

Apoyo en la ejecución de proyectos y programas contemplados para el control de la erosión en el área de jurisdicción de la CDMB, en la subdirección de gestión del riesgo y la seguridad territorial

Jose Tomas Zuluaga Florez

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniería Civil

Director

Jose Alberto Rondón

Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia

Tutor

Jesus Evelio Sanchez Sanchez

Ingeniero Civil, Especialista en Geotecnia

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

Primero a Dios quien se ha manifestado con su infinito amor, haciendo posible lo imposible y permitiéndome culminar esta etapa de mi vida, a mi padre quien hasta su ultimo respiro lucho para que su hijo fuera profesional, a mi madre por su gran valentía y berraquera, porque a pesar de la adversidad siempre me apoyo y lucho para que este momento llegara, a mi familia y mi novia porque han sido motivación y apoyo, a mis profesores de pregrado por dejar el alma en cada enseñanza y por compartir sus experiencias.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1.Objetivos	12
1.1Objetivo General.....	12
1.2Objetivos Específicos.....	12
2.Marco legal	13
2.1Ley 1523 de 2012.- Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.	13
2.2Resolución 1294 de 2009.- Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB.	16
3. Marco Conceptual	19
3.1 Método del equilibrio límite (LEM)	19
3.2 Superficie de falla	19
3.3 Limitaciones de los métodos de equilibrio límite:	20
4. Metodología	23
4.1 Visita de inspección ocular	23
4.1.1 Localización:.....	23
4.1.2 Necesidad que motiva la visita	23

4.1.3 Descripción de la problemática evidenciada.....	24
4.2 Características geológicas según INGEOMINAS:	26
4.2.1 Formación Bucaramanga.	26
4.3 Características geotécnicas según INGEOMINAS.....	32
4.3.1 Zona 3B Escarpes de la Meseta de Bucaramanga	32
4.4 Estudios locales.....	35
4.4.1 Ensayos de laboratorio:.....	35
4.4.2 Levantamiento Topográfico y Geológico	36
4.5 Modelado en 3D de la topografía local	38
4.6 Presión de poros	40
4.7 Categorización de la amenaza.....	40
5. Resultados	42
6. Conclusión	47
Referencias Bibliográficas	48

Lista de Tablas

<i>Tabla 1: Diferentes métodos de equilibrio limite</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2: Resumen de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3: Resumen de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3: Factores de seguridad obtenidos en condiciones estáticas para deslizamientos de derecha a izquierda.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4: Factores de seguridad obtenidos en condiciones dinámicas para deslizamientos de derecha a izquierda.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5: Factores de seguridad obtenidos en condiciones estáticas para deslizamientos de izquierda a derecha.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6: Factores de seguridad obtenidos en condiciones dinámicas para deslizamientos de izquierda a derecha.....</i>	<i>46</i>

Lista de Figuras

<i>Ilustración 1: localización del sector objeto de visita (Fuente. Google Earth julio de 2020).</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 2: Obras de mitigación presentes en el sector objeto de visita</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 3: Viviendas ubicadas sobre la corona del talud</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 4: Impermeabilización con plástico de polipropileno color negro</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 5: Canaleta para la conducción del flujo de esorrentía.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 6: Se aprecian la formación Bucaramanga y sus cuatro miembros, limos rojos (Qblr), Gravoso (Qbg), finos (Qbf) y órganos (Qbo).</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 7: Geología Zona Objeto de Visita Técnica. (Fuente SIG – CDMB e INGEOMINAS 2001.)</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 8: Zonificación sismo – geotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 9: Mapa topográfico del sector objeto de estudio.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 10: Geología local del sector objeto de estudio.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 11: Superficie generada a partir de datos tomados en campo.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 12: Perfil generado por el corte 27 sobre la superficie topográfica</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 13: Simulación por el método de Bishop del corte 11 en condiciones estáticas en el costado izquierdo del perfil</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 14: simulación por el método de Janbu del corte 11 en condiciones dinámicas en el costado derecho del perfil.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 15: Simulación por el método de Spencer del corte 24 en condiciones dinámicas en el costado izquierdo del perfil</i>	<i>43</i>

<i>Ilustración 16: simulación por el método de Janbu del corte 24 en condiciones estáticas en el costado derecho del perfil.....</i>	<i>44</i>
--	-----------

Resumen

Título: Apoyo en la ejecución de proyectos y programas contemplados para el control de la erosión en el área de jurisdicción de la CDMB, en la subdirección de gestión del riesgo y la seguridad territorial*

Autor: Jose Tomas Zuluaga Florez**

Palabras clave: Geotecnia, Movimiento en masa, Erosión, Amenaza

Descripción:

En este documento se describen las actividades realizadas en el marco del cumplimiento de la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería para optar por el título de ingeniería civil. Se brindo apoyo en la ejecución de proyectos y programas contemplados para el control de la erosión en el área de jurisdicción de la CDMB, en la subdirección de gestión del riesgo y la seguridad territorial. En atendimiento a una acción de tutela interpuesta por habitantes del barrio Cordoncillos II, se realizó visitas de inspección ocular al sector, el cual se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga, donde se encontraron obras de mitigación con cuerpos deformados y desplazados a los cuales se les hizo seguimiento, también se evidenciaron procesos erosivos en los taludes que componen la escarpa y sobre los cuales están cimentadas las edificaciones de los habitantes, por esto, la CDMB realizó la contratación de estudios locales topográficos, geológicos y ensayos de laboratorio, para a partir de los resultados de estos realizar después mediante el uso de software de métodos de equilibrio limite y teoría de Mohr Coulomb, un análisis de estabilidad taludes que permita definir la amenaza existente por movimiento en masa en el sector objeto de estudio.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Jose Alberto Rondon

Abstract

Title: Support in the execution of projects and programs contemplated for the control of erosion in jurisdiction of the CDMB, in the subdivision of risk management and territorial security*

Author: Jose Tomas Zuluaga Florez**

Key Words: Geotechnics, Mass Removal, Erosion, Threat

Description:

This document describes the activities carried out within the framework of complying with the business practice as an engineering assistant to qualify for the civil engineering degree. Support was provided in the execution of projects and programs contemplated for the control of erosion in jurisdiction of the CDMB, in the subdirection of risk management and territorial security. In response to a protection action filed by residents of the Cordocillos II neighborhood, visual inspection visits were made to the sector, which is located on the western escarpment of the Bucaramanga plateau, where mitigation works with deformed and displaced bodies were found. To which they were followed up, erosive processes were also evidenced in the slopes that make up the escarpment and on which the buildings of the inhabitants are founded, for this, the CDMB carried out the contracting of local topographic and geological studies and laboratory tests. From the results of these, then, through the use of limit equilibrium methods software and Mohr Coulomb's theory, a slope stability analysis that allows defining the existing threat due to mass movement in the sector under study.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Jose Alberto Rondon

Introducción

La escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga se extiende a lo largo de una línea perimetral de aproximadamente 51 km de longitud desde la llamada “Curva del Diablo” al norte de la ciudad hasta el barrio África pasando por 5 comunas y amenazando con la integridad de los habitantes de al menos 5400 viviendas que se encuentran en zonas vulnerables por los procesos erosivos presentes en la escarpa. (*Erosión En La Escarpa Occidental de Bucaramanga Pone En Riesgo Viviendas En Cinco Comunas* | *Vanguardia.Com*, n.d.)

La presencia de procesos erosivos desde el año 1952 en la ciudad de Bucaramanga marcó el origen de La Corporación Autónoma Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (C.D.M.B.), quien desde sus inicios ha liderado el control de estos procesos con la realización de estudios y ejecución de obras. (*CDMB Sitio Web Oficial*, n.d.)

En el año 1966 la Corporación estableció el Plan de obras inmediatas y el Plan General de Control de la Erosión; este último tenía como objetivo definir los proyectos, determinar, diseñar y programar el tipo de obras necesarias para controlar y detener los problemas erosivos, el cual se dividió en cinco programas: Plan Maestro de alcantarillado, Plan de estructuras de vertimiento, Estructuras de control de cauce, Estabilización y reforestación de taludes y Remodelación urbana. Este PGCE culminó en el año de 1984. (*CDMB Sitio Web Oficial*, n.d.)

Durante 1985 y 1986 la C.D.M.B. luego de realizar un diagnóstico de erosión en la meseta de Bucaramanga, y de evaluar el efecto de las obras construidas, determinó que era inminente ejecutar obras complementarias a corto, mediano y largo plazo, durante un periodo de 20 años el cual se cumplió en el año 2005. (*CDMB Sitio Web Oficial*, n.d.)

Actualmente, aunque es evidente que con las obras ejecutadas años atrás, se han logrado estabilizar los principales focos de erosión; por diversas causas se siguen originando procesos erosivos, razón por la cual La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga sigue realizando estudios para mantener actualizado el plan general para el control de la erosión en el área de su jurisdicción. (*CDMB Sitio Web Oficial*, n.d.)

Una parte del presente documento busca evaluar la posible existencia de amenaza por movimientos en masa en el barrio Cordoncillos 2 el cual se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental de Bucaramanga, es importante realizar el diagnostico geotécnico de este barrio ya que a partir de este se tomarán las medidas necesarias para velar por la integridad de los habitantes del sector.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Apoyar como auxiliar de ingeniería civil la ejecución de proyectos y programas para el control de la erosión en la ciudad de Bucaramanga, en la subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial de la CDMB.

1.2 Objetivos Específicos

- Hacer acompañamiento en visitas para la supervisión de obras civiles
- Apoyar el seguimiento de obras existentes de mitigación y control de la erosión ejecutadas por la CDMB
- Apoyar en la formulación de estudios geotécnicos por movimientos en masa realizados en el área de jurisdicción de la CDMB
- Apoyar a la comunidad cuando requieran la evaluación o intervención por parte de la empresa en situaciones que siembren preocupación producto de afectación ambiental de origen natural o antrópico.

2. Marco legal

2.1 Ley 1523 de 2012.- Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

Artículo 10. De la gestión del riesgo de desastres.

La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Parágrafo 10. La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Parágrafo 2o. Para todos los efectos legales, la gestión del riesgo incorpora lo que hasta ahora se ha denominado en normas anteriores prevención, atención y recuperación de desastres, manejo de emergencias y reducción de riesgos. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Artículo 2o. De la responsabilidad.

La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entiéndase: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Artículo 31. Las corporaciones autónomas regionales en el sistema nacional.

Las corporaciones autónomas regionales o de desarrollo sostenible, que para efecto de la presente ley se denominarán las corporaciones autónomas regionales, como integrantes del sistema nacional de gestión del riesgo, además de las funciones establecidas por la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997 o las leyes que las modifiquen. Apoyarán a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Parágrafo 1o. El papel de las corporaciones autónomas regionales es complementario y subsidiario respecto a la labor de alcaldías y gobernaciones, y estará enfocado al apoyo de las labores de gestión del riesgo que corresponden a la sostenibilidad ambiental del territorio y, por tanto, no eximen a los alcaldes y gobernadores de su responsabilidad primaria en la implementación de los procesos de gestión del riesgo de desastres. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Parágrafo 2o. Las corporaciones autónomas regionales deberán propender por la articulación de las acciones de adaptación al cambio climático y la de gestión del riesgo de desastres en su territorio, en virtud que ambos procesos contribuyen explícitamente a mejorar la gestión ambiental territorial sostenible. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Parágrafo 3o. Las corporaciones autónomas regionales como integrantes de los consejos territoriales de gestión del riesgo, en desarrollo de los principios de solidaridad, coordinación, concurrencia y subsidiariedad positiva, deben apoyar a las entidades territoriales que existan en sus respectivas jurisdicciones en la implementación de los procesos de gestión del riesgo de

acuerdo con el ámbito de su competencia y serán corresponsables en la implementación. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

Parágrafo 4o. Cuando se trate de Grandes Centros Urbanos al tenor de lo establecido en la Ley 99 de 1993, en lo relativo a los comités territoriales, harán parte de estos las autoridades ambientales locales. *(Leyes Desde 1992 - Vigencia Expresa y Control de Constitucionalidad [LEY_1523_2012], n.d.)*

2.2 Resolución 1294 de 2009.- Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas

Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB.

Aspectos que se deben investigar en los estudios de estabilidad de laderas

El estudio de estabilidad de laderas se define como la evaluación de las condiciones naturales de origen geológico, morfológicas y de mecánica de suelos que permitan establecer la amenaza potencial de posibles movimientos de masa que afecten las obras en él proyectadas (riesgo interno). Esta evaluación se debe extender a los terrenos adyacentes en donde se puedan desarrollar procesos naturales, que tengan influencia y puedan afectar las áreas estudiadas o en los cuales las obras proyectadas puedan activar procesos de inestabilidad (riesgo externo). Los estudios de estabilidad se pueden realizar a partir de interpretación de fotografías aéreas y reconocimientos geológicos de campo, complementados con sondeos exploratorios, ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad. *(RESOLUCION 1294 DE 2009, n.d.)*

Los estudios de estabilidad deben incluir como mínimo los siguientes documentos:

- Localización y área analizada, objetivo del estudio, resumen de la investigación adelantada, morfología del terreno.(*RESOLUCION 1294 DE 2009, n.d.*)

- Origen geológico de la formación donde se ubica el terreno, descripción de las principales unidades geológicas y geotécnicas, estratos encontrados con su origen, descripción visual y estado en que se encuentran, posición del nivel freático.(*RESOLUCION 1294 DE 2009, n.d.*)

- Localización del lote de acuerdo con el Estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa (EZSGI).(*RESOLUCION 1294 DE 2009, n.d.*)

- Perforaciones o sondeos.

- Ensayos de laboratorio.

- Análisis de estabilidad estática.

- Análisis de estabilidad teniendo en cuenta eventos sísmicos.

- Recomendaciones y diseño de las obras para garantizar la estabilidad.

Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad consiste en el cálculo de los factores de seguridad de las laderas o taludes utilizando sistemas internacionalmente aceptados de análisis, mediante el empleo de un programa de Software. Se deben analizar como mínimo 100 superficies de falla,

incluyendo todos los sistemas de falla posibles. Se debe presentar como mínimo el análisis utilizando los Sistemas de Fellenius, Bishop y Janbú.(*RESOLUCION 1294 DE 2009*, n.d.)

Se deben presentar, además, todos los análisis que se requieran de acuerdo a las características de las amenazas de movimientos de remoción en masa. Si se requiere deben presentarse análisis de las deformaciones del suelo. Todos los parámetros utilizados para los análisis de estabilidad deben estar sustentados en ensayos de laboratorio de las muestras o ensayos de resistencia en campo.(*RESOLUCION 1294 DE 2009*, n.d.)

Para los análisis de estabilidad debe suponerse como mínimo un factor de carga sísmica horizontal de 0.15 g.(*RESOLUCION 1294 DE 2009*, n.d.)

Estabilidad en eventos sísmicos

Corresponde al estudio de las condiciones naturales de un terreno con relación a los valores de aceleración establecidos que permitan modelar el potencial de licuación de capas de arenas, o estabilidad de laderas y taludes que afecten las obras proyectadas. Para análisis de estabilidad de taludes o laderas se exige como mínimo utilizar un coeficiente sísmico horizontal de 0.15 g.(*RESOLUCION 1294 DE 2009*, n.d.)

Cuando se detecten condiciones sísmicas, tales como la cercanía a fallas geológicas activas o la presencia de materiales sueltos o licuables, se deben realizar estudios sismológicos locales.(*RESOLUCION 1294 DE 2009*, n.d.)

3. Marco Conceptual

3.1 Método del equilibrio límite (LEM)

Los métodos de equilibrio límite son comúnmente usados en software como lo son el Slope/W de Geostudio y el Slide, a diferencia de métodos numéricos o de elementos finitos, no es exacto, es decir, es aproximado, pero más sencillo de usar. Además, permite la evaluación de fallas de tipo rotacional, traslacional, de inclinación y en forma de cuña. (Rondon & Torrado, n.d.)

Los métodos de equilibrio límite permiten obtener un factor de seguridad; para llevar a cabo la ejecución de dicho análisis se deben conocer primero parámetros geomecánicos de los materiales que están presentes en el talud tales como ángulo de fricción, peso específico y cohesión. Este método de equilibrio límite permite saber si la resistencia a cortante del suelo es suficiente para soportar el cortante generado sobre una superficie de falla analizada. El factor de seguridad ($FS = \text{Fuerzas Resistentes} / \text{Fuerzas actuantes}$), no es más que la relación entre las fuerzas que puede resistir el talud (depende de los parámetros geomecánicos del suelo) vs las fuerzas actuantes en este. (Rondon & Torrado, n.d.)

3.2 Superficie de falla

Se le llama así a la superficie sobre la cual ocurren movimientos en masa o la superficie por donde se rompe el talud, en los métodos de equilibrio límite se evalúan muchas posibles superficies de falla las cuales son representadas por un factor de seguridad donde la el mas bajo supone la superficie de falla critica, esto no quiere decir que sea la única que se deba tener en cuenta ya que existen otros tipo de falla con factores de seguridad ligeramente mayores que aun no cumplen con las disposiciones exigidas por el marco legal, en este caso la NSR-10 y la Resolución 1294 de 2009 de la CDMB. (Rondon & Torrado, n.d.)

3.3 Limitaciones de los métodos de equilibrio límite:

- Se basan solamente en la estático, no tienen en cuenta las deformaciones ni la distribución de presiones, en muchas ocasiones este análisis resulta estar alejado de la realidad. Sin embargo, es importante destacar que estos análisis irrealistas ocurren solo en algunas rebanadas o dovelas del análisis lo cual no altera mucho el resultado final.(Rondon & Torrado, n.d.)
- Suponen los esfuerzos uniformemente distribuidos y esto no es del todo así, debe tenerse precaución cuando exista concentración de esfuerzos debido a la forma de la superficie de falla. (Rondon & Torrado, n.d.)
- Utilizan modelos de falla muy sencillos es decir muy geométricos, se debe tener cuidado de si el fenómeno presentado es un creep, licuación u otras formas de deterioro de la masa del terreno.(Rondon & Torrado, n.d.)
- Generalmente se asume el suelo como un material isotrópico lo cual no es aplicable para todos los tipos de suelo como lo son en materiales residuales, aluviales y coluviales no isotrópicos, roca meteorizada y roca sana.(Rondon & Torrado, n.d.)

Tabla 1: Diferentes métodos de equilibrio limite

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña

Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varia con el angulo de rotación.
Arco Circular (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Circulo de falla el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($f=0$)
Ordinario o de fellenius (Fellenius, 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas
Bishop simplificado (Bishop, 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.

Morgenstern y Price (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, se asume que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el calculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

4. Metodología

4.1 Visita de inspección ocular

4.1.1 Localización:

COORDENADAS: 7°05'43.68" N -73°07'25.04"E

DIRECCIÓN: Calle 65C Carrera 1C-06

DESCRIPCIÓN: Se realizó visita técnica mediante inspección ocular al barrio Cordoncillos 2 de la ciudad de Bucaramanga ubicado en la comuna 8 suroccidente (Ver Ilustración 1).



Ilustración 1: localización del sector objeto de visita (Fuente. Google Earth julio de 2020).

4.1.2 Necesidad que motiva la visita

Visita de seguimiento en atención a acción de tutela interpuesta por habitantes del barrio Cordoncillos II de Bucaramanga.

4.1.3 Descripción de la problemática evidenciada

- En el talud objeto de visita ubicado en la parte posterior de la vivienda de quien hace el requerimiento, se observa la presencia de obras de mitigación de tipo gavión y concreto lanzado, el cual presenta material vegetal y antrópico. (Ilustración 2)
- Las viviendas localizadas en el sector objeto de visita, no cumplen los lineamientos dispuestos en la normativa sismo resistente colombiana NSR-10, además tampoco tienen el aislamiento geotécnico necesario indicado por la resolución 1294 del 2009. (Ilustración 3)
- Las obras de mitigación realizadas se encuentran cubiertas por plástico de polipropileno color negro el cual cumple la función de impermeabilizar y evitar la erosión y el deterioro de las obras y el terreno a causa de la escorrentía de aguas lluvia. (Ilustración 4)
- En la parte inferior de las obras presentes existe una canaleta en concreto, encargada de recoger el agua de escorrentía y conducir el flujo fuera de la zona de afectación. (Ilustración 5)



Ilustración 2: Obras de mitigación presentes en el sector objeto de visita



Ilustración 3: Viviendas ubicadas sobre la corona del talud



Ilustración 4: Impermeabilización con plástico de polipropileno color negro



Ilustración 5: Canaleta para la conducción del flujo de escorrentía

4.2 Características geológicas según INGEOMINAS:

Con base en la Zonificación Sismo-geotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga del Servicio Geológico Colombiano SGC (antiguo Ingeominas), el sector visitado se localiza Geológicamente en la Formación Bucaramanga, Miembro Limos Rojos Qblr y Gravoso Qbg, (Ver Ilustración 7), descritos a continuación:

4.2.1 Formación Bucaramanga.

La formación Bucaramanga fue descrita inicialmente por De Porta (1958). Se trata de un importante depósito sedimentario de edad Cuaternaria que morfológicamente corresponde a un abanico aluvial erosionado, posiblemente asociado en su mayor parte al río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre el cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. (INGEOMINAS, 2010)

Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el cerro de Palonegro y el río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2° y 7°, y una extensión aproximada de 60 a 80 km². La formación Bucaramanga es disectada por varias quebradas, la mayoría afluentes del río de Oro, conformando un drenaje dendrítico subparalelo. El espesor del depósito aumenta de oriente a occidente y aunque el valor real de éste se desconoce, siendo actualmente motivo de investigación, algunos cortes geológicos permiten estimar, en los sectores más profundos, valores promedios cercanos a los 250 m. 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. (INGEOMINAS, 2010)

De Porta (1958) divide la formación Bucaramanga en los siguientes niveles: a) un paquete inferior con más de 150 m de espesor, conformado por niveles discontinuos de gravas, clasto soportado, con lentes arenosos intercalados; b) una capa relativamente delgada de 10 a 18 m de espesor, ubicada en la parte intermedia a alta, compuesta de sedimentos arcillosos, la cual se extiende por una buena parte de la terraza; y c) un nivel superior de 8 a 15 m de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. (INGEOMINAS, 2010)

Algunos trabajos recientes proponen 5 miembros definidos de base a techo como: Calcáreo, Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos. Dos de ellos propuestos por Hubach, (1952) y tres por Niño y Vargas, (1992). Es importante destacar que las relaciones estratigráficas del miembro Calcáreo, descritas por Niño y Vargas, con respecto al miembro Órganos, no se pudieron determinar durante el trabajo de campo, debido a que el denominado miembro Calcáreo no

presenta límites estratigráficos claros que permitan separarlo del Órganos, no presenta distribución lateral y se observa en forma de lentes locales en la quebrada La Picha, al noroccidente del Área Metropolitana. Lo anterior indica que el denominado miembro Calcáreo forma parte del miembro Órganos; por lo tanto, teniendo en cuenta las clasificaciones hechas por Hubach (1952) y Niño y Vargas (1993), se propone dividir la formación Bucaramanga, de base a techo, en los siguientes miembros: miembro Órganos (Qbo), miembro Finos (Qbf), miembro Gravoso (Qbg) y miembro Limos Rojos (Qblr). De acuerdo con las dataciones paleo-magnéticas publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la parte más antigua de la formación Bucaramanga tiene unos 730.000 años ubicándola dentro del Pleistoceno medio-superior. (INGEOMINAS, 2010)

Miembro Gravoso (Qbg).

Definido por Niño y Vargas (1992), ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga, también conforma los escarpes superiores de la parte alta del nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Otras secciones importantes se localizan en los barrios La cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid. (INGEOMINAS, 2010)

La morfología que presenta el miembro Gravoso es similar a la del Órganos en los sectores de los valles de las quebradas, pero hacia la parte sur de la quebrada la Iglesia la morfología corresponde a colinas suaves onduladas, con un drenaje dendrítico. (INGEOMINAS, 2010)

Su espesor varía entre 8 y 30 m; presenta niveles gravosos, gravo-arenosos y gravo-lodosos. Los cantos son, en su mayor parte, tamaño grava de diámetro promedio 15 cm y bloques de roca, en menor cantidad, hasta de 0,8 m de diámetro, subangulares a subredondeados, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido; en general el depósito es matriz

soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. El contacto inferior con el miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado y el contacto superior con el miembro Limos rojos es gradacional (Niño y Vargas, 1992). (INGEOMINAS, 2010)

Macroscópicamente se estima que la matriz representa alrededor de un 60% del volumen total, con aproximadamente 2/3 partes de arena tamaño medio a grueso y 1/3 de finos. Los cantos están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander, y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas de las Formaciones Girón y Jordán. La matriz, por su parte, es de composición cuarzo-feldespática micácea (cuarzo, plagioclasas, láminas de moscovita), de consistencia media y de baja cohesión. (INGEOMINAS, 2010)

Existen unos depósitos bastante meteorizados que cubren el cerro La Cumbre, probablemente pertenecientes al Miembro Gravoso, los cuales pudieron ser levantados por acción tectónica; en éste caso, los materiales que lo componen son en su mayor parte cantos y bloques de rocas sedimentarias de las Formaciones Girón y Jordán, cuyas características litológicas ya se han perdido debido a su alteración, embebidos en una matriz arcillosa de colores rojo y amarillo. Los depósitos que conforman el miembro Gravoso presentan un grado de meteorización medio a alto. Los bajos porcentajes de humedad natural ($W < 15\%$), el predominio granular y el grado de meteorización sugiere que, al menos la parte superficial de este miembro, tiene poca compactación y buena permeabilidad. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de escombros. (INGEOMINAS, 2010)

Miembro Limos Rojos (Qblr).

Nivel definido por Julivert (1963). Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.(INGEOMINAS, 2010)

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano y pendientes entre 2 y 7%; el drenaje es escaso paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992). Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Se observó la presencia esporádica de bloques angulares de arenisca asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados. Suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de lodos combinados con caídas de bloques de la pendiente del macizo.(INGEOMINAS, 2010)

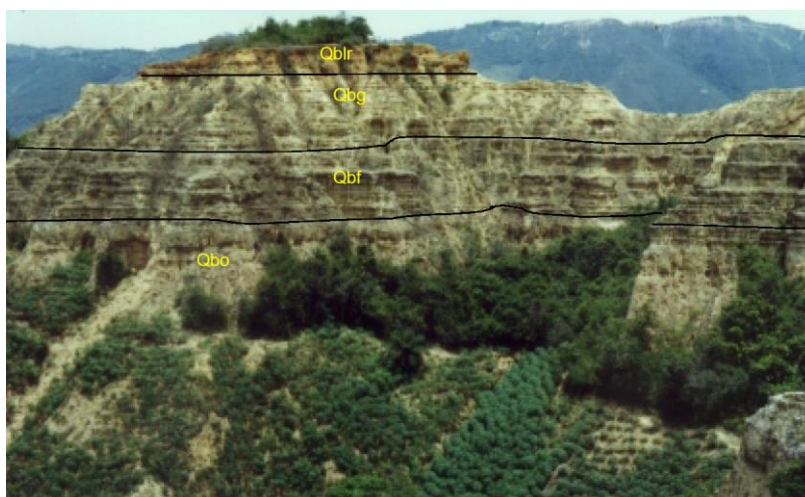


Ilustración 6: Se aprecian la formación Bucaramanga y sus cuatro miembros, limos rojos (Qblr), Gravoso (Qbg), finos (Qbf) y órganos (Qbo).

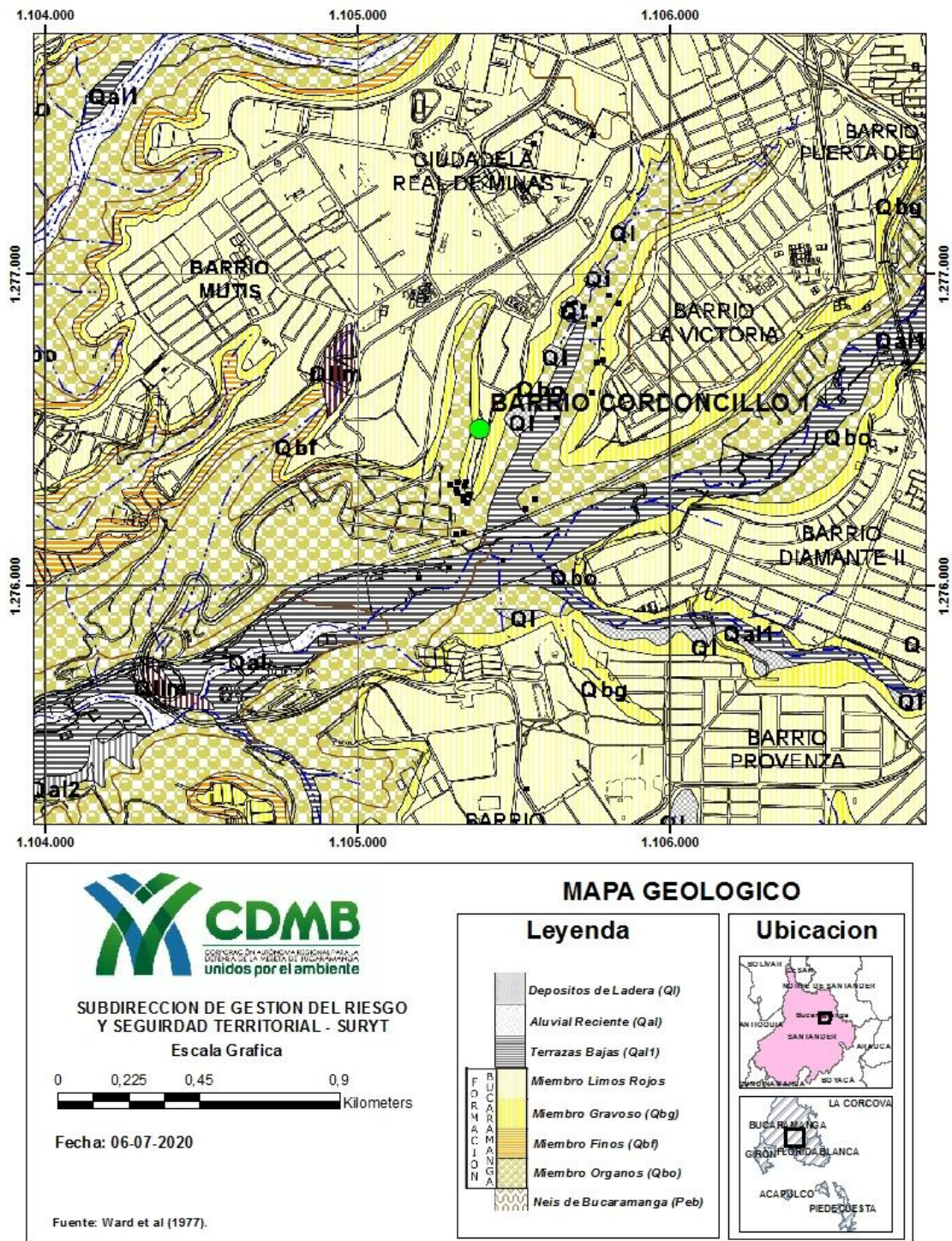


Ilustración 7:Geología Zona Objeto de Visita Técnica. (Fuente SIG – CDMB e INGEOMINAS 2001.)

4.3 Características geotécnicas según INGEOMINAS

Con base en la Zonificación Sismo-geotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga del Servicio Geológico Colombiano SGC (antiguo Ingeominas), el sector visitado se localiza Geotécnicamente en la Zona 3B (Ver Ilustración 8), descrita a continuación:

4.3.1 Zona 3B Escarpes de la Meseta de Bucaramanga

Descripción General

La zona se encuentra localizada en la corona de los escarpes del Abanico de Bucaramanga, siguiendo una línea continua a lo largo del perímetro de la zona 3A e incluye las áreas junto al escarpe occidental de Bucaramanga y los sectores de los barrios localizados sobre éste. El ancho de esta franja es de mínimo 100 metros medidos desde la cabeza de los taludes perimetrales del Abanico.(INGEOMINAS, 2001)

La morfología de la zona corresponde en la parte mas superior a una zona plana, inclinada de baja pendiente, que hacia el sector más inferior pasa a escarpes semiverticales o taludes de alta pendiente. Geológicamente la zona 3B está conformada por una parte de los miembros Limos Rojos (Qblr) y Gravoso (Qbg) pertenecientes a la formación Bucaramanga.(INGEOMINAS, 2001)

Características Geotécnicas

Los suelos subsuperficiales corresponden a arenas gravo-arcillosas, cementadas por óxidos de hierro sobre mantos gravosos y algo conglomeráticos. En razón a la morfología de los escarpes, estos suelos presentan una alta susceptibilidad al agrietamiento cosísmico. En el pie de los taludes verticales se presentan afloramientos de agua de los niveles freáticos del abanico sobre los mantos arcillosos o de finos.(INGEOMINAS, 2001)

Problemas geotécnicos

En la zona escarpada se presentan problemas geotécnicos de gran magnitud, entre los cuales se incluyen las siguientes:(INGEOMINAS, 2001)

- Agrietamiento cosísmico de la superficie del suelo.
- Deslizamientos de tierra.
- Avance de las cárcavas de erosión.

Observaciones Especiales

Las características geológicas, geotécnicas y morfológicas de estas áreas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano. Por lo tanto, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, estará en grave peligro de ser afectada severamente por procesos de inestabilidad del terreno.(INGEOMINAS, 2001)

Se recomienda continuar con el programa iniciado por la CDMB de conformación de una zona de amortiguación a los procesos de erosión en todo el perímetro del escarpe vertical de la meseta de Bucaramanga.(INGEOMINAS, 2001)

Se recomienda realizar estudios tendientes a determinar las zonas amenazadas por deslizamientos y diseñar y construir las obras de estabilización y control. El programa del plan maestro de control de erosión debe continuarse hasta lograr la estabilización de los taludes que representen peligro para los asentamientos humanos localizados en las áreas cercanas a los escarpes.(INGEOMINAS, 2001)

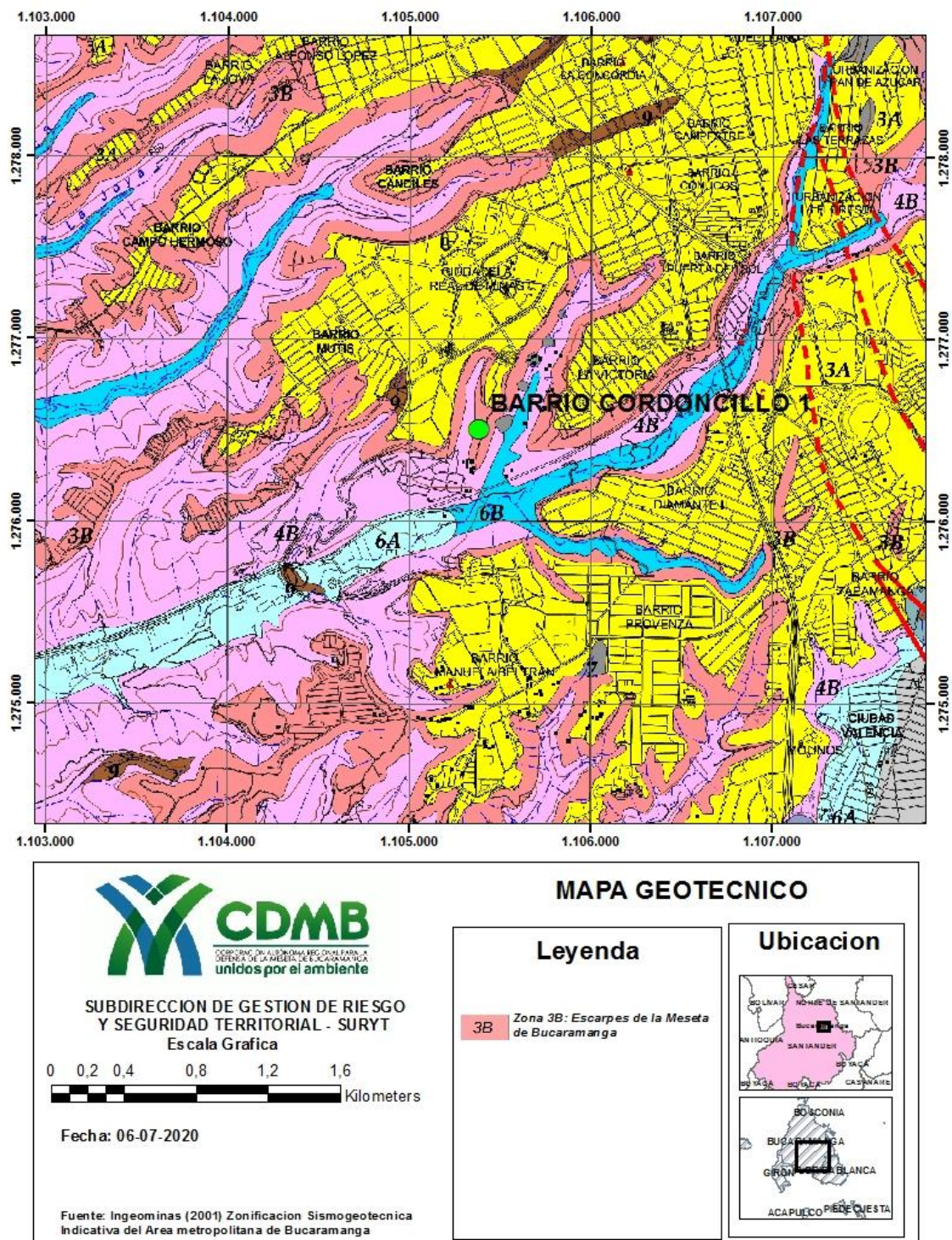


Ilustración 8: Zonificación sismo – geotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga (Fuente SIG – CDMB e INGEOMINAS 2001.)

4.4 Estudios locales

Con el fin de formular un estudio geotécnico que permita identificar la amenaza y la necesidad de realizar una obra de mitigación, se contrató la ejecución de los siguientes estudios:

4.4.1 Ensayos de laboratorio:

A partir de muestras tomadas en campo (8 apiques y 8 sondeos), se realizaron los siguientes ensayos:

- Densidad y Absorción de agregados finos (NTC 237)
- Ensayos de granulometría (ASTM D421-58 y D422-63)
- Compresión simple (ASTM 2166-66)
- Ensayos de humedad (INVE 122-12)
- Ensayos de corte directo (ASTM D3080-72)

En las tablas 2 y 3 se muestra el resultado de los ensayos realizados, para poder realizar el diagnóstico de la amenaza por movimiento en masa por el método de equilibrio limite de las rebanadas se destacan los parámetros obtenidos a partir de los ensayos de corte directo (Angulo de fricción, Pesos unitarios, Cohesiones).

Tabla 2: Resumen de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	%W _n	%w _{LL}	%w _{LP}	%LC	%I _P	%IL	%G	%S
1	1	4,50	12,29	35,33	20,07	7,21	15,26	-0,51	4,00	57,50
	2	10,00	17,40	32,81	21,62	8,48	11,19	-0,38	3,16	35,35
2	1	5,00	11,11	35,85	20,90	7,63	14,95	-0,65	2,23	39,92
	2	10,00	15,74	35,45	22,73	8,75	12,72	-0,55	1,62	52,53
3	1	5,00	17,48	32,88	21,75	8,55	11,13	-0,38	19,88	36,67
	2	10,00	12,43	40,20	25,05	9,38	15,15	-0,83	1,37	27,87
4	1	5,00	13,56	27,15	18,98	7,66	8,17	-0,66	29,03	33,62
	2	10,00	17,42	35,10	19,00	6,60	16,10	-0,10	0,88	39,25
5	1	4,50	15,54	30,89	22,33	9,22	8,56	-0,79	1,79	35,02
	2	10,00	15,04	36,10	22,42	8,48	13,68	-0,54	1,52	44,42
6	1	5,00	18,16	28,46	22,40	9,67	6,06	-0,70	1,68	48,97
	2	10,00	14,73	28,57	22,58	9,77	5,99	-1,31	1,92	23,81
7	1	4,50	13,73	29,79	22,37	9,43	7,42	-1,16	0,00	13,85
	2	10,00	11,63	34,30	21,08	7,94	13,22	-0,71	1,61	18,64
8	1	5,50	14,40	30,70	19,66	7,58	11,04	-0,48	3,04	19,33
	2	10,00	11,85	22,31	16,42	6,63	5,89	-0,78	4,55	67,44
AP1	1	1,50	11,40	33,43	18,42	6,46	15,01	-0,47	2,08	51,83
AP2	1	1,50	17,09	25,09	17,24	6,80	7,85	-0,02	29,11	32,91
AP3	1	1,50	10,88	37,51	20,81	7,36	16,70	-0,59	0,87	40,42
AP4	1	1,50	13,35	27,61	22,30	9,76	5,31	-1,69	6,18	43,13
AP5	1	1,50	17,15	33,20	23,64	9,65	9,56	-0,68	2,25	22,18
AP6	1	1,50	14,16	25,16	22,09	10,07	3,07	-2,58	0,00	80,67
AP7	1	1,50	19,71	27,08	25,09	11,69	1,99	-2,70	0,62	44,73
AP8	1	1,50	14,44	29,79	21,74	9,03	8,05	-0,91	0,86	44,52

Tabla 3: Resumen de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio

SONDEO	MUESTRA	%F	USCS	PU (g/cm³)	G _s	qu (kg/cm²)	E (kg/cm²)	Φ (°)	C (Kg/cm²)	Y (g/cm³)
1	1	38,50	SC	1,88	2,11			29,00	0,40	2,09
	2	61,49	CL	1,90	2,51	2,21	26,59			
2	1	57,85	CL	1,80	1,94					
	2	45,85	SC	1,81	2,38	2,81	34,96	28,40	0,585	2,09
3	1	43,45	SC	1,86	2,42	2,81	35,85	34,10	0,41	2,23
	2	70,76	CL	1,87	2,31					
4	1	37,35	SC	1,82	2,08	2,86	36,40			
	2	59,87	CL	1,84	2,30			34,90	0,355	2,38
5	1	63,19	CL	1,87	2,15	3,00	44,41			
	2	54,06	CL	1,81	2,40			32,20	0,383	2,05
6	1	49,35	SM	1,86	2,37			33,90	0,405	2,14
	2	74,27	ML	1,88	2,24	2,50	26,19			
7	1	86,15	CL	1,91	2,30					
	2	79,75	CL	1,89	2,21	3,80	113,31	37,20	0,3752	1,98
8	1	77,63	CL	1,86	2,55					
	2	28,01	SC-SM	1,87	2,39	3,20	62,13	33,00	0,35	2,30
AP1	1	46,09	SC	1,89	2,28			34,60	0,40	2,17
AP2	1	37,98	SC	1,86	2,43			38,20	0,51	2,05
AP3	1	58,71	CL	1,87	2,25			37,20	0,60	2,05
AP4	1	50,69	ML	1,88	2,29			37,60	0,44	2,05
AP5	1	75,57	ML	1,88	2,30			37,00	0,335	2,05
AP6	1	19,33	SM	2,03	2,04			37,40	0,475	2,05
AP7	1	54,65	ML	1,96	2,01			35,30	0,5977	1,97
AP8	1	54,62	CL	1,97	2,05			37,90	0,6107	2,01

4.4.2 Levantamiento Topográfico y Geológico

Se contrato la ejecución de un levantamiento topográfico del sector y la caracterización geológica de la zona en la cual se identificaron 4 unidades geológicas (SFL1, SFL2, SFT2 y

- SFL1: Suelos miembros finos
- SFL2: Suelos miembros limos rojos
- SFT2: Suelos miembros gravosos
- SFT3: Suelos miembros organos





Se hizo uso de la información obtenida de los estudios locales y el software Civil 3D para montar a partir de la topografía una superficie (ilustración 11) que permitiera definir los cortes que se evaluarían sobre el talud; al obtener los cortes los cuales se hicieron cada 5 metros, se asignaron los estratos superponiendo la información geológica con la topográfica, de este modo obtenemos los perfiles ya con los estratos definidos y así podemos reducir por homogeneidad la cantidad de perfiles a evaluar.

En total, se obtuvieron 27 perfiles, pero al evaluar la homogeneidad entre ellos se sacaron 9 perfiles representativos los cuales corresponden a los cortes 3, 5, 8, 11, 14, 18, 20, 24, y 27. En la ilustración 12 podemos observar la geometría y estratigrafía del perfil generado con el corte 27.

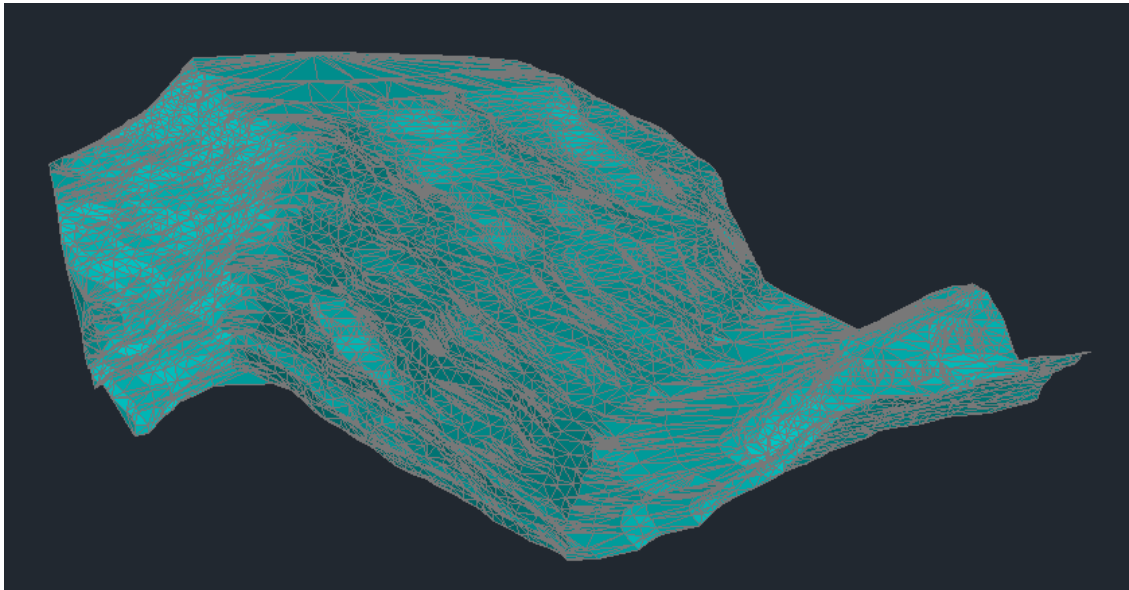


Ilustración 11: Superficie generada a partir de datos tomados en campo

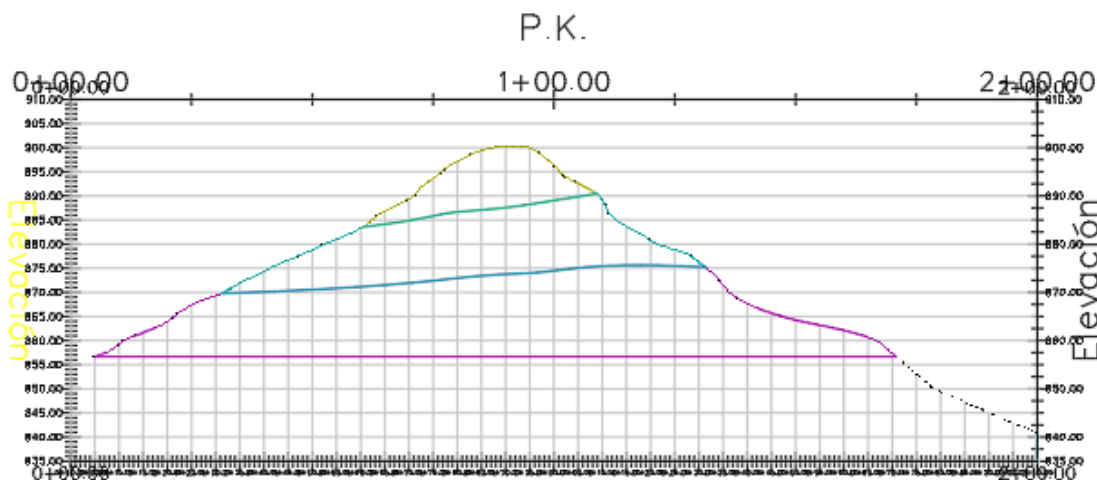


Ilustración 12: Perfil generado por el corte 27 sobre la superficie topográfica

4.6 Presión de poros

En el análisis de estabilidad de taludes es importante evaluar el efecto del agua en la disminución del esfuerzo efectivo del suelo y de la resistencia al corte. La NSR-10 recomienda evaluar la presión de poros por al menos uno de los siguientes métodos.

- Red de flujo: Necesario en el caso de que la cabeza piezométrica no corresponda con la superficie del nivel freático.(Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. & Resistentes, 2010)
- Nivel freático: En el caso en que la cabeza piezométrica corresponde con la superficie de la tabla de agua, por encontrarse esta última a presión atmosférica.(Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. & Resistentes, 2010)
- R_u , cociente entre la presión de poros y el esfuerzo vertical total. Este valor puede variar para el mismo material dependiendo de su posición relativa respecto a la superficie del agua y la superficie del terreno. Por tal motivo se recomienda calcular tantos valores como sean necesarios de acuerdo con la complejidad del problema.(Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. & Resistentes, 2010)

Para nuestro caso se usó un factor R_u de 0.35 recomendado por el ingeniero Magister en Geotecnia Jose Alberto Rondon.

4.7 Categorización de la amenaza

Hay varias formas de categorizar la amenaza, por ejemplo, el modelo de tres escalas de amenaza (Alta, media y baja), se pueden usar más escalas sin embargo no es práctico, por otro lado, también se puede categorizar según la probabilidad de ocurrencia, aunque es un poco más complicado. (Suarez, 1998)

Sin embargo, para nuestro caso se realizó categorización de tres escalas, de acuerdo con lo dispuesto en la resolución 1294 de 2009 de la CDMB, la cual indica lo siguiente:

Tabla 4: categorización de amenaza según resolución 1294 de 2009

Amenaza	Condiciones	Condiciones
	Estáticas	Dinámicas
Alta	$FS < 1.25$	$FS < 1$
Media	$1.25 < FS < 1.5$	$1 < FS < 1.2$
Baja	$FS > 1.5$	$FS > 1.2$

5. Resultados

Basados en los métodos de estabilización de taludes por equilibrio límite y de rebanadas, se hizo el análisis de los perfiles representativos mediante el uso del software Slope/W de Geostudio en su versión estudiantil. Teniendo en cuenta lo dispuesto en la resolución 1294 de 2009, se hizo el análisis por 4 métodos diferentes (Bishop, Spencer, Janbu y Fellenius) tanto en condiciones estáticas como condiciones dinámicas.

A continuación, se pueden observar desde la ilustración 13 a 16 simulaciones de algunos de los perfiles tenidos en cuenta para el análisis.

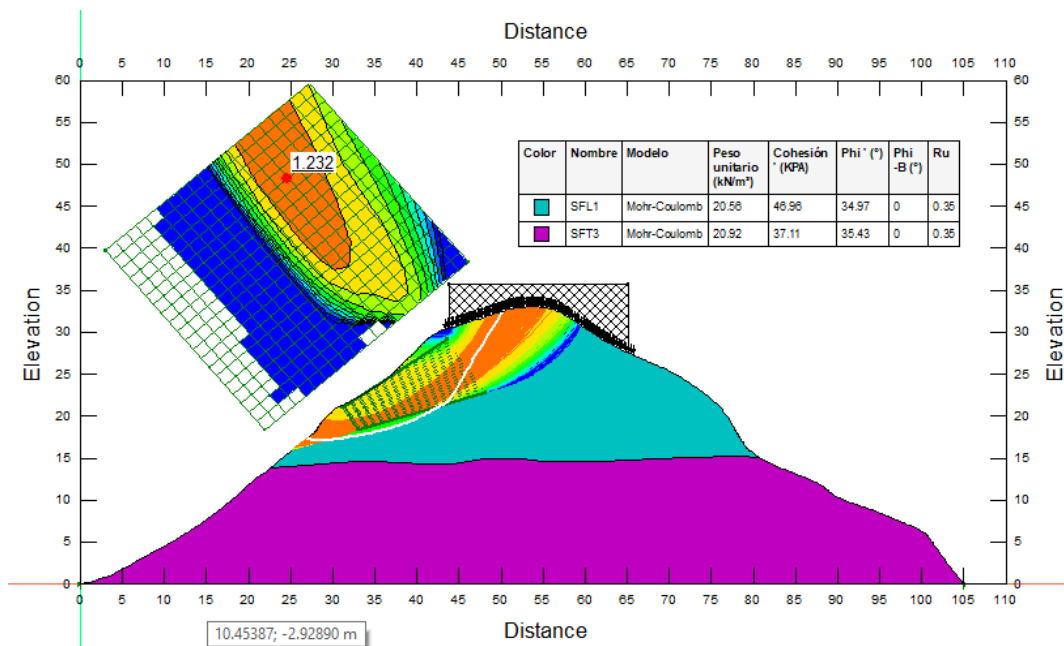


Ilustración 13: Simulación por el método de Bishop del corte 11 en condiciones estáticas en el costado izquierdo del perfil

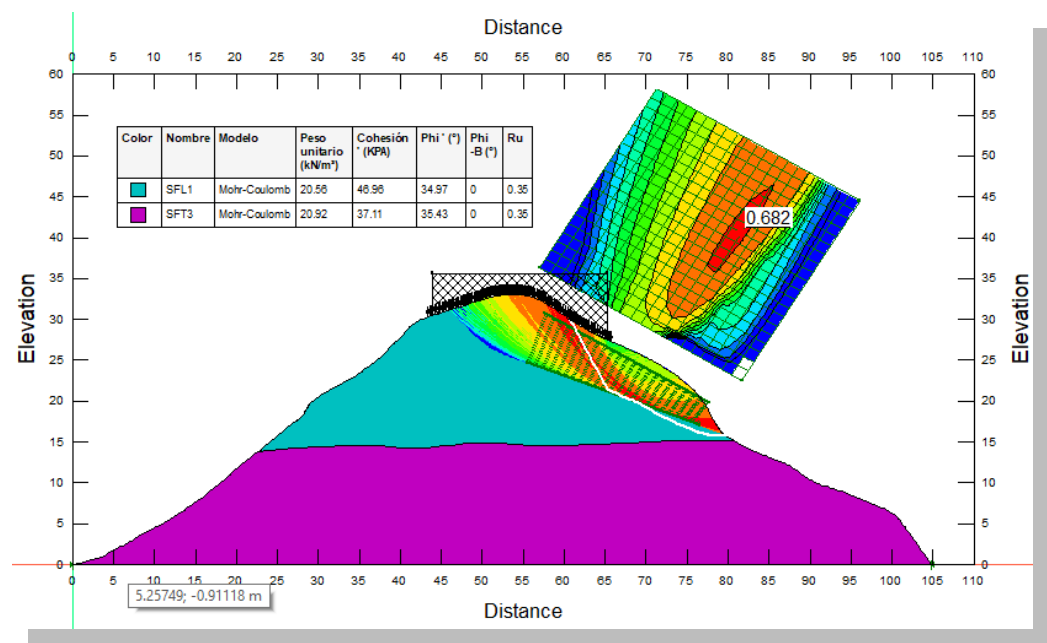


Ilustración 14: simulación por el método de Janbu del corte 11 en condiciones dinámicas en el costado derecho del perfil

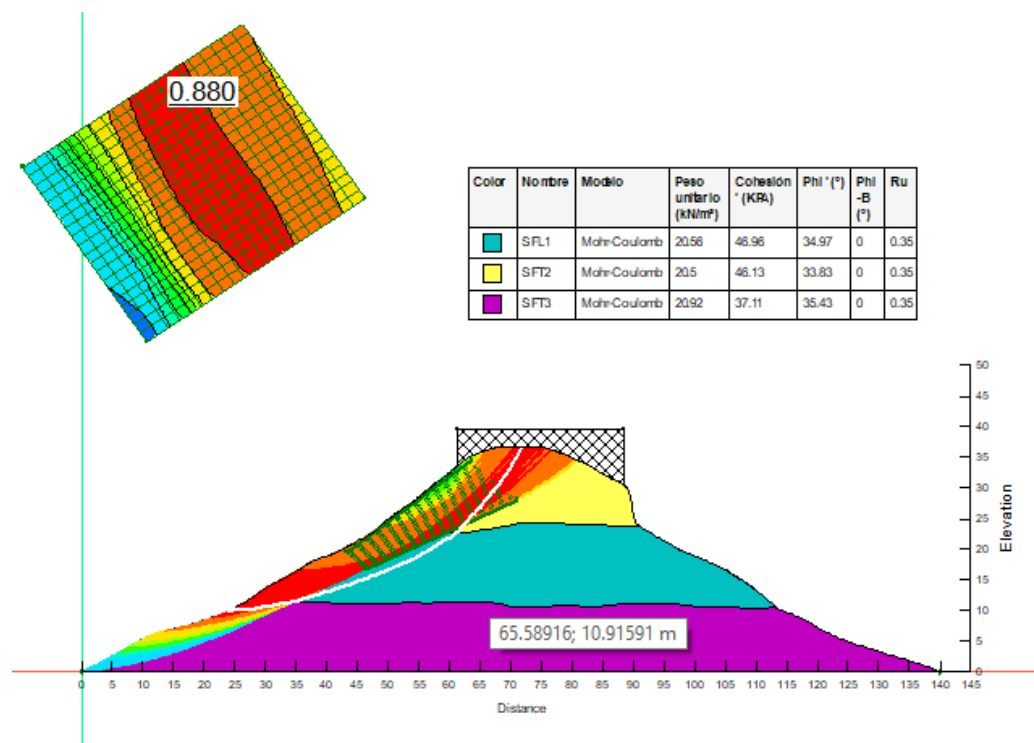


Ilustración 15: Simulación por el método de Spencer del corte 24 en condiciones dinámicas en el costado izquierdo del perfil

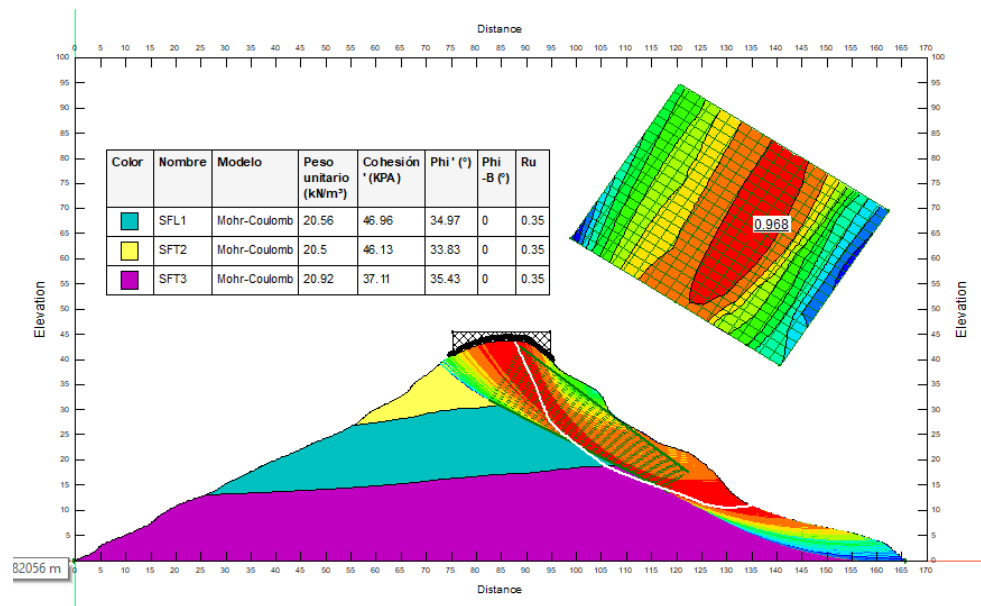


Ilustración 16: simulación por el método de Janbu del corte 24 en condiciones estáticas en el costado derecho del perfil

En las tablas 3, 4, 5 y 6 se pueden observar todos los factores de seguridad obtenidos del análisis de estabilidad, el color rojo representa amenaza alta, el color amarillo amenaza media y el color verde amenaza baja.

Tabla 4: Factores de seguridad obtenidos en condiciones estáticas para deslizamientos de derecha a izquierda

CONDICION:			ESTATICA	
DIRECCION DE DESLIZAMIENTO			DERECHA A IZQUIERDA	
Corte	BISHOP	FELLENIOUS	JANBU	SPENCER
3	1.240	1.140	1.105	1.319
5	0.981	1.159	0.980	0.980
8	1.043	0.981	0.932	1.127
11	1.232	1.317	1.106	1.304
14	0.831	0.917	0.695	0.930
18	0.944	0.985	0.915	1.019
20	0.983	1.079	0.867	1.036
24	1.177	1.116	1.023	1.248
27	1.468	1.555	1.290	1.473

Tabla 5: Factores de seguridad obtenidos en condiciones dinámicas para deslizamientos de derecha a izquierda

CONDICION:			DINAMICA	
DIRECCION DE DESLIZAMIENTO			DERECHA A IZQUIERDA	
Corte	BISHOP	FELLENIOUS	JANBU	SPENCER
3	0.883	0.793	0.784	0.972
5	0.910	0.790	0.796	0.966
8	0.773	0.784	0.674	0.844
11	0.889	0.797	0.782	0.928
14	0.725	0.939	0.608	0.814
18	0.674	0.736	0.619	0.759
20	0.701	0.569	0.604	0.746
24	0.889	0.780	0.773	0.880
27	1.030	1.078	0.881	1.060

Tabla 6: Factores de seguridad obtenidos en condiciones estáticas para deslizamientos de izquierda a derecha

CONDICION:			ESTATICA	
DIRECCION DE DESLIZAMIENTO			IZQUIERDA A DERECHA	
Corte	BISHOP	FELLENIOUS	JANBU	SPENCER
3	1.271	1.192	1.309	1.360
5	1.837	1.733	1.651	1.953
8	1.077	1.093	0.962	1.146
11	1.015	1.116	0.880	1.065
14	0.770	1.005	0.780	0.794
18	0.207	0.665	0.100	0.332
20	0.421	0.545	0.330	0.529
24	0.281	0.699	0.213	0.405
27	0.940	1.175	0.870	1.051

Tabla 7: Factores de seguridad obtenidos en condiciones dinámicas para deslizamientos de izquierda a derecha

CONDICION:			DINAMICA	
DIRECCION DE DESLIZAMIENTO			IZQUIERDA A DERECHA	
Corte	BISHOP	FELLENIOUS	JANBU	SPENCER
3	0.817	0.715	0.809	0.850
5	1.058	1.039	1.044	1.135
8	0.804	0.791	0.707	0.867
11	0.840	0.777	0.685	0.839
14	0.678	0.776	0.590	0.740
18	0.148	0.572	0.100	0.294
20	0.345	0.576	0.262	0.455
24	0.228	0.438	0.151	0.348
27	0.693	0.679	0.630	0.751

6. Conclusión

Los resultados señalan que gran parte del sector objeto de estudio se encuentra en amenaza alta por movimientos en masa, recordemos que la CDMB define la amenaza alta así:

Pertenecen a esta clasificación terrenos clasificados como “inestables” en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales a largo plazo.(*RESOLUCION 1294 DE 2009*, n.d.)

Por lo anterior es necesario realizar obras de mitigación en el sector, así mismo se debe concientizar a los habitantes del sector de la problemática existente y del papel que ellos juegan allí ya que en las visitas de inspección ocular se evidenciaron construcciones nuevas y en proceso sobre las coronas de los taludes que forman la escarpa además de vertimientos de aguas residuales sanitarias hacia los taludes lo cual aumenta la inestabilidad.

La identificación de la amenaza solo hace parte de un proceso de evaluación, por lo cual es necesario ejecutar acciones encaminadas a garantizar el bienestar, la seguridad y la vida de los habitantes del sector objeto de estudio, lo cual es responsabilidad de las autoridades competentes, en este caso el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo (CMGRD) del municipio de Bucaramanga.

Referencias Bibliográficas

- CDMB Sitio Web Oficial. (n.d.). Retrieved January 14, 2021, from <http://www.cdm.gov.co/web/>
- Erosión en la escarpa occidental de Bucaramanga pone en riesgo viviendas en cinco comunas* | Vanguardia.com. (n.d.). Retrieved January 14, 2021, from <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/erosion-en-la-escarpa-occidental-de-bucaramanga-pone-en-riesgo-viviendas-en-cinco-comunas-HX3154966>
- INGEOMINAS. (2001). *Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga*. 270.
- INGEOMINAS. (2010). *Integración Geológica E Hidrogeológica Del Centro De Santander*.
- Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_1523_2012]*. (n.d.). Retrieved January 14, 2021, from http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial., & Residentes, C. A. P. P. E. R. D. C. S. (2010). Nsr-10: Título H — Estudios Geotécnicos. *Reglamento Colombiano de Diseño y Construcción Sismo Resistente- NSR-10*, 72.
- RESOLUCION 1294 DE 2009. (n.d.). Retrieved January 14, 2021, from http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2010/47585/r_carbucaramanga_1294_2009.html
- Rondon, J., & Torrado, L. (n.d.). *Análisis de estabilidad de taludes*. 634.
- Suarez, J. (1998). Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*, 528–587.

Apéndices

Los apéndices se pueden visualizar en la base de datos de la biblioteca.

Apéndice A. Superficie y cortes

Apéndice B. Modelos SlopeW-Equilibrio limite

Los apéndices se pueden visualizar en la base de datos de la biblioteca.