

Práctica de asesoría en el área de geología en el tema de amenaza por remoción en masa para el asentamiento humano Valle de los Caballeros del municipio de Girón

**Andrés Felipe Ariza Perico
Manuela Alejandra Estupiñan Silva**

Trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título de
Geólogo

Director
Guillermo Vargas Pieschacón
Geólogo

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2018**

Dedicatoria

Dedico este proyecto principalmente a Dios por estar siempre presente en mi vida.

A mis padres Luz Marina y Orlando que gracias a la crianza que me dieron y dedicación me he convertido en la persona que hoy en día soy, por estar siempre presentes y que sin el apoyo de ellos no habría podido terminar esta etapa de mi vida y convertirme en un profesional.

A aquellos amigos que tengo desde el colegio con los que crecí no solo físicamente sino también a nivel personal, con los cuales hemos compartido muchas experiencias, ellos me inspiran a dar siempre lo mejor de mí.

A aquellas personas que conocí gracias a la geología y con los cuales cree buenos recuerdos. Ya aquellos amigos que conocí en el trascurso de este viaje, con los que puedo contar en cualquier momento, con los que disfruto mucho pasar el rato y se han vuelto muy importantes en vida.

Aquellos que me conocen mejor que yo.

Andrés Felipe Ariza Perico

Dedicatoria

Agradezco a Dios por estar en mi vida, porque sin él este logro no hubiese sido posible.

Dedico este proyecto de grado a mis abuelitos Nicanor y Hercilia, porque, aunque hoy no están conmigo, sus recuerdos y enseñanzas siempre las llevaré en mi corazón.

A mis padres Juan y Alcira por su apoyo incondicional y amor verdadero, por creer en mí, por ser la fuerza que me motiva a seguir adelante.

A mi hermana Juana Valentina por ser mi compañía fiel y fortaleza ante cualquier adversidad.

Y a los que me han acompañado a lo largo de esta etapa.

Manuela Alejandra Estupiñan Silva

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander por formarnos profesionalmente con valores éticos.

A la Escuela de Geología y sus docentes, por involucrarnos en el mundo de la geología.

Al profesor Guillermo Vargas Pieschacón por sus enseñanzas y su colaboración constante para cumplir con los objetivos del proyecto.

A la Secretaria de Planeación de la Alcaldía Municipal de Girón por permitirnos desempeñarnos en el ámbito laboral.

Al geólogo Héctor Hernández Osses por su asesoría en el transcurso de la práctica.

A nuestros amigos que fueron parte fundamental en este proceso de aprendizaje.

Tabla de contenido

Introducción	19
1. Objetivos	20
1.1. Objetivo general	20
1.2. Objetivos específicos.....	20
2. Generalidades	21
2.1. Localización	21
2.2. Antecedentes	22
3. Justificación.....	24
4. Metodología	24
4.1. Fase Bibliográfica	25
4.2. Fase de Campo	25
4.3. Fase de Laboratorio.....	26
4.4. Fase de Análisis de Resultados y Edición de Informe Final	26
5. Marco teórico	27
5.1. Terminología.....	27
5.1.1. Zonificación	27
5.1.2. Susceptibilidad de Deslizamiento..	27
5.1.3. Amenaza.....	27
5.1.4. Mitigación..	27

5.2. Ensayos de Laboratorio.....	27
5.2.1. Análisis Granulométrico.....	27
5.2.2. Ensayo de Corte Directo..	29
5.2.3. Ensayo de Compactación.	31
5.2.4. Límites de Atterberg.....	33
5.2.5. Ensayo de densidad.....	34
5.3. Métodos de Zonificación.....	35
5.3.2. Método determinístico.....	35
6. Marco Geológico.....	36
6.1. Geología Estructural.....	36
6.2. Unidades Litoestratigráficas.....	37
6.2.1. Formación Girón (Jg).....	37
6.2.2. Formación Bucaramanga.....	37
6.3. Unidades Geológicas Superficiales	38
6.3.1. Suelos Coluviales Recientes (Sco1).....	39
6.3.2. Suelo Gravoso Miembro Órganos (Sft3).....	40
6.3.3. Suelos de Conos Erosionales (Sft5).....	41
6.3.4. Suelo Flujo de Escombros Antiguos (Sfe1).....	41
6.3.5. Suelos de Llenos Antrópicos (Sla).....	42
6.4. Ambiente depositacional	43
6.5. Cortes Geológicos	45
6.6. Geomorfología	46

7.	Aspectos influyentes	54
7.1.	Movimientos en masa.....	54
7.2.	Zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa en la zona	54
8.	Resultados	58
8.1.	Análisis Ensayos de laboratorio	58
8.2.	Evaluación de Estabilidad de Taludes.....	59
8.2.1.	Talud Estación EA-4..	61
8.2.2.	Talud Estación EA-13..	64
8.3.	Evaluación de amenaza	67
8.3.1.	Amenaza baja (B).....	67
8.3.2.	Amenaza media (M).....	68
8.3.3.	Amenaza alta (A)..	68
9.	Conclusiones	70
10.	Recomendaciones.....	71
	Referencias bibliográficas.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización área de estudio Valle de los Caballeros, Girón. Imágenes tomadas de Google Earth, 2017.....	21
Figura 2. Fotografías satelitales del área de estudio, tomadas de Google Earth. En rojo se señalan las vías de acceso y en naranja los terrenos a adecuar para futuras construcciones. A) Fotografía tomada en el mes de Agosto del 2002. B) Fotografía tomada en el mes de Septiembre del 2009. C) Fotografía tomada en el mes de Diciembre 2012. D) Fotografía tomada en el mes de Mayo 2015.	23
Figura 3. Viviendas en zonas de alta amenaza, hacia el Este del asentamiento.....	23
Figura 4. Flujo metodológico.	25
Figura 5. Tabla de numeración y abertura de tamices. Espinace R., 1979.....	28
Figura 6. Ejemplo de curva granulométrica representado en un papel "log-normal".	29
Figura 7. Esquema del aparato de corte directo. Fuente: (Geotecnia LNV., 1993).	29
Figura 8. Recta intrínseca. Fuente: Espinace R., 1979.....	30
Figura 9. Curva típica de ensayo Proctor. Fuente: Polanco Rodríguez, 2013.....	32
Figura 10. Estados de consistencia según la humedad de suelo (Solís Chávez, 2004).	33
Figura 11. Modelo tridimensional de la tectónica del Área Metropolitana de Bucaramanga. Fuente (Vargas & Niño, 1992), modificado por los autores.	36
Figura 12. Suelo Coluvial Reciente (Scol) y Suelo Gravoso Miembro Órganos (Sft3), estación EA-5.	40
Figura 13. Suelo de conos erosionables (Sft5), estación EA-7.	41
Figura 14. Panorámica Unidad Suelo de lleno antrópico (Sla) con vista detallada, estación EA-11.	42

Figura 15. Suelos de llenos antrópicos, estación EA-3, cancha deportiva.	43
Figura 16. Mapa geológico del área de estudio con sus respectivas secciones de corte, escala 1:2500.	44
Figura 17. <i>Cortes geológicos de las secciones 1, 2 y 3.</i>	45
Figura 18. Mapa de pendientes del área de estudio, escala 1:2500.	47
Figura 19. Panorámica donde se observan las Unidades geomorfológicas D10 y A3.	50
Figura 20. Estación EA-7, Unidad geomorfológica D19.	50
Figura 21. Estación EA-6, Unidad Geomorfológica D19.	51
Figura 22. Estación EA-3, Unidad geomorfológica A3.	51
Figura 23. Unidad geomorfológica A9.....	52
Figura 24. Estación EA-7, Unidad geomorfológica A10.	52
Figura 25. Mapa de Unidades Geomorfológicas del área de estudio, escala 1:2500.	53
Figura 26. Vivienda hacia el Este del asentamiento, expuesta a caída de detritos.....	54
Figura 27. Valores ponderados de las variables litología, morfometría, geomorfología y uso de suelos.	55
Figura 28. Análisis de estabilidad en condición normal, talud EA-4.....	62
Figura 29. Análisis de estabilidad en condición con sismicidad, talud EA-4.	62
Figura 30. Análisis de estabilidad en condición parcialmente saturado, talud EA-4.	63
Figura 31. Análisis de estabilidad en condición parcialmente saturado con sismicidad, talud EA-4.	63
Figura 32. Análisis de estabilidad en condición actual, talud EA-13.....	65
Figura 33. Análisis de estabilidad en condición con sismicidad, talud EA-13.	65
Figura 34. Análisis de estabilidad en condición saturado, talud EA-13.....	66
Figura 35. Análisis de estabilidad en condición con sismo y saturación, talud EA-13.....	66

Figura 36. Mapa de zonificación de amenaza bajo el escenario de menor riesgo (Suelo seco y sismo entre 1.2 y 5.5), escala 1:2500..... 69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Nomenclatura de las UGS, INGEOMINAS, 2001.</i>	39
Tabla 2. Nomenclatura de las UGS, INGEOMINAS, 2001.....	46
Tabla 3. Criterios de Susceptibilidad.....	55
Tabla 4. Ponderación factor Morfométrico.	56
Tabla 5. Ponderación factor Morfogenético.	57
Tabla 6. Ponderación factor Litológico.	57
Tabla 7. Ponderación factor Uso del Suelo.	57
Tabla 8. Valores de los factores detonantes para la Zonificación de Amenaza.	58
Tabla 9. Resumen de los resultados de laboratorio para el talud de la estación EA-13.	58
Tabla 10. Resumen de los resultados de laboratorio para el talud de la estación EA-4.	59
Tabla 11. Valores de los parámetros para el cálculo de estabilidad, talud EA-4.....	59
Tabla 12. Valores de los parámetros para el cálculo de estabilidad, talud EA-13.	60
Tabla 13. Valores de categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición estática.	61
Tabla 14. Valores de categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición pseudo-estática.....	61
Tabla 15. Cuadro resumen de los FS obtenidos por el software Slide 6.0, talud EA-4.	64
Tabla 16. Cuadro resumen de los FS obtenidos por el software Slide 6.0, talud EA-4.	67

LISTA DE APÉNDICES

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de Datos de la
Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Libreta de campo.

Apéndice B. Informes.

Apéndice C. Columnas estratigráficas.

Apéndice D. Mapas.

Apéndice E. Resultados de ensayos de laboratorio.

Apéndice F. Modelamientos.

RESUMEN

TÍTULO: PRÁCTICA DE ASESORÍA EN EL ÁREA DE GEOLOGÍA EN EL TEMA DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO VALLE DE LOS CABALLEROS DEL MUNICIPIO DE GIRÓN*

AUTORES: ANDRÉS FELIPE ARIZA PERICO, MANUELA ALEJANDRA ESTUPIÑAN SILVA**

PALABRAS CLAVES: VALLE DE LOS CABALLEROS, AMENAZA, REMOCIÓN EN MASA, SUSCEPTIBILIDAD, MITIGACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

El asentamiento humano Valle de los Caballeros desde el año 2002 se ha encontrado en procesos de expansión, sin considerar la Normatividad Vigente NSR-10 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial al momento de edificar y sin tener en cuenta los procesos de remoción en masa que podrían afectarlos. Esta situación alarma a la Secretaria de Planeación del Municipio de Girón ya que pueden ocurrir desastres, causando no sólo pérdidas económicas sino también vidas humanas.

El proyecto tiene como finalidad realizar un estudio preliminar de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por procesos de remoción en masa, aplicando un método heurístico de combinación cuantitativa de mapas en el software ARCGIS, versión 10.3, considerando las variables geológicas, geomorfológicas, cobertura de suelo y morfometría del terreno, cartografiadas a escala 1:2500. También se evaluó el factor de seguridad en dos taludes por un método determinístico a partir de propiedades físico-mecánicas de algunas unidades aflorantes, para generar modelos de estabilidad, mediante el método de equilibrio límite por la teoría de Mohr-Coulomb y así obtener un factor de seguridad para condiciones estáticas y dinámicas empleando el software Slide, versión 6.0.

Una vez identificadas las zonas de alta amenaza por procesos de remoción en masa, se plantean algunas recomendaciones, con el fin de mitigar la amenaza en dichas áreas.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director: Guillermo Vargas Pieschacón, Geólogo.

ABSTRACT

TITLE: PRACTICE OF ADVISORY IN THE AREA OF GEOLOGY IN THE SUBJECT OF THREAT FOR MASS MOVEMENT IN THE HUMAN SETTLEMENT “VALLE DE LOS CABALLEROS” OF THE MUNICIPALITY OF GIRÓN*

AUTHORS: ANDRÉS FELIPE ARIZA PERICO, MANUELA ALEJANDRA ESTUPIÑAN SILVA **

KEY WORDS: VALLE DE LOS CABALLEROS, THREAT, MASS MOVEMENT, SUSCEPTIBILITY, MITIGATION.

DESCRIPTION:

Human settlement Valle de los Caballeros since 2002 has been found in processes of expansion, without considering the Current Regulations NSR-10 of the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development at the time of building and without taking into account the mass removal processes that could affect them. This situation alarms the Planning Secretary of the Municipality of Girón as possible disasters may occur, causing not only economic losses but also human lives.

The following project aims to perform a preliminary study of the susceptibility and threat zoning by mass removal processes, applying a heuristic method of quantitative combination of maps in the ARCGIS software, considering geological, geomorphological, land cover and terrain morphometric variables, mapped at a scale of 1:2500. The safety factor in two slopes was also evaluated by a deterministic method based on physical-mechanical properties of some outcropping units, to generate stability models, by means of the limit equilibrium method by the Mohr-Coulomb theory and to obtain a safety factor for static and dynamic conditions using the software Slide, version 6.0.

Once the areas of high threat in the sector have been identified by mass removal processes, some recommendations are made, in order to mitigate the threat in those areas.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director: Guillermo Vargas Pieschacón, Geólogo.

Introducción

El proyecto de grado en la modalidad de práctica empresarial permite la aplicación de los conocimientos teórico prácticos adquiridos durante el proceso de formación académica y a su vez promueve el desarrollo en el ámbito laboral.

Mediante el convenio celebrado entre la Universidad Industrial de Santander y la Alcaldía municipal de Girón el día 7 de marzo de 2017, la Secretaria de Planeación brindó la oportunidad de realizar el proyecto de grado en la modalidad de Práctica Empresarial, con el fin de optar por el título de geólogo. Para esto, se desarrolla un proyecto de asesoría en el área de geología en el tema de amenaza por remoción en masa para el asentamiento Valle de los Caballeros.

El trabajo se centra en la compilación de información geológica y geotécnica realizada en el área; para ello se llevó a cabo un estudio de campo en el que se analizaron afloramientos, taludes, mapas geológicos-geomorfológicos y propiedades geotécnicas de los suelos, para generar modelamientos en diferentes escenarios que permitan definir los niveles de amenaza y así plantear medidas de prevención.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Realizar una zonificación de amenaza por remoción en masa en el asentamiento Valle de los Caballeros, Municipio de Girón.

1.2. Objetivos específicos

- ✚ Compilar información previa del área de estudio sobre aspectos litoestratigráficos, estructurales, geomorfológicos y geotécnicos llevados a cabo por entidades públicas y privadas.

- ✚ Identificar las características geológicas y geotécnicas mediante estudios de campo y ensayos de laboratorio a algunas unidades geológicas de la zona.

- ✚ Elaborar columnas estratigráficas, midiendo espesores reales de las capas.

- ✚ Realizar cortes geológicos para visualizar las unidades y contactos a nivel vertical en el área de estudio.

- ✚ Generar modelamientos en el software Slide 6.0 con las propiedades de los materiales para obtener el factor de seguridad del terreno en diferentes condiciones.

- ✚ Plantear soluciones para reducir la amenaza en el área.

2. Generalidades

2.1. Localización

El asentamiento humano Valle de los Caballeros del Municipio de Girón, Departamento de Santander, se encuentra ubicado al suroriente del casco urbano de Girón a los $7^{\circ}03'13.63''$ de latitud norte y $73^{\circ}09'28.65''$ de longitud occidental con una altitud promedio de 756 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

El área de estudio se localiza en la Cordillera Oriental de Colombia, delimitada entre las coordenadas $1^{\circ}271.500\text{m N} - 1^{\circ}101.150\text{m E}$ y $1^{\circ}272.250\text{m N} - 1^{\circ}101.850\text{m E}$.



Figura 1. Localización área de estudio Valle de los Caballeros, Girón. Imágenes tomadas de Google Earth, 2017.

2.2. Antecedentes

Para tener una idea del crecimiento del sector urbano a medida del tiempo, se analizaron imágenes satelitales tomadas del programa Google Earth, para esto se recopilamos cinco imágenes tomadas entre los años 2002 y 2015 (Figura 2).

En la fotografía A tomada en el mes de Agosto del 2002, se evidencia el comienzo de adecuación del terreno y elaboración de pequeñas vías de acceso, con el fin de facilitar el inicio de la construcción de viviendas del futuro asentamiento. En el año 2009 (fotografía B) se observan casas construidas aleatoriamente sobre el terreno. Hacia el Oeste se observa que en el transcurso del año 2002 al 2009, se presenta una gran cantidad de deslizamientos, donde todo el flujo el material se acumuló en la parte central de la microcuenca.

Según la fotografía C, en el año 2012 se alcanza una gran evolución en la construcción, se reconocen las manzanas con sus respectivas nomenclaturas y vías de acceso bien definidas. Teniendo en cuenta las imágenes de los años anteriores y comparándolas, se observa que se ha llevado una expansión en la construcción hacia la parte más sur del sector.

En los años siguientes no se observan grandes cambios en el asentamiento con respecto a la construcción o la expansión de viviendas. Para el 2015 (fotografía D) en una pequeña área al Noroeste (entrada Valle de los Caballeros) se observan los inicios de una nueva adecuación del terreno para una futura construcción; esto se hizo para la elaboración del proyecto del Conjunto Residencial Puerto Viento, el cual hoy en día ya se encuentra edificado.

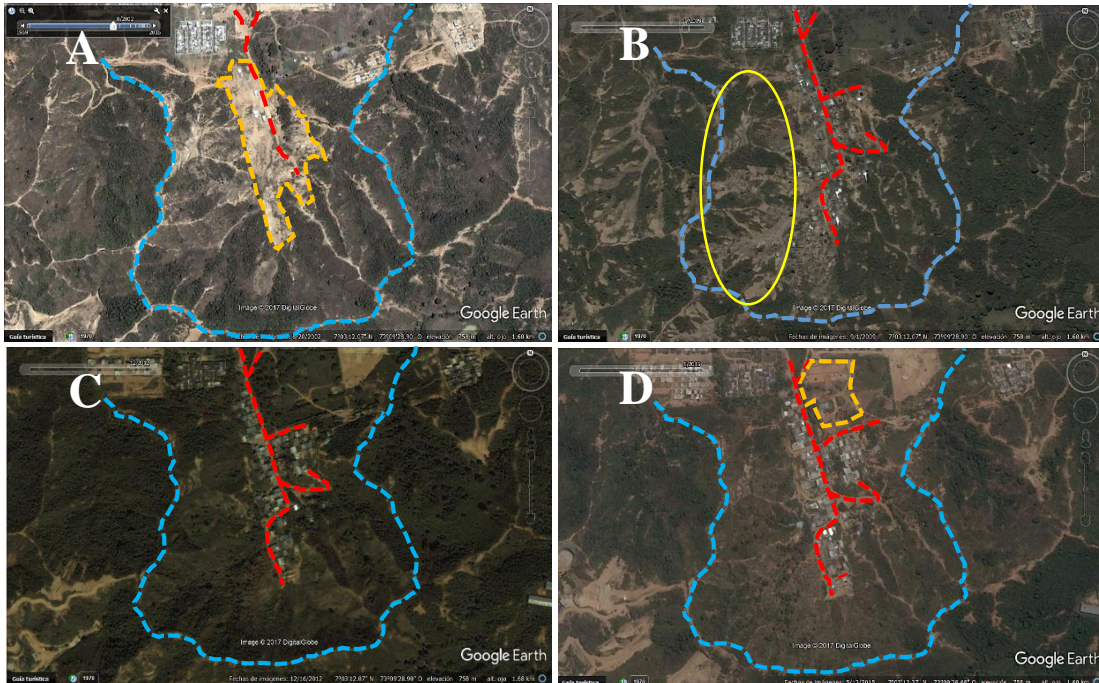


Figura 2. Fotografías satelitales del área de estudio, tomadas de Google Earth. En rojo se señalan las vías de acceso y en naranja los terrenos a adecuar para futuras construcciones. **A)** Fotografía tomada en el mes de Agosto del 2002. **B)** Fotografía tomada en el mes de Septiembre del 2009. **C)** Fotografía tomada en el mes de Diciembre 2012. **D)** Fotografía tomada en el mes de Mayo 2015.

Actualmente en el asentamiento se observan edificaciones en terrenos no son muy consolidados, expuestos a procesos erosivos y afectados por caídas de rocas o detritos como se observan en la Figura 3.



Figura 3. Viviendas en zonas de alta amenaza, hacia el Este del asentamiento.

3. Justificación

El Municipio de Girón presenta precipitaciones entre 66 mm a 182 mm aproximadamente durante el año, que al incidir en zonas de alta pendiente se generan fenómenos de erosión y movimientos en masa.

Los habitantes del asentamiento Valle de los Caballeros hicieron un llamado a la Administración Municipal para que se realice el estudio técnico del sector, con el fin de establecer oficialmente las zonas que no se encuentran en alto riesgo y así lograr su legalización. Según los afectados, la falta de este trámite les ha impedido gestionar obras como el acueducto, alcantarillado, gas, pavimentación de las vías y construcción de un parque infantil (Carvajal Pineda, 2013).

En esta práctica se quiere realizar un aporte geológico al Municipio de Girón mediante una zonificación de amenaza, para ello se aplicarán los conocimientos adquiridos durante la carrera de geología, como es la caracterización de rasgos litológicos, geomorfológicos y modelamientos geotécnicos para la valoración de los niveles de amenaza del área.

4. Metodología

Para realizar el proyecto de la Secretaria de Planeación de Girón y cumplir con los objetivos propuestos, se lleva a cabo cuatro fases de estudio a partir del día 31 de Julio de 2017.

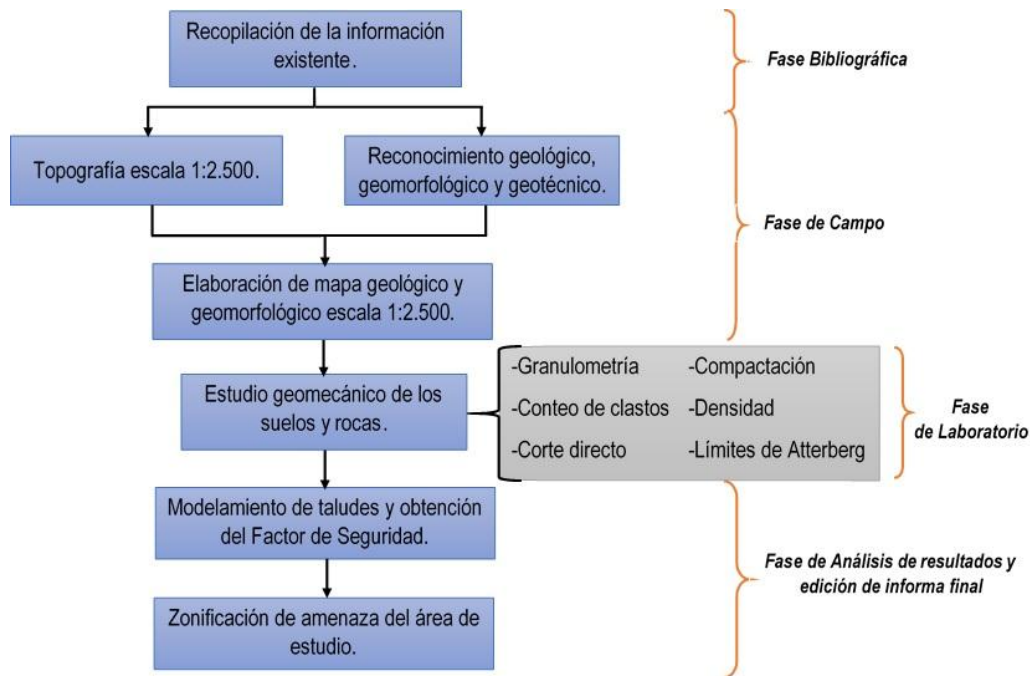


Figura 4. Flujo metodológico.

4.1. Fase Bibliográfica

En esta fase inicial se llevó a cabo la recopilación y documentación de información brindada por el municipio; en ella se encuentran mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, informes técnicos y resultados de análisis de laboratorio realizados anteriormente.

4.2. Fase de Campo

Se inició con la descripción litológica mediante el análisis de afloramientos y muestras de mano, con el fin de definir las unidades litoestratigráficas presentes en el área y así elaborar la cartografía geológica a escala 1:2500.

Posteriormente, se realizó el levantamiento de columnas en diferentes sectores, tres cortes geológicos con direcciones Norte-Sur y Oeste-Este para conocer la disposición de las rocas y construir un modelo geológico coherente. Además, se seleccionaron los taludes a los cuales se les realizará los análisis de laboratorio.

Finalmente, se elaboró el mapa geomorfológico y cobertura de suelo (Corine Land Cover), teniendo en cuenta las descripciones de campo, imágenes satelitales, análisis de morfometría y morfogénesis.

4.3. Fase de Laboratorio

Desarrollada en el laboratorio ‘Centro de caracterización de materiales de construcción’ de la Escuela de ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander, en donde se realizaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg y compactación a las muestras seleccionadas, para clasificarlos según SUCS y obtener los valores a utilizar en el modelamiento geotécnico.

4.4. Fase de Análisis de Resultados y Edición de Informe Final

En esta fase final se usaron los resultados de cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario de las muestras, para generar el modelado geotécnico de dos taludes bajo diferentes escenarios en el software Slide, versión 6.0.

También mediante la metodología heurística se determinaron las zonas de amenaza baja, media y alta, con base en la información recolectada en campo. Por último, los resultados obtenidos en el transcurso del proyecto fueron editados y digitalizados en un documento para entregar a la Alcaldía de Girón y a la Universidad Industrial de Santander.

5. Marco teórico

5.1. Terminología

5.1.1. Zonificación. Varnes (1984) define zonificación como la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas.

5.1.2. Susceptibilidad de Deslizamiento. Evaluación cuantitativa o cualitativa de una región en la que existen o pueden existir deslizamientos. Esta evaluación considera la clasificación, volumen (o área) y distribución espacial de los movimientos en masa; también puede incluir una descripción de la velocidad e intensidad de los movimientos potenciales o existentes. La susceptibilidad a movimientos en masa incluye movimientos en masa originados en la zona de estudio o pueden tener su fuente fuera de esta ella, pero pueden viajar de regreso hacia o desde ésta área (Fell, Corominas, Bonnard, Cascini, Lero, & Savage, 2008).

5.1.3. Amenaza. Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo (Varnes, 1984).

5.1.4. Mitigación. Son medidas tomadas con anticipación al desastre, con el ánimo de reducir o eliminar su impacto sobre la sociedad y medio ambiente.

5.2. Ensayos de Laboratorio

5.2.1. Análisis Granulométrico. Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas (Sánchez, 2012).

El método de determinación granulométrica es el realizado mediante el uso de tamices de distintos de entramado (Figura 5), que funcionan como filtros de granos; estos tamices se ensamblan en una columna donde el tamiz de malla más grande quede en la parte superior, se agrega el material original y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices.

Tamiz (ASTM)	Tamiz (Nch) (mm.)	Abertura real (mm.)	Tipo de suelo
3 "	80	76,12	GRAVA
2 "	50	50,80	
1 1/2 "	40	38,10	
1 "	25	25,40	
3/4 "	20	19,05	
3/8 "	10	9,52	ARENA GRUESA
N° 4	5	4,76	
N° 10	2	2,00	ARENA MEDIA
N° 20	0,90	0,84	
N° 40	0,50	0,42	
N° 60	0,30	0,25	ARENA FINA
N° 140	0,10	0,105	
N° 200	0,08	0,074	

Figura 5. Tabla de numeración y abertura de tamices. Espinace R., 1979.

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica (Figura 6), con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano de las partículas.

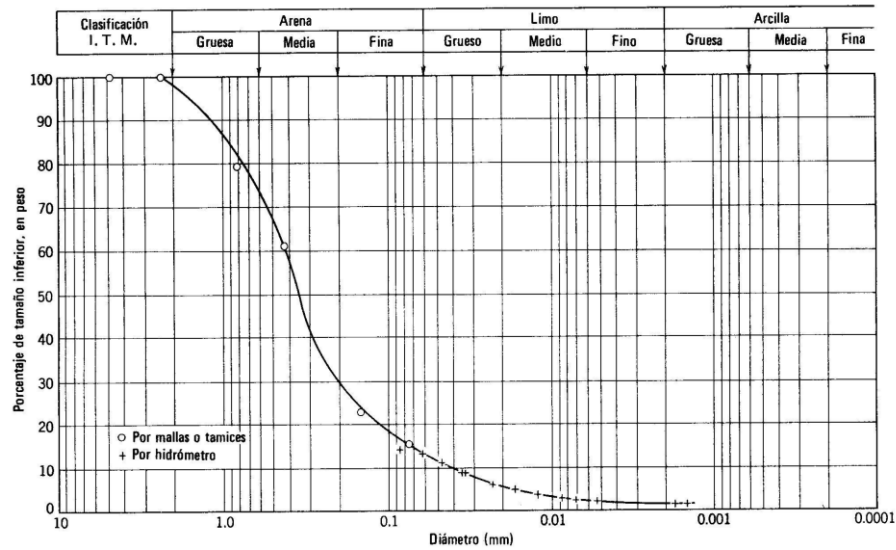


Figura 6. Ejemplo de curva granulométrica representado en un papel "log-normal".

5.2.2. Ensayo de Corte Directo. Consiste en inducir una falla en una muestra de suelo, a través de la imposición de dos esfuerzos: el primero de ellos un esfuerzo normal (P_v), que se da mediante la aplicación de una carga vertical y que está direccionado a inducir las condiciones de presión a las que está sometida dicha muestra en su entorno natural y un esfuerzo cortante (P_h) que se da mediante la aplicación de una carga horizontal y que cuyos valores de esfuerzos obtenidos a través del ensayo permiten obtener un plano de ejes coordenados y a través del cual se determinan los valores de cohesión y ángulo de fricción (Figura 7) (Botía Díaz, 2015).

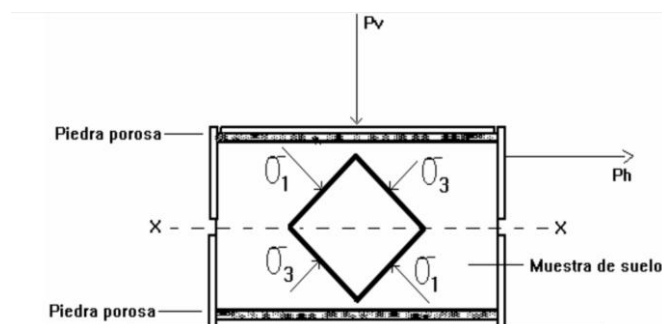


Figura 7. Esquema del aparato de corte directo. Fuente: (Geotecnia LNV., 1993).

El ensayo induce la falla a través de un plano determinado. Sobre este plano de falla actúan dos esfuerzos:

- ✚ Un esfuerzo normal (σ_n), aplicado externamente debido a la carga vertical (Pv).
- ✚ Un esfuerzo cortante (τ), debido a la aplicación de la carga horizontal.

Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área (A) de la muestra o de la caja de corte y deberían satisfacer la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n * \operatorname{Tg}(\varphi)$$

Según esta ecuación la resistencia al corte depende de la cohesión (c) y la fricción interna del suelo (φ). Al aplicar la fuerza horizontal, se van midiendo las deformaciones y con estos valores es posible graficar la tensión de corte (τ), en función de la deformación (ε) en el plano de esta tensión de corte. De la gráfica es posible tomar el punto máximo de tensión de corte como la resistencia al corte del suelo. Los valores de τ se llevan a un gráfico en función del esfuerzo normal (σ_n), obteniendo la recta intrínseca (Figura 8), donde τ va como ordenada y σ_n como abscisa. El ángulo que forma esta recta con el eje horizontal es el ángulo φ y el intercepto con el eje τ , la cohesión c.

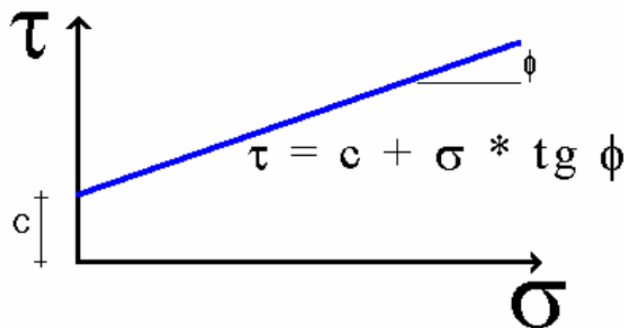


Figura 8. Recta intrínseca. Fuente: Espinace R., 1979.

El ensayo que se realizó fue del tipo:

✚ **Corte directo consolidado – drenado (CD):** se considera como el ensayo más lento y por ende demorado de todos. Se efectúa de igual manera que en ensayo CU pero al aplicar el esfuerzo cortante, estese aplica de la manera más lenta posible permitiendo así el drenaje de la muestra en todo momento y la disipación de las presiones de poros.

5.2.3. Ensayo de Compactación. Se entiende por compactación la aplicación mecánica de cierta energía, o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas (Polanco Rodríguez, 2013).

El propósito de un ensayo de compactación en laboratorio es determinar la curva de compactación para una determinada energía de compactación. Esta curva considera en abscisas el contenido de humedad y en ordenadas la densidad seca (Figura 9). A partir de ella, se podrá obtener la humedad llamada óptima que es la que corresponde a la densidad máxima.

En 1933, R.R. Proctor definió el ensayo conocido como Proctor Estándar, el cual consiste en tomar una muestra de 3 kg de suelo, pasarla por el tamiz # 4, agregarle agua cuando sea necesario y compactar este suelo bien mezclado en un molde, en tres capas con 25 golpes por capa de un martillo de compactación de 24.5 N con altura de caída de 0.305 m. Esto proporciona una energía nominal de compactación de 593.7 kJ/m³ (Polanco Rodríguez, 2013).

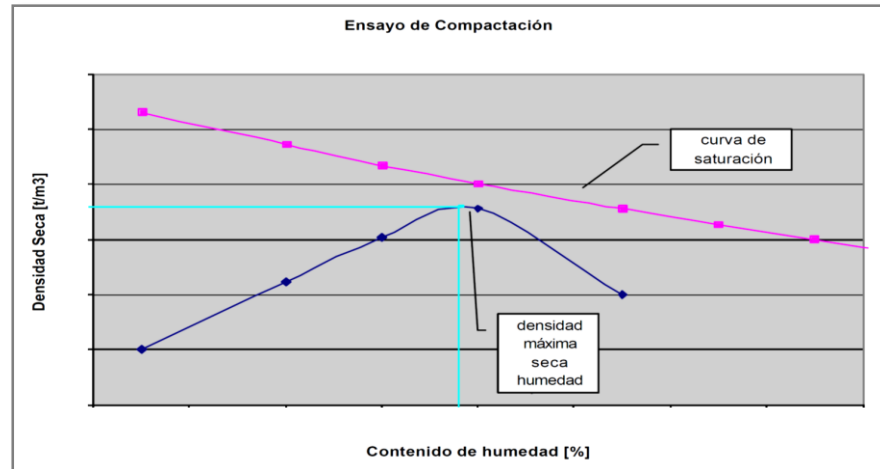


Figura 9. Curva típica de ensayo Proctor. Fuente: Polanco Rodríguez, 2013.

Toda curva de compactación estará siempre por debajo de la curva de saturación, $S = 100\%$ la que puede ser graficada en la curva de compactación una vez conocido el peso específico de los granos, G_s .

La curva $S = 100\%$ se obtiene calculando, para cualquier contenido de humedad w , su peso unitario seco:

$$\gamma_d = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + \omega * G_s}$$

G_s : Densidad de los sólidos

γ_w : Peso unitario del agua

w : Contenido de humedad

La densidad seca la podemos expresar en función de la densidad húmeda y el contenido de humedad:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega}$$

γ_t : Densidad húmeda

ω : Contenido de humedad

5.2.4. Límites de Atterberg. Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido.

El método usado para medir estos límites se conoce como Método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan Límites de Atterberg (Figura 10). Ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente (Universidad Católica de Valparaíso, 2012).

Esquemáticamente:

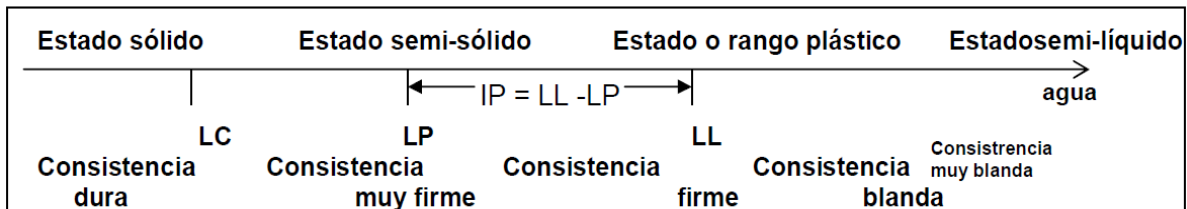


Figura 10. Estados de consistencia según la humedad de suelo (Solís Chávez, 2004).

- ✚ **Límite líquido (LL):** Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje.
- ✚ **Límite plástico (LP):** Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje.
- ✚ **Límite de contracción (LC):** Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, expresado en porcentaje.

Además, se define índice de plasticidad a la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico:

$$IP = LL - LP$$

5.2.5. Ensayo de densidad. La densidad relativa es una propiedad índice de estado de los suelos que se emplea normalmente en gravas y arenas, es decir, en suelos que contienen reducida cantidad de partículas menores que 0.074 mm. (malla # 200). La densidad relativa indica el grado de compactación del material y se emplea tanto en suelos naturales como en rellenos compactados, cabe señalar que el porcentaje de finos no debe sobrepasar un 12% para que la densidad relativa sea aplicable. Para mayores contenidos de finos se utiliza por tanto el ensayo de compactación (Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civi, 2008). Se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$(\%) = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{min}} \times 100$$

e: índice de huecos
V_v: Volumen de vacíos

$$e = De = DR \frac{V_v}{V_s}$$

Debido a que el parámetro de estado que se determina en terreno es la densidad húmeda, γ_h , y a través de ella, la densidad seca, γ_d , la misma fórmula conviene expresarla en función de las densidades secas de los distintos estados, como se presenta a continuación:

$$DR (\%) = \frac{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_{dmax}}} \times 100$$

Debe observarse que a $\gamma_d \max$ corresponde e_{min} y que a $\gamma_d \min$ corresponde e_{max} . De la definición se desprende que la densidad relativa varía entre 0% (cuando $e=e_{max}$ ó $\gamma_d=\gamma_{dmin}$) y 100% (cuando $e=e_{min}$ ó $\gamma_d=\gamma_{dmax}$).

5.3. Métodos de Zonificación

En vista de que la escala de trabajo es pequeña, la susceptibilidad se debe evaluar con métodos básicos, es decir, aquellos basados en procesos geomorfológicos y los de procedimientos heurísticos, con lo cual se obtendría una zonificación preliminar (Servicio Geológico Colombiano, 2013).

5.3.1. Método Heurístico. Los métodos heurísticos conocidos como indirectos se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa (Brabb, 1972); (Nilsen, Wright, Vlastic, & Spangle, 1979).

El método implementado en el proyecto es el mapa de combinación cuantitativa, en el cual se asignan pesos en una serie de mapas de parámetros. Las condiciones del terreno de un gran número de sitios se suman de acuerdo con estos pesos para obtener valores de amenaza que se puedan agrupar en clases.

5.3.2. Método determinístico. Los métodos determinísticos utilizan análisis mecánicos y modelos de estabilidad para determinar el factor de seguridad de una ladera concreta. Son métodos fiables y precisos cuando se dispone de datos válidos sobre los parámetros de resistencia de la ladera. Permiten, de acuerdo con el tipo de modelo, el análisis no sólo de la susceptibilidad a la falla sino también del alcance (como los modelos de caídas de bloques) y de la frecuencia del fenómeno (Servicio Geológico Colombiano, 2013).

6. Marco Geológico

6.1. Geología Estructural

El sistema de fallas del Suárez – Río de Oro es el rasgo estructural más cercano al área de estudio. La falla del Suárez es un elemento regional, representada por una fractura que se orienta paralela al río Suárez con un desplazamiento sinistral y con un curso sinuoso de Sur a Norte hasta su terminación en la falla de Bucaramanga al norte de la ciudad (Duarte Marín & Roa Viola, 2016) (Figura 11).

La falla Río de Oro que pertenece al sistema de falla del Suárez, es una falla inversa, con dirección aproximada de N50°E y presenta una componente sinistral (INGEOMINAS, 2005). Al Suroeste coloca en contacto los sedimentos del Abanico de Bucaramanga con la Formación Girón y su trazo al NE es inferido sobre los sedimentos del Abanico (Arévalo Avendaño & Rincón Duarte, 2016).

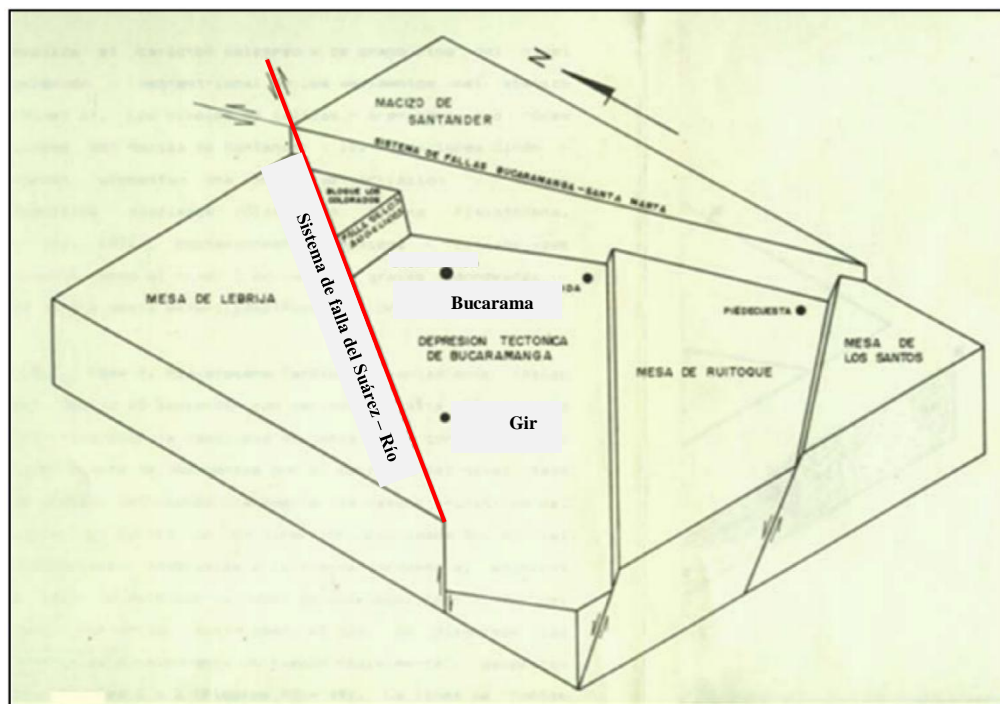


Figura 11. Modelo tridimensional de la tectónica del Área Metropolitana de Bucaramanga. Fuente (Vargas & Niño, 1992), modificado por los autores.

6.2. Unidades Litoestratigráficas

Las rocas sedimentarias que afloran en el área del proyecto corresponden al Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, subpraying la Formación Girón.

6.2.1. Formación Girón (Jg). El nombre “Girón” fue definido por Hettner en 1982 (Ward, Goldsmith, Cruz, & Restrepo, 1973) para designar un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas de color marrón rojizo. La Formación Girón aflora sobre el costado Oeste del valle del río de Oro y como “ventanas” en las zonas bajas de las quebradas que drenan el escarpe Occidental de la Meseta de Bucaramanga.

Litológicamente, la Formación Girón se caracteriza por presentar capas competentes de conglomerados y de areniscas cuarzo feldespáticas de colores crema verdoso, con predominio del color rojo intercaladas con lodolitas violetas masivas.

Durante un estudio de la Formación Girón, Langenheim halló fósiles de helechos en el miembro arcilloso medio en la quebrada Honda, con base en seis géneros reconocidos en esta localidad y su posición estratigráfica sobre la Formación Bocas le asignó una edad al conjunto de Pensilvaniano Superior y no más joven que el Pérmico (Langenheim, 1954).

6.2.2. Formación Bucaramanga. Descrita inicialmente por De Porta (1958). Corresponde a un depósito sedimentario aluvial de edad Cuaternario, morfogenéticamente definido como un abanico aluvial, asociado a un control tectónico en su desarrollo y depositación.

De acuerdo con la granulometría, morfología, agentes de transporte y fuentes de los materiales, esta unidad se acumuló en un ambiente típicamente fluvial, donde alternan materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombros, canal y lagunar. En

la zona de estudio esta unidad se encuentra representada por el Miembro Órganos (C.D.M.B., 2005).

Miembro Órganos (Qbo). Definido por Hubach (1952). Aflora en las laderas y escarpes de la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga y el Área Metropolitana, en los alrededores del municipio de Girón, anillo vial, en las estribaciones de la parte Norte de la Mesa de Ruitoque y en los cortes de la carretera que comunica la población de Girón con la ciudad de Bucaramanga (INGEOMINAS, Unidades geológicas superficiales, 2001).

Se caracteriza por erosionarse fácilmente, formando surcos, cárcavas y tierras malas que dan formas de estoraques que alcanzan alrededor de 15 metros de altura.

La edad del Miembro Órganos podría abarcar el Pleistoceno medio. Geomorfológicamente, este segmento desarrolla una forma típica que da origen a su nombre Órganos por la similitud de los estoraques con los tubos de estos instrumentos, dando la geoforma típica de las llamadas tierras malas (C.D.M.B., 2005).

Específicamente, este miembro se puede subdividir en dos niveles como se evidencia en las columnas levantadas (Apéndice C), las capas inferiores constituidas por arcillas arenosas, color gris, de consistencia fuerte con intercalaciones de niveles arenosos y gravosos, correspondientes al nivel inferior del Miembro Órganos y las capas superiores conformadas principalmente por conglomerados con clasto tipo guijarro a canto seguido de niveles arcillosos, color gris, pertenecientes al nivel superior del Miembro Órganos superior.

6.3. Unidades Geológicas Superficiales

Según INGEOMINAS (2001), las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), se consideran como formaciones correlativas en los procesos morfodinámicos, debido a la acción de

agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre, son unidades cartografiarles y uno de los productos básicos de la geotecnia.

En el área de estudio se caracterizaron y cartografiaron cinco Unidades Geológicas Superficiales a escala detallada 1:2500, que según su origen se asocian a suelos transportados (Figura 13).

En la nomenclatura del mapa geológico, los suelos transportados se representan con la letra S y la de suelos antrópicos con las letras Sl. A continuación, se presenta la nomenclatura utilizada.

Tabla 1.

Nomenclatura de las UGS, INGEOMINAS, 2001.

UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES		
	NOMENCLATURA	UNIDAD
	Sco1	Suelo coluvial reciente
Unidades de suelos trasportados	Sft3	Suelo gravoso Miembro Organos
	Sft5	Suelo conos erosionales
	Sfe1	Suelo flujo de escombros antiguos
Unidad de suelos llenos antrópicos	Sl	Suelo de llenos antrópicos

6.3.1. Suelos Coluviales Recientes (Sco1). Unidad geológica superficial que aflora en las estaciones EA-4, EA-5, EA-8 y EA-10, constituida por cuerpos conglomerático heterogéneos en matriz areno-limosa con clastos subredondeados de tamaño grava a cantos de composición predominantemente sedimentario (Figura 12). Caracterizados por ser matriz-soportada hacia a base y clasto-soportados hacia el techo. Los Suelos Coluviones Recientes de esta zona están asociados a depósitos de ladera por gravedad, movimientos en masa y lavado de lluvias.

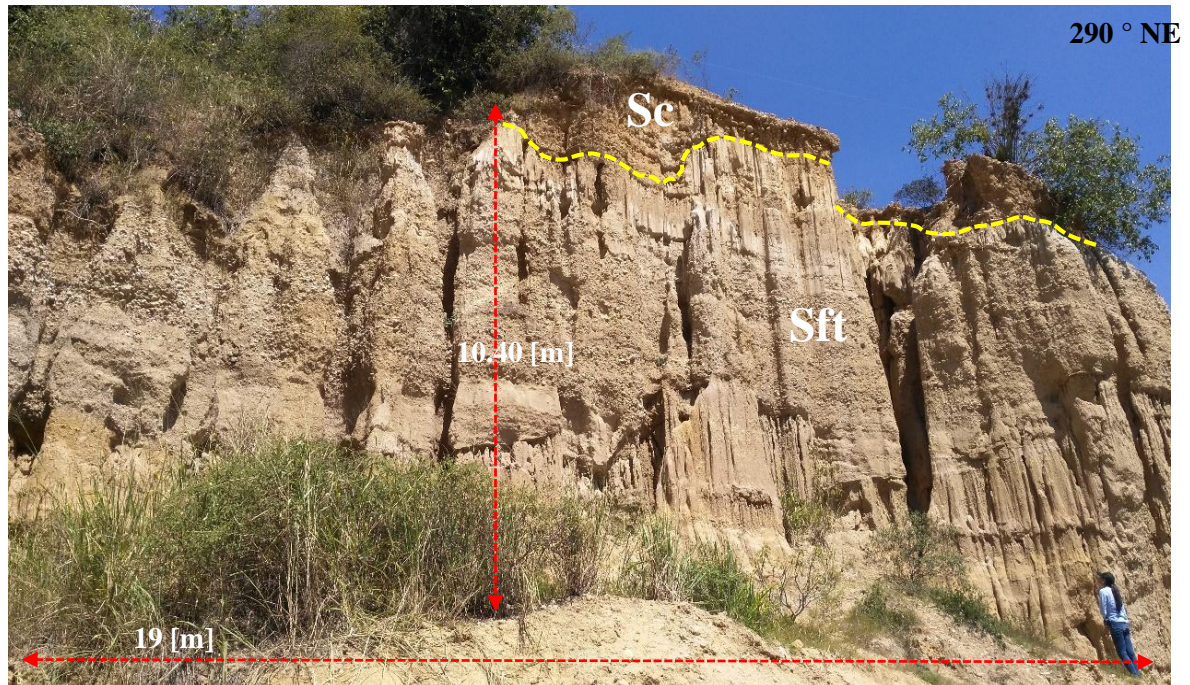


Figura 12. Suelo Coluvial Reciente (Scol) y Suelo Gravoso Miembro Órganos (Sft3), estación EA-5.

6.3.2. Suelo Gravoso Miembro Órganos (Sft3). Se encuentra en mayor proporción en toda el área de estudio, se tienen como puntos de control las estaciones EA-4, EA-5, EA-6 y EA-12. Unidad constituida por niveles conglomeráticos en matriz arcillo-limosa, color amarillo, el tamaño de los clastos varía desde gravas a cantos con diámetros entre 3 a 16 centímetros aproximadamente, con forma subredondeada a redondeada y estructura clasto-soportada, intercaladas por niveles arenosos de grano medio a grueso de color amarillo y niveles arcillosos de color gris (Figura 12).

6.3.3. Suelos de Conos Erosionales (Sft5). Suelos asociados a erosión hídrica, la cual genera una acumulación de sedimentos finos. Aflorantes en la parte baja de la microcuenca en las estaciones EA-7 y EA-9, los afloramientos presentan formas de conos o abanicos, compuestos por niveles limo-arcillosos en la base de color gris y niveles conglomerático hacia el tope con estructura clastosoportada, clastos de tamaño grava a canto, subredondeados a redondeados con mala calibración. Los materiales que conforma esta unidad de suelo tienen una consistencia moderada, son medianamente meteorizados, permeables y presentan erosión en surcos (Figura 13).

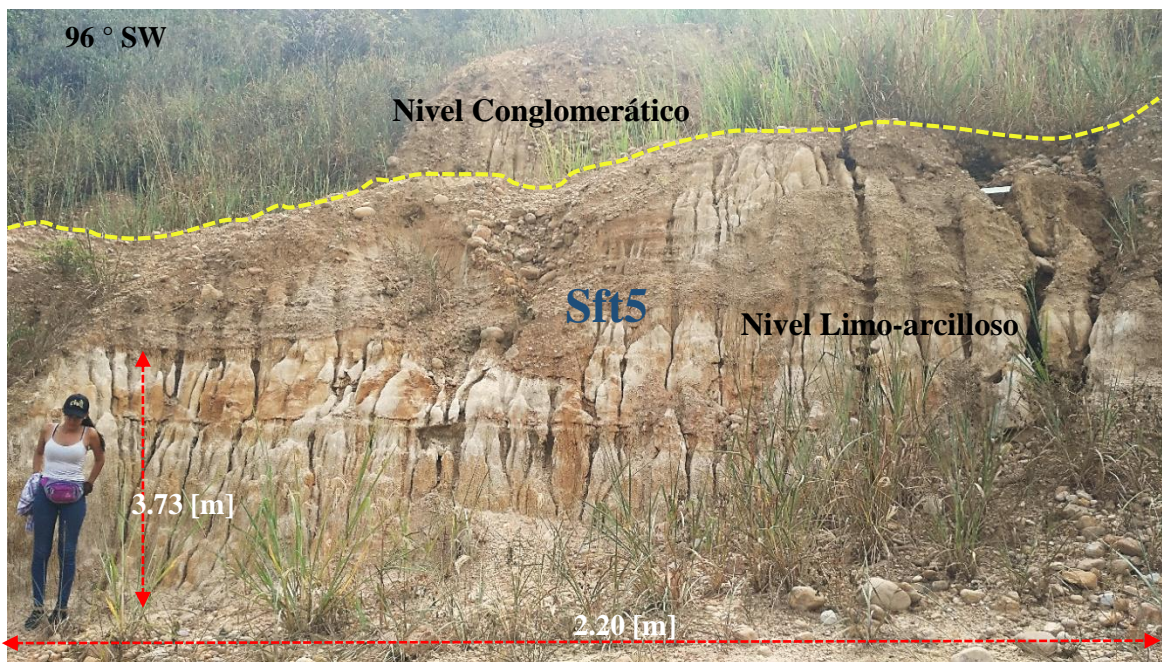


Figura 13. Suelo de conos erosionables (Sft5), estación EA-7.

6.3.4. Suelo Flujo de Escombros Antiguos (Sfe1). Unidad localizada en el centro de la microcuenca, conformado por fragmentos de areniscas y conglomerados tamaño grava a cantos, con disposición caótica en matriz areno-lodosa. En su mayoría estos materiales se encuentran en condición medianamente suelta.

6.3.5. Suelos de Llenos Antrópicos (Sla). Unidad constituida por materiales heterogéneos con poca compactación, acondicionados por el hombre de tamaño arcilla, arena y grava, producto de residuos de construcción o excavaciones para adecuación de terrenos. Correspondiente a las estaciones EA-3 (Figura 14) y EA-11 (Figura 15).



Figura 14. Panorámica Unidad Suelo de lleno antrópico (Sla) con vista detallada, estación EA-11.



Figura 15. Suelos de llenos antrópicos, estación EA-3, cancha deportiva.

6.4. Ambiente depositacional

Según Bueno y Solarte (1994) el ambiente depositacional de estos sedimentos corresponde a flujo de escombros y flujos torrenciales, con fases intermedia gravosa a areno-lodosas y facies de corrientes de canal, correspondiendo a la parte proximal y media del Abanico de Bucaramanga.

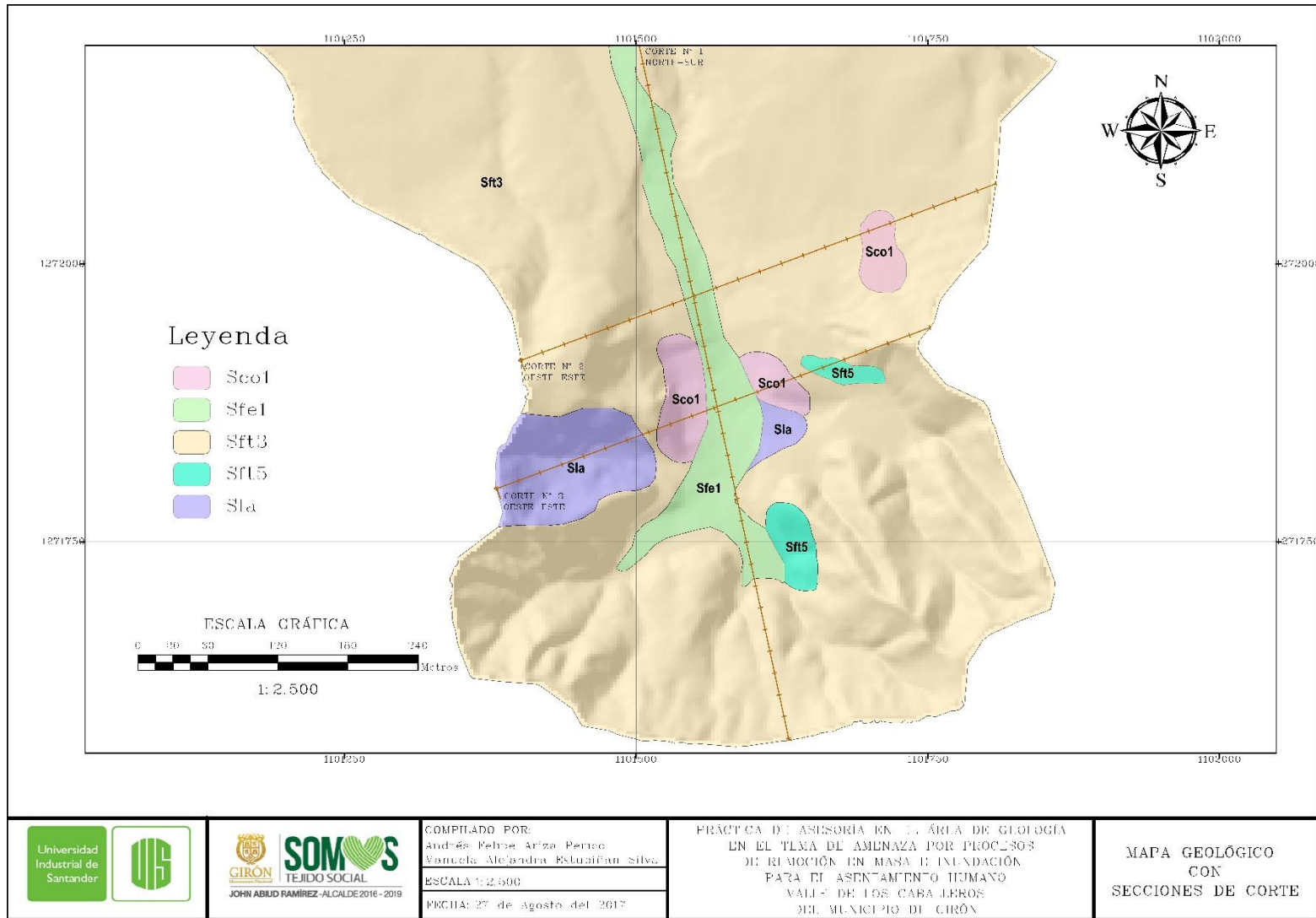


Figura 16. Mapa geológico del área de estudio con sus respectivas secciones de corte, escala 1:2500.

6.5. Cortes Geológicos

Se elaboraron tres cortes geológicos con direcciones Norte-Sur y Este-Oeste para conocer la disposición de las rocas. El contacto del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Sft3) con la Formación Girón (Jg) es inferido, debido a que se encuentra aproximadamente a 100 metros en dirección Norte a las afuera del asentamiento (Figura 17).

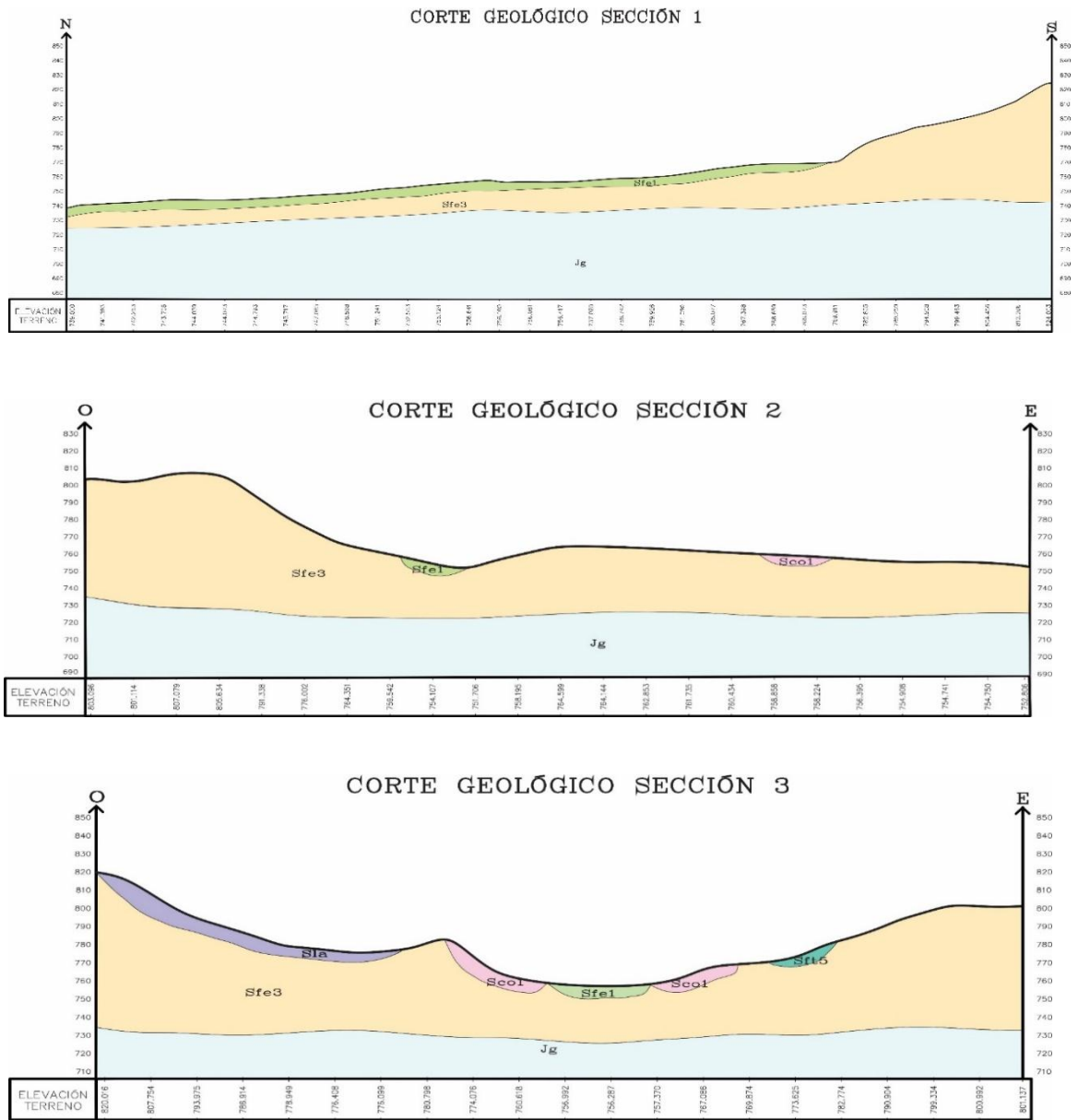


Figura 17. Cortes geológicos de las secciones 1, 2 y 3.

6.6. Geomorfología

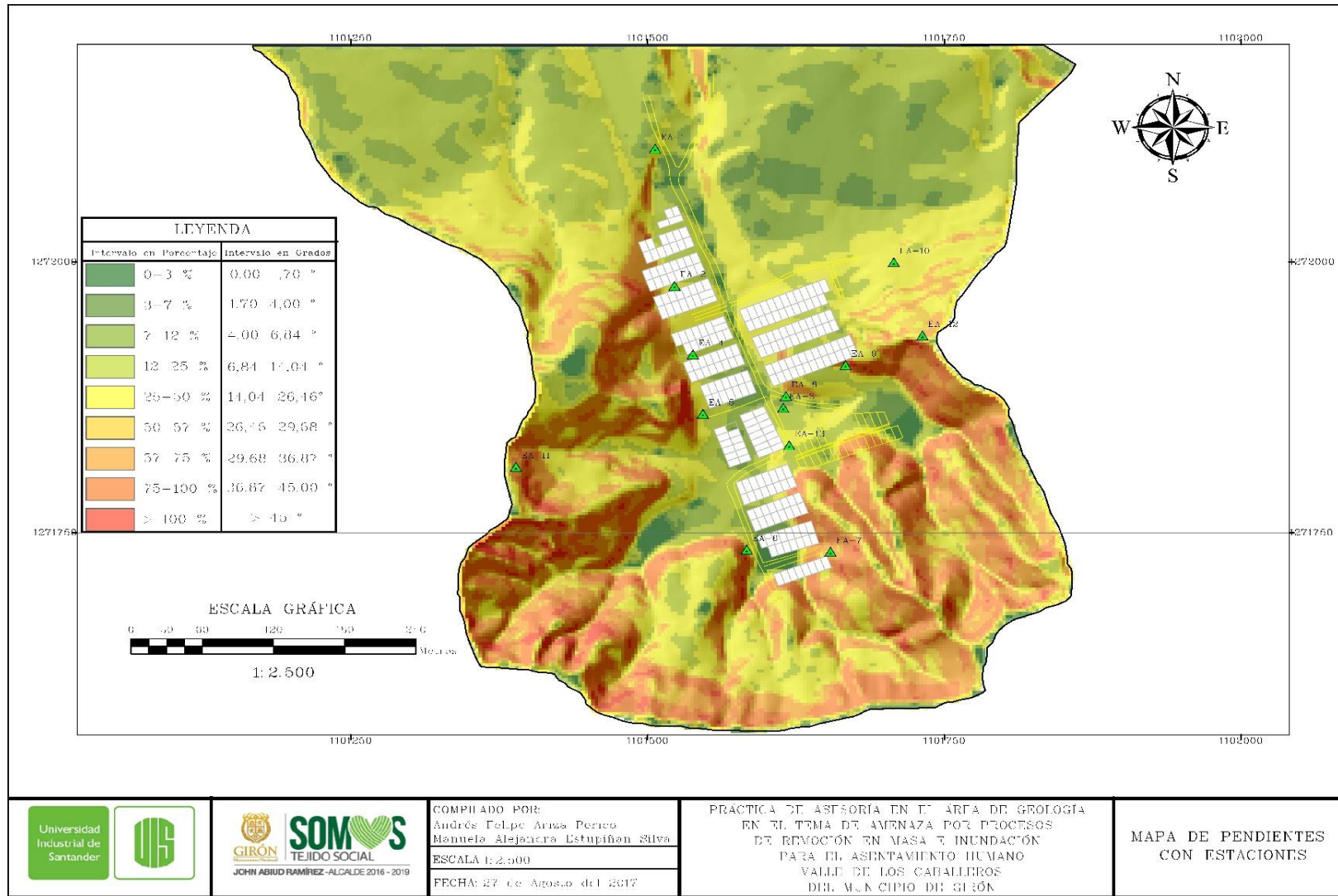
La morfometría del área fue definida según la Tabla 2, suministrada por la Secretaria de Planeación del Municipio de Girón (Figura 18).

Tabla 2.

Nomenclatura de las UGS, INGEOMINAS, 2001.

MORFOMETRÍA DEL ÁREA		
INTERVALO (%)	INTERVALO (°)	TIPO DE TERRENO
0-3 %	0.00 - 1.70°	Plana
3 - 7 %	1.70° - 4.00°	Ligeramente Plano
7 - 12 %	4.00° - 6.84°	Ligeramente Inclinado
12 - 25 %	6.84° - 14.04°	Inclinado
25- 50 %	14.04° - 26.46°	Ondulado
50 - 57%	26.56° - 29.68°	Fuertemente Ondulado
57 - 75%	29.68° - 36.87°	Escarpado
75 -100 %	36.87° - 45.00°	Fuertemente Escarpado
Mayor a 100 %	> 45.00°	Extremadamente Escarpado

En el asentamiento humano Valle de los Caballeros se reconocen siete unidades geomorfológicas de origen denudacional y antropogénico (Tabla 3), las cuales corresponden a la clasificación de geformas más pequeñas del terreno, debido a que la escala de trabajo es 1:2500 (Figura 23).



Universidad Industrial de Santander



SOM
TEJIDO SOCIAL
GIRÓN
JOHN ABRIL RAMÍREZ - ALCALDE 2016 - 2019

COMPIADO POR:
Andrés Felipe Arias Perico
Bianela Alejandra Estupiñán Silva
ESCALA 1:2.500
FECHA: 27 de Agosto del 2017

PRÁCTICA DE ASesorIA EN EL ÁREA DE GEOLOGÍA
EN EL TEMA DE AMENAZA POR PROCESOS
DE MOVIMIENTO EN MASA Y INUNDACIÓN
PARA EL ASSENTAMIENTO HUMANO
VALLE DE LOS CABALLEROS
DIEG M. K. CIMHO DE GIRÓN

MAPA DE PENDIENTES
CON ESTACIONES

Figura 18. Mapa de pendientes del área de estudio, escala 1:2500.

Tabla 3. Cuadro resumen de la geomorfología del área.

GEOMORFOLOGÍA VALLE DE LOS CABALLEROS					
MORFOGÉNESIS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN	RELIEVE
Denudacional	Estas geoformas son asociadas a procesos denudacionales normales, caracterizados por procesos de erosión, depositación y movimientos en masa. Se pueden clasificar de acuerdo con la pendiente en Subhorizontales e Inclinadas.	Laderas muy inclinadas	D	Superficie natural del terreno, cuyas laderas son muy empinadas con inclinaciones entre 40° y 70°, alargadas y rectilíneas, parcialmente cubiertas por depósitos de laderas (Fig. 19).	Fuerte a extremadamente escarpado
		Depósitos Coluviales	D	Geoformas producto de acumulación de materiales (suelo residual y/o fragmentos de roca), transportados por la acción de la gravedad de zonas puntuales ligeramente más elevadas. Presentan formas irregulares con pendientes leves a moderadas.	Ligeramente plano a ondulado
		Tierras Malas	D	Terrenos afectados por erosión hídrica severa que desarrollan cárcavas profundas, hondonadas estrechamente espaciadas y estoraques, con cobertura vegetal prácticamente ausente (Fig. 20-21).	Fuerte a extremadamente escarpado

GEOMORFOLOGÍA VALLE DE LOS CABALLEROS

MORFOGÉNESIS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN	RELIEVE
Antropogénico	Geoforma originada como resultado de la intervención del hombre; en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar obras de ingeniería.	Cimas explanadas	A	Superficies resultantes como consecuencia de explanaciones realizadas mecánicamente con fines urbanísticos o de infraestructura.	Área aplanada en la cima
		Llenos de escombros	A	Formas asociada a botaderos de desechos o estériles provenientes de la explotación minera y de la construcción (Fig. 19-22).	Variable
		Laderas expandas	A	Terrenos en donde se han realizado corte en laderas y cuyo material de corte o escombros han sido movidos para llenar zonas contiguas con el fin de adecuar terrenos para viviendas e incluso obras de infraestructura (Fig. 23).	Área aplanada en ladera
		Corte vertical de laderas	A	Taludes que han sido cortados casi en forma vertical, especialmente para el paso de vías de comunicación u otro tipo de infraestructura como estaciones de combustible, entre otras (Fig. 24).	Fuerte a extremadamente escarpado



Figura 19. Panorámica donde se observan las Unidades geomorfológicas D10 y A3.



Figura 20. Estación EA-7, Unidad geomorfológica D19.



Figura 21. Estación EA-6, Unidad Geomorfológica D19.



Figura 22. Estación EA-3, Unidad geomorfológica A3.



Figura 23. Unidad geomorfológica A9.



Figura 24. Estación EA-7, Unidad geomorfológica A10.

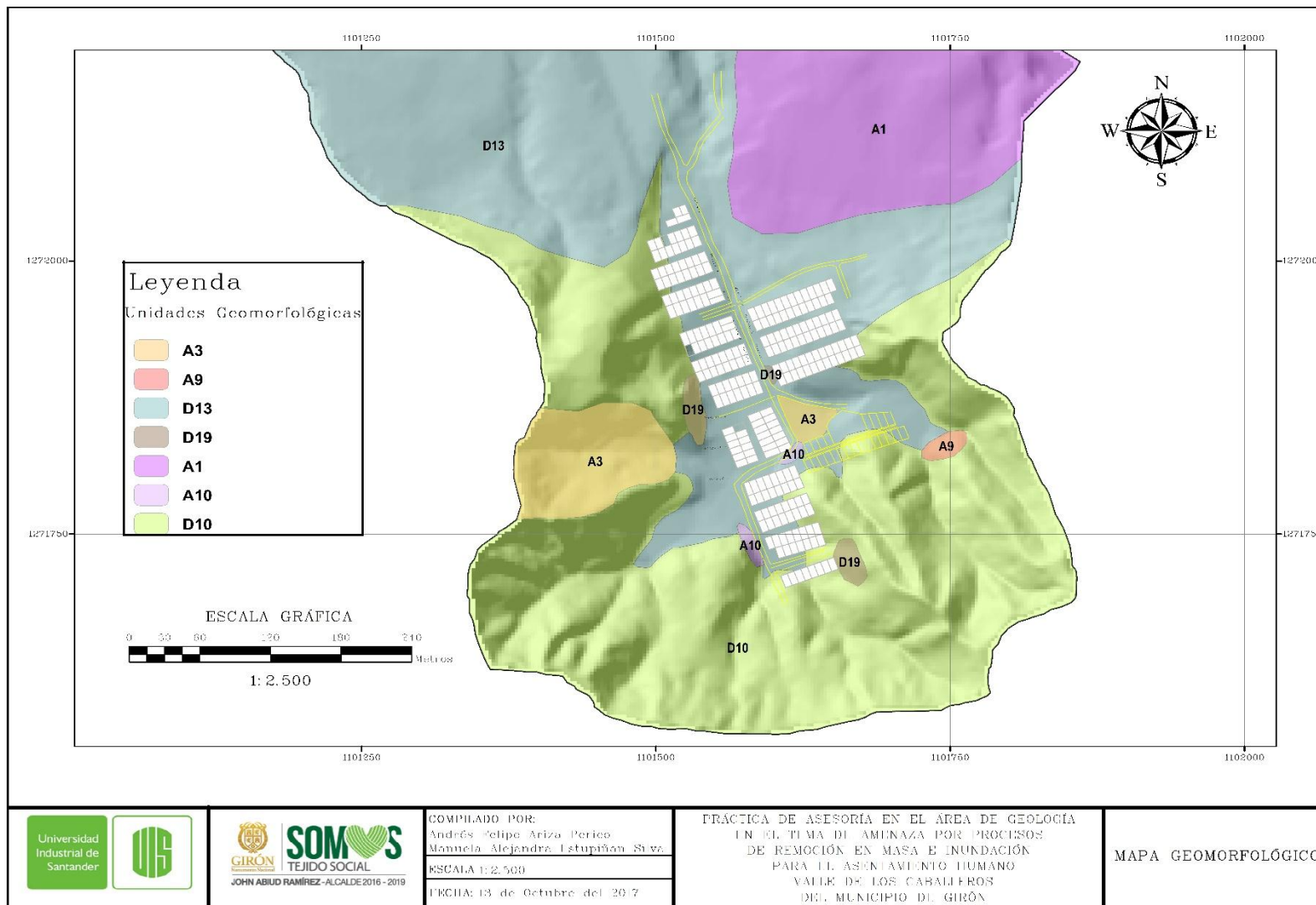


Figura 25. Mapa de Unidades Geomorfológicas del área de estudio, escala 1:2500.

7. Aspectos influyentes

7.1. Movimientos en masa

Son movimientos de ladera abajo de rocas, detritos y partículas más finas gracias a la fuerza de la gravedad. Existen varios tipos de movimientos en masa como deslizamientos, caída de rocas, flujo de derrubios, reptación y avalanchas. Los diferentes tipos de movimientos de masa implican tal cantidad de procesos y factores que ofrecen varias posibilidades de clasificación (Cruden & Varnes, 1996).

Según lo observado en campo, se evidencia deslizamientos de detritos en algunos sectores (Figura 24), los cuales se definen como una rotura de material no consolidado que en su avance se rompe en pequeñas partes (Varnes, 1978).



Figura 26. Vivienda hacia el Este del asentamiento, expuesta a caída de detritos.

7.2. Zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa en la zona

La evaluación de la amenaza se fundamenta en el método heurístico, para ello inicialmente se elabora el mapa de susceptibilidad a partir de insumos de mapas temáticos de cartografía básica, los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 3.*Criterios de Susceptibilidad.*

CRITERIOS DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA	
Insumos	Mapa de Unidades Geológicas
	Mapa Morfométrico
	Mapa Geomorfológico
	Mapa Cobertura del Suelo

En la Gráfica 5, se representan los valores ponderados de las variables litología, morfometría, geomorfología y cobertura del suelo, en la generación de susceptibilidad por movimientos en masa.

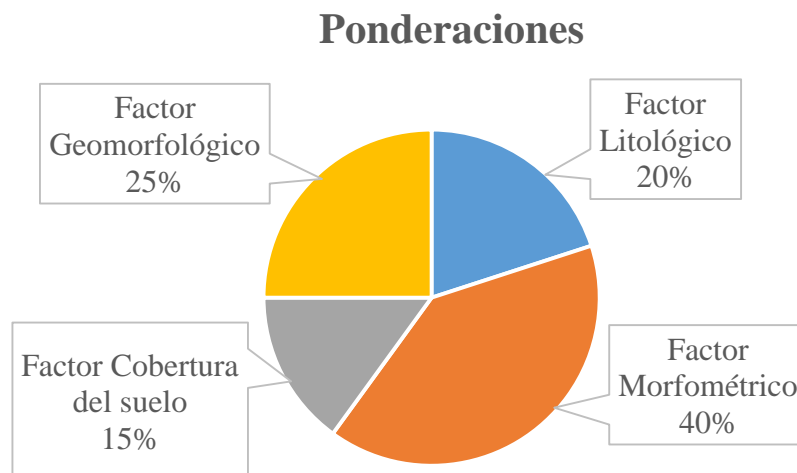


Figura 27. Valores ponderados de las variables litología, morfometría, geomorfología y uso de suelos.

La geomorfología como función representativa de la dinámica actual del relieve y que define los criterios de agrupación y clasificación de las geoformas, involucra además, información pertinente a la naturaleza y comportamiento de los materiales constituyentes de dicha geoforma y de los materiales de cobertura (Servicio Geológico Colombiano, 2013).

Las variables geomorfológicas consideradas para el proyecto se dividen en las variables morfométrica y morfogénesis. La morfometría es considerada como el atributo de mayor importancia, debido a que representa el ángulo de inclinación de las laderas e involucra efectos de la gravedad y agentes meteóricos que determinan el desarrollo de movimientos en masa, por ende, se le asigna el porcentaje más alto en la ponderación. Por otra parte, la morfogénesis tiene una importancia menor, dado que explica la condición morfológica actual del relieve a través del tiempo y de los procesos que contribuyeron a su modelado.

Los factores litológicos y cobertura del suelo son componentes de la geoforma que afectan directamente la susceptibilidad a los movimientos en masa, la suma de estos dos factores corresponde a un 35%, un valor inferior con respecto a la geomorfología.

Para cuantificar los criterios a evaluar se asigna una ponderación de menor a mayor grado de susceptibilidad de 1 a 4 en la zona, siendo una estimación personal con base en aspectos geológicos, geomorfológicos y cobertura del suelo identificados en campo.

Tabla 4.

Ponderación factor Morfométrico.

INTERVALO	TIPO DE TERRENO	PESO
0.00 - 1.70°	Plana	1
1.70° - 4.00°	Ligeramente Plano	1
4.00° - 6.84°	Ligeramente Inclinado	2
6.84° - 14.04°	Inclinado	2
14.04° - 26.46°	Ondulado	3
26.56° - 29.68°	Fuertemente Ondulado	3
29.68° - 36.87°	Escarpado	4
36.87° - 45.00°	Fuertemente Escarpado	4
> 45.00°	Extremadamente Escarpado	4

Tabla 5.*Ponderación factor Morfogenético.*

NOMENCLATURA	UNIDAD	PESO
D10	Laderas muy inclinadas	4
D13	Depósitos Coluviales	2
D19	Tierras Malas	3
A1	Cimas explanadas	1
A3	Llenos de escombros	4
A9	Laderas expandas	3
A10	Corte vertical de laderas	3

Tabla 6.*Ponderación factor Litológico.*

NOMENCLATURA	UNIDAD	PESO
Sco1	Suelo coluvial reciente	4
Sft3	Suelo gravoso Miembro Órganos	3
Sft5	Suelo conos erosionales	4
Sfe1	Suelo flujo de escombros antiguos	3
Sla	Suelo de llenos antrópicos	4

Tabla 7.*Ponderación factor Uso del Suelo.*

CATEGORÍA	PESO
Área urbana	4
Vegetación moderada	2

Según la Guía Metodológica (INGEOMINAS, 2001), aplicada para la zonificación de amenazas por movimientos en masa, se debe tener en cuenta la zonificación de susceptibilidad adicionando los factores detonantes de precipitación media anual y la aceleración máxima del suelo.

Como el área de estudio es pequeña, los valores de los factores detonantes (Tabla 8) no tienden a variar dentro de la zona, es por esto, que no se consideran en la zonificación del mapa de amenaza.

Tabla 8.

Valores de los factores detonantes para la Zonificación de Amenaza.

FACTOR	VALOR
Precipitación	466 mm a 182 mm
Sismicidad	0.2 PGA

8. Resultados

8.1. Análisis Ensayos de laboratorio

Según los ensayos de laboratorio realizados para cada nivel de los taludes, correspondientes a las estaciones EA-13 y EA-4, se catalogó cada muestra según el Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS) y se definieron los parámetros a utilizar a la hora de evaluar la estabilidad de estos (Tabla 9 y 10).

En los anexos se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras M-1 a la M-7, realizados por los autores en la Universidad Industrial de Santander y las muestras M-8 y M-9 por empresa ConstruSuelos de Colombia S.A.S.

Tabla 9.

Resumen de los resultados de laboratorio para el talud de la estación EA-13.

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	DEN. MAX. Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA%
M-1	(SM) Arena limosa	890	5,5
M-2	(SP-SM) Arena mal graduada ligeramente limosa	865	7

M-3	(SM) Arena limosa de baja plasticidad	850	8,8
M-4	(SM) Arena limosa	865	6,8

Tabla 10.

Resumen de los resultados de laboratorio para el talud de la estación EA-4.

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	DEN. MAX. Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %
M-5	(SP-SM) Arena mal graduada ligeramente limosa	820	5,5
M-6	(SP-SM) Arena mal graduada ligeramente limosa	900	5,3
M-7	(SM) Arena limosa de baja plasticidad	910	8,8
M-8	Arcilla inorgánica de plasticidad media	-	2,55
M-9	Arcilla inorgánica de plasticidad media	-	8,36

8.2. Evaluación de Estabilidad de Taludes

Para desarrollar el método determinístico, se utilizó el software Slide, versión 6.0 de Rocscience, el cual utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. En este caso, se empleó la teoría de Morh-Coulomb, teniendo en cuenta los parámetros básicos de cohesión, ángulo de fricción interna del material y su peso unitario (Tabla 11 y 12). Adicionalmente, se realizó un análisis probabilístico a estos parámetros, con el fin de calcular la probabilidad del índice de falla.

Tabla 11.

Valores de los parámetros para el cálculo de estabilidad, talud EA-4.

MUESTRA	NIVEL	PESO UNITARIO (kN/m ³)	COHESIÓN (KN/m ²)	PHI
M-8	1	18.23	13.73	31.4
M-5	2	20.5	6	35
M-6	3	18.5	3	32
M-7	4	20.5	6	35

M-9	5	18.14	50.8	17.71
-	6	18.5	3	32
-	7	20.5	6	35
-	8	18.5	3	32

Nota: Debido a que la Secretaria de Planeación de Girón sólo autorizó dos ensayos de corte directo a las arcillas M-8 y M-9, los parámetros de las arenas y gravas fueron estimados bajo criterio propio del geólogo Héctor Hernández, supervisor del proyecto (Ver anexos, columna EA-4).

Tabla 12.

Valores de los parámetros para el cálculo de estabilidad, talud EA-13.

MUESTRA	NIVEL	PESO UNITARIO (kN/m ³)	COHESIÓN (KN/m ²)	PHI
M-1	1	20.5	6	35
M-2	2	18.5	3	32
-	3	20.5	6	35
-	4	18.5	3	32
M-3	5	20.5	6	35
M-4	6	18.5	3	32

Nota: Los parámetros de las arenas y gravas fueron estimados bajo criterio propio del geólogo Héctor Hernández, supervisor del proyecto (Apéndice C, columna EA-13).

Por otra parte, es importante definir los escenarios en los que se va a evaluar la estabilidad de los taludes, en este caso se consideran cuatro condiciones, en las que se determina el factor de seguridad según el método de Ordinario o Fellenius (1927), Bishop (1955), Janbú (1968) y Spencer (1967):

- 1) Condición actual.
- 2) Condición con sismicidad.
- 3) Condición parcialmente saturado.
- 4) Condición parcialmente saturado con sismicidad.

La Norma Geotécnica de la CDMB (2009), propone que se debe incluir un análisis de estabilidad estático (Condición actual) y un análisis en condición pseudo-estática (Condición

con sismicidad), para categorizar la amenaza por procesos de remoción en masa según el factor de seguridad (Tabla 13 y 14).

Tabla 13.

Valores de categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición estática.

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD
Amenaza Baja (B)	$FS \geq 1.5$
Amenaza Media (M)	$1.25 \leq FS \leq 1.50$
Amenaza Alta (A)	$0.00 \leq FS \leq 1.25$

Nota: Adaptado de la Norma Geotécnica, (CDMB, 2009).

Tabla 14.

Valores de categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición pseudo-estática.

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD
Amenaza Baja (B)	$FS \geq 1.2$
Amenaza Media (M)	$1.00 \leq FS \leq 1.20$
Amenaza Alta (A)	$0.00 \leq FS \leq 1.00$

Nota: Adaptado de la Norma Geotécnica, (CDMB, 2009).

8.2.1. Talud Estación EA-4. Según el análisis de estabilidad el factor de seguridad obtenido para el talud, con base en el método de Janbú es de 1.801 (menor valor de FS de los cuatro métodos) (Figura 25). Por lo tanto, se determina que el talud es estable en condiciones normales.

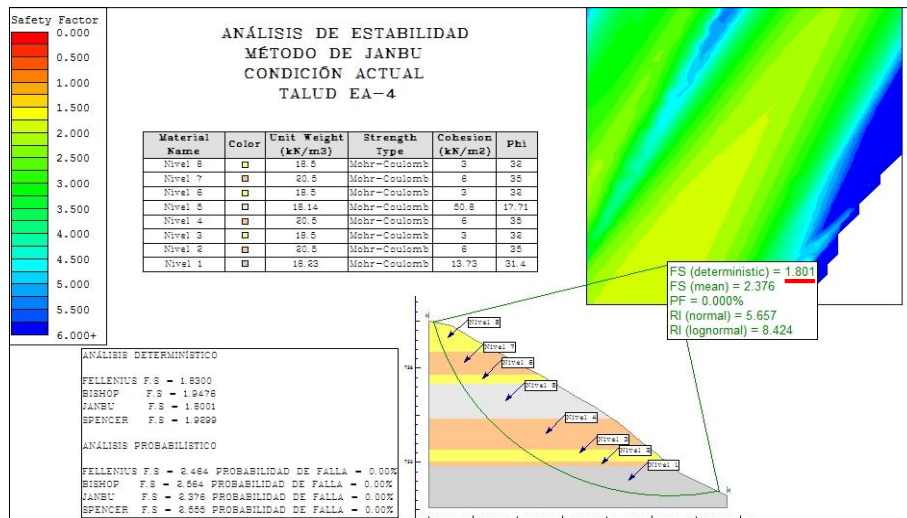


Figura 28. Análisis de estabilidad en condición normal, talud EA-4

Ahora, para el escenario con sismicidad se le asigna un valor de carga sísmica de 0.2 y se obtiene un FS de 1.280, lo cual indica que el talud es estable, sin probabilidad de falla (Figura 26).

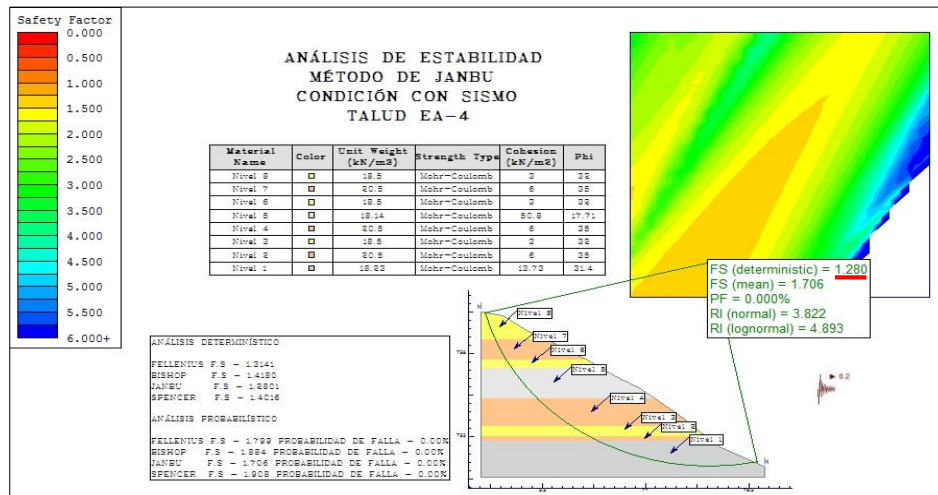


Figura 29. Análisis de estabilidad en condición con sismicidad, talud EA-4.

En la condición parcialmente saturado, se evidencia un FS de 1.091 en relación al contenido de agua freática, por ende, el talud es inestable debido a que factores de seguridad inferiores a 1.20 justifican la realización de obras de contención (Figura 27).

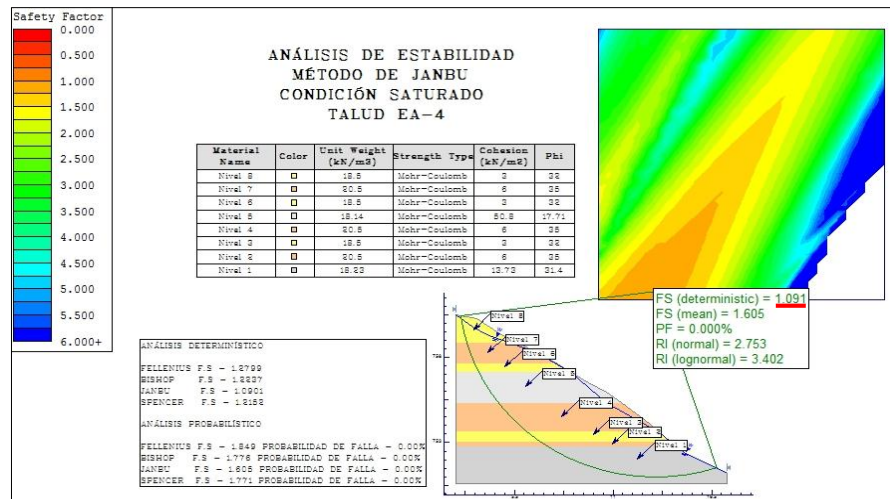


Figura 30. Análisis de estabilidad en condición parcialmente saturado, talud EA-4.

Por último, en el escenario parcialmente saturado con sismicidad, el FS disminuye considerablemente hasta 0.752 con una probabilidad de falla de 26.100% respecto a las condiciones anteriores. Por lo tanto, el talud es inestable bajo estas condiciones (Figura 28).

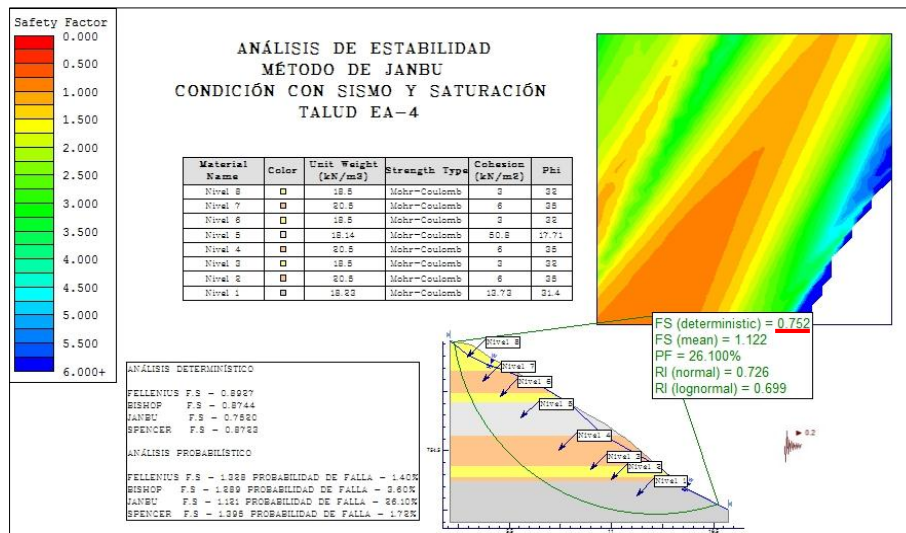


Figura 31. Análisis de estabilidad en condición parcialmente saturado con sismicidad, talud EA-4.

Así, los valores FS obtenidos en los diferentes métodos y condiciones, se exponen en la Tabla 15, donde se observa que la diferencia entre los métodos Fellenius, Bishop, Janbú y Spencer son mínimas.

Tabla 15.

Cuadro resumen de los FS obtenidos por el software Slide 6.0, talud EA-4.

	CONDICIÓN	MÉTODO			
		Fellenius	Bishop	Janbú	Spencer
FS	1) Actual	1.833	1.947	1.800	1.929
	2) Con sismicidad	1.314	1.418	1.280	1.401
	3) Parcialmente saturado	1.279	1.223	1.091	1.215
	4) Parcialmente saturado con sismicidad	0.892	0.874	0.752	0.872

El talud en condición estática (Condición 1) y pseudo-estática (Condición 2) se categoriza en una zona de amenaza baja, de acuerdo a los valores establecidos en la Norma Geotécnica de la CDMB (2009) (Tabla 13 y 14).

8.2.2. Talud Estación EA-13. Bajo la condición normal o estática se obtiene un factor de seguridad de 2.687 por el método de Janbú, lo cual representa que el talud es estable (Figura 29).

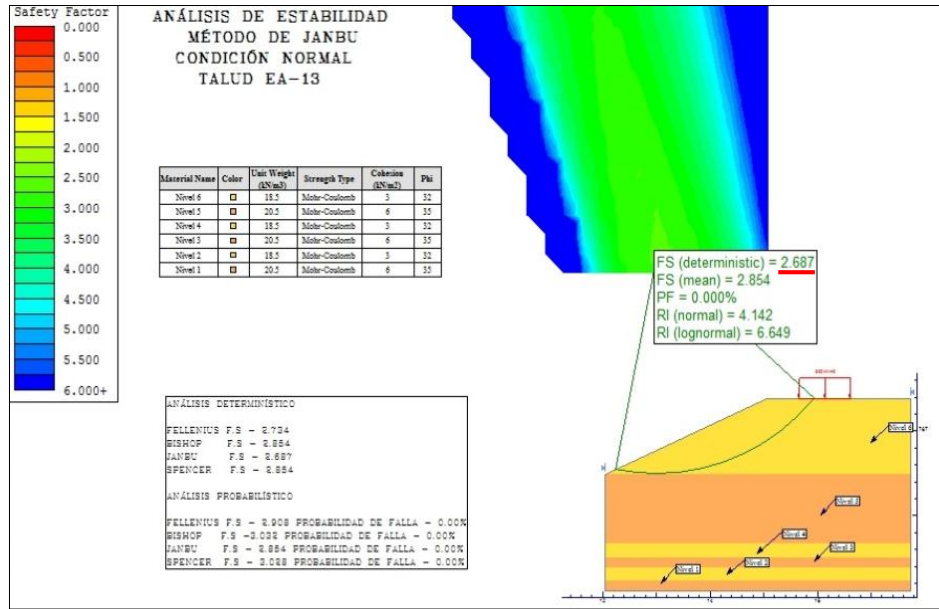


Figura 32. Análisis de estabilidad en condición actual, talud EA-13.

Ahora, en los escenarios con sismicidad y saturado, el talud sigue siendo estable, ya que sus FS son de 1.715 y 2.321, sin ninguna probabilidad de falla (Figura 30 y 31).

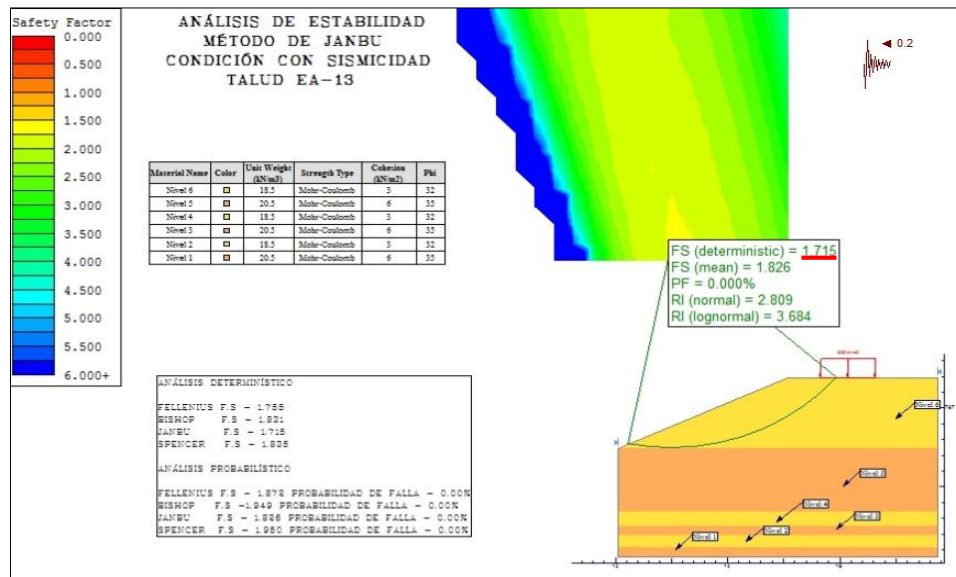


Figura 33. Análisis de estabilidad en condición con sismicidad, talud EA-13.

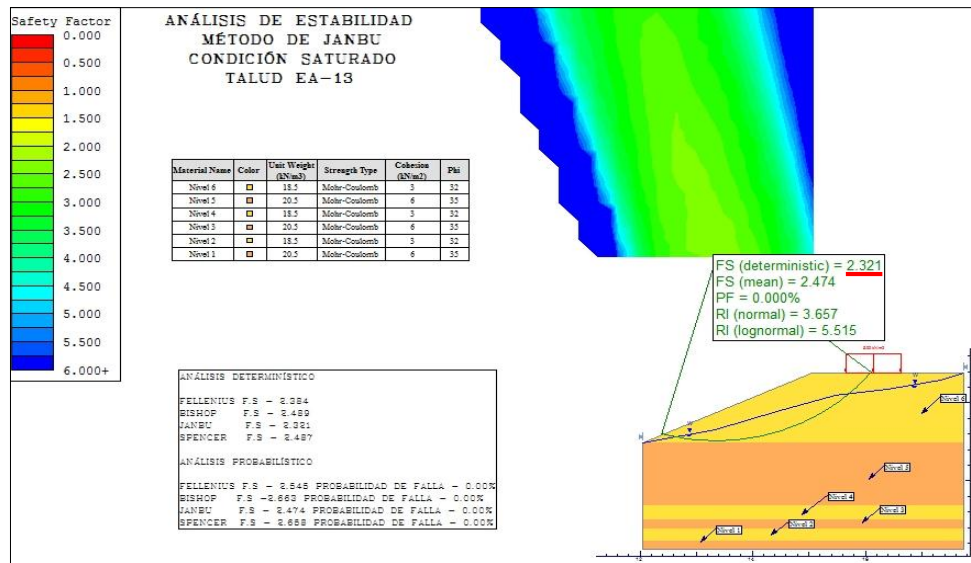


Figura 34. Análisis de estabilidad en condición saturado, talud EA-13.

Por último, bajo la condición con sismo y saturación (Figura 32), se observa claramente que el FS ha disminuido en comparación con los otros escenarios, siendo de 1.405 con una probabilidad de falla de 0.400%.

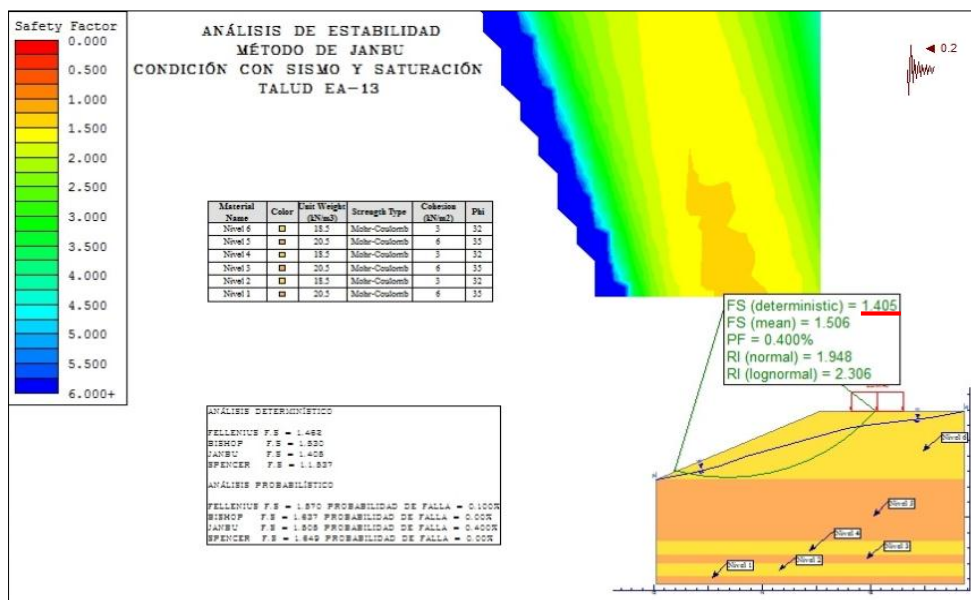


Figura 35. Análisis de estabilidad en condición con sismo y saturación, talud EA-13.

A continuación, se presenta el cuadro resumen correspondiente al estudio del talud (Tabla 16).

Tabla 16.

Cuadro resumen de los FS obtenidos por el software Slide 6.0, talud EA-4.

	CONDICIÓN	MÉTODO			
		Fellenius	Bishop	Janbú	Spencer
FS	1) Actual	2.734	2.854	2.687	2.854
	2) Con sismicidad	1.755	1.831	1.715	1.835
	3) Parcialmente saturado	2.384	2.489	2.321	2.487
	4) Parcialmente saturado con sismicidad	1.462	1.530	1.405	1.537

De acuerdo con la Norma Geotécnica de la CDMB (2009) en condición estática (Condición 1) y en pseudo-estática (Condición 2), el talud se categoriza en zona de amenaza baja (Tabla 13 y 14).

8.3. Evaluación de amenaza

Teniendo en cuenta los factores de susceptibilidad por movimientos en masa y sus respectivas ponderaciones, se establecieron tres rangos de clasificación de amenaza: baja, media y alta (Figura 33).

8.3.1. Amenaza baja (B). Zonas relativamente estables, con baja probabilidad de que ocurran procesos de remoción en masa. Correspondientes a laderas planas y ligeramente planas de 0° a 4° de inclinación, conformado litológicamente por suelos flujo de escombros

antiguos y parte del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y en Unidades morfogénicas de origen denudacional (depósitos Coluviales) y antrópico (cimas explanadas). Gran parte del asentamiento se encuentra ubicado en esta zona.

8.3.2. Amenaza media (M). Zonas medianamente estables, propensas a procesos de erosión cuando son afectas por factores antrópicos, topográficos y climáticos. Presentes en terrenos inclinados y ondulados entre 4° hasta 29.68°, conformado litológicamente por el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, en algunos suelos de flujo de escombros antiguos y en unidades morfogénicas de origen denudacional como depósitos Coluviales y en laderas muy inclinadas en menor proporción. Algunas construcciones se encuentran sobre esta zona.

8.3.3. Amenaza alta (A). Zonas afectadas fácilmente por procesos de inestabilidad, susceptibles a caídas de rocas y detritos, alta erosión y generación de cárcavas, especialmente donde se presentan taludes generados por cortes de carretera. Presentes en terrenos escarpados y fuertemente escarpados con inclinaciones mayores a 29.68°, su litología corresponde a suelos de conos erosionales, llenos antrópicos, suelo coluvial reciente, el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y en Unidades morfogénicas como tierras malas y llenos de escombros. Una parte de la construcción se encuentra localizada en esta zona sin medidas de prevención.

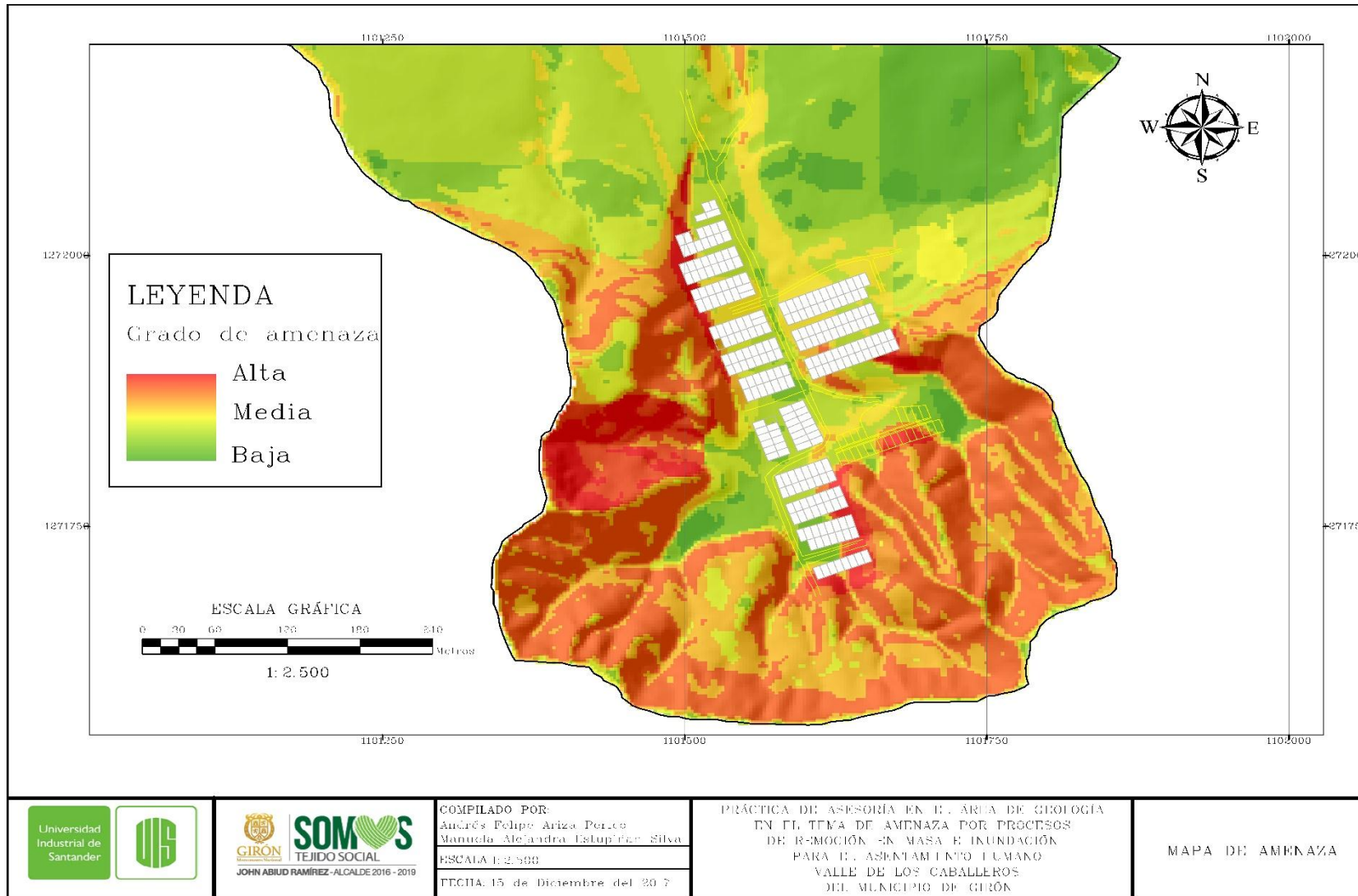


Figura 36. Mapa de zonificación de amenaza bajo el escenario de menor riesgo (Suelo seco y sismo entre 1.2 y 5.5), escala 1:2500.

9. Conclusiones

- ✚ Los resultados obtenidos en este proyecto tienen un grado de incertidumbre, debido a que no se trabajó con una buena base cartográfica.
- ✚ El asentamiento Valle de los Caballeros se encuentra afectado principalmente por procesos erosivos, generando así, surcos, cárcavas, caídas de rocas y detritos, presentes hacia el Sur en los terrenos escarpados y fuertemente escarpados.
- ✚ Geológicamente, el área de estudio se encuentra constituida por cinco Unidades Geológicas Superficiales, clasificadas en suelos transportados como Coluvial reciente (Sco1), Nivel gravoso del Miembro Órganos (Sft3), Conos erosionables (Sft5), Flujo de escombros antiguos (Sfe1) y suelos de llenos antrópicos (Sla).
- ✚ La zona de estudio se encuentra caracterizada geomorfológicamente por siete unidades, tres de origen denudacional y cuatro de origen antrópico.
- ✚ A partir del método heurístico se determinó que el asentamiento se encuentra en áreas de media y baja amenaza, exceptuando algunas viviendas localizadas en los márgenes cercanos a zonas escarpadas.
- ✚ Mediante los resultados de los ensayos de laboratorio se catalogaron las muestras de los taludes según el Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS) en: Arena mal graduada ligeramente limosa, Arena limosa de baja plasticidad y Arcilla inorgánica de plasticidad media.
- ✚ El talud de la estación EA-4 bajo las condiciones parcialmente saturado y parcialmente saturado con sismicidad obtiene un FS menor de 1.2, indicando una inestabilidad ante estas circunstancias; mientras que el talud EA-13, presenta estabilidad en las cuatro condiciones.

- ✚ La práctica desarrollada en la Alcaldía municipal de Girón permitió un desempeño en el ámbito laboral, aplicando y fortaleciendo los conocimientos previos en la rama de la geotecnia, mediante la evaluación de susceptibilidad y amenaza por procesos de remoción en masa.

10. Recomendaciones

- ✚ Respecto a la topografía del área del proyecto, se le recomienda a la Secretaria de Planeación de Municipio de Girón realizar levantamiento topográfico detallado con curvas de nivel cada 0.5 metros y sus respectivas áreas urbanizadas, ya que la usada en este proyecto fue elaborada por métodos de interpolación y su trazado presentaba muchas inconsistencias.
- ✚ Se requiere realizar los estudios detallados de Amenaza + Vulnerabilidad = Riesgo al asentamiento, debido a que se implementó la metodología heurística.
- ✚ Se recomienda realizar un estudio detallado con la nueva topografía a la zona de alta amenaza, para comprobar si los resultados obtenidos tienden a acercarse a la realidad.
- ✚ Como medida de mitigación a las viviendas expuestas a procesos de erosión y caída de detritos, se considera realizar un estudio detallado a cada talud, con el fin de definir las obras de protección y estabilización de taludes que sean necesarias.
- ✚ Implementar parámetros de construcción, en base las Normas Geotécnicas para el control de la erosión, establecidas por la CDMB.
- ✚ Como mecanismo preventivo a los agentes erosivos, se recomienda implementar un sistema de control de drenajes superficiales como cunetas y canales, para así, evitar que los efectos de la lluvia generen socavación en sectores vulnerables y el uso de coberturas vegetales con sistema radicular profundo para mejorar la resistencia del terreno.

- ✚ Se le recomienda a la Escuela de Geología profundizar en áreas enfocadas a la geotecnia y a los sistemas de información geográfica.
- ✚ Se sugiere a la Alcaldía municipal apoyar e invertir más presupuesto en proyectos que ayuden al desarrollo del municipio.

Referencias bibliográficas

- Arévalo Avendaño, J. M., & Rincón Duarte, M. A. (2016). *Análisis sedimentológico del miembro Pre-Órganos (Cálcareo) en el Abanico aluvial de Bucaramanga (Sección río de Oro-Girón)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Botía Díaz, W. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Bogotá D.C.
- Brabb. (1972). *Landslide susceptibility in San Mateo county*. California, U.S.
- C.D.M.B. (2005). *Documento de Diagnóstico Amenazas de Inundación y Erosión en el Río de Oro. Volumen I: Geología y Geotecnia*. Bucaramanga.
- Carvajal Pineda, L. (23 de Mayo de 2013). Valle de los Caballeros pide estudio de riesgo y amenaza. *Vanguardia Liberal*.
- CDMB. (2009). *Normas técnicas para el control de la erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos y hidrológicos*. Bucaramanga.
- Cruden, D. M. (1991). *A simple definition of a landslide*. Bull Inter Assoc Engng Geol.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide Types and Processes*, Special Report , Transportation Research Board. *National Academy of Sciences*, 36-75.
- Duarte Marín, J. I., & Roa Viola, O. I. (2016). *Análisis del comportamiento mecánico de los taludes rocosos del costado occidental de la vía Bucaramanga-Barrancabermeja en el sector del peaje aeropuerto Palonegro-Municipio de San Juan de Girón en la tramo comprendido desde Km 64+350 hasta el Km 68-050*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Lero, E., & Savage, W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides. *Engineering Geology*, 85-98.
- INGEOMINAS. (2001). *Unidades geológicas superficiales*. Bogotá: INGEOMINAS.
- INGEOMINAS. (2005). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta*. Bogotá.
- Langenheim, R. L. (1954). Preliminar report on the stratigraphy of the Girón Formation in Santander and Boyacá. *Instituto Geológico Nacional, Informe 1011*.
- Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civi. (2008). *Guía de laboratorio N° 3*.
- Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente, NRS-10*. Bogotá.
- Nilsen, T. H., Wright, R. H., Vlastic, T. C., & Spangle, W. E. (1979). Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region. *Geological survey professional paper*, 96.
- Polanco Rodríguez, A. (2013). Práctica # 3. En U. A. Chihuahua., *Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos II*. México.
- Sánchez, N. (2012). *Granulometría De Suelos*.
- Servicio Geológico Colombiano. (2013). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:100000*. Bogotá.
- Universidad Católica de Valparaíso. (2012). Determinación de los límites de Atterberg. En U. C. Valparaíso, *Laboratorio de mecánica de suelos*. Brasil.
- Universidad Industrial de Santander. (2015). Capítulo IX. En *Reglamento académico-estudiantil de pregrado* (pág. 57). Bucaramanga.

- Vargas, G., & Niño, A. (1992). *Patrones de fracturamiento asociados a la falla Bucarmanaga*. Bucaramanga: Tesis, Universidad Industrial de Santander.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control. *National Academy of Science, Washington D.*, 11-33.
- Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *UNESCO*, 63.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 1-132.