo Geológico – Geotécnico. Adaptado De: Geotecnología S.A.S. (2019).	43
Figura 8. Ejemplo De Erosión Superficial Exponiendo Los Surcos Semi Paralelos.	49
Figura 9. Ejemplo De Deslizamiento Traslacional A Pequeña Escala Hacia La Base Del Área De Estudio.	49
Figura 10. Evidencias de la respuesta de la vegetación a los movimientos lentos superficiales del terreno (Reptación), en la parte superior de la zona de estudio.	50
Figura 11. Evidencias de Deslizamiento Traslacional.	50
Figura 12. Ejemplo De Deslizamiento Traslacional A Pequeña Escala Hacia La Base Del Área De Estudio	51
Figura 13. Cálculo De Resultados Para La Unidad Sfl1.	56
Figura 14. Curva Granulométrica Unidad Sfl1 Con El Resultado De Los Coeficientes De Uniformidad Y Curvatura.	56
Figura 15. Cálculo De Resultados Para La Unidad Sft3.	57
Figura 16. Curva Granulométrica Unidad Sft3 Con El Resultado De Los Coeficientes De Uniformidad Y Curvatura.	57
Figura 17. Mapa de zonificación de la amenaza en la zona de estudio.	58

Lista de Apéndices

Apéndice A. Mapa de localización general del área de estudio.	77
Apéndice B. Mapa de localización general del área de estudio	77
Apéndice C. Mapa de uso y Cobertura de suelos del área de estudio.	78
Apéndice D. Mapa de Elementos Geomorfológicos del área de estudio.	78
Apéndice E. Mapa Unidades Geológicas Superficiales del área de estudio.	79
Apéndice F. Mapa de inventario de movimientos en masa en el área de estudio.	79
Apéndice G. Valores Geotécnicos sugeridos. Tomado de Geotecnología S.A.S.	80
Apéndice H. Perfil sondeo No. 16. tomado de Geotecnología S.A.S.	81
Apéndice I. Perfil sondeo No. 19. Tomado de Geotecnología S.A.S.	84
Apéndice J. Perfil sondeo No. 20. Tomado de Geotecnología S.A.S.	87
Apéndice K. Resultados determinación tamaño de partículas de la muestra tomada del sondeo 16. Tomado de Geotecnología S.A.S.	89
Apéndice L. Resultados determinación contenido de agua de muestra de suelo de la muestra tomada del sondeo 16. Tomado de Geotecnología S.A.S	90
Apéndice M. Resultados determinación contenido de agua de muestra de suelo de la muestra tomada del sondeo 19. Tomado de Geotecnología S.A.S.	91
Apéndice N. Resultados determinación tamaño de partículas de la muestra tomada del sondeo 19. Tomado de Geotecnología S.A.S.	92
Apéndice O. Resultados determinación contenido de agua de muestra de suelo de la muestra tomada del sondeo 20. Tomado de Geotecnología S.A.S.	93
Apéndice P. Resultados determinación tamaño de partículas de la muestra tomada del sondeo 20. Tomado de Geotecnología S.A.S.	94
Apéndice Q. Localización aproximada de los sondeos realizados. Tomado de Geotecnología S.A.S	95

Resumen

Título: Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Perímetro Central de la Comuna 17 de Bucaramanga: perspectiva centrada en estudios básicos sobre amenaza¹.

Autor: Juan Sebastián Torres García, Solange Trujillo Guerrero, Didier Ferney Caballero Arturo²

Palabras Clave: Estabilidad de laderas, movimiento en masa, zonificación de amenaza, factor de seguridad (FS), humedad del suelo, efectos sísmicos.

Descripción:

La evaluación de la estabilidad de laderas es un tema de alta importancia en la gestión del riesgo por movimientos en masa, especialmente en zonas con alta actividad sísmica, precipitaciones constantes y pendientes pronunciadas como es el caso del área de estudio ubicada en la comuna 17 de Bucaramanga, Colombia. Esta pasantía de investigación del seno del grupo GIGBA tuvo como objetivo realizar una zonificación de amenaza por movimientos en masa aplicando lo establecido en el Decreto 1807 de 2014. Se implementó el método determinístico específicamente el modelo de talud infinito junto con el método de equilibrio límite, en los cuales se tuvieron en cuenta factores como la humedad del suelo, los efectos sísmicos, la pendiente del terreno, entre otros.

Adicional a esto, se recopilaron datos de granulometría, cohesión, peso unitario y ángulo de fricción interna para las unidades geotécnicas identificadas, complementados con el análisis de la presión de poros y aceleraciones sísmicas. Los resultados revelaron que, bajo condiciones estáticas, algunas zonas presentan factores de seguridad cercanos al límite de estabilidad ($FS = 1.08$), mientras que, al incluir el efecto de los sismos, el Factor de Seguridad disminuye significativamente, llegando a valores inferiores a 1 en áreas específicas, lo cual permite plantear un escenario hipotético de una situación de alta amenaza de falla.

Los resultados resaltan la importancia de considerar múltiples factores detonantes en la evaluación de la estabilidad de taludes y la necesidad de implementar medidas de mitigación, especialmente en áreas con uso residencial cercano o en las cuales se adelante cualquier tipo de actividad humana como es el caso de esta zona.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología UIS. Director: PhD. Juan Diego Colegial Gutiérrez.

Abstract

Title: Evaluation of Mass Movement Hazard in the Central Perimeter of Commune 17 of Bucaramanga: A Perspective Focused on Basic Hazard Studies³.

Author: Juan Sebastián Torres García, Solange Trujillo Guerrero, Didier Ferney Caballero Arturo

Key Words: Mass movement, hazard zoning, safety factor (FS), soil moisture, seismic effects.

Description:

The evaluation of slope stability is a highly important topic in risk management for mass movements, especially in areas with high seismic activity, constant precipitation, and steep slopes, such as the study area located in Commune 17 of Bucaramanga, Colombia. This research internship, conducted within the GIGBA group, aimed to carry out a hazard zoning assessment for mass movements by applying the provisions of Decree 1807 of 2014. The deterministic method was implemented, specifically the infinite slope model, along with the limit equilibrium method, considering factors such as soil moisture, seismic effects, terrain slope, among others.

Additionally, data on grain size distribution, cohesion, unit weight, and internal friction angle were collected for the identified geotechnical units, complemented by the analysis of pore pressure and seismic accelerations.

The results revealed that, under static conditions, some areas exhibit safety factors close to the stability threshold ($FS = 1.08$), while, when considering the effect of earthquakes, the safety factor decreases significantly, reaching values below 1 in specific areas. This allows for the hypothetical scenario of a high-threat failure situation.

The findings highlight the importance of considering multiple triggering factors in slope stability assessment and the need to implement mitigation measures, especially in areas with nearby residential use or where any type of human activity is being carried out, as is the case in this zone.

¹ Bachelor Thesis.

² Faculty of Physicochemical Engineering, Geology School, UIS. Director: PhD. Juan Diego Colegial Gutiérrez.

Introducción

Los movimientos en masa representan una de las principales amenazas naturales en zonas montañosas y urbanizadas según datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), ya que afectan la seguridad de las comunidades y la infraestructura, generando importantes costos sociales, económicos y ambientales. En Colombia, debido a su particular geología y topografía, los deslizamientos de tierra son un fenómeno frecuente, especialmente en regiones como el departamento de Santander. Bucaramanga, en particular, se encuentra en una región geológicamente compleja y con una topografía accidentada, factores que incrementan el riesgo frente a estos eventos.

La Comuna 17 de Bucaramanga, y en especial el área de estudio seleccionada, ha sido identificada como un sector de alta amenaza como lo establece el INGEOMINAS, (2009) en su plancha de Zonificación para algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca, debido a su localización en una ladera de alta inclinación y a las condiciones geológicas del terreno, el cual está conformado por los segmentos órganos superior y segmentos finos de la formación Bucaramanga. Esta zona presenta indicios de movimientos en masa en algunas partes específicas, por lo cual, resulta fundamental realizar un estudio de la estabilidad de las laderas en este sector, con el fin de evaluar la amenaza a sufrir movimientos en masa y realizar la respectiva zonificación de esta.

El presente trabajo de grado, desarrollado en modalidad de pasantía de investigación, se fundamenta en lo establecido por el Decreto 1807 de 2014, que aborda la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial. Este estudio se elaboró siguiendo la metodología propuesta por (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2015) en su Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, la cual se fundamenta en el decreto mencionado anteriormente.

El objetivo principal de la investigación es realizar un análisis de la estabilidad de los taludes en la zona de estudio, utilizando el modelo de talud infinito y el método de equilibrio límite. Este análisis permitirá calcular el factor de seguridad de los taludes, considerando las condiciones geológicas, geotécnicas y ambientales, con un enfoque especial en el efecto de la humedad del suelo, factor clave en la susceptibilidad a deslizamientos.

La relevancia del estudio radica en que sus resultados contribuirán a la comprensión del comportamiento mecánico del terreno en el área, proporcionando información de interés para la toma de decisiones respecto a la gestión del riesgo. Además, los hallazgos podrán ser utilizados como referencia para futuros estudios en zonas de características similares.

Este trabajo de aplicación se estructura en cuatro secciones. La sección 1 presenta el marco teórico, incluyendo conceptos relacionados con los movimientos en masa, modelos de análisis de estabilidad de taludes y métodos de cálculo del factor de seguridad. La sección 2 detalla la metodología empleada, incluyendo los criterios de selección de datos, técnicas de muestreo y análisis. La sección 3 presenta los resultados obtenidos del análisis de estabilidad y su interpretación. Finalmente, la sección 4 contiene las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Con esta investigación se espera aportar al fortalecimiento del conocimiento en temas de amenaza por movimientos en masa en Bucaramanga y a la elaboración de estrategias de mitigación de riesgo en zonas urbanas vulnerables.

1. Planteamiento del problema

Colombia, se encuentra ubicada en el extremo noroccidental de América del Sur, está expuesta a niveles de precipitación que van desde altos hasta muy altos. Sumado a esto, se tiene la complejidad geológica y topográfica del país, atravesado de sur a norte por los Andes y dividido por las cordilleras: Occidental, Central y Oriental propiciando unas características morfológicas particulares en cada región del país y por ende un relieve accidentado.

Sumado a esto, Hernández, (2006) plantea que en algunas regiones del país como la región Andina, el desarrollo se ha expandido a lo largo de la cordillera, permitiendo que se establezcan asentamientos humanos en zonas no propicias para el asentamiento humano por la amenaza a deslizamientos, agudizando aún más la problemática social que por años ha afectado a diferentes comunidades en el país, retrasando su desarrollo social y económico.

Por otro lado, el departamento de Santander, donde se encuentra ubicada el área de estudio, ha sido objeto de una intervención intensiva en un 53.4% y presenta un conflicto de uso del suelo, con una sobreutilización del 42%, según Ruiz et al, (2012). A esto se suma que, según los datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) durante algunos meses lluviosos, como septiembre, la precipitación mensual promedio puede alcanzar hasta 600 mm, un índice considerable que explica la ocurrencia de múltiples movimientos en masa en la zona. Esto se debe a que la lluvia es uno de los principales detonantes de este tipo de fenómenos.

A nivel local, específicamente en la comuna 17 de Bucaramanga, se ha observado que la zona ha estado expuesta durante mucho tiempo a amenazas por erosión y movimientos en masa, debido a su ubicación rodeada de escarpes con altas pendientes, como se evidenció en las salidas de campo realizadas en el área. Esta configuración geográfica aumenta la probabilidad de deslizamientos. Además, la expansión urbana ha llevado a la ocupación de

terrenos situados en áreas propensas a movimientos en masa, lo que ha incluido la construcción de grandes edificaciones en estas zonas de riesgo.

Esta área se ubica principalmente en zonas con laderas de alta pendiente, superiores a 30°, compuestas en su mayoría por suelos residuales y suelos coluviales recientes, según se plantea en la plancha de zonificación de la amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de Bucaramanga y su zona metropolitana, elaborada por INGEOMINAS, (2009), lo cual incrementa la probabilidad de movimientos en masa, que pueden afectar a las zonas circundantes por la desestabilización del terreno.

Se ha evidenciado en zonas aledañas la presencia de flujos superficiales, caídas y reptación, así como agrietamientos que pueden asociarse con movimientos en masa, representando un peligro tanto para la población residente como para cualquier persona que transite por la zona.

En este trabajo de aplicación se propone abordar la siguiente interrogante: ¿Cuál es el nivel de amenaza por movimientos en masa que enfrenta la zona de estudio ubicada en la comuna 17 del municipio de Bucaramanga? En este contexto, se plantea la siguiente hipótesis: El área de estudio de este trabajo ubicada en la comuna 17 se encuentra en áreas identificadas o zonificadas como de amenaza alta, lo que sugiere que todas las estructuras construidas en la zona y en el borde de la escarpa están expuestas a sufrir movimientos en masa.

1.1 Antecedentes

- Para el área de estudio (Barrio Monterredondo en la comuna 17 de Bucaramanga) después de realizar una búsqueda sobre trabajos o informes realizados en la zona, se encontró un estudio realizado por parte de INGEOMINAS (2005) titulado “Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, girón y Piedecuesta” se llevó a cabo un

análisis exhaustivo de la susceptibilidad por movimientos en masa en zonas de alta pendiente dentro del área metropolitana de Bucaramanga a escala 1:5000.

Dentro de la zonificación planteada en este trabajo, se incluye una parte del área de estudio, en la cual se toma desde la parte intermedia a superior de la ladera. Allí se establece un grado de amenaza alto por la magnitud y el tipo de eventos que se pueden presentar incluyendo pérdida de vidas humanas, destrucción parcial o total de viviendas y/o obstrucción o destrucción de vías. También propone que se requiere la implementación de medidas estructurales y no estructurales para evitar el incremento de los eventos activos, las cuales se deben definir mediante estudios detallados de estabilidad realizados de manera integral incluyendo áreas aledañas con diferente nivel de amenaza.

El trabajo se fundamenta en el reconocimiento de los factores que influyen en los deslizamientos de tierra, tales como las características geológicas, geomorfológicas y climatológicas en los territorios. La identificación de estos factores permitió clasificar las áreas según los diferentes niveles de amenaza, proporcionando una herramienta valiosa para la planificación urbana y la gestión del riesgo en los municipios estudiados.

Posteriormente, INGEOMINAS (2009), como complemento al informe mencionado, continuó con la zonificación de la amenaza por movimientos en masa en otros barrios de Bucaramanga, como El Porvenir, Monterredondo, Estoraques, El Mutis, entre otros, que no habían sido estudiados en el trabajo anterior. Dentro de estos barrios, se incluye parcialmente la comuna 17, abarcando únicamente una pequeña porción de la zona superior del área de estudio.

- INGEOMINAS (2007) publicó varios mapas temáticos como parte del estudio titulado 'Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los

municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta'. Entre estos se incluyen los mapas de elementos geomorfológicos, uso y vocación del suelo, y unidades geológicas superficiales de la parte occidental de Bucaramanga. Estos mapas representaron un aporte significativo para proyectos posteriores en la ciudad y sirvieron como referencia para la elaboración de este proyecto.

- El documento titulado "Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa en un Sector de la Zona Norte de Bucaramanga, Santander" Montoya (2019) se enfoca en la identificación y clasificación de áreas vulnerables a deslizamientos de tierra en una zona específica de la ciudad de Bucaramanga. A través de un análisis detallado de los factores geológicos, geomorfológicos, climáticos y antrópicos, este estudio establece una zonificación de amenaza, permitiendo reconocer las áreas con mayor susceptibilidad a los movimientos en masa.

Este trabajo emplea una metodología que incluye estudios de campo, análisis de imágenes satelitales y modelos digitales de terreno para identificar patrones de inestabilidad en la zona norte de Bucaramanga. Los resultados proporcionan una herramienta clave para la planificación territorial y la gestión del riesgo en dicha área, ofreciendo recomendaciones para la mitigación de los posibles impactos de los deslizamientos.

El presente trabajo de grado, toma como una referencia este estudio. La metodología empleada y los resultados obtenidos en la zona norte de la ciudad ofrecen un marco de comparación valioso para el análisis de amenaza en otras áreas de Bucaramanga, particularmente en la identificación y gestión de zonas de alta amenaza aplicables en el sector de estudio del presente proyecto.

- El SGC (2015) realizó un estudio sobre la “zonificación geomecánica y de amenaza por movimientos en masa en el municipio de Popayán, Cauca” que aborda la caracterización geomecánica del terreno, identificando las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas presentes en la región, y correlacionando estos datos con la propensión a deslizamientos y otros fenómenos asociados con la inestabilidad del terreno.

El trabajo destaca por la integración de análisis geotécnicos y geomecánicos, los cuales permitieron realizar una zonificación precisa de las áreas en amenaza a movimientos en masa, basándose en la composición del subsuelo, la pendiente del terreno, las condiciones climáticas y el impacto de la actividad humana. Este tipo de estudios resulta fundamental para la toma de decisiones en cuanto a la planificación territorial, la mitigación de riesgos y la implementación de políticas de manejo de desastres.

El presente trabajo de grado encuentra en el documento sobre Popayán un referente metodológico importante. La aplicación de técnicas geomecánicas y la zonificación de áreas de amenaza y riesgo en contextos similares proporcionan un marco de comparación útil para la evaluación de amenazas locales y para el desarrollo de estrategias de mitigación basadas en evidencias sólidas a partir de estos estudios.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Realizar los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa en el perímetro central de la comuna 17 de Bucaramanga, conforme a las disposiciones establecidas en el decreto 1807 de 2014 para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

1.2.1. *Objetivos específicos*

1. Desarrollar un mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para representar espacialmente las áreas con diferentes niveles de amenaza (baja, media, alta).

2. Elaborar la cartografía temática necesaria para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el área de estudio.

3. Elaborar un documento técnico detallando la metodología empleada y los resultados obtenidos en el análisis de la amenaza.

1.3. Justificación

Según los datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, en los últimos 100 años en Colombia se han registrado más de 11.800 eventos asociados a movimientos en masa en donde cerca de 7.590 personas han perdido la vida y aproximadamente 239.740 familias se han visto afectadas. Estos eventos han sido foco de atención durante muchos años debido a que pueden tener consecuencias importantes en términos de pérdida de vidas, alteraciones en la infraestructura, entre otras.

En el caso específico de la comuna 17 de Bucaramanga, ésta es una de las más grandes de la ciudad con 15.000 habitantes según cifras de la Secretaría de Planeación Municipal establecidas en el POT 2013 – 2017, y enfrenta una amenaza significativa debido a que se encuentra rodeada por escarpes de alta pendiente conformados por materiales poco consolidados en los que se observan indicios de movimientos en masa tanto por factores antrópicos como por causas naturales, por lo cual es esencial evaluar y comprender apropiadamente la magnitud de esta amenaza para implementar medidas de mitigación adecuadas y proteger a la población y los recursos de sus habitantes a tiempo.

Según datos del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) en el inventario histórico de movimientos en masa de Bucaramanga, en los últimos 20 años se han presentado más de 20 eventos de este tipo, especialmente hacia la zona Norte (comunidades 1 y 2) y la comuna 17 de la ciudad, destacándose principalmente procesos morfodinámicos de tipo deslizamientos, caídas y reptación.

Aunque la planificación y gestión de la amenaza se sustentan en estudios avanzados, este trabajo resulta esencial para comprender los principios básicos de la amenaza y proporcionar una base sólida para la aplicación del Decreto 1807 de 2014 en futuros estudios.

De este modo, se podrán desarrollar estrategias más efectivas de prevención y respuesta por parte de la entidad responsable.

La relevancia de este proyecto radica en que, hasta la fecha, no se han realizado estudios de zonificación actualizados para evaluar la amenaza por movimientos en masa en el área seleccionada. Además, en la zona se está construyendo un conjunto residencial justo en el escarpe estudiado; por ello, resulta fundamental determinar el grado de amenaza para garantizar la seguridad de la población que habitará dicha edificación.

Al realizar los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa en esta zona, se busca establecer las zonas de amenaza, realizar su categorización y a su vez plantear recomendaciones para la elaboración de futuros proyectos con el mismo enfoque temático. Los resultados de este trabajo pueden aportar información sobre la zona de estudio y servir como una guía para la elaboración de posteriores estudios, además de ayudar en la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, promoviendo la seguridad de los habitantes y la sostenibilidad del desarrollo urbano para esta importante área de la ciudad de Bucaramanga.

2. Marco teórico

2.1. Glosario de términos

El SGC (2015) propone algunas definiciones de términos utilizados en el presente documento, las cuales se describen a continuación:

Amenaza: Las amenazas son el peligro latente a que se dé un evento causado de forma natural o por la actividad humana y alcance un determinado nivel de severidad que pueda causar algún tipo de daño a la población, desde pérdida de vidas humanas hasta la degradación de la naturaleza y medio ambiente.

Análisis de Amenaza: teniendo presente el concepto de amenaza, para realizar el análisis de ésta, el SGC (2015) propone fases principales para realizar un análisis eficiente, éstas se describen a continuación: 1) definir un modelo geológico-geotécnico, 2) plantear escenarios de amenaza y 3) zonificar la amenaza. Como resultado de estas fases y de la etapa de análisis en sí misma, al final del proceso se tendrá como resultado un mapa de zonificación de amenaza que ayudará en la toma de decisiones en un nivel básico de conocimiento, para la aplicación de las posteriores fases y la elaboración de estudios de riesgo.

Factores condicionantes: Para realizar la evaluación de amenaza por movimientos en masa se deben tener en cuenta algunos factores condicionantes, éstos comprenden geología, geomorfología de elementos geomorfológicos y cobertura y uso del suelo. La geología ayuda a identificar los tipos de rocas y suelos presentes en la zona de estudio, ya que cada tipo de roca y suelo poseen diferentes propiedades mecánicas y de estabilidad, lo que influye en la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Por su parte en cuanto a la Geomorfología, se requiere un mapa geomorfológico detallado en lo referente a elementos geomorfológicos del área de estudio, los cuales se consideran un insumo primordial para la homogeneización de las unidades con características de comportamiento geomecánico similar, junto con el mapa de geología de la zona.

El último factor condicionante es la Cobertura y uso del suelo, éste es importante para identificar las áreas más susceptibles a los movimientos en masa, ya que ciertos tipos de cobertura del suelo pueden aumentar o disminuir la estabilidad del terreno.

Factores detonantes: por otra parte, es importante tener claro los factores detonantes de la amenaza considerados para los análisis de amenaza por movimientos en masa, estos son la lluvia, los sismos y los procesos antrópicos. La lluvia puede desempeñar un papel crucial para desencadenar y aumentar la frecuencia e intensidad de los movimientos en masa al afectar

la presión de agua en el suelo, la lubricación de las superficies de deslizamiento, el aumento de la carga hidrostática, la erosión del suelo y el desencadenamiento de movimientos latentes.

Por su parte los sismos pueden tener una influencia significativa en los movimientos en masa al desencadenar deslizamientos, inducir la licuefacción del suelo, amplificar movimientos existentes, activar fallas geológicas y alterar la hidrología del área afectada.

Los procesos antrópicos es decir, aquellos causados por la actividad humana, pueden tener una influencia significativa en los movimientos en masa como lo son la deforestación que puede debilitar la estabilidad del suelo al eliminar la capa vegetal protectora, la urbanización y cambios en el uso del suelo como la construcción de carreteras, entre otros.

Criterios de clasificación de amenaza: para realizar la zonificación del área de estudio de amenaza por movimientos en masa, el SGC (2015) define la clasificación de la amenaza a deslizamiento para suelos con base en el factor de seguridad. A partir del factor de seguridad obtenido se establecen tres niveles de amenaza ante deslizamiento, clasificados como alto, medio y bajo, de acuerdo con los valores presentados seguidamente en la (tabla 1):

Tabla 1

Clasificación De La Amenaza De Un Talud Ante Un Deslizamiento. Tomado de: SGC (2015).

Nivel de amenaza	Factor de seguridad	Valor de SMR	Color en el mapa
Alta	<1,1	<40	Rojo
Media	1,1-1,5	41-60	Amarillo

Baja	>1,5	>60	Verde
------	------	-----	-------

Por su parte, INGEOMINAS (2005) define otra serie de términos, los cuales se describen a continuación:

Deslizamiento: Es un desplazamiento descendente que ocurre a lo largo de una o varias superficies de falla, las cuales pueden coincidir con superficies estructurales previas o formarse durante el movimiento. Éste a su vez se clasifica en: Deslizamiento rotacional, en el cual la superficie de rotura es curvada y cóncava, y la relación entre profundidad y longitud (D_r/L_r) varía entre 0.15 y 0.33, y Deslizamiento traslacional, en el que la superficie es plana y la relación D_r/L_r es menor a 0.1. Un deslizamiento en cuña ocurre cuando la masa se mueve sobre la intersección de dos discontinuidades estructurales.

Erosión: se tienen tres tipos de procesos de erosión:

- **Superficial**

Laminar: Se refiere a la erosión y transporte de capas superficiales del suelo debido a la acción del agua que fluye de manera difusa.

Surcos: Cuando el flujo se concentra en pequeños canales, estos se profundizan, formando surcos que suelen ser semiparalelos.

Cárcavas: Los surcos pueden profundizarse aún más, creando canales de erosión más grandes. Una cárcava se define como un canal erosionado cuya sección transversal es mayor a 1 pie cuadrado.

- **Subsuperficial**

El agua infiltrada puede moverse de forma subsuperficial y casi paralela al terreno. Si los suelos son altamente erosionables, este flujo puede causar erosión interna y formar pequeños túneles subterráneos (tubificación). Cuando el proceso continúa en materiales más resistentes, puede llevar a la creación de cavernas.

Flujo: el término "flujo" se refiere a movimientos espacialmente continuos, donde se forman varias superficies de corte temporales y cercanas entre sí, las cuales no suelen preservarse. Los flujos suelen ocurrir después de otros tipos de movimientos, como deslizamientos, caídas o volteos.

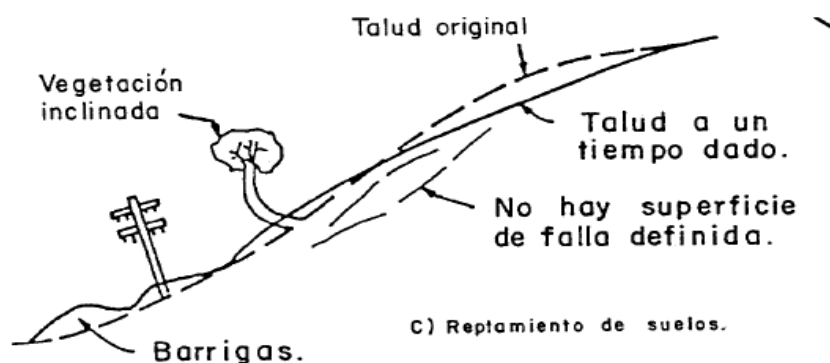
Movimiento en masa: Son aquellos movimientos ladera abajo que conlleva el desplazamiento de diferentes materiales geológicos como masas grandes de tierra, detritos, entre otros. Por otra parte, Varnes (1978) plantea una clasificación para los movimientos en masa traducida al español por el INGEOMINAS (2002), en la que se relacionan los diferentes tipos de movimientos en masa, relacionados con el tipo de material que puede verse involucrado en éstos. Esta tabla es importante para el desarrollo de este trabajo debido a que aporta una terminología general que se usará para los diferentes tipos de movimiento y materiales que se pueden encontrar en el área de estudio. A continuación, se muestra en la (tabla 2) dicha clasificación:

Tabla 2*Clasificación De Varnes (1978) Para Movimientos En Masa*

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL		
			ROCAS	SUELOS INGENIERILES	
				GRUESOS	FINOS
Caidas			Caidas de Rocas	Caida de Detritos	Caidas de Tierra
Volcamientos			Volcamiento de Rocas	Volcamiento de Detritos	Volcamiento de Tierra
Deslizamiento	Rotacional	Roca Homogenea	Hundimiento de Rocas	Hundimientos de Detritos	Hundimiento de Tierra
	Traslacional	Hetegeneidad Litológica	Deslizamiento de Bloques de Rocas	Desliz. De Bloques Desliz. De Detritos	Desliz. De bloques de Tierra. Desliz. De Tierra
Propagación Lateral			DE ROCAS	DE DETRITOS	DE TIERRAS
Flujos			Flujo de Rocas (Deep Creep)	Flujos de Detritos	Flujos de Tierras
Movimientos Complejos			Reptación		
			Combinación de dos o más tipos de Movimientos		

Adicional a esta clasificación, el INGEOMINAS (2005) basado en la misma clasificación de Varnes, define algunos procesos morfodinámicos (movimientos en masa) en un proyecto realizado en la ciudad de Cali sobre la misma temática:

Reptación: este término se refiere a movimientos de laderas que ocurren a una tasa imperceptible. Además, lo definen como un movimiento continuo con una tasa de desplazamiento inferior a un pie por década. A continuación en la figura 1, se muestra gráficamente lo anteriormente expuesto:

Figura 1*Proceso De Reptación. Tomado de: INGEOMINAS (2005)*

2.2. Marco legal

La elaboración de este proyecto se enmarca en los referentes legales y políticos expuestos en la Constitución Política Colombiana, en los que se reglamenta las normas para la organización, el ordenamiento territorial y los sistemas de gestión de riesgo (Tabla 3).

Tabla 3

Normas para la organización, el ordenamiento territorial y los sistemas de gestión de riesgo.

Ley/Decreto/Artículo	Descripción
Ley 388 de 1997	Busca garantizar que la utilización del suelo se ajuste a la función social de la propiedad, asegurando los derechos a la vivienda y servicios públicos, y protegiendo el medio ambiente. Se promueve la cooperación entre la Nación, entidades territoriales, autoridades ambientales y administrativas para mejorar la calidad de vida de los habitantes, y facilitar la ejecución de proyectos urbanos integrales coordinados a nivel municipal y nacional
Artículo 8 (Ley 388 de 1997)	Señala que la determinación es una de las acciones importantes para definir qué zonas están restringidas para el asentamiento humano por amenazas naturales
Artículo 10 (Ley 388 de 1997)	Señala los aspectos que deben tener en cuenta los municipios y distritos para la elaboración de los planes territoriales donde se priorice la conservación del medio ambiente y la prevención de amenazas y riesgos naturales.
Ley 1551 de 2012	Se dictan normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios. Plantea que se deben formular y adoptar los planes de ordenamiento territorial, reglamentando de manera específica los usos del suelo en las áreas urbanas, de expansión y rurales, de acuerdo con las leyes y teniendo en cuenta los instrumentos definidos por la UPRA para el ordenamiento y el uso eficiente del suelo rural.
Artículo 189 (Decreto 19 de 2012)	Incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial. El Gobierno Nacional reglamentará las

	condiciones y escalas de detalle teniendo en cuenta la denominación de los planes de ordenamiento territorial
Decreto 1807 de 2014	Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.
Artículo 3 (Decreto 1807 de 2014)	Da los detalles para realizar los estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Establece además que, para la revisión del contenido de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa
Artículo 6 (Decreto 1807 de 2014)	Analiza la información técnica disponible y considera: 1) recopilar y revisar datos del plan de ordenamiento territorial, estudios técnicos, cartografía y redes de monitoreo; 2) verificar la delimitación y zonificación de amenaza y/o riesgo en el municipio.
Artículo 8 (Decreto 1807 de 2014)	Se establecen las condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos por movimientos en masa. Se plantea que los estudios básicos deben tener las siguientes especificaciones mínimas: 1) Área de estudio, 2) los insumos necesarios para el estudio, 3) Alcance, 4) La zonificación y 5) Los productos a entregar
Artículo 11 (Decreto 1807 de 2014)	Establece las condiciones para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza. Estima que se deben definir y delimitar aquellas áreas vacantes dentro del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales, donde se propone llevar a cabo desarrollo en la revisión o creación de un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

Nota: Adaptado de Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia

(DAFP, 1997, 2012, 2014)

3. Metodología

La metodología para el presente estudio se fundamenta en el Decreto 1807 de 2014, que establece los lineamientos para la gestión del riesgo de desastres en Colombia, y la Guía

Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa para zonas urbanas realizada por el Servicio Geológico Colombiano - SGC (2015), como se menciona en el apartado de antecedentes del presente trabajo. Ambos documentos proporcionan directrices esenciales para el desarrollo de estudios técnicos en este ámbito, y a partir de éstos, se desarrolló el presente estudio.

- **Técnicas de recopilación de información:**

Revisión documental: Se consultaron estudios previos, mapas geológicos y cartografía de amenazas disponibles para la zona de estudio.

Trabajo de campo: Se realizaron inspecciones directas en la ladera para identificar condiciones geotécnicas, geomorfológicas y el estado actual del terreno.

- **Análisis geotécnico**

Caracterización del suelo: Se recolectó la información de ensayos hechos por terceros previamente, con el fin de determinar propiedades críticas del material, como la cohesión, el ángulo de fricción interna, el peso unitario y el contenido de humedad, adicionalmente se hicieron ensayos de humedad y granulometría para cada Unidad Geológica Superficial cartografiada en el terreno.

Cálculo del factor de seguridad: Se utilizó el modelo de talud infinito junto con el método de equilibrio límite para evaluar la estabilidad del talud, considerando condiciones de humedad actual. El modelo de talud infinito asume un talud con planos paralelos al terreno y una falla superficial de espesor uniforme. El método de equilibrio - límite calcula el factor de seguridad (FS) como la relación entre fuerzas estabilizadoras (resistencia al corte del suelo) y desestabilizadoras (peso, inclinación y agua).

- **Técnicas de análisis espacial**

Procesamiento de mapas mediante SIG: Se empleó el software QGis para elaborar los mapas de localización (Apéndices A y B) uno regional, uno intermedio y uno detallado (figura 3) que muestra únicamente el área específica de trabajo. Estos mapas proporcionan una visión clara y progresiva del contexto geográfico del proyecto, desde una escala amplia hasta una localización precisa.

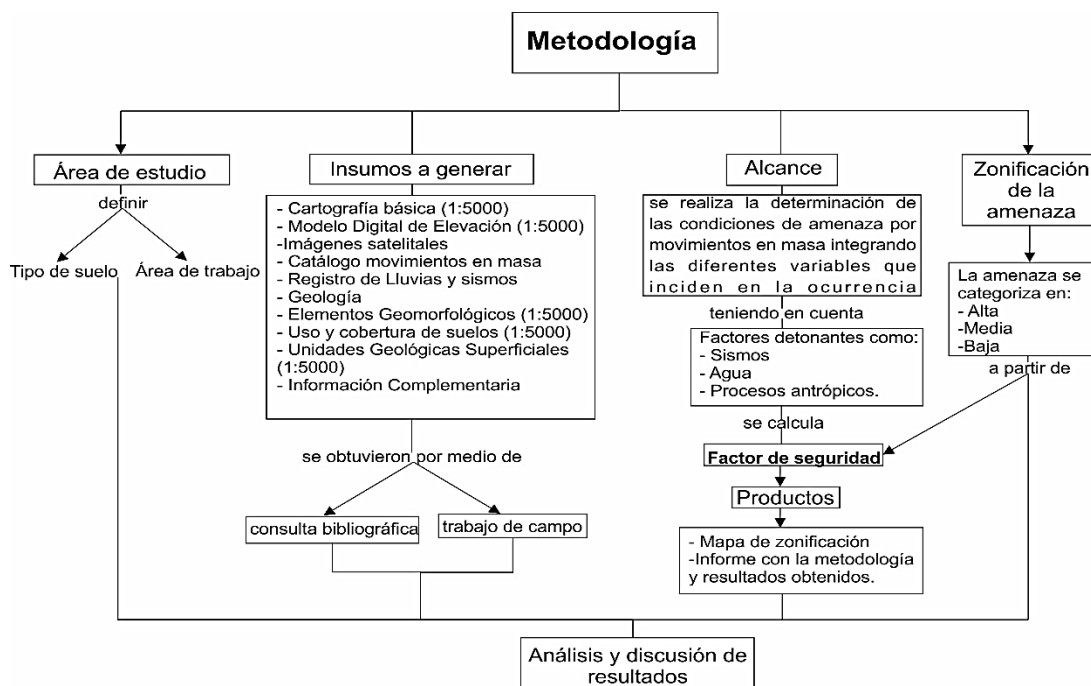
● Evaluación de la amenaza

Con base en los resultados obtenidos del factor de seguridad bajo diferentes condiciones, se identificaron y delimitaron áreas con mayor susceptibilidad a deslizamientos, permitiendo una evaluación preliminar de la amenaza para el sector estudiado.

A continuación, en la (figura 2), se presenta un esquema de la metodología implementada y posteriormente se describe con mayor detalle el paso a paso realizado en cada apartado:

Figura 2

Cuadro Conceptual Con La Metodología Del Proyecto.

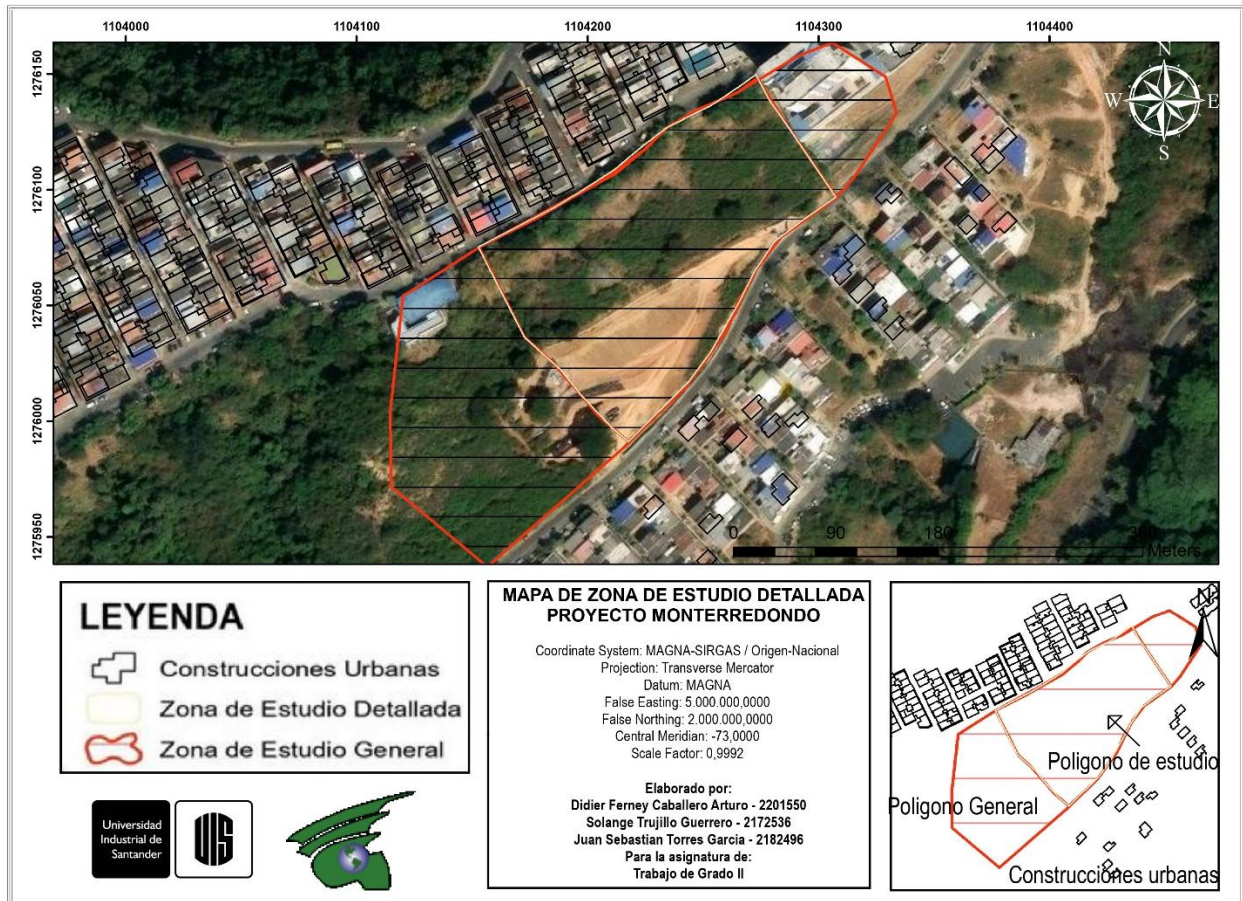


3.1. Definición del área de aplicación

- **Selección del área de estudio:** El área de interés seleccionada es una ladera en la comuna 17 de Bucaramanga (figura 3), ubicada en la entrada del barrio Monterredondo. En esta zona, se está iniciando la construcción de nuevos edificios, sobre un terreno el cual presenta un grado de inclinación significativo y está compuesto por material geológico poco consolidado, lo que ha resultado en indicios de pequeños movimientos de masa en algunas áreas, como se pudo evidenciar al recorrerla con el grupo de trabajo.

Figura 3

Mapa de localización detallado de la zona de estudio.



- **Identificación del tipo de suelo:** Para aplicar la metodología adecuada, fue necesario definir el tipo de suelo sobre el cual se encontraba el área de interés, teniendo en cuenta que para cada tipo de suelo (urbano, expansión urbana o rural) el decreto sobre el cual se basa este proyecto plantea unas directrices diferentes. Para este caso se definió según el POT 2013 – 2017 del municipio que era suelo de expansión urbana.

3.2. Recolección de Información (insumos)

Para suelos de expansión urbana que es el caso de la zona de estudio, se utilizaron los siguientes insumos ajustados a la escala requerida, que para este caso fue 1:5000:

- ❖ Cartografía Básica a escala 1:5000: Obtenida de GEOTECNOLOGÍA S.A.S., 2019.
- ❖ Modelo Digital de Elevación a escala 1:5000: A partir de las curvas de nivel obtenidas de GEOTECNOLOGÍA S.A.S., 2019., se generó el DEM a la escala mencionada.
- ❖ Imágenes de sensores remotos: Obtenidas de Google Earth, Street View.
- ❖ Catálogo de Movimientos en Masa: Obtenido del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA). Recuperado de: <https://simma.sgc.gov.co>.
- ❖ Registros de Lluvias y Sismos obtenidos de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Recuperado de: <https://www.ideam.gov.co>. y SGC & GEM (2018)
- ❖ Información Complementaria adicional obtenida de INGEOMINAS (2007)

Proceso de obtención de Insumos: Se realizó un análisis exhaustivo de la información técnica disponible. Esto incluyó, la recopilación y revisión minuciosa de la información provista en el plan de ordenamiento territorial, estudios regionales, informes técnicos, bases de datos institucionales y redes de monitoreo de amenazas existentes. A continuación, se describe el proceso realizado para la obtención de cada insumo:

Obtención de la Cartografía: Se utilizó como fuente principal la cartografía propuesta por GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019). Esta plancha se encontraba en la escala adecuada para los requerimientos del estudio, además abarcaba el área de interés. Teniendo en cuenta que no se pudo encontrar información más reciente a la escala requerida, ni tampoco fue viable

obtenerla por fotogrametría por la densa vegetación de la zona, se encontró éste como el recurso más viable para la ejecución del proyecto. Cabe resaltar que la decisión se tomó fundamentada en el hecho de que esta área está catalogada como “expansión urbana” en el Plan de Ordenamiento Territorial” más reciente del municipio, lo cual indica que no había sido intervenida años atrás y por ende sus variaciones en la topografía con el pasar de los años no ha sido significativa.

Por otra parte, se destaca el hecho de que la parte más baja de la ladera de estudio, se empezó a intervenir para la construcción de viviendas, por lo cual se debería presentar un cambio de la topografía de esta parte del área de estudio.

Modelo digital de Elevación (DEM): Para generar el DEM se implementó un método indirecto, en el cual una vez importadas las curvas de nivel en QGis, se inició el proceso de interpolación para generar el Modelo Digital de Elevación. Básicamente lo que se hizo fue transformar las curvas de nivel con intervalo de contorno de 5 metros en una superficie continua y generar un Modelo Digital de Elevación. Esta es una forma idónea para convertir datos de contorno en un DEM debido a su capacidad para preservar las características topográficas del terreno. Este procedimiento dio paso al DEM requerido en la escala adecuada.

Posteriormente se realizó el ajuste de la resolución espacial en base al tamaño de pixel requerido para la escala de trabajo (1:5000), este paso es crucial para asegurar que el DEM represente fielmente las características del terreno sin perder información relevante. Para esta escala se sugiere máximo un tamaño de pixel de 2.5 metros, y para este caso se obtuvo una resolución de 1 metros por pixel, lo cual es más que justo para los intereses y requerimientos que se tienen.

Imágenes de sensores remotos: Se obtuvieron a partir de la herramienta Google Earth específicamente con la herramienta Street View, las cuales se usaron como ayuda y complemento a las observaciones realizadas directamente en campo.

Mapas adicionales (Geomorfología, uso de suelos y UGS): Para el caso de la Geomorfología de la zona, se realizó la observación en campo en complemento con el trabajo de INGEOMINAS (2007) identificando elementos geomorfológicos según lo establece el decreto guía de este proyecto. Para el caso del mapa de uso de suelos y el de UGS, se tuvo en cuenta el mismo trabajo, adicionando los cambios observados en campo en algunas zonas.

3.2.1 Trabajo de Campo

Se realizaron tres visitas a la zona de estudio con el propósito de realizar un reconocimiento inicial del área y, posteriormente, recopilar y complementar la información necesaria para el desarrollo del proyecto. A continuación, se detallan cada una de las salidas de campo

Primera Salida: Se llevó a cabo un reconocimiento inicial de una zona más amplia que la del área de estudio, con el objetivo de identificar los aspectos generales de la geología y geomorfología presentes. Posteriormente, se enfocó el análisis en la zona específica de interés, donde se desarrolló el proyecto. Este reconocimiento fue esencial para comprender las condiciones generales que caracterizaban dicha área.

Segunda salida: En esta segunda etapa, se priorizó la recolección de información para la elaboración de los mapas de elementos geomorfológicos, unidades geológicas para ingeniería, y cobertura y uso del suelo. El propósito de esta salida fue complementar e identificar aspectos adicionales al trabajo realizado por INGEOMINAS (2005), que incluyó la

zonificación de amenaza por movimientos en masa en varias zonas de Bucaramanga y su área metropolitana, entre ellas, parte del área de estudio de este proyecto.

El objetivo principal, como se mencionó anteriormente, fue verificar y actualizar los resultados del informe, dado que este fue elaborado hace más de quince años. Cabe destacar que esta área, catalogada como de expansión urbana, permaneció sin intervención antrópica hasta los últimos años, cuando se inició un proyecto urbanístico con la construcción de edificios en la parte inferior. Por ello, no se han observado grandes cambios en términos de geomorfología, uso del suelo y unidades geológicas superficiales desde entonces.

Tercera Salida: Después de recolectar la información necesaria para los principales mapas temáticos en la segunda salida, lo que se hizo en esta visita fueron dos actividades: En la primera se identificó y documentó la presencia de deslizamientos, derrumbes, o cualquier otro tipo de movimiento en masa, con su correspondiente localización y características, esto se hizo basado en la clasificación de Varnes (1978) expuesta en el glosario de términos del presente documento, y adicionalmente se realizó un registro fotográfico de cada uno de éstos procesos morfodinámicos para mostrar como evidencia de los expuesto en el terreno.

La segunda actividad realizada fue la recolección de muestras de suelos, para posteriormente en el laboratorio identificar las propiedades requeridas para este estudio. Más adelante se detalla el proceso realizado en campo para la toma de muestras.

3.2.2 Trabajo en el laboratorio

Se realizó la toma de muestras de suelo con el objetivo de llevar a cabo ensayos de granulometría y contenido de humedad, siguiendo las normativas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM). En particular, se cumplieron los procedimientos

establecidos en la norma ASTM D422 para el análisis granulométrico y en la norma ASTM D4959 para la determinación del contenido de humedad en el suelo.

Adicional a esto, se tuvo también en cuenta la normativa y especificaciones de Instituto Nacional de Vías [INVIAS] sección 100 que es la entidad a nivel nacional que maneja el tema de geotecnia y los estudios y ensayos para suelos a nivel nacional, en la cual se especifica las recomendaciones para la recolección de muestras, el transporte de las mismas y el procedimiento a realizar en laboratorio. Este proceso garantizará que los resultados obtenidos en los análisis de granulometría y contenido de humedad sean confiables y puedan ser utilizados para la caracterización adecuada del suelo en el área de estudio.

Proceso de Toma de Muestras

Para asegurar que las muestras de suelo fueran representativas del área en estudio, se siguió el siguiente procedimiento, conforme a las normativas de muestreo de suelo expuestas anteriormente:

Ubicación y Definición de Puntos de Muestreo: Se seleccionaron diferentes puntos dentro de la zona de estudio, esto se hizo para las dos Unidades Geológicas Superficiales que tenemos dentro del área de estudio. Estos puntos fueron definidos para asegurar que las muestras representaran adecuadamente las condiciones del subsuelo.

Equipos Utilizados: Se empleó una pala para tomar la muestra que no estuviera expuesta en superficie, un recipiente para poner las muestras recolectadas y unas bolsas con cierre hermético para almacenarla y transportarla.

Extracción de Muestras: Las muestras fueron recolectadas a una profundidad de 30 cm, asegurando que se obtuviera una muestra en estado natural, conservando sus características principales. Lo que se hizo en este caso fue tomar diferentes muestras dentro de la misma Unidad Geológica Superficial con el fin de obtener información más precisa a lo largo de cada

unidad, y posteriormente se mezclaron en un recipiente para asegurar la uniformidad de la muestra de cada una de éstas y finalmente se almacenaron en bolsas herméticas con su respectiva marcación para asegurar la conservación de sus características y humedad.

Preparación de Muestras para Ensayo: Para los ensayos de granulometría, se tomó una porción representativa de cada muestra recolectada, que fue secada al aire según los procedimientos de ASTM D421. Luego, se prepararon para el análisis por tamizado.

En cuanto a los ensayos de humedad, las muestras fueron colocadas en bolsas herméticas selladas inmediatamente después de su recolección para evitar la pérdida de humedad, conforme a las indicaciones de la norma ASTM D4959.

Transporte y Almacenamiento: Las muestras fueron etiquetadas adecuadamente con la fecha, hora, y ubicación de recolección. Posteriormente, fueron transportadas al laboratorio en condiciones controladas para evitar alteraciones de sus propiedades físicas. Cabe resaltar que la toma de muestras se hizo un día antes de llevarse al laboratorio, con el objetivo de obtener la mayor precisión posible en los resultados de cada uno de los ensayos.

- **Ensayo de Humedad**

Para el cálculo de humedad de los suelos, se implementó la balanza de humedad debido a que resulta mucho más práctico a la hora de obtener el resultado de ésta. La medición de la humedad del suelo a través de una balanza de humedad es un procedimiento que implica el uso de calor controlado y pesajes exactos para determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo. Este tipo de balanzas generalmente opera bajo el principio de la disminución de masa por evaporación. A continuación, se detalla el proceso:

Proceso de preparación de la muestra

Obtención de la muestra: Se recogió una porción representativa del suelo en el campo, asegurándose de conservarla en una bolsa cerrada herméticamente para prevenir modificaciones en la humedad antes de realizar el análisis.

Preparación preliminar: Se midió un peso de entre 1 y 2 gramos de suelo en un plato de muestra que estuviera limpio y seco. En esta fase, se registró el peso inicial de la muestra de suelo húmedo, que comprende el peso de las partículas sólidas y del agua presente.

Carga de la muestra en la balanza de humedad

Ubicación de la muestra: Se sitúa el plato que contiene la muestra de suelo dentro de la balanza de humedad, la cual está equipada con una fuente de calor.

Ajuste del equipo: Se eligen los parámetros necesarios para el secado. Esto puede incluir tanto la temperatura como la duración del proceso, los cuales suelen estar preestablecidos en el dispositivo, aunque también es posible realizar ajustes manuales según el tipo de suelo o los estándares de ensayo. Para este caso se configuró la balanza en modo automático para que ella misma hiciera los ajustes de temperatura necesarios.

Temperatura común: Por lo general, la temperatura de secado oscila entre 100 y 110 °C, con el objetivo de garantizar que solo se evapore el agua libre presente en la muestra, evitando así la descomposición de materiales orgánicos o alteraciones en la estructura del suelo. En este caso la temperatura máxima observada fue de 101 grados Celsius.

Secado

Proceso de secado: Al comenzar la medición, la balanza eleva la temperatura de la muestra a un nivel predeterminado. Este calor provoca la evaporación del agua presente en el

suelo, mientras que el sistema de pesaje registra de manera continua la reducción del peso de la muestra a lo largo del tiempo.

Control automático: La balanza cuenta con sensores de masa y humedad que están en constante vigilancia del cambio de peso. El sistema detiene automáticamente el proceso cuando la disminución de peso es mínima o se mantiene constante, lo que indica que se ha eliminado toda el agua libre. De esta manera ajusta la temperatura necesaria para cada tipo de suelo.

Cálculo automático de la humedad

Cálculo: Al final del secado, la balanza calcula el porcentaje de humedad automáticamente usando la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Aquí:

Peso inicial: Masa de la muestra de suelo húmedo (antes del secado).

Peso final seco: Masa de la muestra después de que toda el agua ha sido eliminada.

Interpretación del resultado

La balanza presenta el porcentaje de humedad de forma directa en su pantalla. Este porcentaje indica la cantidad de agua presente en la muestra en comparación con su peso total previo al secado.

- **Ensayo de Granulometría**

El procedimiento se llevó a cabo mediante el método de tamizado mecánico. A continuación, se presenta una explicación detallada sobre cómo se realizó el ensayo:

Preparación de la muestra de suelo

Secado de la muestra: Debido a que las dos muestras tomadas se encontraban con un porcentaje de humedad importante, fue necesario deshidratarla en un horno a temperaturas que oscilaron entre 105 °C y 110 °C durante un período de 24 horas. Este proceso es esencial para garantizar mediciones precisas de las masas y obtener un resultado más preciso. Es importante resaltar que se tomaron 250 gramos de cada muestra para meter al horno a secar.

Pesado de la muestra: Una vez que las muestras de suelo estuvieron completamente secas, se procedió a pesar una porción específica de este utilizando una balanza de alta precisión. Este valor se denominará "peso inicial de la muestra" y resulta crucial para el posterior cálculo de los porcentajes retenidos. Además de esto, se realizó el proceso de cuarteo en el cual se depositó la muestra seca en la máquina respectiva (figura 4), y allí se dividió ésta en dos fracciones con el fin de tener la muestra con la que se trabajó y la otra porción se guardó en caso de que se obtuviera algún error y tuviera que hacerse el procedimiento de nuevo.

A continuación, se presentan los pesos obtenidos de cada muestra después del secado y del cuarteo, con los cuales se hizo el ensayo:

Unidad Sfl1: 111.08 gramos

unidad Sft3: 115.27 gramos

Figura 4

A) Cuarteo Realizado De La Muestra De La Unidad Sfl1. B) Cuarteo Realizado Para La Muestra De La Unidad Sft3.

**Disposición de los tamices**

Se organizaron los tamices siguiendo un orden, colocando el de malla más gruesa (con el número más bajo) en la parte superior y el de malla más fina (con el número más alto) en la parte inferior. La disposición de los tamices quedó de la siguiente manera:

2mm(No 10),600 μ m(No 30), 300 μ m(No 50), 212 μ m(No 70), 150 μ m(No 100), 106 μ m(No 140) y finalmente el tamiz de 75 μ m (No 200).

Preparación de la muestra en la máquina de tamizado

Se colocó la muestra de suelo seca en el tamiz superior (el que presenta mayores aberturas) asegurándose de que estuviera distribuida de manera uniforme. Después se llevó y se aseguró el conjunto de tamices mencionados anteriormente en la máquina de tamizado. Este proceso es muy importante realizarlo y revisar que los tamices queden bien ajustados en la máquina para evitar que se muevan durante su funcionamiento en el que se genera un movimiento fuerte constante para realizar el correcto tamizado.

Funcionamiento de la máquina de tamizado

Se programó el tiempo de funcionamiento de la máquina, en este caso se trabajó con una tamizadora básica (figura 5), se llevó el tiempo con un cronómetro de forma manual. Se consideraron 2 minutos por cada tamiz, por lo cual en total se tardó 14 minutos por cada muestra teniendo en cuenta que se realizó el ensayo con 7 tamices diferentes.

Figura 5

Máquina Tamizadora Utilizada Para El Ensayo De Granulometría.



Recolección y pesaje de las fracciones

Se comenzó a sacar el suelo que se acumuló en cada tamiz, empezando desde el que está en la parte superior. Este proceso se hizo con cada tamiz, procurando limpiarlo lo mejor posible para disminuir los márgenes de error en los resultados.

Posteriormente se utilizó la balanza para pesar la cantidad de suelo retenido en cada tamiz, asegurándose de limpiar los tamices con una brocha o un cepillo para recuperar todo el material como se mencionó previamente.

Cálculos

Se registraron los pesos que se retuvieron en cada tamiz, y se determinó el porcentaje retenido en cada tamiz, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ retenido en cada tamiz} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

Luego, se calculó el porcentaje acumulado retenido sumando los porcentajes de los tamices previos y se determinó el porcentaje que pasó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \text{porcentaje acumulado retenido}$$

Finalmente, se realizó el cálculo de los coeficientes de uniformidad y curvatura para determinar la gradación de las dos muestras de suelo. Para esto, se implementaron las siguientes ecuaciones:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$
$$Cc = \frac{D30^2}{D60 \times D10}$$

3.3. Modelo Geológico Geotécnico

Para definir el modelo geológico-geotécnico en un estudio básico de amenaza por movimientos en masa, basado en la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), se recolecta información previa, se realiza reconocimiento de campo para identificar

unidades geotécnicas, rasgos estructurales y evidencias de deslizamientos, se clasifican las unidades geotécnicas según su comportamiento mecánico y finalmente se integra todo en un modelo conceptual que sirve para la evaluación de la amenaza.

Éste se puede representar en un perfil geotécnico de la ladera o terreno en estudio, indicando la distribución de los materiales y sus propiedades, para prever posibles zonas de deslizamiento o deformación.

Para este proyecto, se contó con la facilidad de obtener la información directamente desde la Alcaldía de Bucaramanga, debido a que en la zona de trabajo se está llevando a cabo la construcción de viviendas, por lo cual la constructora (Mardel) que es la encargada del proyecto, como fase previa a la construcción, debió adelantar dichos estudios y presentarlos a la entidad encargada municipal, por lo cual dicha información reposaba en los bancos de información pública y se nos facilitó en el informe de GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019), con el cual se obtuvo toda la información geotécnica necesaria para el desarrollo del proyecto.

3.3.1 Modelo Conceptual del Área de Estudio

Integración de Información: Finalmente, se procedió a integrar la información geológica, geotécnica y geomorfológica en un modelo conceptual. Este modelo debe representar la disposición de los materiales, las fallas, y otras estructuras geológicas en caso de haber. A partir de este procedimiento, GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) generó un modelo bajo el cual se planteó el modelo de este trabajo adaptándolo según las condiciones actuales del terreno (figura 7).

Figura 6

Plano Geológico Local. Fuente: GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019).

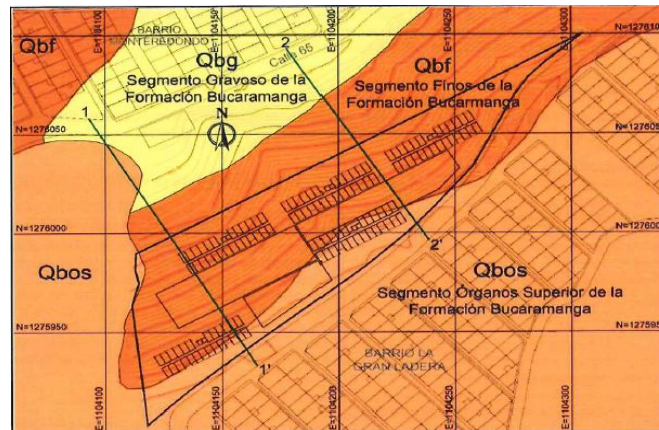
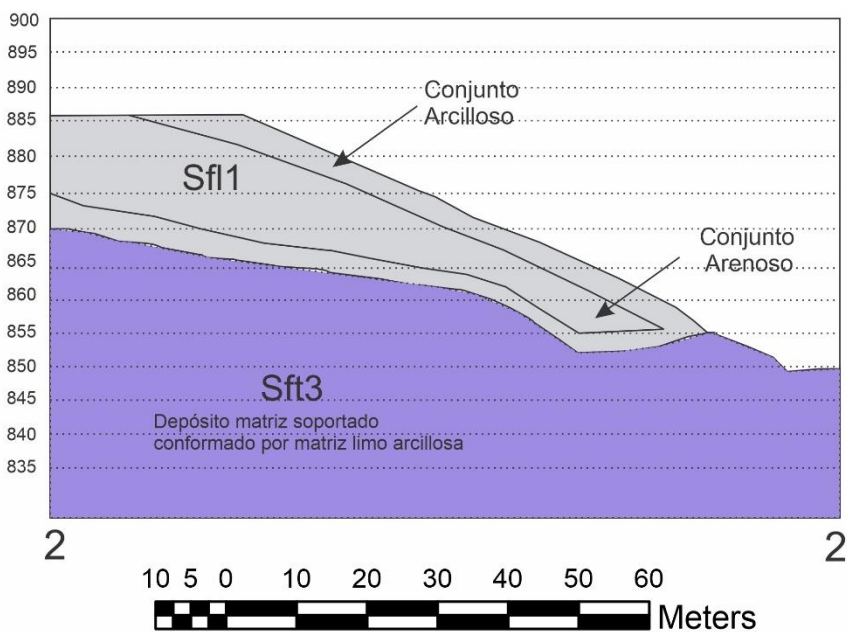


Figura 7

Modelo Geológico – Geotécnico. Adaptado De: Geotecnología S.A.S. (2019).



LEYENDA TEMÁTICA				
Origen	Características	Nom. del elemento	Descripción	
SUELOS	Según Ensayos de Laboratorio propios (2024): Humedad: 14.81% Gravas: 0.00% Arenas: 98.74% Finos: 1.25% Clasificación SUCS: Arenas mal graduadas	Suelos del miembro Finos (Formación Bucaramanga)	Sf11	Secuencia dividida en dos conjuntos: Conjunto Arcilloso, localizado hacia la base, el cual se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente. Conjunto Arenoso, localizado hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcóscicos de colores amarillento a pardo amarillento. La geometría de los niveles es tabular a lenticular, espesores que oscilan entre 5 y 40 cm, estratificación plana paralela, cruzada y ondulosa. Espesor promedio 15 m.
	Según Geotecnología SAS (2019): Humedad: 9.07% Gravas: 0.01% Arenas: 47.94% Finos: 52.15% Clasificación SUCS: Cr-Arcillas densas Arenosas	Suelo gravoso del miembro organo (Formación Bucaramanga)	Sft3	Depósito matriz soportado conformado matriz limo arcillosa de color gris claro, con tintes marrones y rojizos por alteración, altamente erodable, bloques y cantos redondeados de arenisca cuarzosa de grano fino, micácea. Se observan fragmentos de limoltas rojas alteradas, bloques de esquistos, gránulos de cuarzo, conglomerados y cuarcitas frescas. Lentes de arcillas limoarenosas que varían lateralmente a arenas gravosas, con liticos de plagioclasa, micas esporádicas y restos de materia orgánica; consistencia dura, espesor variable entre 1 y 3 m.

MODELO GEOTÉCNICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES PROYECTO MONTERREDONDO

Elaborado por:
Dieier Ferrey Caballero Arturo - 2201558
Solange Trujillo Guerrero - 2112238
Juan Sebastián Torres García - 2182496

Director del proyecto:
Juan Diego Colegial
Para la asignatura de:
Trabajo de Grado II

3.4. Alcance

En el decreto sobre el que se basa este proyecto se establece que en este apartado, se realiza la determinación de las condiciones de amenaza por movimientos en masa integrando

las diferentes variables que inciden en la ocurrencia tanto actual como futura de estos fenómenos. Se deben considerar dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general).

Para el suelo de expansión urbana se utilizará, el método de análisis determinístico adoptando el modelo de talud infinito mediante el método equilibrio – límite.

3.4.1 Cálculo Factor de Seguridad

El cálculo del factor de seguridad en un análisis de amenaza por movimientos en masa para un talud utilizando el modelo de talud infinito mediante el método de equilibrio límite implica varios pasos detallados. A continuación, se presenta el procedimiento:

Reunir Datos de Campo y de Laboratorio

Topografía: Se debe obtener la inclinación del talud (β) a partir de mediciones topográficas o información de modelos digitales de elevación (MDE). Para este caso se hizo con el mapa de pendientes generado en QGis a partir del Modelo Digital de Elevación.

Características del suelo: Se debe tomar muestras del suelo en el área y lleva a cabo ensayos en el laboratorio para establecer:

- Cohesión (c) del suelo (en kPa o kg/cm^2).
- Ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo (en grados).
- Peso específico (γ) del suelo (en kN/m^3 o kg/m^3).

Condiciones hídricas: Se debe evaluar el nivel freático y el grado de saturación del suelo, ya que la presencia de agua disminuye la resistencia al corte y repercute en los cálculos.

Adoptar el Modelo de Talud Infinito

Este modelo para análisis de estabilidad de taludes se implementó de acuerdo a lo establecido en el decreto 1807 de 2014 y la Guía metodológica del SGC (2015). Este modelo se utiliza en taludes que son extensos y poco profundos, donde el plano de falla se ubica en paralelo a la superficie del terreno. Las premisas del modelo son las siguientes:

- El deslizamiento ocurre a lo largo de una superficie de corte que es paralela a la cara del talud.

- El grosor del suelo se mantiene uniforme a lo largo de toda la pendiente.

- No hay fuerzas externas ni estructuras que modifiquen el equilibrio.

La Alcaldía de Medellín (2016) en un informe sobre gestión del riesgo, además plantea que el método del talud infinito supone que cualquier tamaño de la columna de suelo es representativo de todo el largo del talud con una capa delgada de suelo. Adicionalmente, el método supone un suelo isotrópico y homogéneo.

Calcular el Factor de Seguridad (FS) con el Método de Equilibrio Límite

El factor de seguridad (FS) se define como la relación entre las fuerzas que resisten el deslizamiento y las fuerzas que lo inducen. Para un talud infinito y condiciones de equilibrio límite, se calcula mediante una ecuación base (ecuación 1), a la cual se le pueden añadir otro factor como por ejemplo los sismos, además se pueden combinar estos dos últimos para crear un escenario mucho más crítico (ecuación 2), ya que la intención de este proyecto es probar diferentes escenarios posibles para ver el grado de amenaza que se podría tener en cada uno de éstos. A continuación, se presentan las ecuaciones adaptadas de Duncan & Wright (2014):

Ecuación 1:

$$FS = \frac{c + [(\gamma \cdot z \cdot \cos^2\beta - u) \cdot \tan\phi]}{\gamma \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta}$$

Donde:

c: Cohesión del suelo (kPa).

γ : Peso unitario del suelo (kN/m³).

z: Espesor del suelo por encima de la superficie de falla (en m).

β : Ángulo de la pendiente del talud (en grados).

ϕ : Ángulo de fricción interna del suelo (en grados).

u=Presión de poros = $y_{\text{agua}} \cdot z \cdot S$

- y_{agua} : Peso unitario del agua, generalmente 9.81 kN/m³.
- S: Grado de saturación, que depende del contenido de humedad del suelo. S tiene un valor entre 0 (suelo seco) y 1 (completamente saturado).

Ecuación 2:

$$FS = \frac{c + (\gamma \cdot z \cdot \cos^2\beta - u) \cdot \tan\phi}{\gamma \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta + (k_h \cdot \gamma \cdot z \cdot \cos\beta)}$$

Donde:

k_h : Es el coeficiente sísmico horizontal, que generalmente se estima en función de la aceleración máxima del sismo en la zona de estudio (es decir, un porcentaje de la aceleración de gravedad g).

Los demás términos son los mismos de la ecuación 1.

3.5. Zonificación de la Amenaza

Después de realizar los pasos anteriores, lo último es relacionar toda la información obtenida tanto en campo como de fuentes externas sobre el área de trabajo, y a partir de ésta junto con los Factores de Seguridad calculados generar un análisis general en la que se relacionen diferentes aspectos involucrados en la ocurrencia de los movimientos en masa y además, realizar un mapa de amenaza en el que clasifiquen las zonas del área en alta, media o baja amenaza según corresponda.

3.6. Producto Final

Según los requerimientos del Decreto 1807 de 2014 se creará un mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el cual la leyenda incluirá la descripción de las características físicas de las unidades según la categoría establecida, los tipos de procesos predominantes y los posibles daños que se pueden generar. Adicional a esto, al final de este documento, se presentan los resultados obtenidos de los procedimientos realizados mencionados anteriormente.

4. Resultados Obtenidos

4.1. Inventario de movimientos en masa

Para llevar a cabo este proyecto de zonificación de amenaza por movimientos en masa, fue necesario obtener un inventario detallado de los eventos de movimientos en masa registrados en la zona de estudio. Los pasos seguidos para la obtención de estos datos se detallan a continuación:

1) Revisión de fuentes secundarias: Se consultaron bases de datos públicas y privadas que contienen registros históricos de deslizamientos y movimientos en masa en Bucaramanga. La fuente utilizada para la consulta de dicha información fue el Servicio Geológico Colombiano (SGC) - SIMMA como lo sugiere el SGC, allí se puede encontrar registros de la ocurrencia de estos eventos con información acerca de la ubicación, magnitud, y fecha de ocurrencia de eventos anteriores.

A partir de esta revisión, se pudo constatar que no hay registro de movimientos en masa en la zona específica de estudio, sin embargo, en barrios aledaños si se han presentado algunos de éstos como es el caso del barrio Mutis que pertenece a la misma comuna del Barrio Monterredondo en el que se encuentra el área de estudio de este proyecto.

2) Análisis de imágenes satelitales: Se obtuvieron imágenes, las cuales permitieron identificar áreas afectadas por deslizamientos y otros tipos de movimientos en masa.

3) Trabajo de campo: Se realizaron visitas técnicas a la zona de estudio para validar y complementar los registros obtenidos. Durante estas visitas, se llevaron a cabo inspecciones visuales de las áreas afectadas, se georreferenciaron algunos puntos mediante el uso de equipos GPS, y se realizaron entrevistas con los habitantes del sector para identificar eventos no reportados en los registros oficiales.

Los habitantes a los que se les consultó concordaron todos en que hasta la fecha no se ha presentado en el área específica de estudio eventos significativos que puedan llegar a causar alguna afectación a la población, pero por acción antrópica como arrojado de desechos o épocas de lluvias fuertes han visto hacia los extremos que son las zonas en las que se tiene fácil acceso, el “debilitamiento del terreno” como lo indican.

A continuación, se muestra el registro fotográfico con la especificación de los tipos de movimientos en masa encontrados en la zona, y adicional esto se construyó el mapa con los

procesos morfodinámicos presentes en la zona (Apéndice F). En la zona se identificaron los siguientes procesos morfodinámicos: Erosión superficial (figura 8), deslizamientos traslacionales (figuras 9,11 y 12) y reptación (figura 10). A continuación, se muestra un registro fotográfico de cada uno de estos movimientos en masa:

Figura 8

Ejemplo De Erosión Superficial Exponiendo Los Surcos Semi Paralelos.



Figura 9

Ejemplo De Deslizamiento Traslacional A Pequeña Escala Hacia La Base Del Área De Estudio.



Figura 10

Evidencias de la respuesta de la vegetación a los movimientos lentos superficiales del terreno (Reptación), en la parte superior de la zona de estudio.

**Figura 11**

Evidencias de Deslizamiento Traslacional.



Figura 12

Ejemplo De Deslizamiento Traslacional A Pequeña Escala Hacia La Base Del Área De Estudio

**4.2. Factor de seguridad (FS)**

Para el cálculo de del FS para cada unidad definida, se hizo bajo los valores establecidos y sugeridos por GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) (Apéndice G) y las ecuaciones presentadas en el apartado 5.4.1 del presente documento en conjunto con datos propios de humedad calculados a partir de las muestras recolectadas en campo y los ensayos de laboratorio (Ensayos de Resistencia al corte). Estos últimos fue la compañía quien realizó los ensayos geotécnicos en la zona previos a la construcción del proyecto de vivienda que se adelanta en el área. Adicional a esto, se modificaron los valores de inclinación del terreno y se agregaron valores de sismos con el fin de analizar diferentes escenarios probables.

Es importante mencionar que, en el apéndice mencionado anteriormente, en el cual se presenta la información requerida para calcular el FS, le dan un nombre diferente a las Unidades Geológicas Superficiales, la unidad nombrada como Qbf corresponde a la unidad Sfl1 según la

nomenclatura de INGEOMINAS (2007) utilizada en este trabajo, y la unidad nombrada como Qbos corresponde a la unidad Sft3.

4.2.1 Unidad Geológica Superficial Sfl1

6.2.1.1. En este primer escenario se utilizó la *ecuación 1*, se tuvo en cuenta el factor agua que es uno de los detonantes de movimientos en masa de acuerdo a lo que la guía de del SGC (2015) plantea. En este caso se tomaron los valores de humedad del suelo obtenidos a partir del ensayo de humedad realizado en el laboratorio. Es importante mencionar que las muestras se tomaron en días lluviosos por lo cual el suelo se encontraba bastante húmedo, lo que permite recrear un escenario de mayor probabilidad a sufrir movimientos en masa.

El porcentaje de humedad con el que se calculó el FS fue de 14.81% o equivalente en la ecuación a 0.1481, adicional a esto, se consideró el ángulo de pendiente más alto y predominante en esta unidad que es de 30.5° y un espesor de suelo por encima de la superficie de falla de 5 metros (se tomó el mismo valor para todos los escenarios) teniendo en cuenta los cambios de granulometría en los suelos según el perfil generado a partir de los sondeos presentados en los (apéndices H, I y J); esto se explica porque las variaciones en el tamaño y la distribución de partículas afectan su cohesión y resistencia, para este caso, en los perfiles de los sondeos 16, 19 y 20 que son los que se encuentran dentro del área de trabajo, se observa un cambio de partículas tamaño arenas finas a gravas. Los demás valores se tomaron los sugeridos en el (apéndice G).

6.2.1.2. En el segundo escenario se toman los mismos valores del primer escenario y la misma ecuación, pero a diferencia de éste, se cambia el valor de la pendiente del terreno, teniendo en cuenta que, hacia la zona del límite superior de ésta, se tienen valores de inclinación mucho menores. Se tomó como valor promedio una pendiente de 15.4°.

6.2.1.3. En este último escenario se implementó la *ecuación 2*, lo que se buscó fue recrear el escenario más crítico posible basado en la información obtenida tanto en campo como de fuentes externas. Lo que hizo fue acoplar los escenarios anteriormente expuestos en uno solo, involucrando la variable de humedad del suelo y la de sismos, y aunque es una posibilidad extremista, lo que se busca con esto es recrear dicha situación con el fin de conocer que factor de seguridad se obtendría y tener claro la amenaza que dicha situación representaría en el área de estudio. Se tomaron los valores de la situación 6.2.1.1 adicionando el coeficiente sísmico horizontal (k_h).

Para el análisis de amenaza por movimientos en masa y de estabilidad de taludes con efectos sísmicos, el k_h que se utiliza depende del nivel de amenaza sísmica en el área de estudio y de la normativa o los estándares aplicables en la región de estudio. Para el caso de Bucaramanga, ésta se encuentra categorizada como una región con Sismicidad moderada a alta, por lo cual el SGC & GEM (2018) en su informe del modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia, plantean los valores de aceleración horizontal máxima esperada para cada región del país, con un tiempo de exposición de 50 años, una probabilidad de excedencia de 0.1y la corrección por incertidumbre del 90%.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se tomó el valor más alto esperado para Bucaramanga que según ese estudio es de 0.25.

4.2.2. Unidad Geológica Superficial Sft3

6.2.2.1. En este primer escenario se utilizó la *ecuación 1*, considerando los valores correspondientes a esta Unidad Geológica Superficial propuestos en el (Apéndice G), además se consideró el ángulo de pendiente más alto y predominante en esta unidad que es de

26.7°, un espesor de suelo por encima de la superficie de falla de 5 metros y se tomaron los valores de humedad del suelo obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio. El porcentaje de humedad con el que se calculó el FS fue de 8.49% equivalente en la ecuación a 0.0849.

6.2.2.2. En el segundo escenario se toman los mismos valores del primer escenario y la misma ecuación, pero a diferencia de éste, se cambia el valor de la pendiente del terreno, teniendo en cuenta que, hacia la zona inferior de ésta, se tienen valores de inclinación del terreno menores. Se tomó como valor promedio una pendiente de 18.8°.

6.2.2.3. Para este tercer escenario se implementó la *ecuación 2* y adicional a esto, los mismos valores del escenario 6.2.2.1. Lo que se busca con éste, es observar la afectación en el FS de los sismos junto con la humedad del suelo, de la misma manera como se hizo en el escenario 6.2.1.3, pero en este caso para la Unidad Geológica Superficial Sft3.

Como se mencionó y mostró anteriormente, se realizaron variaciones en los valores de entrada para obtener una estimación del Factor de Seguridad (FS) con el fin de recrear posibles escenarios. Lo que se hizo fue recrear un escenario con las condiciones actuales del terreno en el que se incluye la humedad medida del suelo, realizando variaciones en la inclinación del terreno teniendo en cuenta los cambios de pendiente en cada Unidad Geológica Superficial alrededor del área de estudio, posteriormente éstas condiciones se unieron con el factor sismos para ver el comportamiento del FS bajo la acción de los dos detonantes principales de movimientos en masa (agua y sismos).

Este proceso permitió obtener un cálculo básico y preliminar del FS en el talud de interés para realizar la zonificación de amenaza, útil como base para posteriores análisis y recomendaciones para futuros proyectos, las cuales se darán más adelante.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los casos planteados anteriormente:

UGS Sfl1

6.2.1.1. $FS = 1.08$

6.2.1.2. $FS = 2.29$

6.2.1.3. $FS = 0.72$

UGS Sft3

6.2.2.1. $FS = 1.70$

6.2.2.2. $FS = 2.49$

6.2.2.3. $FS = 1.09$

4.3. Ensayo Humedad

A partir del proceso descrito en el apartado de metodología del presente documento, se obtuvieron los siguientes resultados de humedad para las dos Unidades Geológicas Superficiales que se tienen en el área de estudio:

UGS Sfl1: Humedad (%) = 14.81

UGS Sft3: Humedad (%) = 8.49

4.4. Ensayo de Granulometría

Después de obtener la granulometría de las muestras de suelo, se creó una curva granulométrica para cada unidad (figuras 14 y 16), la cual es una representación gráfica del porcentaje que pasa en función del tamaño de las partículas. Esta curva permitió

clasificar el suelo de acuerdo a su granulometría (arena, limo, arcilla, etc.) y a evaluar la distribución del tamaño de partículas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

UGS Sfl1: %Gravas =0%, %Arenas =98.74, % Finos = 1.26%

Figura 13

Cálculo De Resultados Para La Unidad Sfl1.

Unidad Sfl1			
Tamiz	Masa retenida (g)	% retenido	%pasa
2mm(No 10)	39,86	35,96	64,04
600µm(No 30)	36,51	32,93	31,11
300µm(No 50)	17,91	16,16	14,96
212µm(No 70)	6,64	5,96	4,96
150µm(No 100)	4,44	4,01	4,96
106µm(No 140)	2,68	2,42	2,54
75µm (No 200)	1,42	1,28	1,26
Fondo	1,40	1,26	0,00
TOTAL	110,86	100	
Peso inicial (g)	111,08		
Masa error	0,22		
% error	0,20		

% Gravas	0,00
%Arenas	98,74
%Finos	1,26

Figura 14

Curva Granulométrica Unidad Sfl1 Con El Resultado De Los Coeficientes De Uniformidad Y Curvatura.

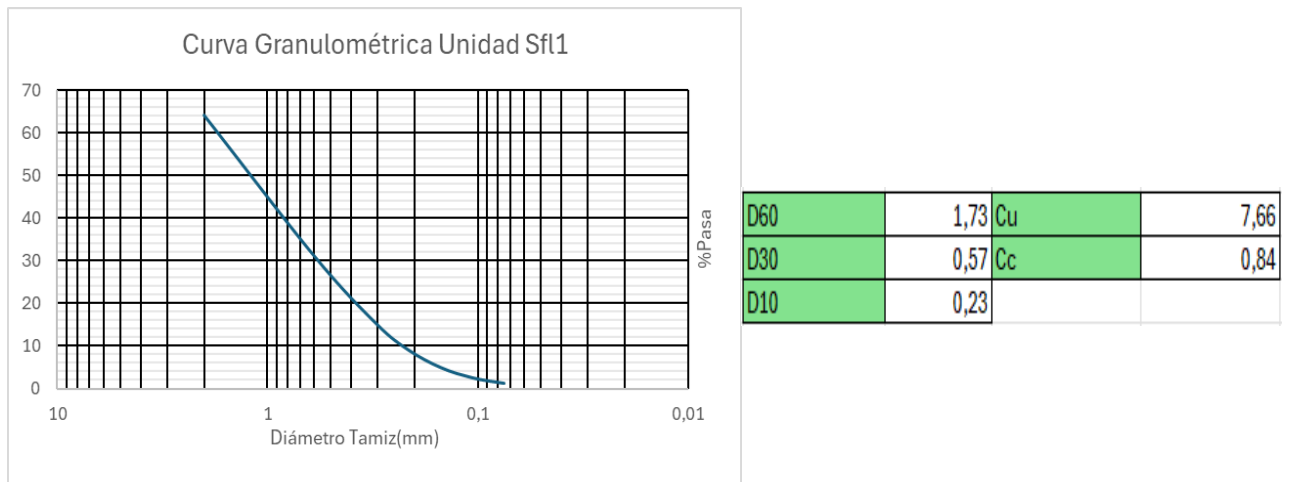


Figura 15

Cálculo De Resultados Para La Unidad Sft3.

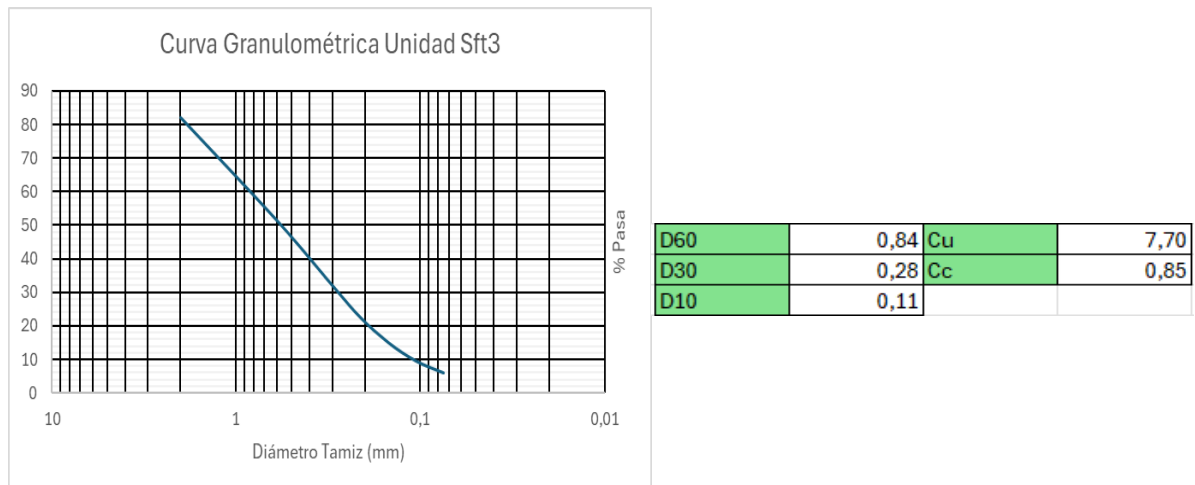
Unidad Sft3				
Tamiz	Masa retenida (g)	% retenido	% pasa	
2mm(No 10)	20,63	17,91	82,09	
600µm(No 30)	35,40	30,73	51,36	
300µm(No 50)	22,35	19,40	31,96	
212µm(No 70)	10,90	9,46	22,50	
150µm(No 100)	8,59	7,46	15,04	
106µm(No 140)	6,37	5,53	9,51	
75µm (No 200)	4,12	3,58	5,94	
Fondo	6,84	5,94	0,00	
TOTAL	115,20	100		
Peso inicial (g)	115,27			
Masa error	0,07			
% error	0,06			

%Gravas	0,00
%Arenas	94,06
%Finos	5,94

Figura 16

Curva Granulométrica Unidad Sft3 Con El Resultado De Los Coeficientes De Uniformidad

Y Curvatura.



4.5. Zonificación de la amenaza

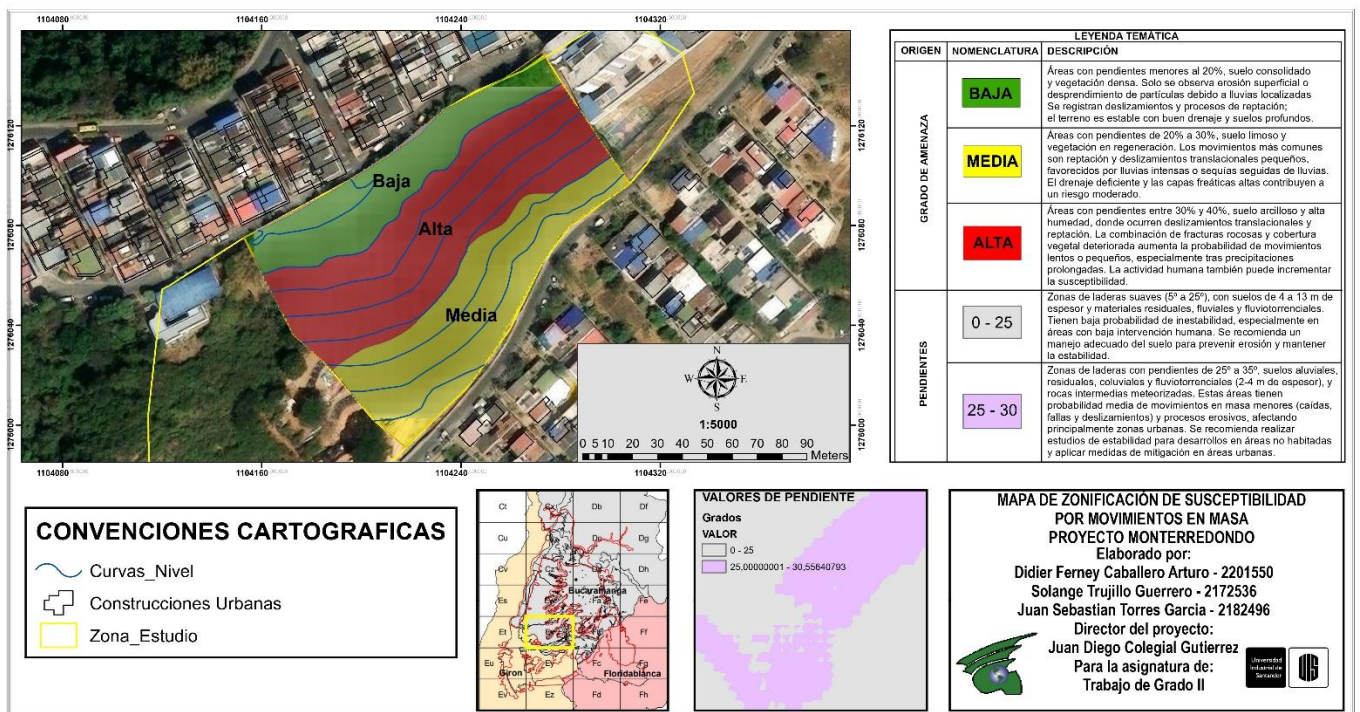
A partir de los factores de seguridad (FS) calculados para cada sector del área de estudio, se realizó una clasificación en zonas de baja, media y alta amenaza, siguiendo los criterios establecidos en la guía metodológica del SGC (2015). Según esta guía, las zonas con

FS < 1.1 se consideran de alta amenaza, aquellas con $1.1 \leq FS < 1.5$ se clasifican como de amenaza media, y las zonas con $FS \geq 1.5$ se catalogan como estables, con baja amenaza.

En el área analizada, se identificaron los siguientes patrones: la zona superior, caracterizada por pendientes suaves, fue clasificada como de baja amenaza; la zona intermedia, donde predominan las pendientes más pronunciadas, se categorizó como de alta amenaza; y la zona inferior se clasificó como de amenaza media. A continuación, en la figura 17 se presenta el mapa de zonificación generado, junto con información adicional de cada zona:

Figura 17

Mapa de zonificación de la amenaza en la zona de estudio.



5. Análisis de resultados

Unidad Sf11

- Clasificación del suelo: La reacción de un suelo con un 14.81% de humedad depende de su tipo. Los suelos cohesivos, como las arcillas, pueden retener más agua y mantener cierta estabilidad, pero al aumentar la humedad, se eleva la presión de poros, lo que genera inestabilidad y podría causar deslizamientos al alcanzar la saturación. En cambio, los suelos granulares, como arenas o gravas, son menos cohesivos y más susceptibles a deslizamientos incluso con humedad moderada. En esta unidad, al ser predominantemente arenosa, es más susceptible a sufrir deslizamientos, lo cual se confirmará con el análisis del Factor de Seguridad (FS).
- Factores ambientales y climáticos: Este nivel de humedad refleja la disponibilidad de agua en el suelo en condiciones normales, pero es fundamental considerar el comportamiento del suelo durante fuertes precipitaciones, teniendo en cuenta que en algunos meses lluviosos de año como septiembre, se puede superar los 500mm de lluvia acumulada mensual según lo establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Un aumento repentino en la humedad podría saturar el suelo, incrementando el riesgo de deslizamientos.
- Permeabilidad del suelo: En suelos de baja permeabilidad, el agua se acumula, aumentando la presión de poros y provocando un colapso súbito en situaciones de saturación. En suelos de alta permeabilidad, el agua se filtra fácilmente, lo que puede generar erosión y reducir la estabilidad en áreas inclinadas. En el caso de suelos arenosos, su alta permeabilidad facilita la filtración de agua, incrementando la posibilidad de inestabilidad en el talud.

Unidad Sft3

- Un nivel de humedad del 8.49% en suelo arenoso se considera moderado-bajo, indicando una cantidad razonable de agua sin alcanzar la saturación. Este nivel de humedad genera efectos significativos en la estabilidad del terreno:

Reducción del ángulo de fricción interna: El agua actúa como lubricante, disminuyendo la resistencia al corte entre partículas.

Incremento del peso unitario: La presencia de agua aumenta el peso del suelo y las fuerzas gravitacionales en pendientes, elevando el riesgo de deslizamientos, especialmente en áreas con inclinaciones pronunciadas y vegetación escasa (como el caso de la UGS Sft3).

Efectos en la estabilidad de pendientes: Con 8.49% de humedad, el suelo arenoso presenta cierta estabilidad, pero lluvias intensas o mayor infiltración podrían disminuir la fricción interna y generar deslizamientos superficiales debido a la saturación parcial y baja capacidad de drenaje. (Coduto, 1999)

Erosión superficial: La alta permeabilidad de las arenas facilita la erosión bajo lluvias intensas. Este nivel de humedad lubrica parcialmente las partículas, favoreciendo su desprendimiento y transporte, lo que incrementa la probabilidad de colapso superficial. (Coduto, 1999)

Por otra parte, los sondeos que se hicieron en la zona, están dentro de esta unidad por lo que se compararon los valores de humedad para el suelo calculados en el laboratorio a partir de las muestras recolectadas en campo y el valor de humedad propuesto en el informe geotécnico (Apéndices L,M y Ñ) de GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) para los sondeos 16,19 y 20 que son los que se encuentran dentro del área de estudio. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Sondeo 16: Humedad (%) = 19%

Sondeo 19: Humedad (%) = 12%

Sondeo 20: Humedad (%) = 18%

El valor de humedad medido en el laboratorio fue de 8.49% que al compararse con los obtenidos en los sondeos mencionados anteriormente resulta un valor mucho más bajo, esto podría deberse a las siguientes razones basado en los conceptos planteados por Hillel (1998):

Presencia de materiales finos o cambios en la granulometría: A pesar de ser arenoso, el terreno podría presentar ligeras alteraciones en su composición granulométrica, como la presencia de partículas finas (como arcillas o limos) en ciertas áreas, lo que mejora su capacidad de retención de agua. La presencia de estas pequeñas cantidades de materiales finos puede afectar la lectura de la humedad y como se pudo observar en los resultados del ensayo granulométrico de GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019), obtuvieron en los sondeos porcentajes entre 35% y 50% de finos, mientras que los cálculos propios se obtuvo un porcentaje de aproximadamente 6% de finos.

Variaciones Menores en la Topografía: En laderas o áreas con ligeras hendiduras, el agua suele desplazarse y concentrarse en los puntos más bajos, lo que puede provocar alteraciones en la humedad de la superficie. Teniendo en cuenta que la topografía de la zona cambió debido a que por efecto de la construcción se adecuaron zonas para el tránsito de personal y de vehículos, estas variaciones pueden afectar la distribución de la humedad en suelos que permiten el paso del agua como lo son los arenosos.

5.1. Ensayo de Granulometría

Las muestras se tomaron a 30 cm de profundidad, y se realizó una comparativa entre las muestras de la UGS Sfl1 obtenidas en la parte superior del área de estudio, en la zona más accesible, y las de la UGS Sft3 cerca del límite inferior, en contacto con la calle 66. Además, los estudios previos de GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) solo incluye información de la unidad Sft3, por lo cual no se puede comparar los datos obtenidos para la UGS Sfl1.

Las diferencias en los resultados de granulometría pueden deberse a alteraciones locales en la distribución de partículas, provocadas por procesos sedimentarios, erosivos o antrópicos. También influyen los métodos de muestreo, preparación y análisis, que pueden generar pequeñas inconsistencias, incluso cumpliendo con las normas de calidad (Head y Epps, 2011). Las muestras propias se tomaron a 30 cm, mientras que las de GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) fueron tomadas hasta 25 m de profundidad, lo que permitió obtener muestras menos alteradas.

En cuanto al muestreo, la zona en el momento del estudio de GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) era virgen y sin acceso debido a la vegetación densa y la falta de caminos, mientras que cuando se tomaron las muestras propias, la zona ya había sido adaptada para la construcción de una edificación, lo que pudo afectar la calidad de las muestras debido al tránsito y actividades humanas.

Centrándose ya en los resultados, resulta más confiable realizar el análisis a partir de los obtenidos por GEOTECNOLOGÍA S.A.S. (2019) por lo anteriormente expuesto. A continuación, se presenta el análisis:

- **Sondeo 16:** El suelo tiene 22.89% de grava, 41.70% de arena y 35.41% de finos, lo que lo hace cohesivo con drenaje intermedio, adecuado para pendientes suaves (10°-20°), aunque su saturación podría aumentar el riesgo de deslizamientos.
- **Sondeo 20:** Con un 52% de finos, este suelo es más cohesivo pero menos permeable. La retención de agua eleva la presión de poros al saturarse, reduciendo el factor de seguridad en pendientes altas y aumentando el riesgo de deslizamientos.

Las diferencias en el contenido de finos reflejan la heterogeneidad de la estabilidad del suelo. Los suelos con más finos son más propensos a deslizamientos durante lluvias debido a su baja capacidad de drenaje, pero la menor pendiente de esta área reduce la amenaza, lo cual será confirmado por el cálculo del factor de seguridad (FS).

5.2. Factor de Seguridad

Para el análisis del factor de seguridad del área de estudio se plantearon tres escenarios para cada UGS con el fin de observar la variación de éste y la amenaza a sufrir movimientos en masa que se podría tener en cada uno de estos casos.

Iniciando por la *UGS Sfl1* se tienen tres escenarios, en el 6.2.1.1 se obtuvo un factor de seguridad de 1.08, lo que indica que el talud está cerca del límite de estabilidad. Generalmente, un factor de seguridad igual o menor a 1.1 sugiere una condición inestable, donde la probabilidad de deslizamiento es alta. Aunque el FS mayor a 1.1 indica una estabilidad teórica de acuerdo con la guía del SGC (2015), un valor tan bajo (1.08) implica que el talud es muy vulnerable a fallas en condiciones adversas (como lluvias intensas o pequeños sismos).

Por lo tanto, se clasifica como una condición de amenaza media a alta, donde ligeros cambios en las circunstancias podrían desestabilizar el talud. Basado en los conceptos planteados por Duncan & Wright (2005), se realizó el siguiente análisis teniendo en cuenta también la granulometría del suelo, la humedad y el factor sismos:

Gravas (0%): La ausencia de partículas gruesas limita la resistencia estructural del terreno.

Arenas (98.74%): Predomina el carácter arenoso, lo que sugiere que presenta una resistencia al corte baja a media. Este suelo es propenso a la erosión y a la pérdida de estabilidad en condiciones de humedad o saturación. Durante lluvias, los niveles de humedad pueden superar el 15% (registrándose un 14.81% tras tres días de lluvia). Aunque el drenaje es rápido debido a la baja retención de agua, esto no garantiza estabilidad frente a aumentos en la presión de poros.

Finos (1.26%): La baja proporción de finos limita la cohesión, disminuyendo la capacidad de resistencia del suelo, especialmente en pendientes superiores a 25°, donde se ubica la mayor parte de esta unidad.

La composición anteriormente descrita del suelo sugiere que esta parte del área de estudio responde rápidamente a cambios en la humedad. En condiciones secas, la resistencia es alta debido a la fricción interna. Sin embargo, cuando se incrementa el contenido de agua, como en lluvias intensas, la presión de poros aumentará, disminuyendo la tensión efectiva y, por ende, la resistencia al deslizamiento, y como se mencionó anteriormente, por estar en el límite de estabilidad podría darse la posibilidad de darse movimientos en masa. (Coduto, 1999)

En cuanto a el escenario 6.2.1.2, lo único que se modificó fue el grado de inclinación de la pendiente para realizar un análisis del borde superior del área de estudio en el cual se tienen pendientes mucho menores en donde la inclinación mayor fue de 15.4 grados, para este caso se obtuvo un $FS = 2.29$, esto indica una condición de alta estabilidad bajo las condiciones actuales, ya que un FS mayor a 1.5 generalmente se considera seguro, y un FS de 2.29 sugiere una probabilidad muy baja de falla en condiciones estáticas.

Por lo anteriormente mencionado, se puede inferir que el talud tiene un margen de estabilidad mucho mayor en comparación con el FS de 1.08 de la anterior zona. Por otra parte, en esta zona del área de estudio se observaron procesos de “Reptación” el cual es un fenómeno geomorfológico que se produce como resultado de ciclos de humectación y secado, expansión y contracción, pero los mismos autores referenciados anteriormente mencionan que la reptación no implica de forma automática un bajo factor de seguridad ni indica que un talud esté inestable de manera inmediata, su aparición puede servir como un indicio relevante, por lo cual se puede explicar el FS alto que se obtuvo para este caso.

El escenario 6.2.1.3 arroja un FS de 0.72 en el cual se presenta la influencia de los sismos y el agua o humedad del suelo, lo cual indica una situación de alta inestabilidad en el talud y un alto riesgo de movimientos en masa. En términos generales, un FS menor a 1 significa que las fuerzas de resistencia al deslizamiento son menores que las fuerzas que inducen el deslizamiento, lo que sugiere que el talud es vulnerable a fallas y por ende a movimientos en masa.

Al estar por debajo de 1, el talud está en estado crítico de inestabilidad, esto significa que, en cualquier momento, se podría desencadenar un deslizamiento sin la necesidad de eventos externos adicionales, por ejemplo si sumado a esto se diera un periodo de lluvias prolongadas podría incrementar aún más la amenaza en toda el área, sobre todo teniendo en cuenta que esta UGS se encuentra en la parte alta del área de estudio, por lo cual en caso de un movimiento en masa afectaría también todo el material que cae a la zona baja de la misma.

En cuanto a los sismos, en áreas sísmicamente activas como lo es el caso de Bucaramanga, un FS de 0.72 refleja que el talud tiene una alta vulnerabilidad a fallas en caso de sismos, incluso menores. Esta vulnerabilidad es crítica para la estabilidad del talud, ya que un sismo de cualquier magnitud podría disparar un movimiento en masa. Este valor de FS

(0.72) indica que es probable que el talud esté cerca de su punto de falla o que ya esté en condiciones de deslizamiento progresivo, lo cual puede ser una de las causas del porqué se ha observado hacia la parte alta de esta unidad procesos de reptación, que al ser afectada por sismos constantes de baja magnitud, podrían ser los responsables de estos pequeños pero continuos movimientos de tierra.

Por otro lado, se tiene también la UGS Sft3, se plantearon los mismos escenarios de la anterior unidad, únicamente modificando los datos de entrada en la ecuación correspondiente. Para el escenario 6.2.2.1 se obtuvo un FS de 1.70, lo cual sugiere una condición de estabilidad alta bajo condiciones normales. Al igual que el análisis anterior, este FS está por encima del umbral de 1.5, lo que indica una baja probabilidad de fallas en el talud en las condiciones planteadas y estáticas. En cuanto a las características granulométricas de la unidad (se tomó el resultado del ensayo 16) se puede interpretar lo siguiente:

22.89% de Gravas: La presencia de gravas en el suelo aporta mayor cohesión y fricción interna en comparación con suelos predominantemente arenosos como fue el caso de la unidad Sfl1. Las partículas gruesas de grava ayudan a incrementar la resistencia del suelo al deslizamiento, lo que puede tener un efecto estabilizador en la pendiente. (Das & González, 2001)

41.70% de Arenas: El contenido de arena sigue siendo alto, lo que sugiere que el suelo tiene una baja cohesión y depende principalmente de la fricción interna para resistir fuerzas de corte. Sin embargo, la mezcla con gravas mejora la capacidad del suelo para resistir deslizamientos. (Das & González, 2001)

35.41% de Finos: El contenido de finos (limo y arcilla) introduce una mayor cohesión en el suelo. Los finos generalmente mejoran la cohesión, pero también pueden hacer que el

suelo sea más susceptible a cambios en la humedad, ya que pueden presentar expansión o contracción con la variación de la humedad.

Para el caso específico de esta unidad se presenta una característica particular y es que al observar el resultado del sondeo 20 que se realizó mas hacia la parte derecha del área de estudio, se observó una disminución de las gravas(casi nulo) y un aumento significativo de los finos, lo cual indica que hacia esta zona hay una variación en las condiciones, generando así la posibilidad de presentar cambios de humedad mayores al presentarse temporadas de lluvia y por ende disminuir el FS y aumentar la amenaza por deslizamientos.

Lo importante en este caso es que bajo las condiciones en las que se calculó el FS con un % de humedad bajo después de unos días seguidos de lluvia puede dar a entender que las condiciones para que se generara un escenario de real amenaza deberían ser totalmente extremas e inusuales.

Para el caso 6.2.2.2 se tiene un FS de 2.49 que es incluso más alto que el FS anterior (1.70) y sugiere que, bajo condiciones normales y estáticas, el talud tiene una alta estabilidad. Un FS superior a 2 es generalmente indicativo de un suelo altamente estable y de un bajo riesgo de deslizamiento o fallas. Teniendo en cuenta que para este caso se tiene una pendiente de 18.8° la cual es mucho menor en comparación con los 26° grados del análisis anterior, la presión de corte sobre el talud es menor, lo que significa que el talud es menos susceptible a deslizamientos porque la relación entre pendiente y estabilidad es crucial; mientras se tengan taludes más inclinados, se requiere mayor resistencia al corte para mantener la estabilidad.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que sobre esta unidad se adelanta la construcción de un proyecto de vivienda en la que serán construidos edificios, debido a que cuando se trata de la construcción de un edificio, la estabilidad del talud debe ser evaluada no solo en términos de la inclinación del terreno y las propiedades del suelo, sino también teniendo en cuenta el

peso y la carga que se generarán por la edificación. Teniendo en cuenta los objetivos de este proyecto no se entrará en detalle en esto, pero a partir de los resultados analizados previamente y el FS obtenido en este escenario, por tratarse de un FS mayor a 2, la construcción de un edificio no debería comprometer la estabilidad del talud, dado el FS alto y la pendiente relativamente baja.

El escenario 6.2.2.3 muestra una disminución del FS de 1.70 a 1.09 al incorporar el factor sísmico lo que demuestra la vulnerabilidad significativa a los eventos sísmicos de esta área. En Bucaramanga, una de las zonas con mayor actividad sísmica en Colombia, el talud queda en un estado de estabilidad crítica bajo condiciones sísmicas, ya que un FS cercano a 1.0 sugiere que el talud está al borde de la inestabilidad en caso de un sismo moderado a fuerte.

Teniendo en cuenta la proximidad de Bucaramanga al Nido Sísmico de Bucaramanga implica que existe un riesgo considerable de eventos sísmicos que podrían desencadenar movimientos en masa en taludes que ya están en el límite de estabilidad como es el caso de esta zona. Adicional a esto, un FS de 1.09 en condiciones sísmicas es preocupante, ya que cualquier variación en los parámetros del talud como la humedad del suelo podría reducir aún más el FS y llevar a una falla.

6. Discusión

- Al analizar los factores de seguridad (FS) obtenidos en los diferentes escenarios propuestos muestran que solo una de las unidades (UGS Sf11), en condiciones de humedad actual, se puede clasificar como zona de alta amenaza de deslizamiento o movimiento en masa, con un FS de 1.08. En contraste, las demás áreas dentro de la zona de estudio, bajo las mismas condiciones, presentan factores de seguridad que indican una estabilidad adecuada y sin riesgo inminente de falla.

- Al incluir el factor sísmico en el análisis de ambas UGS, se esperaba una reducción significativa en el FS, particularmente debido a la ubicación en Bucaramanga, una zona con alta actividad sísmica, donde los sismos de baja magnitud son frecuentes. Aunque de baja intensidad, estos sismos constantes pueden afectar la estabilidad en zonas ya vulnerables, incrementando el riesgo de deslizamientos. Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos al incorporar el efecto sísmico en el cálculo: el FS de la UGS Sfl1 desciende a 0.72, colocándola en un grado de alta amenaza de deslizamiento, mientras que el FS de la UGS Sft3 baja a 1.09, lo cual la sitúa en el límite de la estabilidad.

- El aumento de humedad en los taludes eleva la presión de poros y reduce la resistencia del suelo, especialmente en suelos arenosos con bajo contenido de finos, como en la zona de estudio. Aunque predominan suelos arenosos, algunas áreas con mayor porcentaje de finos podrían ser perjudiciales, ya que los finos retienen agua, aumentando la presión de poros y disminuyendo la resistencia. Las arenas, al tener baja cohesión, son más afectadas por la humedad, particularmente en pendientes pronunciadas, lo que reduce la estabilidad y aumenta el riesgo de movimientos en masa.

- Aunque el modelo de talud infinito se considera una herramienta útil y comúnmente empleada en análisis iniciales, su utilización muestra limitaciones significativas en contextos de estudio más complejos. Las suposiciones de uniformidad en el suelo y de geometría ilimitada del talud no representan adecuadamente las condiciones reales del terreno, lo que puede ocasionar resultados que sean inferiores o superiores a la realidad en determinadas situaciones. Esto recalca la necesidad de complementar el análisis con métodos más elaborados o con investigaciones de campo exhaustivas, sobre todo en áreas críticas en donde la precisión juega un papel fundamental al momento de evitar catástrofes y pérdida de vidas.

7. Conclusiones

Zonificación de la amenaza y áreas críticas:

A partir del análisis geotécnico y la aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se identificaron áreas con diferentes niveles de amenaza por movimientos en masa. Se determinó una zona (Unidad Geológica Superficial Sfl1) en grado de amenaza alto, la cual presenta un Factor de Seguridad (FS) de 1.08 en condiciones normales y 0.72 al incluir un factor detonante como los sismos, clasificándola como zona de alta amenaza. Este hallazgo subraya la importancia de implementar medidas de prevención y monitoreo en sectores vulnerables, especialmente en zonas en donde se adelante la construcción de edificaciones.

Factores influyentes en la estabilidad del terreno:

Se evidenció que la humedad y los sismos juegan un papel clave en la estabilidad de los taludes, reduciendo significativamente el FS y aumentando la probabilidad de deslizamientos. Además, la granulometría del suelo influye directamente en la estabilidad, ya que los suelos arenosos presentan menor cohesión y mayor susceptibilidad a la erosión. El estudio resalta la necesidad de integrar estos factores en modelos predictivos para mejorar la precisión en la zonificación de la amenaza y la planificación territorial.

Importancia de la mitigación y planificación urbana:

Los resultados obtenidos demuestran la relevancia de la zonificación de amenazas como herramienta fundamental para la gestión del riesgo en áreas urbanas y en desarrollo. La ausencia de obras de contención en zonas de alta amenaza y la actividad constructiva en áreas críticas enfatizan la urgencia de implementar medidas de mitigación, como drenajes eficientes, revegetación y monitoreo constante. Este estudio proporciona una base para futuras investigaciones y la toma de decisiones en términos de planificación urbana y reducción de riesgos en territorios vulnerables.

8. Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto y a partir de los resultados obtenidos, se proponen los siguientes puntos a considerar, con el objetivo de facilitar la realización de futuros proyectos de este tipo, que son de gran importancia para las comunidades, y de mejorar la precisión y veracidad de los resultados en futuros estudios alrededor del territorio colombiano:

1. Optimización del Acceso a Información Pública: Es de vital importancia reforzar la accesibilidad y la sistematización de la información geotécnica y geológica pertinente en las instituciones públicas. Facilitar el acceso a datos actualizados y concretos (como estudios de suelos, mapas topográficos de alta resolución, registros históricos de movimientos en masa para cada ciudad, cartografía temática actualizada, entre otros) es fundamental para realizar evaluaciones precisas de amenaza.

Una mayor facilidad para acceder a esta información disminuiría las restricciones en la elaboración de proyectos de zonificación y planificación del territorio y así presentar planes para la mitigación del riesgo teniendo en cuenta que se tienen constantemente eventos catastróficos en el país a causa de falta de estos estudios en muchas zonas de éste.

2. Llevar a cabo estudios de campo adicionales: Para aumentar la exactitud de los resultados, se sugiere emprender estudios de campo complementarios, tales como sondeos geotécnicos y análisis de laboratorio especializados que permitan identificar características del suelo (como cohesión, ángulo de fricción y conductividad hidráulica), así como realizar mediciones precisas de la humedad del suelo. Esto contribuirá a disminuir la incertidumbre en la identificación del suelo y en la estabilidad de los taludes.

Cabe resaltar que en vista de la falta de esta información sobre muchas áreas de la ciudad, se recomienda a los entes encargados, identificar estas zonas que por sus condiciones

geográficas y geológicas sean susceptibles a sufrir movimientos en masa y allí adelantar los ensayos de laboratorio y sondeos geotécnicos con el fin de obtener la información necesaria para el desarrollo de este tipo de proyectos y así tener un mayor control de las zonas que presenten este tipo de amenaza.

3. Evaluar las Normativas sobre Zonificación y Construcción en Áreas Inclinadas:

Se sugiere realizar una revisión y actualización de las normativas locales que abordan la zonificación y la construcción en terrenos con pendientes pronunciadas. Esto podría abarcar limitaciones en el uso del suelo en zonas con alta amenaza y riesgo, regulaciones particulares para la edificación de viviendas y otras estructuras, así como la instauración de medidas de mitigación obligatorias para nuevas construcciones en áreas vulnerables.

En la zona de estudio hacia la zona inferior, se está adelantando la construcción de edificios sobre una zona que presenta un grado de amenaza medio según los resultados obtenidos en este proyecto, pero se encuentra justo debajo del talud con mayor pendiente en el cual se obtuvo un grado de amenaza alto, lo cual da la posibilidad que en época de lluvias y en presencia de un sismo, toda esta cantidad de material pueda caer sobre las edificaciones causando pérdidas no solo materiales sino de vidas humanas.

4. Educación y Capacitación de la Comunidad Local: Es importante involucrar y educar a la comunidad local sobre los riesgos asociados con los movimientos en masa y las prácticas de manejo adecuadas. Es de vital importancia especialmente en zonas que presentan estas condiciones, la capacitación en la identificación de señales tempranas de inestabilidad y el fomento de prácticas de construcción seguras, las cuales ayudarán a minimizar los riesgos para los residentes en estas áreas y permitirá identificar a tiempo cualquier señal temprana de inestabilidad para ponerse en contacto con las personas u organizaciones encargadas del tema y así darles un correcto manejo a tiempo.

Referencias

- Alcaldía de Medellín.** (2016). *Elaboración de estudios de riesgo de detalle por movimiento en masa, según lo establece el plan de ordenamiento territorial vigente, a través de la inversión de recursos de planeación local de presupuesto participativo en la comuna 90 de la ciudad de Medellín.* Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGR).
- Coduto, D. P.** (1999). *Ingeniería geotécnica: principios y prácticas.* Prentice Hall.
- Das, B. M., & González, S. R. C.** (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (pp. 445-494). Thomson Learning.
- Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP).** (1997). *Ley 1338 de 1997.* Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>
- Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP).** (2012). *Ley 1551 de 2012.* Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4826>
- Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP).** (2012). *Decreto 19 de 2012.* Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4532>
- Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP).** (2014). *Decreto 1807 de 2014.* Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>
- Duncan, J. M., & Wright, S. G.** (2005). *Soil strength and slope stability.* John Wiley & Sons.

- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L.** (2014). *Soil strength and slope stability* (2ª ed., pp. 81, 87). Wiley Inc.
- GEOTECNOLOGÍA S.A.S.** (2019). *Estudio geotécnico Proyecto Montebello*. Mardel Constructora.
- Head, K. H., & Epps, R. J.** (2011). *Manual of soil laboratory testing*. Whittles Publishing.
- Hernández Rodríguez, J. E.** (2006). *Deslizamientos de tierra en Colombia*.
- Hillel, D.** (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).** (2002). *Catálogo Nacional de movimientos en masa*. Subdirección de Amenazas Geoambientales.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).** (2005). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta*.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).** (2005). *Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali - Informe No. 2-2: Inventario de Procesos Morfodinámicos en los Cerros Occidentales de Santiago de Cali*.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).** (2007). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca [Mapa de uso y cobertura de suelos, escala 1:5000]*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).** (2007). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los*

municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca [Mapa de elementos geomorfológicos, escala 1:5000]. Bogotá.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2007). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca* [Mapa de unidades geológicas superficiales, escala 1:5000]. Bogotá.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2009). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca* [Mapa, escala 1:5000]. Bogotá.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2015). *Geología y geomorfología del piedemonte de Bucaramanga.*

Montes, N., Rodríguez, A., & Peña, J. (2019). *Geología de la región de Bucaramanga y sus implicaciones tectónicas.* Universidad Industrial de Santander.

Montoya Roa, P. A. (2019). *Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en un sector de la zona norte de Bucaramanga, Santander* [Tesis de grado]. Universidad Industrial de Santander.

Rodríguez, H., & Muñoz, L. (2018). *Depósitos cuaternarios en la región de Bucaramanga: Evolución sedimentaria y tectónica.* *Revista Geológica Colombiana*, 29(2), 145-158.

Ruiz, G., et al. (2012). *Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa* (escala 1:500.000).

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.*

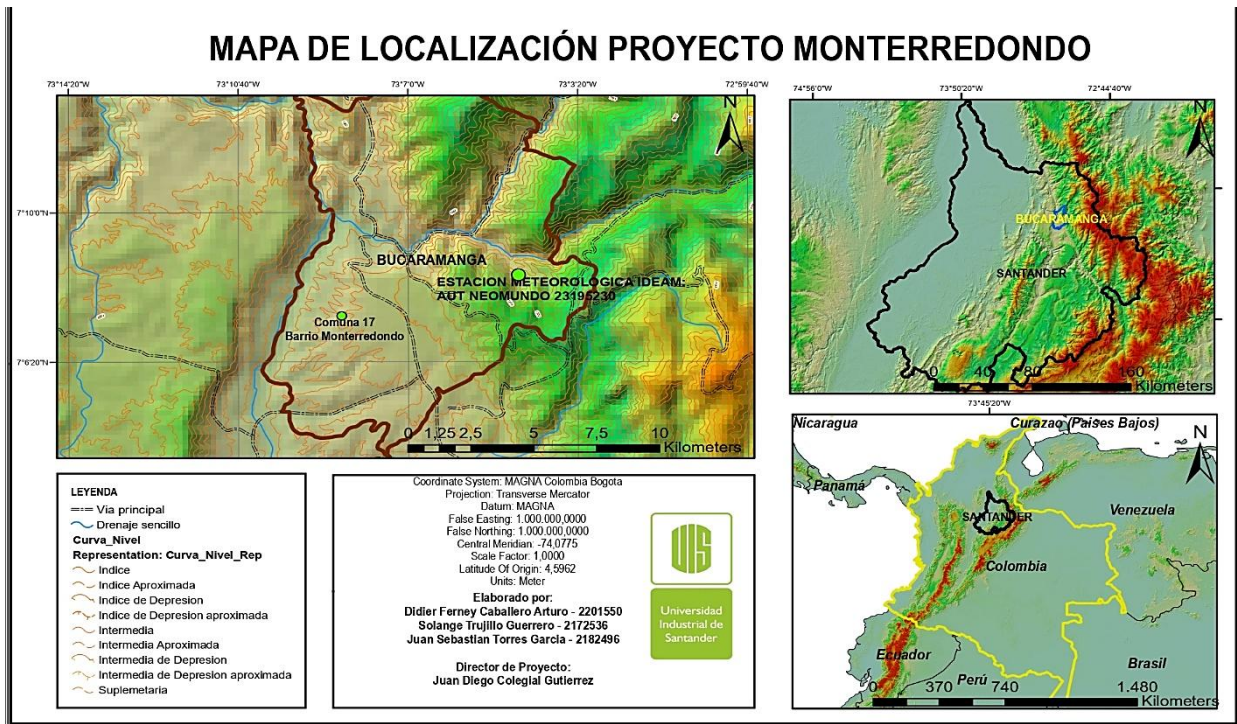
Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). *Zonificación geomecánica y de amenaza por movimientos en masa del municipio de Popayán-Cauca.*

Servicio Geológico Colombiano (SGC) & Fundación Global Earthquake Model (GEM). (2018). *Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia.*

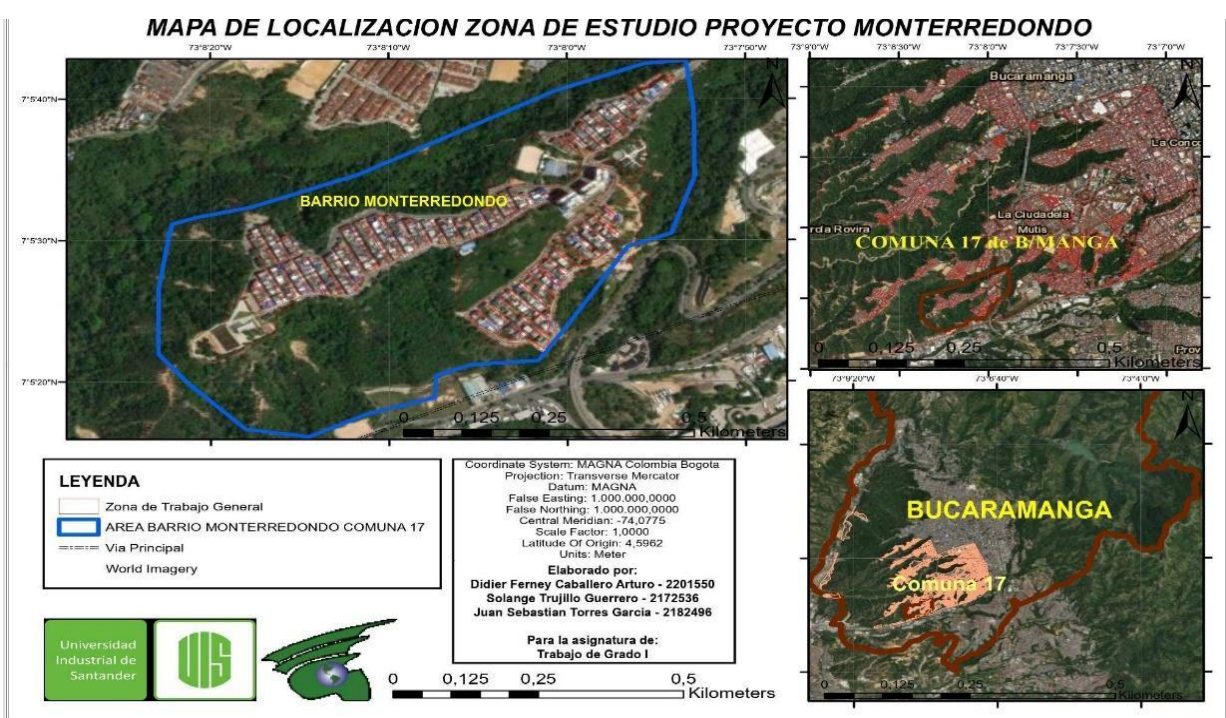
Varnes, D. J. (1978). *Slope movement types and processes. Special Report, 176, 11-33.*

Apéndices

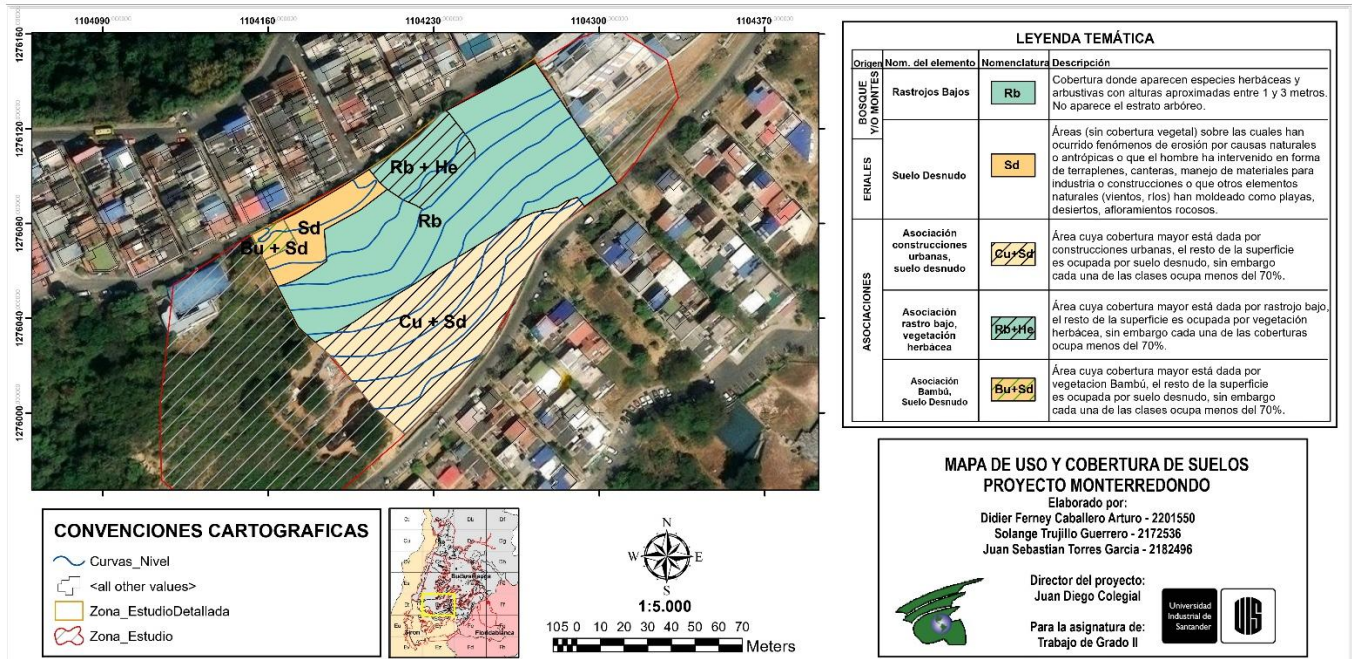
Apéndice A. Mapa de localización general del área de estudio.



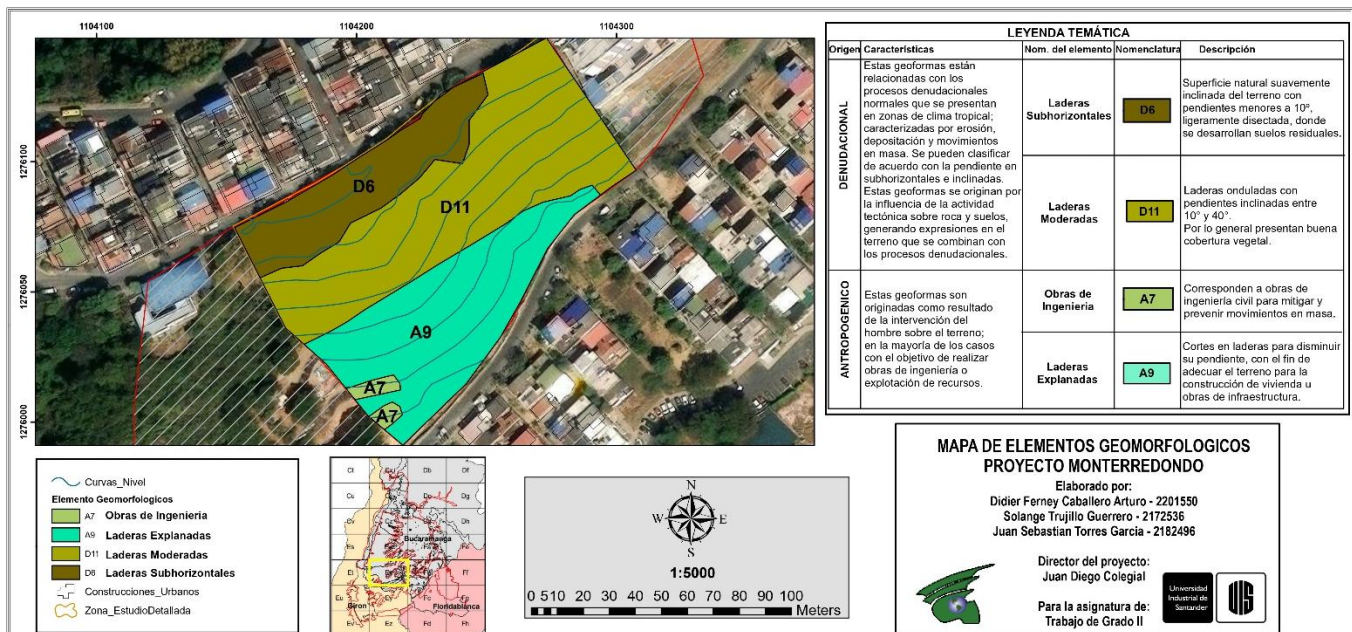
Apéndice B. Mapa de localización general del área de estudio



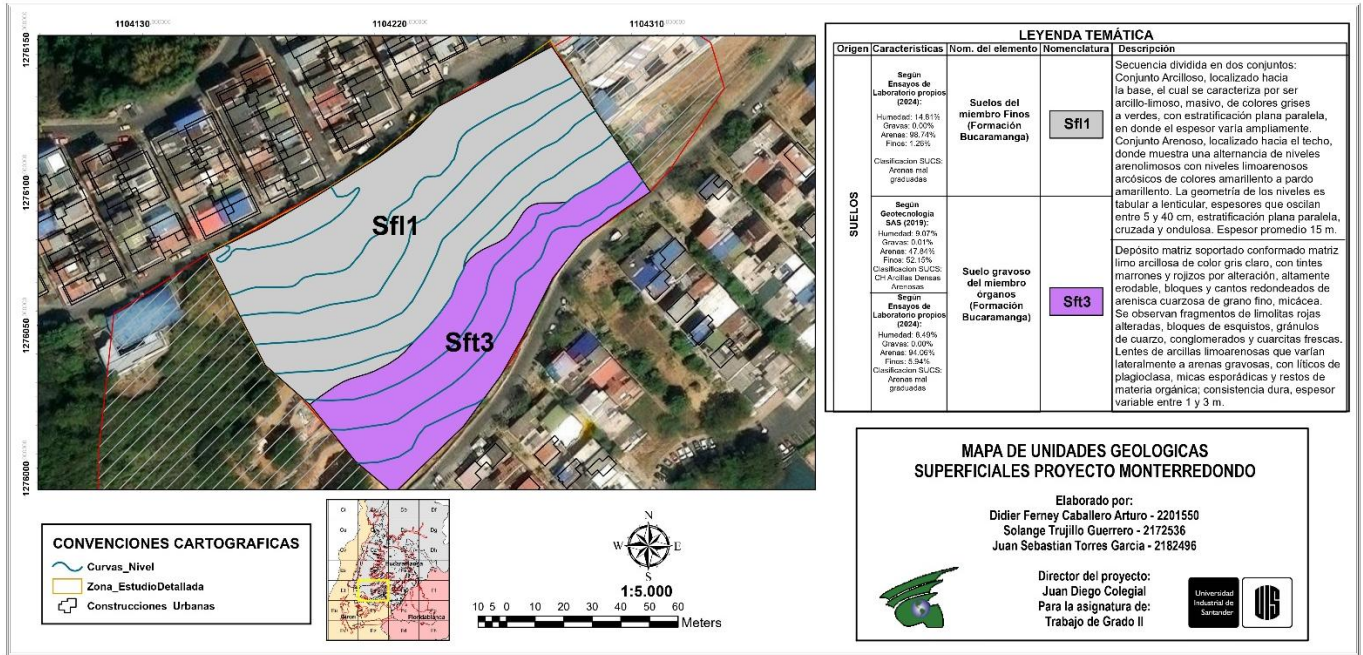
Apéndice C. Mapa de uso y Cobertura de suelos del área de estudio.



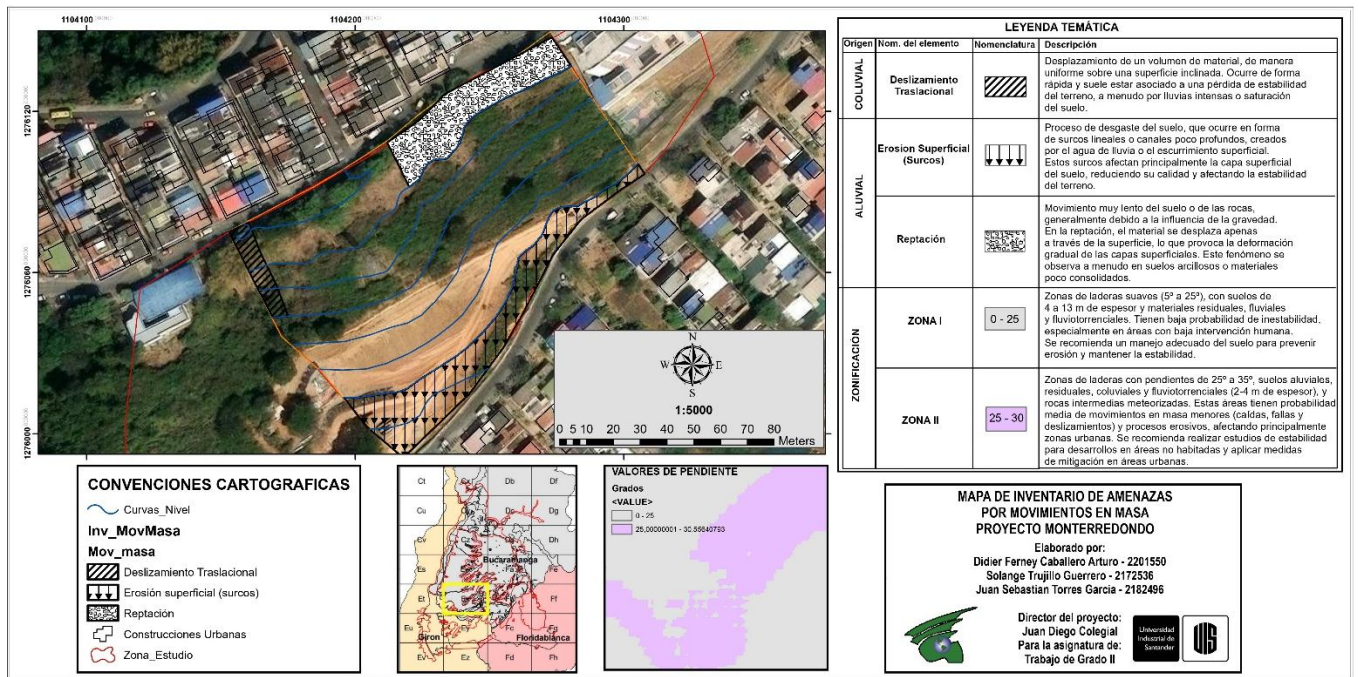
Apéndice D. Mapa de Elementos Geomorfológicos del área de estudio.



Apéndice E. Mapa Unidades Geológicas Superficiales del área de estudio.



Apéndice F. Mapa de inventario de movimientos en masa en el área de estudio.



Apéndice G. Valores Geotécnicos sugeridos. Tomado de Geotecnología S.A.S.

Parámetro	MANTO 1(Qbf)	MANTO 2 (Qbos)
	De 0,0m hasta una profundidad variable entre 2,0 y 12,0m	De una profundidad variable entre 2,0 y 12,0m hasta 25,0m
Velocidad de onda de cortante Vs (m/seg)	212	412
Peso unitario γ (kN/m ³)	18,4	19,1
Relación de Poisson ν	0,28	0,30
Angulo de fricción ϕ (°)	31,0	38,0
Cohesión C (kN/m ²)	7	9
Angulo de dilatación Ψ (°)	1	8
Módulo de cortante G max (kN/m ²)	84299	330490
Elasticidad inicial E ₀ (kN/m ²)	32371	128891
Elasticidad promedio E _{ref50} (kN/m ²)	32876	128891
Elasticidad en consolidómetro E _{refoed} (kN/m ²)	32876	128891
Elasticidad de recarga E _{ur} (kN/m ²)	98629	386674
Factor m	0,7	0,5

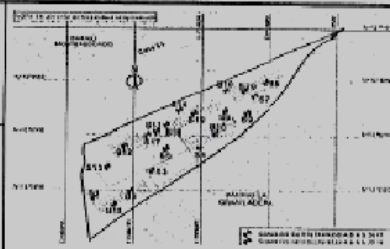
		<p align="center">SONDEO No. 16</p> <p align="right">(Página 2 de 3)</p>								
Estudio N. : 4719B Fecha : 19/06/2019 Equipo : XY Tipo : Rotación Ensayos : SPT		Muestreo : Tubo partido Operador : A. Ardila Supervisor : E. Niño Digitación : D. Avila Revisó : Ing. J. Suárez								
Prof. mts	SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Golpes/6"	N	Tipo muestra	Golpes/6" Gráfica	Nivel Freatico	Formación	% Recobro
9			SUELOS ALUVIALES compuestos por cantos y bloques de areniscas muy resistentes de color amarillo pálido. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).							
9.5										
10										
10.5										
11										
11.6	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas con algo de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia muy firme, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color rojo amarillento, marrón amarillento. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	13	12	24	TP			
12			SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas de grano medios y cuarcitas resistentes de color amarillo y amarillo blanuzco. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).							
12.5										
13										
13.5										
14										
14.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	22	29	51	TP			
15			SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de cuarcitas y neis de color gris y amarillo pálido, guijarros de areniscas de color amarillo y marrón rojizo. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).							
15.5										
16										
16.5										
17										
17.5										
18										
ACTUALIZACIÓN MONTEBELLO BUCARAMANGA			Sondeo realizado en las coordenadas N: 1°04.210,545 y E: 1°276.002,423 Tipo de muestra: TP = Tubo partido; SH = Shelby; BA = Barrera							
CONSTRUCTORA MARDEL S.A										

Prof mts		SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Golpes/6"	N	Tipo muestra	Golpes/6" Gráfica	Nivel Freático	Formación	% Recobro
18	18.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento y rojo amarillento. Segmento órganos superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	10 15 23 30 30 50R	38	TP				
19	19.5			SUELOS ALUVIALES compuestos por cantos de cuarcitas grises muy resistentes y guijarros de areniscas de grano medio. Segmento órganos superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	RT						
20	20.5				RT		BA				
21	21.5	SC		SUELOS ALUVIALES compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia muy densa, saturados, algo permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento. Segmento órganos superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	20 38 32 35 33 32	70	TP			ALUVIAL	
22	22.5			SUELOS ALUVIALES compuestos por cantos de cuarcitas grises muy resistentes, y guijarros de areniscas, cuarcitas y cuarzo. Segmento órganos superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	RT						
23	23.5				RT		BA				
24	24.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento y marrón amarillento claro. Segmento órganos superior de la Formación Bucaramanga (Qbos).	41 33 20R	53R	TP				
25	25.5										
26	26.5										
27											
ACTUALIZACIÓN MONTEBELLO BUCARAMANGA				Sondeo realizado en las coordenadas N: 1°104.210,545 y E: 1°276.002,423 Tipo de muestra: TP = Tubo partido; SH = Shelby; BA = Barrera							
CONSTRUCTORA MARDEL S.A											

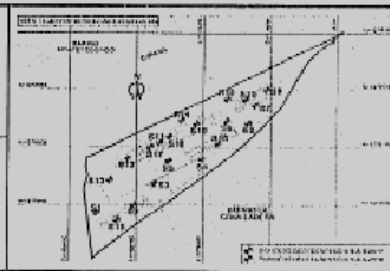


SONDEO No. 16
(Página 3 de 3)

Estudio N. : 4789B Muestra : Tubo partido
 Fecha : 19/06/2019 Operador : A. Ardila
 Equipo : XY Supervisor : E. Niño
 Tipo : Rotación Digitación : D. Avila
 Ensayos : SPT Revisó : Ing. J. Suárez



Apéndice I. Perfil sondeo No. 19. Tomado de Geotecnología S.A.S.

Prof. mts		SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Colpas (%)	N	Tipo muestra	Colpas (%) Gráfica	Nivel Freatico	Formación	% Recobro
<p>GEOTECNOLOGIA S.A.S. Excelencia en Tecnología Geotécnica CALLE 41 # 28-70 TELEFONOS: 8541258 8376888 TELEFAX: 8481103 www.geotecnia.com.co - E-MAIL: geotecnia@geotecnia.com.co BUCARAMANGA</p> <p>SONDEO No. 19 (Página 1 de 3)</p> <p>Estudio N. : 4789B Muestreo : Tubo partido Fecha : 29/06/2019 Operador : A. Ardila Equipo : XY Supervisor : E. Niño Tipo : Rotación Digitación : D. Avila Ensayos : SPT Revisó : Ing. J. Suárez</p> 											
0	SC		SUELOS ALUVIALES compuestos por arenas arcillosas con presencia de gravas de granos angulosos, no coherentes, de consistencia medio densa, húmedos, algo permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	5 8 7 7 9 12 14 19 21 23 29 29	15 21	TP					
1	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo y gris claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	29 29	58	TP					
2	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con presencia de gravas, de granos angulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color rosado, amarillo rojizo y gris claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	16 26 32 31 29 30 16 22 27 36 29R	58 40	TP					
4			SUELOS ALUVIALES compuestos por guijarros de cuarcita muy resistente de color gris amarillento claro y marrón en matriz arcillosa. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	RT	05R	TP				ALUVIAL	
4.5				RT	RT	BA					
5.5				RT							
6	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con presencia de gravas, de granos angulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color gris claro y marrón muy pálido. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	7 11 17 16 14 23R	28	TP					
6.5				RT	37R	TP					
7			SUELOS ALUVIALES compuestos por canto de cuarcita muy resistente de color gris amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	RT							
7.5				RT	RT	BA					
8				RT							
8.5				RT							
9	CL			48	33	TP					
<p>ACTUALIZACIÓN MONTEBELLO BUCARAMANGA</p> <p>CONSTRUCTORA MARDEL S.A</p>				<p>Sondeo realizado en las coordenadas N: 104.194,592 y E: 1'276.019,835 Tipo de muestra: TP = Tubo partido; SH = Shelby; BA = Barrera</p>							

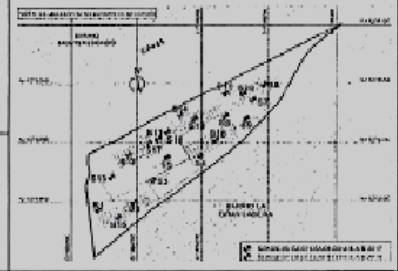
Prof mts		SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Colpas/6'	N	Tipo muestra	Golpes/6'	Gráfica	Nivel Freático	Formación	% Recobro
9	9.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas con gravas de granos angulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo marrón, gris claro. Segmento fino de la Formación Bucaramanga (Qbf).	13 13 20 16 6R	RT	TP/BA					
10	10.5			SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos y guijarros de cuarcita de color gris claro dentro de una matriz arcillosa de color marrón amarillento claro. Segmento fino de la Formación Bucaramanga (Qbf).	RT	RT	BA					
11	11.5				RT	RT						
12	12.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color marrón muy pálido y gris claro. Segmento fino de la Formación Bucaramanga (Qbf).	13 19 24 26	RT	TP					
13	13.5				20 20 10 15	RT	TP					
14	14.5				20 10 15	RT	TP					
15	15.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas con gravas de granos angulosos, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color gris claro y marrón muy pálido. Segmento fino de la Formación Bucaramanga (Qbf).	20 21 22 22	RT	TP/BA					
16	16.5				10R	RT	BA					
17	17.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arenas arcillosas con presencia de gravas, de granos angulosos, no coherentes, de consistencia muy densos, saturados, algo permeables, sin olor específico, de color blanco rosáceo y marrón muy pálido. Segmento fino de la Formación Bucaramanga (Qbf).	15 23 27 34R	RT	TP					
18					RT	RT	TP/BA					
ACTUALIZACIÓN MONTEBELLO BUCARAMANGA				Sondeo realizado en las coordenadas N: 1°104.194,592 y E: 1°276.019,835 Tipo de muestra: TP = Tubo partido; SH = Shelby; BA = Barrera								
CONSTRUCTORA MARDEL S.A												

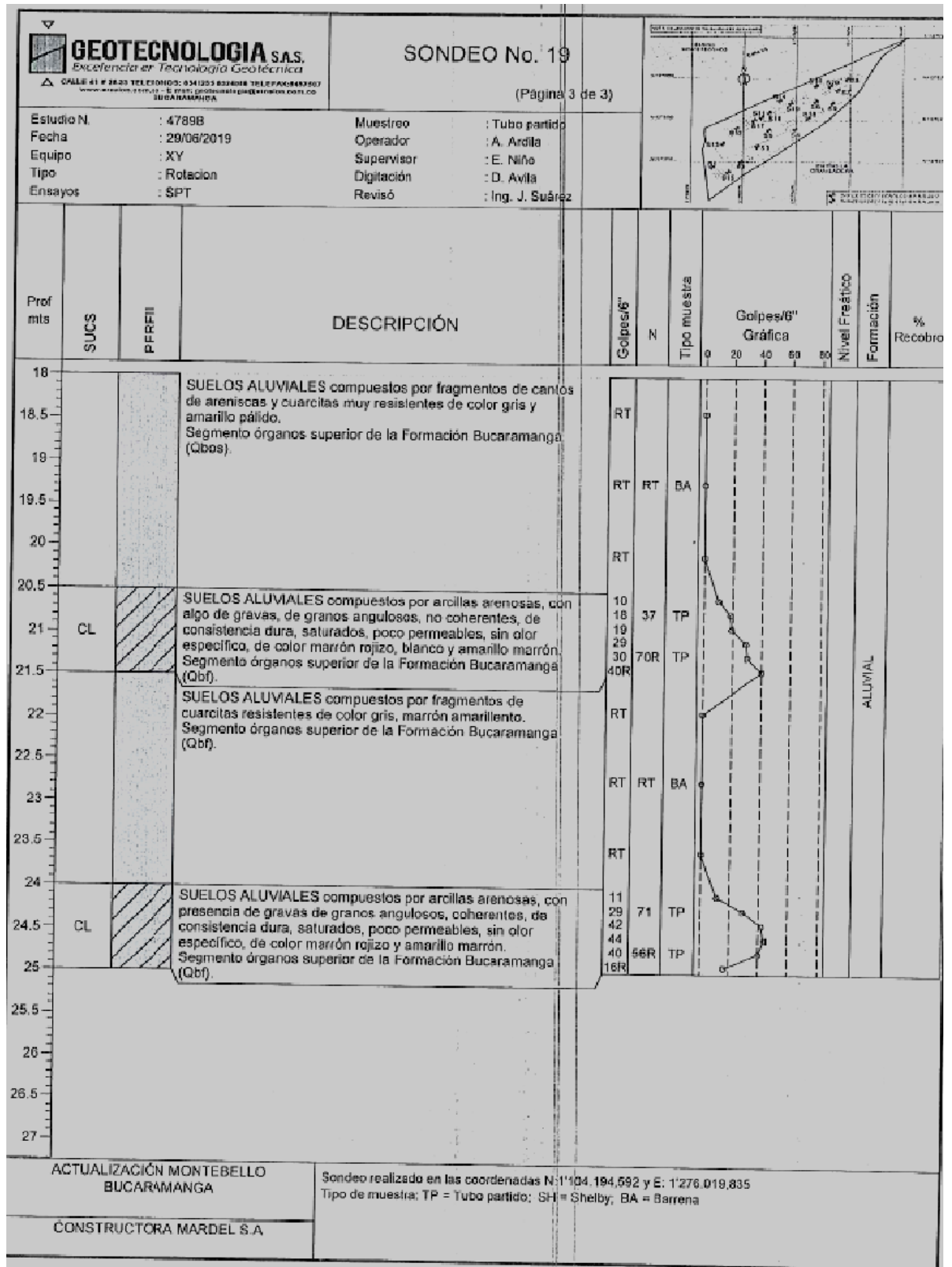


SONDEO No. 19

(Página 2 de 3)

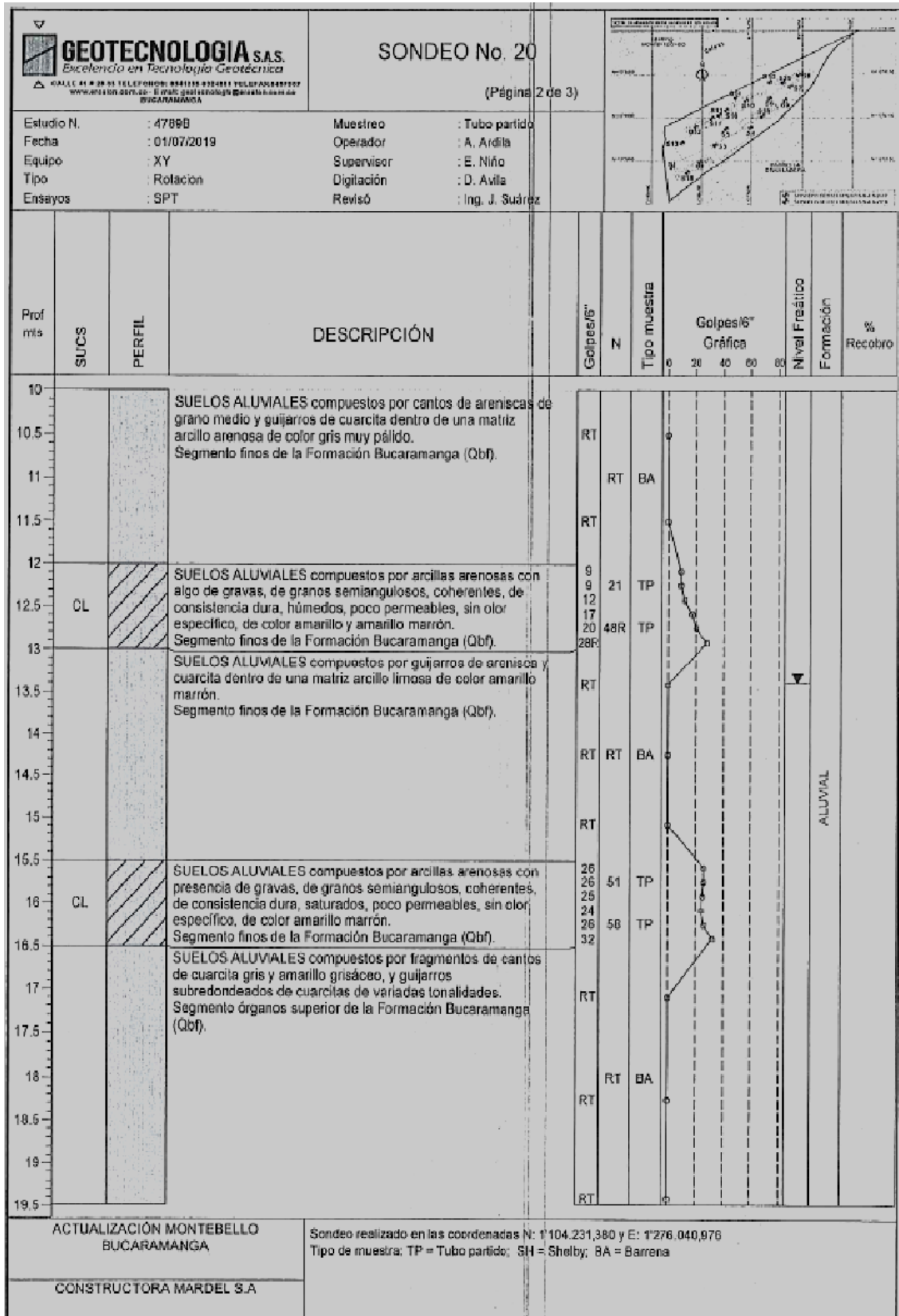
Estudio N.:	4789B	Muestreo:	Tubo partido
Fecha:	29/05/2019	Operador:	A. Ardila
Equipo:	XY	Supervisor:	E. Niño
Tipo:	Rotación	Diligación:	D. Avila
Ensayos:	SPT	Revisó:	Ing. J. Suárez






Apéndice J. Perfil sondeo No. 20. Tomado de Geotecnología S.A.S.


Prof. mis		SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Golpes/m ²	N	Tipo muestra	0 20 40 60 80	Gráfica	Nivel Freático	Formación	% Recobro
<p>GEOTECNOLOGIA S.A.S. Excelencia en Tecnología Geotécnica Calle 41 # 26-25 TELEFONOS: 604 1255 402 4048 TELEFAX: 604 1255 1287 WWW.GEOTECNOLOGIA.COM CO - C.R. E-mail: geotecnologia@geotecnologia.com.co BUCARAMANGA</p>												
<p>SONDEO No. 20 (Página 1 de 3)</p>												
<p>Estudio N. : 4789B Fecha : 01/07/2019 Equipo : XY Tipo : Rotacion Ensayos : SPT</p>			<p>Muestreo : Tubo partido Operador : A. Ardila Supervisor : E. Niño Dignación : D. Avila Revisó : Ing. J. Suárez</p>									
0	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, coherentes, de consistencia firme, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	3	10	TP						
0.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas con algo de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo y gris marrón claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	5	15	TP						
1	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	8	20	TP						
1.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	12	31	TP						
2	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	15	39	TP						
2.5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	23	49	TP						
3	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	24	58	TP						
3.5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	25	20	TP						
4	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	27	42	TP						
4.5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	29	20	TP						
5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas de alta plasticidad, con presencia de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	29	40	TP						
5.5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas y lutitas y guijarros redondeados de cuarcitas y areniscas de variada coloración. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbf).	30	17	TP						
6	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas y lutitas y guijarros redondeados de cuarcitas y areniscas de variada coloración. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbf).	30	35	TP						
6.5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas y lutitas y guijarros redondeados de cuarcitas y areniscas de variada coloración. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbf).	22	18	TP						
7	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas y lutitas y guijarros redondeados de cuarcitas y areniscas de variada coloración. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbf).	20	23	TP						
7.5	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas y lutitas y guijarros redondeados de cuarcitas y areniscas de variada coloración. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbf).	19	28	TP						
8	CH		SUELOS ALUVIALES compuestos por fragmentos de cantos de areniscas y lutitas y guijarros redondeados de cuarcitas y areniscas de variada coloración. Segmento órgano superior de la Formación Bucaramanga (Qbf).	20	58	TP						
8.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento claro y gris claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	5	5	TP						
9	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento claro y gris claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	11	26	TP						
9.5	CL		SUELOS ALUVIALES compuestos por arcillas arenosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color marrón amarillento claro y gris claro. Segmento finos de la Formación Bucaramanga (Qbf).	21	26	TP						
				10R	36R	TP						
				RT	RT	BA						
				RT	RT	BA						
				RT	RT	BA						
<p>ACTUALIZACIÓN MONTEBELLO BUCARAMANGA</p>				<p>Sondeo realizado en las coordenadas N: 1°104.231,380 y E: 1°276.040,976 Tipo de muestra: TP = Tubo partido; SH = Shelby; BA = Barrena</p>								
<p>CONSTRUCTORA MARDEL S.A</p>												




Apéndice K. Resultados determinación tamaño de partículas de la muestra tomada del sondeo 16. Tomado de Geotecnología S.A.S.

		INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS POR TAMIZADO INV E 123-13		
PROYECTO: Montebello		CIUDAD: Bucaramanga, Santander		
ESTUDIO N°: 4789-B		CLIENTE: Constructora Mardel S.A.S		
CONTACTO: Ing. Ricardo Eliecer Delgado		Ensayo No: 1		
Fecha de Muestreo: 2019-06-26		Sondeo/ Apique: Sondeo 16		
Responsable del Muestreo: Adolfo Ardila		Muestra: 7		
Fecha de Recepción: 2019-06-29		Profundidad [m]: 8,50		
Fecha Ejecución de Ensayos: 2019-07-09		Descripción Visual de Suelos compuestos por arcillas arenosas con presencia de gravas, de color la Muestra : amarillo marrón y rojo amarillento.		
RESULTADOS DEL ENSAYO				
MÉTODO POR TAMIZADO				
Peso Seco Seleccionado [g]	996,30	Peso Seco y Lavado a Tamizar [g]	650,07	
GRANULOMETRÍA				
Tamiz		Peso Retenido [g]	Peso Retenido [%]	% Que pasa
No.	[mm]			
3"	76,20	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	124,09	12,46	87,54
3/8"	9,53	48,79	4,90	82,65
No. 4	4,75	55,19	5,54	77,11
No. 8	2,36	52,20	5,24	71,87
No. 16	1,10	60,00	6,02	65,85
No. 30	0,60	58,21	5,84	60,00
No. 50	0,30	72,73	7,30	52,70
No. 100	0,15	72,55	7,28	45,42
No. 200	0,08	99,74	10,01	35,41
Pasa No. 200		6,56	0,66	34,75
Grava = 22,89%		Arena = 41,70%	Finos = 35,41%	
Clasificación SUCS: SC		(Arenas arcillosas)		
geotecnologia@erosion.com.co Calle 41 No. 28-33 Tel: 6341255 Bucaramanga, Colombia		Ensayado por: Jose Cadena Técnico de Laboratorio		Revisado por: Cristian Rey P Líder del Laboratorio
		Fecha: 2019-07-10		
Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan al material sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido sin la aprobación por escrito de Geotecnología S.A.S.				


Apéndice L. Resultados determinación contenido de agua de muestra de suelo de la muestra tomada del sondeo 16. Tomado de Geotecnología S.A.S

	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO - AGREGADO INV E-122-13																																					
	PROYECTO: Montebello																																					
CIUDAD: Bucaramanga, Santander	ESTUDIO N°: 4789-B	CLIENTE: Constructora Mardel S.A.S	CONTACTO: Ing. Ricardo Eliecer D.																																			
Método: A	Fecha de Recepción Muestra: 2019-06-29	Fecha de Muestreo: 2019-06-26	Fecha Ejecución de Ensayos: 2019-07-03																																			
Responsable del Muestreo: Adolfo Ardilla		Descripción Visual de la Muestra: Suelos compuestos por arcillas arenosas con algo de gravas, de color rojo amarillento y marrón amarillento.																																				
RESULTADOS DEL ENSAYO																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Ensayo No.:</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>Sondeo / Apique:</td><td style="text-align: center;">Sondeo 16</td></tr> <tr><td>Muestra No.:</td><td style="text-align: center;">9</td></tr> <tr><td>Profundidad [m]:</td><td style="text-align: center;">11,6</td></tr> <tr><td>Tamaño Máximo de Partícula [mm]:</td><td style="text-align: center;">19,05</td></tr> <tr><td>Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:</td><td style="text-align: center;">SI</td></tr> <tr><td>Suelo Estratificado [SI/NO]:</td><td style="text-align: center;">NO</td></tr> <tr><td rowspan="2">Material Excluido</td><td>Tamaño [mm]:</td><td style="text-align: center;">N.A</td></tr> <tr><td>Cantidad [g]:</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>Temperatura de Secado [°C]:</td><td style="text-align: center;">110</td></tr> <tr><td>Tara No.</td><td style="text-align: center;">294</td></tr> <tr><td>W. Tara [g]:</td><td style="text-align: center;">122,55</td></tr> <tr><td>W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:</td><td style="text-align: center;">1131,86</td></tr> <tr><td>W. Muestra Seca + W. Tara [g]:</td><td style="text-align: center;">971,19</td></tr> <tr><td>W. del Agua [g]:</td><td style="text-align: center;">160,67</td></tr> <tr><td>W. Muestra Seca [g]:</td><td style="text-align: center;">848,64</td></tr> <tr><td>Humedad [%]:</td><td style="text-align: center;">19,00</td></tr> </table>		Ensayo No.:	1	Sondeo / Apique:	Sondeo 16	Muestra No.:	9	Profundidad [m]:	11,6	Tamaño Máximo de Partícula [mm]:	19,05	Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:	SI	Suelo Estratificado [SI/NO]:	NO	Material Excluido	Tamaño [mm]:	N.A	Cantidad [g]:	0	Temperatura de Secado [°C]:	110	Tara No.	294	W. Tara [g]:	122,55	W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:	1131,86	W. Muestra Seca + W. Tara [g]:	971,19	W. del Agua [g]:	160,67	W. Muestra Seca [g]:	848,64	Humedad [%]:	19,00		
Ensayo No.:	1																																					
Sondeo / Apique:	Sondeo 16																																					
Muestra No.:	9																																					
Profundidad [m]:	11,6																																					
Tamaño Máximo de Partícula [mm]:	19,05																																					
Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:	SI																																					
Suelo Estratificado [SI/NO]:	NO																																					
Material Excluido	Tamaño [mm]:	N.A																																				
	Cantidad [g]:	0																																				
Temperatura de Secado [°C]:	110																																					
Tara No.	294																																					
W. Tara [g]:	122,55																																					
W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:	1131,86																																					
W. Muestra Seca + W. Tara [g]:	971,19																																					
W. del Agua [g]:	160,67																																					
W. Muestra Seca [g]:	848,64																																					
Humedad [%]:	19,00																																					
OBSERVACIONES:																																						
FIN DEL INFORME																																						
FD-AL-061-3-04-06-2019		Página 1 de 1																																				
geotecnologia@erosion.com.co Calle 41 No. 28-33 Tel: 6341255 Bucaramanga, Colombia	Ensayado por: Jose Cadena	Técnico de Laboratorio																																				
	Revisado por: Cristian Rey P	Líder del Laboratorio																																				
	Fecha: 2019-07-10																																					
Los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido sin la aprobación por escrito de Geotecnología S.A.S.																																						


Apéndice M. Resultados determinación contenido de agua de muestra de suelo de la muestra tomada del sondeo 19. Tomado de Geotecnología S.A.S.

	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO - AGREGADO INV E-122-13																																				
	PROYECTO: <u>Montebello</u>																																				
CIUDAD: <u>Bucaramanga, Santander</u>		ESTUDIO N°: <u>4789-B</u>																																			
CLIENTE: <u>Constructora Mardel S.A.S</u>		CONTACTO: <u>Ing. Ricardo Eliecer D.</u>																																			
Método: <u>A</u>		Fecha de Recepción Muestra: <u>2019-07-02</u>																																			
Fecha de Muestreo: <u>2019-06-29</u>		Fecha Ejecución de Ensayos: <u>2019-07-03</u>																																			
Responsable del Muestreo: <u>Adolfo Ardila</u>																																					
Descripción Visual de la Muestra: <u>Suelos compuestos por arcillas arenosas con presencia de gravas, de color rosado, amarillo rojizo y gris claro.</u>																																					
RESULTADOS DEL ENSAYO																																					
<table border="1"> <tr><td>Ensayo No.:</td><td align="center">1</td></tr> <tr><td>Sondeo / Apique:</td><td align="center">Sondeo 19</td></tr> <tr><td>Muestra No.:</td><td align="center">3</td></tr> <tr><td>Profundidad [m]:</td><td align="center">3,0</td></tr> <tr><td>Tamaño Máximo de Partícula [mm]:</td><td align="center">19,05</td></tr> <tr><td>Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:</td><td align="center">SI</td></tr> <tr><td>Suelo Estratificado [SI/NO]:</td><td align="center">NO</td></tr> <tr><td rowspan="2">Material Excluido</td><td>Tamaño [mm]:</td><td align="center">N.A</td></tr> <tr><td>Cantidad [g]:</td><td align="center">0</td></tr> <tr><td>Temperatura de Secado [°C]:</td><td align="center">110</td></tr> <tr><td>Tara No.:</td><td align="center">297</td></tr> <tr><td>W. Tara [g]:</td><td align="center">119,77</td></tr> <tr><td>W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:</td><td align="center">1014,85</td></tr> <tr><td>W. Muestra Seca + W. Tara [g]:</td><td align="center">919,81</td></tr> <tr><td>W. del Agua [g]:</td><td align="center">95,04</td></tr> <tr><td>W. Muestra Seca [g]:</td><td align="center">800,04</td></tr> <tr><td>Humedad [%]:</td><td align="center">12,00</td></tr> </table>		Ensayo No.:	1	Sondeo / Apique:	Sondeo 19	Muestra No.:	3	Profundidad [m]:	3,0	Tamaño Máximo de Partícula [mm]:	19,05	Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:	SI	Suelo Estratificado [SI/NO]:	NO	Material Excluido	Tamaño [mm]:	N.A	Cantidad [g]:	0	Temperatura de Secado [°C]:	110	Tara No.:	297	W. Tara [g]:	119,77	W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:	1014,85	W. Muestra Seca + W. Tara [g]:	919,81	W. del Agua [g]:	95,04	W. Muestra Seca [g]:	800,04	Humedad [%]:	12,00	
Ensayo No.:	1																																				
Sondeo / Apique:	Sondeo 19																																				
Muestra No.:	3																																				
Profundidad [m]:	3,0																																				
Tamaño Máximo de Partícula [mm]:	19,05																																				
Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:	SI																																				
Suelo Estratificado [SI/NO]:	NO																																				
Material Excluido	Tamaño [mm]:	N.A																																			
	Cantidad [g]:	0																																			
Temperatura de Secado [°C]:	110																																				
Tara No.:	297																																				
W. Tara [g]:	119,77																																				
W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:	1014,85																																				
W. Muestra Seca + W. Tara [g]:	919,81																																				
W. del Agua [g]:	95,04																																				
W. Muestra Seca [g]:	800,04																																				
Humedad [%]:	12,00																																				
OBSERVACIONES:																																					
FIN DEL INFORME																																					
FD-AL-061-3-04-06-2019		Página 1 de 1																																			
geotecnologia@erosion.com.co Calle 41 No. 28-33 Tel: 6341255 Bucaramanga, Colombia		Ensayado por: <u>Jose Cadena</u> Técnico de Laboratorio Revisado por: <u>Cristian Rey P</u> Líder del Laboratorio Fecha: <u>2019-07-10</u>																																			
Los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido sin la aprobación por escrito de Geotecnología S.A.S.																																					


**Apéndice N. Resultados determinación tamaño de partículas de la muestra tomada del
sondeo 19. Tomado de Geotecnología S.A.S.**

	INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS POR TAMIZADO INV E 123-13			
	PROYECTO: <u>Montebello</u>			
CIUDAD: <u>Bucaramanga, Santander</u>	ESTUDIO N°: <u>4789-B</u>			
CLIENTE: <u>Constructora Mardel S.A.S</u>	CONTACTO: <u>Ing. Ricardo Eliecer Delgado</u>			
Ensayo No: <u>1</u>	Fecha de Muestreo: <u>2019-06-29</u>			
Sondeo/ Apique: <u>Sondeo 19</u>	Responsable del Muestreo: <u>Adolfo Ardila</u>			
Muestra: <u>3</u>	Fecha de Recepción: <u>2019-07-02</u>			
Profundidad [m]: <u>3,00</u>	Fecha Ejecución de Ensayos: <u>2019-07-09</u>			
Descripción Visual de la Muestra: <u>Suelos compuestos por arcillas arenosas con presencia de gravas, de color rosado, amarillo rojizo y gris claro.</u>				
RESULTADOS DEL ENSAYO				
MÉTODO POR TAMIZADO				
Peso Seco Seleccionado [g]	800,04	Peso Seco y Lavado a Tamizar [g]	460,61	
GRANULOMETRÍA				
Tamiz		Peso Retenido [g]	Peso Retenido [%]	% Que pasa
No.	[mm]			
3"	76,20	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	89,38	11,17	88,83
3/8"	9,53	3,39	0,42	88,40
No. 4	4,75	9,26	1,16	87,25
No. 8	2,36	18,50	2,31	84,93
No. 16	1,10	41,66	5,21	79,73
No. 30	0,60	62,93	7,87	71,86
No. 50	0,30	95,50	11,94	59,92
No. 100	0,15	84,80	10,60	49,33
No. 200	0,08	53,93	6,74	42,58
Pasa No. 200		1,10	0,14	42,45
Grava = 12,75%		Arena = 44,66%		Finos = 42,58%
Clasificación SUCS: CL		(Arcillas ligeras arenosas)		
geotecnologia@erosion.com.co Calle 41 No. 28-33 Tel: 6341255 Bucaramanga, Colombia				Ensayado por: <u>Jose Cadena</u> Técnico de Laboratorio
				Revisado por: <u>Cristian Rey P</u> Líder del Laboratorio
				Fecha: <u>2019-07-10</u>
Los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido sin la aprobación por escrito de Geotecnología S.A.S.				

Apéndice O. Resultados determinación contenido de agua de muestra de suelo de la muestra tomada del sondeo 20. Tomado de Geotecnología S.A.S.

	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO - AGREGADO INV E-122-13																																				
	PROYECTO: <u>Montebello</u>																																				
CIUDAD: <u>Bucaramanga, Santander</u>	ESTUDIO N°: <u>4789-B</u>																																				
CLIENTE: <u>Constructora Mardel S.A.S</u>	CONTACTO: <u>Ing. Ricardo Eliecer D.</u>																																				
Método: <u>A</u>	Fecha de Recepción Muestra: <u>2019-07-05</u>																																				
Fecha de Muestreo: <u>2019-07-03</u>	Fecha Ejecución de Ensayos: <u>2019-07-06</u>																																				
Responsable del Muestreo: <u>Adolfo Ardila</u>																																					
Descripción Visual de la Muestra: <u>Suelos compuestos por arcillas arenosas con presencia de gravas, de color amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro.</u>																																					
RESULTADOS DEL ENSAYO																																					
<table border="1"> <tr><td>Ensayo No.:</td><td align="center">1</td></tr> <tr><td>Sondeo / Apique:</td><td align="center">Sondeo 20</td></tr> <tr><td>Muestra No.:</td><td align="center">5</td></tr> <tr><td>Profundidad [m]:</td><td align="center">5,0</td></tr> <tr><td>Tamaño Máximo de Partícula [mm]:</td><td align="center">9,53</td></tr> <tr><td>Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:</td><td align="center">SI</td></tr> <tr><td>Suelo Estratificado [SI/NO]:</td><td align="center">NO</td></tr> <tr><td rowspan="2">Material Excluido</td><td>Tamaño [mm]:</td><td align="center">N.A</td></tr> <tr><td>Cantidad [g]:</td><td align="center">0</td></tr> <tr><td>Temperatura de Secado [°C]:</td><td align="center">110</td></tr> <tr><td>Tara No.</td><td align="center">80</td></tr> <tr><td>W. Tara [g]:</td><td align="center">21,30</td></tr> <tr><td>W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:</td><td align="center">81,82</td></tr> <tr><td>W. Muestra Seca + W. Tara [g]:</td><td align="center">72,75</td></tr> <tr><td>W. del Agua [g]:</td><td align="center">9,07</td></tr> <tr><td>W. Muestra Seca [g]:</td><td align="center">51,45</td></tr> <tr><td>Humedad [%]:</td><td align="center">18,00</td></tr> </table>			Ensayo No.:	1	Sondeo / Apique:	Sondeo 20	Muestra No.:	5	Profundidad [m]:	5,0	Tamaño Máximo de Partícula [mm]:	9,53	Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:	SI	Suelo Estratificado [SI/NO]:	NO	Material Excluido	Tamaño [mm]:	N.A	Cantidad [g]:	0	Temperatura de Secado [°C]:	110	Tara No.	80	W. Tara [g]:	21,30	W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:	81,82	W. Muestra Seca + W. Tara [g]:	72,75	W. del Agua [g]:	9,07	W. Muestra Seca [g]:	51,45	Humedad [%]:	18,00
Ensayo No.:	1																																				
Sondeo / Apique:	Sondeo 20																																				
Muestra No.:	5																																				
Profundidad [m]:	5,0																																				
Tamaño Máximo de Partícula [mm]:	9,53																																				
Cumplimiento Masa Mínima [SI/NO]:	SI																																				
Suelo Estratificado [SI/NO]:	NO																																				
Material Excluido	Tamaño [mm]:	N.A																																			
	Cantidad [g]:	0																																			
Temperatura de Secado [°C]:	110																																				
Tara No.	80																																				
W. Tara [g]:	21,30																																				
W. Muestra Húmeda + W. Tara [g]:	81,82																																				
W. Muestra Seca + W. Tara [g]:	72,75																																				
W. del Agua [g]:	9,07																																				
W. Muestra Seca [g]:	51,45																																				
Humedad [%]:	18,00																																				
OBSERVACIONES:																																					
FIN DEL INFORME																																					
Página 1 de 1																																					
F0-AL-061-3-04-06-2019																																					
geotecnologia@erosion.com.co Calle 41 No. 28-33 Tel: 6341255 Bucaramanga, Colombia	Ensayado por: <u>Jose Cadena</u> Técnico de Laboratorio																																				
	Revisado por: <u>Cristian Rey P</u> Líder del Laboratorio																																				
	Fecha: <u>2019-07-10</u>																																				
Los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido sin la aprobación por escrito de Geotecnología S.A.S.																																					

Apéndice P. Resultados determinación tamaño de partículas de la muestra tomada del sondeo 20. Tomado de Geotecnología S.A.S.

		INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS POR TAMIZADO INV E 123-13			
PROYECTO: <u>Montebello</u>		ESTUDIO N°: <u>4789-B</u>			
CIUDAD: <u>Bucaramanga, Santander</u>		CONTACTO: <u>Ing. Ricardo Eliecer Delgado</u>			
CLIENTE: <u>Constructora Mardel S.A.S</u>					
Ensayo No: <u>1</u>	Fecha de Muestreo: <u>2019-07-03</u>				
Sondeo/ Apique: <u>Sondeo 20</u>	Responsable del Muestreo: <u>Adolfo Ardila</u>				
Muestra: <u>5</u>	Fecha de Recepción: <u>2019-07-05</u>				
Profundidad [m]: <u>5,00</u>	Fecha Ejecución de Ensayos: <u>2019-07-10</u>				
Descripción Visual de Suelos compuestos por arcillas arenosas con presencia de gravas, de color la Muestra : amarillo rojizo, marrón claro y marrón amarillento claro.					
RESULTADOS DEL ENSAYO					
MÉTODO POR TAMIZADO					
Peso Seco Seleccionado [g]	1930,80	Peso Seco y Lavado a Tamizar [g]	928,22		
GRANULOMETRÍA					
Tamiz		Peso Retenido [g]	Peso Retenido [%]	% Que pasa	
No.	[mm]				
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,53	0,00	0,00	100,00	
No. 4	4,75	0,24	0,01	99,99	
No. 8	2,36	4,57	0,24	99,75	
No. 16	1,10	28,72	1,49	98,26	
No. 30	0,60	105,86	5,48	92,78	
No. 50	0,30	298,20	15,44	77,34	
No. 100	0,15	301,92	15,64	61,70	
No. 200	0,08	184,40	9,55	52,15	
Pasa No. 200		4,08	0,21	51,94	
Grava =	0,01%	Arena =	47,84%	Finos =	52,15%
Clasificación SUCS:		CH	(Arcillas densas arenosas)		
		Página 1 de 2			
geotecnologia@erosion.com.co Calle 41 No. 28-33 Tel: 6341265 Bucaramanga, Colombia		Ensayado por: <u>Jose Cadena</u> Técnico de Laboratorio	Revisado por: <u>Cristian Rey P</u> Líder del Laboratorio		
		Fecha: <u>2019-07-10</u>			
los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido sin la aprobación por escrito de Geotecnología S.A.S.					

Apéndice Q. Localización aproximada de los sondeos realizados. Tomado de Geotecnología S.A.S.

